



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV STAVEBNÍ EKONOMIKY A ŘÍZENÍ

INSTITUTE OF STRUCTURAL ECONOMICS AND MANAGEMENT

VYUŽITÍ BIM NÁSTROJŮ VE FACILITY MANAGEMENTU

USE OF BIM TOOLS IN THE FACILITY MANAGEMENT

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

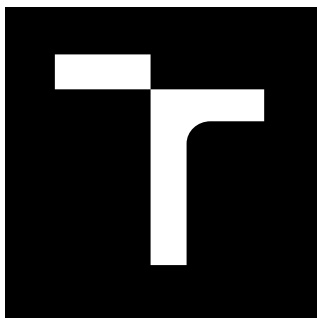
Bc. Tomáš Tatarin

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Zdeněk Krejza, Ph.D.

BRNO 2025



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV STAVEBNÍ EKONOMIKY A ŘÍZENÍ

INSTITUTE OF STRUCTURAL ECONOMICS AND MANAGEMENT

VYUŽITÍ BIM NÁSTROJŮ VE FACILITY MANAGEMENTU

USE OF BIM TOOLS IN THE FACILITY MANAGEMENT

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Tomáš Tatarin

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Zdeněk Krejza, Ph.D.

BRNO 2025

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav stavební ekonomiky a řízení
Student: **Bc. Tomáš Tatarin**
Vedoucí práce: **Ing. Zdeněk Krejza, Ph.D.**
Akademický rok: 2024/25
Studijní program: N0732A260021 Stavební inženýrství – management stavebnictví

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:

Využití BIM nástrojů ve facility managementu

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

- 1) definice a pojmy z oblasti BIM a FM,
- 2) kvalitativní analýzu BIM nástrojů,
- 3) identifikaci možností uplatnění BIM nástrojů v oblastech facility managementu,
- 4) vyhodnocení potenciálních úspor.

Cíle a výstupy diplomové práce:

Cílem práce je analyzovat jednotlivé BIM nástroje, identifikovat možnosti jejich uplatnění v oblastech facility managementu a vyhodnotit potenciál úspor.

Seznam doporučené literatury a podklady:

HORÁK, J.; STANČÍK, A. Methods of use BIM tool for modeling construction elements. In 9th International Scientific Conference of Civil Engineering and Architecture. Košice: Technical University of Košice, Faculty of Civil Engineering, 2017. p. 1-7. ISBN: 978-80-553-3136-2.

STANČÍK, A.; MACHÁČEK, R.; HORÁK, J. Using BIM model for Fire Emergency Evacuation Plan. In Conference Proceedings 9th International Conference Building Defects 2017. MATEC Web of Conferences. 1. České Budějovice: EDP Sciences, 2018. p. 1-6. ISBN: 978-2-7598-9032-3. ISSN: 2261-236X.

BIOLEK, V.; DOMANSKÝ, V.; VÝSKALA, M. Interconnection of Construction-Economic Systems with BIM in the Czech Environment. In International Scientific Conference "People, Buildings and Environment 2018 (PBE). IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Velká Británie: IOP Conference Series, 2019. p. 1-7. ISSN: 1755-1307.

BIOLEK, V.; HANÁK, T.; HANÁK, M. Proposed Interconnecting Database for BIM Models and Construction-Economic Systems in The Czech Republic. In 4th World Multidisciplinary Civil Engineering, Architecture, Urban Planning Symposium (WMCAUS 2018). IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. UK: IOP Conference Series, 2019. p. 1-7. ISSN: 1757-8981.

MATĚJKA, P., ANISIMOVA, N. Základy implementace BIM na českém stavebním trhu. Praha: FinEco 2012, ISBN 978-80-86590-10-3

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku.

V Brně, dne 15. 4. 2024

L. S.

prof. Ing. Jana Korytářová, Ph.D.
vedoucí ústavu

Ing. Zdeněk Krejza, Ph.D.
vedoucí práce

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

ABSTRAKT

Cílem této diplomové práce *Využití BIM nástrojů ve facility managementu* je prozkoumat možnosti využití informačních modelů stavby v oblasti facility managementu, zejména porovnat různé podrobnosti informačních modelů pro různé oblasti facility managementu. Výhody a nevýhody tvorby 3D informačních modelů vytvořené z laser skenů pro potřeby facility managementu jsou též porovnány s vynesemím do tradiční 2D dokumentace. V teoretické části práce jsou popsány potřeby facility managementu a technologie BIM, laserové skenování a modelování na základě mračna bodů. Praktická část se věnuje modelování části budovy Fakulty stavební VUT na ulici Žižkova v několika stupních podrobnosti, jednotlivé stupně jsou srovnány z hlediska časové náročnosti tvorby a možností využití ve facility managementu. V závěru je srovnání vyhodnoceno a doporučený ideální stupeň podrobnosti pro budoucí zpracování modelu celé budovy.

KLÍČOVÁ SLOVA

Facility management, Building Information Model, Level of Development, laserové skenování, mračno bodů, Autodesk Revit, informační model, 3D modelování, správa budov, údržba budov, optimalizace provozu, provozní náklady, analýzy kapacit, prediktivní údržba, technologie ve facility managementu

ABSTRACT

The goal of this master thesis Use of BIM in facility management is to explore the possibilities of using building information models in the facility management, in particular to compare different details of information models for different areas of facility management. The advantages and disadvantages of creating 3D information models created from laser scans for facility management purposes are also compared to creating traditional 2D documentation. The theoretical part of the thesis describes the needs of facility management and BIM technology, laser scanning and point cloud modelling. The practical part deals with the modelling of a part of the building of the Faculty of Civil Engineering of the BUT on Žižkova Street in several levels of detail, the different levels are compared in terms of the time required for creation and the possibilities of use in facility management. In the conclusion, the comparison is evaluated and the ideal level of development for the future development of the model of the whole building is recommended.

KEYWORDS

Facility Management, Building Information Model, Level of Development, laser scanning, point cloud, Autodesk Revit, information model, 3D modelling, building management, building maintenance, operation optimization, operational costs, capacity analyses, predictive maintenance, technologies in facility management

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

TATARIN, Tomáš. *Využití BIM nástrojů ve facility managementu*. Brno, 2025. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavební ekonomiky a řízení. Vedoucí Ing. Zdeněk Krejza, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Využití BIM nástrojů ve facility managementu* zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 17. 1. 2025

Bc. Tomáš Tatarin

autor

Poděkování

Tímto děkuji vedoucímu práce panu Ing. Zdeňku Krejzovi, Ph.D. za ochotu, vedení a trpělivost při zpracování mé diplomové práce.

Dále děkuji Ing. Josefu Remešovi, Ph.D. za inspiraci při výběru tématu a panu Ing. Janu Müllerovi, Ph.D. za poskytnutí dat pro praktickou část a za oponenturu.

Obsah

1	Úvod.....	8
1.1	Definice důležitých pojmů	9
2	Facility management	10
2.1	Význam a přínosy facility managementu	10
2.1.1	Optimalizace provozních nákladů.....	10
2.1.2	Zajištění bezpečnosti uživatelů	13
2.1.3	Zajištění komfortu uživatelů	14
2.1.4	Podpora environmentální udržitelnosti	15
2.2	Aktuální trendy ve Facility Managementu	16
2.2.1	Integrace moderních technologií v FM.....	16
3	Informační model budovy (BIM).....	19
3.1	Úroveň podrobnosti LOD.....	19
3.1.1	Úrovně LOD.....	19
3.1.2	Využití LOD ve FM.....	21
3.2	Tvorba BIM modelu z laserového skenu.....	22
3.2.1	Technologie laserového skenování ve stavebnictví.....	22
3.2.2	Tvorba modelu z laserového skenu.....	26
3.3	Využití BIM ve facility managementu	28
3.3.1	BIM ve FM u nově stavěných budov	28
3.3.2	BIM ve FM u existujících staveb	28
3.3.3	Doplnění dat do BIM modelu	30
3.3.4	Integrace BIM s FM softwaru	31
4	Analýza využitelnosti nižších úrovní podrobnosti BIM modelu pro účely FM u staveb bez existující dokumentace	32
4.1	Předmět analýzy	32

4.2	Popis procesu.....	33
4.3	LOD 100.....	36
4.3.1	Popis rozsahu	36
4.3.2	Popis procesu tvorby 3D modelu.....	36
4.3.3	Zdroje dat a přesnost	39
4.3.4	Informační část modelu.....	39
4.3.5	Ukázka modelu.....	39
4.3.6	Příklad využití	42
4.3.7	Časová náročnost tvorby	48
4.4	LOD 300.....	50
4.4.1	Popis rozsahu	50
4.4.2	Popis procesu tvorby 3D modelu.....	51
4.4.3	Zdroje dat a přesnost	53
4.4.4	Informační část modelu.....	54
4.4.5	Ukázka modelu.....	56
4.4.6	Příklad využití	59
4.4.7	Časová náročnost tvorby	65
4.5	Shrnutí, porovnání a doporučení	67
5	Závěr	72
6	Seznam použitých zdrojů	73
7	Seznam zkratk	77
8	Seznam tabulek	78
9	Seznam obrázků	79

1 Úvod

Stavebnictví patří mezi klíčové obory, které formují podobu moderní společnosti. S narůstající komplexností staveb a požadavky na jejich efektivní provoz roste i důležitost facility managementu, který zajišťuje správu a optimalizaci budov během jejich životního cyklu. Tradiční metody řízení budov však často naráží na své limity, zejména v oblasti správy dat a koordinace procesů.

Technologie Building Information Modelling představuje revoluční přístup, který integruje informace o budově do jednoho digitálního modelu. BIM nabízí široké možnosti využití nejen při projektování a realizaci staveb, ale i během jejich provozu. Ve spojení s facility managementem umožňuje efektivnější správu nemovitostí a poskytuje nástroje pro optimalizaci procesů údržby, propojení skutečného a zaznamenaného stavu budovy, plánování kapacit či prediktivní údržbu.

Tato diplomová práce si klade za cíl prozkoumat možnosti využití BIM v oblasti facility managementu, především pak analyzovat přínosy a omezení různých úrovní podrobnosti modelů pro konkrétní aplikace facility managementu. Teoretická část je věnována popisu oblasti facility managementu, BIM modelování a tvorby modelu pomocí laserového skenování. Praktická část, kde jsou tyto tři oblasti propojeny, se zaměřuje na tvorbu a analýzu modelů na příkladu budovy Fakulty stavební VUT v Brně, přičemž porovnává jejich využitelnost ve facility managementu a časovou náročnost tvorby.

1.1 Definice důležitých pojmů

Building information model: Digitální model stavby obsahující podrobné informace o fyzických a funkčních vlastnostech budovy, který slouží ke koordinaci, plánování a správě během celého životního cyklu stavby.

Facility management: Správa budov a jejich technických, provozních i administrativních procesů za účelem zajištění efektivního a udržitelného provozu nemovitostí.

Level of development: Standardizovaný systém určující úroveň detailů a informací v BIM modelu, zahrnuje požadavky na geometrii i data v různých fázích projektu.

Laserové skenování: Technologie měření, která využívá laserového paprsku k přesnému zaznamenání tvaru a rozměrů fyzických objektů nebo prostor v podobě mračna bodů.

Mračno bodů: Datová reprezentace reálných objektů, která vzniká při laserovém skenování a obsahuje souřadnice (XYZ) velkého množství bodů, popisujících povrchy snímaného prostředí.

Rodina (Revit): Předdefinovaný nebo uživatelem vytvořený parametrický objekt v softwaru Revit, který představuje konkrétní stavební prvek (např. dveře, okno, svítidlo) s možností upravitelnosti.

Náklady životního cyklu: Zahrnují investiční náklady (náklady na plánování, výstavbu, rekonstrukci či modernizaci), provozní náklady (náklady v průběhu užívání stavby) a demoliční náklady (náklady na odstranění stavby na konci její životnosti).

2 Facility management

Facility management (FM) obor, který se věnuje veškerým aktivitám spojeným s efektivním a pohodlným provozem, údržbou a správou budov a jejich podpůrných služeb. Zastává klíčovou roli při zajišťování, že spravované budovy a prostory jsou nejen funkční, ale také energeticky efektivní, bezpečné, udržitelné a odpovídají potřebám lidí a institucí, které je využívají. První zmínky o FM lze dohledat v druhé polovině 20. století a od té doby prochází neustálým a rapidním vývojem. Zatímco v minulosti představoval spíše manuální sledování, evidenci a správu nemovitostí, tak dnes zahrnuje řadu moderních a digitálních technologií, které zefektivňují monitorování, evidenci, plánování i samotnou údržbu budov. [1]

Celosvětová asociace IFMA sdružuje odborníky facility manažery na celém světě. Tato asociace má i českou odnož IFMA CZ, která facility management definuje jako metodu, jak nejlépe sladit pracovníky, pracovní prostředí a procesy uvnitř organizace. Její aplikací mohou firmy dosáhnout úspor ploch a nákladů ve výši desítek procent. [2]

2.1 Význam a přínosy facility managementu

Hlavním přínosem FM je zejména zvyšování efektivity a optimalizace provozu nemovitostí v provozní fázi životního cyklu budovy. Snižování nákladů životního cyklu nemovitostí je efektivní a přínosné hned ve dvou rovinách. Snížení nákladů je prospěšné nejen pro uživatele či majitele dané nemovitosti, protože efektivita zvyšuje jejich konkurenceschopnost, ale ve druhé úrovni je také přínosný pro celou společnost, jelikož zabráňuje plýtvání vzácnými zdroji, které tak lze využít jinde.

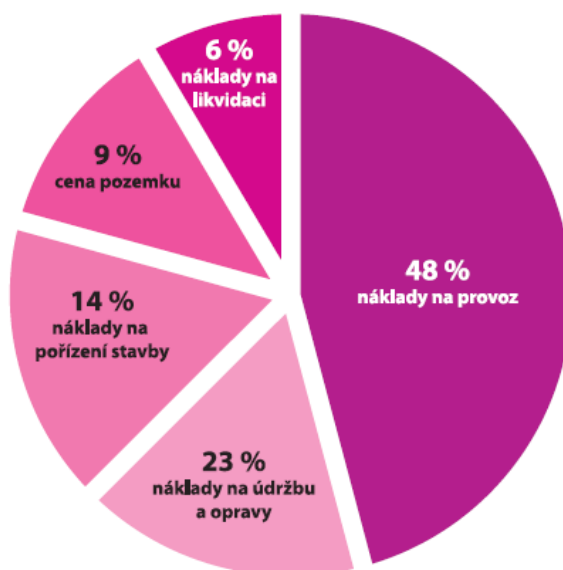
Přínosy plynoucí zejména ze zvyšování efektivity provozu lze pozorovat v mnoha oblastech, které jsou detailněji rozebrány níže. [3]

2.1.1 Optimalizace provozních nákladů

2.1.1.1 Provozní náklady

Provozní náklady stavby zahrnují veškeré náklady spojené s každodenním provozem, údržbou a správou budovy po celou dobu její životnosti. Tyto náklady jsou klíčovou složkou celkových životních nákladů stavby. Ve srovnání s investičními a demoličními

náklady tvoří provozní náklady obvykle největší část celkových nákladů na stavbu, a to často až 70 % z celkových LCC.



Obrázek 1: Náklady životního cyklu stavby [4]

2.1.1.2 Snížení provozních nákladů

Níže jsou popsány hlavní sektory provozních nákladů a jejich možnosti snížení. Popsané řešení jsou pouze obecné poučky, které je třeba upravit a ve správné míře aplikovat na konkrétní řešenou budovu, nelze poskytnout univerzální návod, jak provozní náklady snížit na každé budově.

Energetické náklady

Patří zde náklady na spotřebu elektrické energie, plynu, vody a zajištění tepla. Tyto náklady závisí na efektivitě technických systémů budovy, kvalitě izolace, provozu vytápění, ventilace, klimatizace a na využívání obnovitelných zdrojů energie. Energetické náklady lze snížit dvěma základními přístupy. První přístup zahrnuje aplikaci úsporných opatření, jako je například instalace úsporných osvětlení, instalace obnovitelných zdrojů elektrické energie a tepla, použití úsporných vodovodních baterií nebo snížení ztrát tepla zlepšením izolačních vlastností budovy. Druhý přístup představuje sledování a vyhodnocování spotřeby a hledání míst s prostorem k optimalizaci. To může zahrnovat čidla pohybu pro automatické řízení osvětlení v místnostech, čidla pro snímání tepla a kvality vzduchu pro automatický a ideální chod klimatizace a vytápění nebo měřiče

spotřeby elektrické energie umožňující identifikaci míst s nadměrnou spotřebou a zavedení patřičných opatření. [5]

Náklady na údržbu a opravy

Pravidelná údržba technických zařízení, jako jsou vzduchotechnické systémy, osvětlení, rozvody vody, elektřiny a plynu, je nezbytná pro zajištění jejich dlouhodobé funkčnosti a efektivity. Neplánované či nečekané potřeby oprav mohou být nákladné a mohou narušit běžný provoz budovy. Tyto náklady a případné problémy lze omezit zejména pravidelnou a plánovanou údržbou. Toho lze dosáhnout například databází všech zařízení v budově obsahující umístění, stáří, stav a poslední datum údržby jednotlivých jednotek. Takto lze efektivně a preventivně plánovat servisní prohlídky jednotlivých zařízení a předejít neplánovaným výpadkům provozu. Modernější přístup zahrnuje použití různých čidel sledujících provoz jednotlivých zařízení v reálném čase (například objem vzduchu proudící v rozvodech vzduchotechniky za daný čas), tyto čidla ihned reportují odchylky od běžného provozu a případné běžně neviditelné vady jsou tak odhaleny už v zárodku, kdy je jejich odstranění nejjednodušší. [3]

Náklady na správu budovy

Patří sem mzdy a ostatní náklady na personál, který se stará o běžný provoz a údržbu budovy. Může se jednat o interní zaměstnance, například vrátný nebo údržbář, nebo jsou tyto činnosti delegovány na externí služby, typicky zde patří úklidové služby, ostraha nebo správa odpadů. Snížení nákladů na podpůrnou správu budovy lze docílit například pravidelnou revizí smluv a pravidelným porovnáním nákladů na interní zaměstnance a pronájem stejné služby skrze externího dodavatele, stejně tak je třeba pravidelně provádět soutěž na externí dodavatele a prozkoumat konkurenční nabídky na trhu. [6]

Pojištění a daně

Zde patří pravidelné platby za pojištění budovy, například proti živelním katastrofám, vyhoření, vloupání nebo vandalismu. Dále je třeba myslet i na povinné platby státu, zejména daň z nemovitosti nebo například poplatky za vjezd vozidel do lokality, pokud se tato nemovitost nachází v takto dotčeném území (například centrum města). U plateb za pojištění lze aplikovat stejný princip jako u podpůrné správy budovy z předchozího odstavce, tedy pravidelná revize smluv a průzkum trhu s konkurenčními nabídkami.

Ostatní povinné platby stanovené zákonem nelze prakticky nijak snižovat a je třeba řídit se platnou legislativou.

Náklady na administrativu a řízení

Zahrnují náklady spojené s administrativním řízením provozu budovy, tedy de facto náklady na samotný FM. Patří zde veškeré náklady spojené s funkcí facility manažera, tedy jeho mzdové náklady, náklady na software pro správu budov a další nástroje, kterými zajišťuje plynulý a efektivní provoz. Optimalizace těchto nákladů jako jediná nespadá do kompetence facility manažera, jelikož je ve značném střetu zájmu. Zde je v zájmu jeho nadřízených, aby hlídali efektivitu aplikovaného FM, sledovali klíčové ukazatele, jako například míru úspor na provozu nemovitosti, a v případě potřeby našli jiného kandidáta na pozici facility manažera. Nadřízený může být přímý majitel nemovitosti nebo například manažer developerské firmy, která má danou budovu ve vlastnictví.

2.1.2 Zajištění bezpečnosti uživatelů

Zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví při práci (BOZP) je jedním z klíčových aspektů FM. Pracovní prostředí uživatelů musí být nejen efektivní, ale především bezpečné. Zatímco BOZP uživatelů na nejnižší úrovni (například ochranné pracovní pomůcky, potřebné pauzy, školení se stroji atd) zajišťuje jejich přímý zaměstnavatel, tak jednou z úloh FM je zajištění BOZP na vyšší úrovni v rámci budovy coby pracovního prostředí. Spadá zde implementace a údržba bezpečnostních opatření, jako jsou požární systémy, kamerové systémy, evakuační plány a kontroly přístupu, které minimalizují riziko nehod, úrazů a vniknutí neoprávněných osob.

Instalace a údržba požárních systémů

Pravidelná kontrola a údržba požárních hlásičů, hasicích zařízení, evakuačních plánů a nouzového osvětlení je nezbytná pro rychlou a účinnou reakci v případě požáru. Kromě samotné instalace a údržby je třeba dbát na pravidelná školení, zejména o umístění a používání hasicích zařízení, o poskytování první pomoci a o únikových trasách v případě nutné evakuace.

Bezpečnostní kamerové systémy

Instalace a monitorování vnitřních prostorů zvyšuje bezpečnost uživatelů tím, že umožňuje sledování klíčových oblastí budovy a předcházení nebezpečným situacím,

jako jsou krádeže, vandalismus, nebezpečné jednání uživatelů nebo nehoda v běžně nepřístupném prostoru. [7]

Kontrola přístupu

Systémy pro kontrolu přístupu do budovy, jako jsou elektronické zámky a identifikační karty, zajišťují přístup do budovy pouze oprávněným osobám, čímž se snižuje riziko neautorizovaného vstupu a zvyšuje bezpečnost uživatelů. V případě evakuace lze také využít evidenci přítomných uživatelů v budově ke kontrole počtu evakuovaných osob. [8]

2.1.3 Zajištění komfortu uživatelů

Kvalita vnitřního prostředí má přímý vliv na zdraví a pohodlí uživatelů budovy. FM se zaměřuje na několik aspektů, které ovlivňují kvalitu vnitřní atmosféry a tím i pohodlí spojené s užíváním budovy.

Řízení kvality vzduchu

Zajištění správné ventilace a filtrace vzduchu je klíčové pro udržení čistého a zdravého vnitřního prostředí. To zahrnuje pravidelnou údržbu a sledování klimatizačních systémů, kontrolu a výměnu filtrů a monitorování úrovně CO₂ a dalších parametrů ovlivňujících kvalitu vzduchu.

Optimalizace osvětlení

Správné osvětlení, které napodobuje přirozené světlo, zlepšuje pohodu a produktivitu uživatelů. Zvýšení světelné pohody lze docílit instalací inteligentních osvětlovacích systémů, které přizpůsobují světelné podmínky a teplotu světla podle denní doby, počtu osob v místnosti, využití místnosti a tak dále. [9]

Regulace teploty a vlhkosti

Udržování optimální teploty a vlhkosti v různých částech budovy je klíčové pro pohodlí uživatelů. Ideální hodnoty teploty a vlhkosti závisí zejména na účelu dané místnosti či části budovy a na intenzitě pobývání uživatelů. FM může automaticky regulovat tyto hodnoty pomocí systému vytápění, chlazení a odvlhčování na základě čidel, které hlásí aktuální stav hodnot.

Přístupnost

Přístupnost budovy je třeba zajistit pro všechny případné uživatele, včetně osob se zdravotním postižením nebo omezenou schopností pohybu. FM se zaměřuje na vytvoření a údržbu bezbariérových přístupů, jako jsou rampy, výtahy, široké dveře a přístupné toalety. Důležitou součástí je také jasné orientační značení, které pomáhá všem uživatelům, včetně těch se zrakovým nebo sluchovým postižením, se snadno orientovat v prostoru. Využít lze i moderní technologie, jako jsou navigační aplikace a hlasově ovládané systémy, které dále podporují přístupnost a usnadňují pohyb po budově.

2.1.4 Podpora environmentální udržitelnosti

Udržitelnost a kladný vztah k životnímu prostředí je jedním z nejčastějších cílů a vizí moderních společností. Jelikož budovy jsou jedním z největších spotřebitelů energie a zdrojů, je optimalizace v této oblasti vhodným směrem dosažení stanovených cílů. Moderní FM se proto zaměřuje na implementaci strategií a technologií, které minimalizují ekologický dopad provozu budov. Tento dopad je možné snížit v několika klíčových oblastech.

Snížení spotřeby energie

FM se zaměřuje na zvyšování energetické účinnosti budov prostřednictvím energetických auditů, modernizace systémů vytápění, ventilace a klimatizace a instalace energeticky úsporných zařízení. Také se stále více využívají obnovitelné zdroje energie, jako jsou solární panely nebo tepelná čerpadla, které snižují závislost na fosilních palivech a snižují i potřebu dodávky energie z externích zdrojů.

Úspora vody a hospodaření s odpady

Udržitelné hospodaření s vodou lze docílit například pomocí systémů pro sběr a využití dešťové vody, instalací úsporných sanitárních zařízení a monitorováním spotřeby vody. V případě produkce odpadu v rámci budovy je dalším úkolem FM zajistit, že veškerý odpad je správně třízen, recyklován a že jsou minimalizovány emise z odpadového hospodářství.

Zelené certifikace a udržitelné budovy

Mnoho organizací se snaží získat certifikace, jako jsou LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) nebo BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method), které potvrzují, že jejich budova splňuje přísné environmentální standardy. Držení těchto certifikátů poskytuje jasný důkaz o environmentální odpovědnosti a zlepšuje tak obraz společnosti pro případné zákazníky či zaměstnance. FM hraje zásadní roli při dosahování jednotlivých kritérií těchto certifikací, protože koordinuje implementaci potřebných opatření a sleduje jejich účinnost. [10; 11]

2.2 Aktuální trendy ve Facility Managementu

Facility management je relativně nový obor, a proto se stále dynamicky rozvíjí a přichází do něj nové trendy, zejména z oblasti digitálních technologií. Reaguje tak na zvyšující se požadavky na efektivitu a udržitelnost.

2.2.1 Integrace moderních technologií v FM

Technologie jako Internet věcí, umělá inteligence, big data a cloud computing přinášejí nové možnosti pro optimalizaci provozních procesů, zlepšení efektivity a snížení nákladů.

Internet věcí a chytré budovy

Internet věcí (Internet of Things, IoT) umožňuje propojení různých zařízení a systémů v budově, které mohou sbírat a vyhodnocovat data v reálném čase. Na základě těchto dat pak do značné míry autonomně přizpůsobují provoz budovy, a v případě potřeby je možné manuálně na dálku upravit chod jednotlivých systémů. Tyto zařízení mohou plnit různé funkce a mohou také komunikovat mezi sebou navzájem a optimalizovat tak provoz několika různých systémů, což je vlastnost, kterou se liší od běžných systémů minulé generace a proč jsou v komerčním světě často označovány jako *chytré systémy*. Chytré osvětlovací systémy jsou vybaveny senzory, které detekují přítomnost osob v místnosti a automaticky přizpůsobují úroveň osvětlení. Například světla mohou být nastavena tak, aby se rozsvítila pouze v případě, že je místnost obsazená, a aby se automaticky ztlumila nebo zhasla, když místnost zůstane prázdná. To nejen snižuje spotřebu energie, ale také prodlužuje životnost osvětlovacích těles. Tyto systémy mohou být dále integrovány s venkovními senzory pro přizpůsobení osvětlení dennímu

světlu, čímž se maximalizuje přirozené osvětlení a minimalizuje potřeba umělého světla. Chytré termostaty a HVAC systémy využívají senzory teploty a kvality vzduchu k optimalizaci provozu vzduchotechniky a vytápění v jednotlivých částech budovy. Mohou se automaticky přizpůsobovat aktuálním podmínkám, jako je počet osob v místnosti, vnější teplota nebo předpověď počasí.

Chytré bezpečnostní systémy zahrnují například kamery s rozpoznáváním obličejů, senzory pohybu, systémy pro detekci nebezpečných látek nebo detektory kouře. V případě úniku nebezpečných látek nebo vzniku požáru mohou tyto systémy například spustit poplach, uzavřít protipožární dveře, otevřít dveře únikové trasy a upozornit jednotky integrovaného záchranného systému.

Systémy pro chytrou správu vody umožňují šetřit vodními zdroji pomocí čidel pro detekci úniku vody nebo pomocí měření vlhkosti půdy a spuštění zavlažování pouze v případě potřeby. Umožňují v reálném čase sledovat spotřebu vody v jednotlivých úsecích budovy a upozornit na neobvyklé vzorce spotřeby, což může pomoci včas identifikovat skryté úniky z vodovodních rozvodů. [12]

Umělá inteligence a prediktivní údržba

Umělá inteligence (Artificial Intelligence, AI) se stále více používá ve FM pro analýzu dat a prediktivní údržbu zařízení. AI dokáže na rozdíl od člověka identifikovat vzorce na základě zdánlivě nesouvisajících parametrů a tím předpovídat potenciální problémy dříve, než k nim dojde, což umožňuje provádět údržbu předem a minimalizovat neplánované výpadky. Prediktivní údržba nejen snižuje náklady na opravy, ale také prodlužuje životnost zařízení a zvyšuje jejich spolehlivost.

Mezi nástroje používající se k prediktivní údržbě patří například analýza [TT1] vibrací, zvuková a ultrazvuková analýza nebo infračervená analýza. Různá čidla a měřiče, které tyto analýzy provádějí, dokážou rozpoznat i velmi malé anomálie při provozu analyzovaných zařízení (například HVAC) a poskytnout informaci o potřebné údržbě. [13; 14]

Big data a analýza dat

Sběr a analýza velkého množství dat (big data) je dalším klíčovým trendem ve FM. Data získaná z různých dílčích zdrojů a senzorů v budově lze hromadně analyzovat a využít pro informované rozhodování o provozu a údržbě budovy jako celku.

Například pokud má budova pouze pár teplotních čidel, lze jen těžko odhalovat úniky tepla, zbytečně vytápěné prostory atd. Pokud má teplotní čidlo v každé (nebo alespoň ve většině místnosti), tak si lze vytvořit velmi přesný přehled o teplotním stavu budovy, únicích tepla a lokalizovat konkrétní neefektivní oblasti, které lze optimalizovat a dosáhnout tak snížení nákladů a zlepšení environmentální udržitelnosti. [15]

Cloud computing

Cloud computing umožňuje ukládání dat z různých systémů a zařízení na vzdálených serverech, což usnadňuje přístup k datům a jejich správu odkudkoli. To zjednodušuje správu budov, zejména u velkých a geograficky rozptýlených portfolií, kde je třeba mít přehled o stavu a provozu všech objektů v reálném čase. Facility management tak lze vykonávat i na dálku a není potřeba přítomnost fyzické osoby na spravovaném místě. Vzdálený systém řízení však má i své rizika, zejména u bezpečnostně citlivých systémů, jako jsou správa bank, úřadů nebo jiných objektů s podobným využíváním. Hrozí zde nebezpečí, že citlivá data mohou být při přenosu nebo ukládání na vzdálených serverech vystavena kybernetickým útokům, neoprávněnému přístupu nebo únikům informací. Proto je nezbytné zajistit vysokou úroveň zabezpečení, včetně šifrování dat, silné autentizace a pravidelných auditů zabezpečení, aby se minimalizovala rizika spojená s cloudovým řešením. Zejména u kritické infrastruktury je vhodnější data udržovat pouze lokálně a správu objektu vykonávat na místě.

3 Informační model budovy (BIM)

Národní ústav stavebních věd USA definuje BIM (Building Information Modelling) jako digitální model, který reprezentuje fyzický a funkční objekt s jeho charakteristikami. Slouží jako otevřená databáze informací o objektu pro jeho zrealizování a provoz po dobu jeho užívání. [16]

Jedná se o moderní metodu pro vytváření, správu a sdílení digitálních modelů budov a jejich dat po celou dobu životního cyklu stavby. BIM integruje data o konstrukci, provozu a údržbě budovy, což umožňuje účinnou spolupráci mezi architekty, inženýry, stavebními firmami a facility managementem.

3.1 Úroveň podrobnosti LOD

Úroveň podrobnosti LOD (Level of Detail) je jedním z klíčových konceptů v oblasti BIM, zejména v kontextu využití pro facility management. Tento standard určuje, jak detailní a přesný je model v různých fázích životního cyklu projektu. S rostoucí úrovní LOD se zvyšuje nejen množství, ale i přesnost informací obsažených v modelu. Díky tomu lze modely využívat nejen pro potřeby koncepčního plánování a následného projektování, ale také pro realizaci a správu budov během jejich provozu, což je zásadní v oblasti FM. [17]

3.1.1 Úrovně LOD

LOD je rozděleno do pěti hlavních úrovní. Se zvyšující se úrovní LOD se zvyšuje podrobnost modelu a množství informací, které obsahuje.



Obrázek 2: Schéma podrobnosti úrovní LOD [18]

3.1.1.1 LOD 100

Úroveň LOD 100 je počátečním stádiem BIM modelu, které slouží pro základní návrhy a koncepty projektu. Model na této úrovni obsahuje přibližné umístění klíčových prvků, jako jsou stěny, dveře, podlahy a další základní konstrukční elementy. Tyto prvky jsou prezentovány v jednoduchých geometrických tvarech, které reflektují jejich orientaci a polohu v prostoru. Přestože model není detailní, poskytuje dostatečné informace pro úvodní analýzy, jako je uspořádání prostor, přibližné dispoziční řešení nebo orientační odhady nákladů. Úroveň LOD 100 se rovná architektonické studii.

3.1.1.2 LOD 200

LOD 200 představuje podrobnější fázi BIM modelu, ve které jsou klíčové konstrukční prvky, jako stěny, podlahy, stropy, okna a dveře, již zobrazeny s přesnějším umístěním. Model obsahuje přesnější rozměry a orientaci těchto prvků, což umožňuje základní koordinaci jednotlivých částí projektu. Úroveň LOD 200 je srovnatelná s dokumentací pro územní rozhodnutí.

3.1.1.3 LOD 300

Úroveň LOD 300 obsahuje přesnou geometrii a rozměry jednotlivých prvků modelu, což z něj činí detailní návrhový nástroj. Tato úroveň se využívá při zpracování projektové dokumentace a podrobného návrhu konstrukčních systémů. LOD 300 umožňuje přesnou koordinaci mezi jednotlivými profesemi, což je klíčové pro zajištění kompatibility a odstranění možných kolizí během realizace stavby. Informační detailnost modelu na této úrovni také usnadňuje tvorbu rozpočtů a technických specifikací. LOD 300 je zpravidla využíváno pro schvalovací procesy a tvorbu podkladů pro stavební povolení.

3.1.1.4 LOD 400

LOD 400 poskytuje detailní informace nezbytné pro výrobu a realizaci stavby. Na této úrovni jsou v modelu obsaženy výrobní detaily a montážní prvky, které umožňují přesné zhotovení jednotlivých komponent stavby. Model LOD 400 slouží jako základní nástroj pro řízení výroby, montáže a kontroly průběhu stavby. Detailnost odpovídá potřebám dodavatelů a výrobních firem, které na základě těchto dat realizují specifické prvky stavby. Tato úroveň zajišťuje, že stavební proces probíhá podle plánů a v souladu

s požadavky na kvalitu a přesnost. Jedná se o úroveň používanou pro dokumentaci pro provádění stavby.

3.1.1.5 LOD 500

LOD 500 je nejvyšší úrovní detailnosti, která reflektuje skutečný stav dokončené budovy. Tento model obsahuje přesné informace o všech prvcích, jejich parametrech, umístění a vlastnostech, což z něj činí klíčový nástroj pro správu a údržbu budovy. Tento model zahrnuje také údaje o instalovaných systémech, jejich provozních parametrech a plánu údržby. LOD 500 se používá po dokončení stavby a slouží jako základ pro dlouhodobé plánování, modernizace a optimalizaci provozu budovy. Tato úroveň detailnosti je nezbytná pro efektivní správu nových budov během celého životního cyklu objektu.

3.1.2 Využití LOD ve FM

V oblasti FM je standardně využívána nejvyšší úroveň podrobnosti BIM modelu, tedy LOD 500. Tato úroveň poskytuje detailní informace o skutečném provedení budovy včetně přesného umístění, rozměrů a parametrů všech prvků a systémů. Klíčovou vlastností LOD 500 je možnost do modelu dále doplňovat údaje potřebné pro efektivní řízení FM, například údaje o údržbě, záruční lhůty, technické parametry nebo informace o plánovaných opravách. Nižší úrovně podrobnosti, jako jsou LOD 100 až 400, nejsou zpravidla pro FM příliš žádoucí, protože neposkytují dostatek informací a detailnosti potřebných pro dlouhodobou správu budovy. [19]

Využití BIM modelů ve FM je v současnosti nejčastěji aplikováno u nových staveb projektovaných přímo v BIM. Tyto stavby mají od doby zhotovení k dispozici podrobný BIM model, který je možné rozšířit o další informace a plně integrovat do systémů facility managementu. Naopak u stávajících staveb, které mají pouze klasickou 2D dokumentaci, nebo u objektů bez jakékoli dokumentace (typicky staré stavby), se FM pomocí BIM modelů prakticky neřeší. Důvodem je absence detailních dat potřebných pro vytvoření modelu na úrovni LOD 500.

Pokud je však žádoucí implementovat BIM pro správu stávajících staveb, je nutné zhotovit nový BIM model podle skutečného stavu budovy. Tento proces obvykle zahrnuje použití technologií, jako je laserové skenování, které umožňují přesné zachycení geometrie objektu. Přestože tato metoda poskytuje kvalitní podklady pro tvorbu BIM modelu, není možné dosáhnout vysoké úrovně podrobnosti LOD 500, protože

některé informace, například přesné skladby konstrukcí, trasy rozvodů nebo detaily systémů, nejsou dostupné. V těchto případech je vhodné volit nižší úroveň podrobnosti, typicky v rozsahu LOD 100 až LOD 300, která odpovídá dostupným datům a možnostem. Tento přístup znamená, že BIM model vytvořený pro starší stavby není tak detailní jako u nových projektů, což může omezovat některé aspekty řízení FM. Nicméně i model na nižší úrovni podrobnosti může významně přispět ke zlepšení správy budovy, zejména pokud se postupně doplňuje o relevantní informace během provozu a údržby objektu. Tímto způsobem je možné alespoň částečně implementovat principy moderního facility managementu i u staveb, které původně nebyly projektovány v BIM. [20]

3.2 Tvorba BIM modelu z laserového skenu

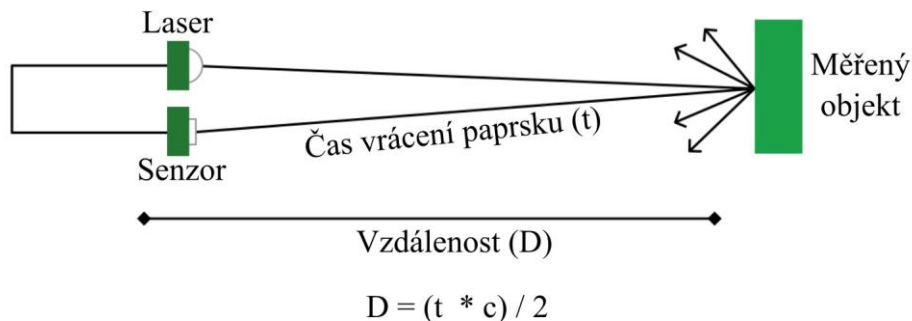
Tvorba BIM modelu z laser skenu je jedním z nejefektivnějších způsobů, jak zachytit skutečný stav existujících budov a vytvořit digitální podklad pro jejich správu, rekonstrukci nebo modernizaci. Tato metoda umožňuje přesnou a rychlou digitalizaci objektů v podobě tzv. mračna bodů, které následně slouží jako základ pro tvorbu BIM modelu. Proces zahrnuje využití technologií skenování, zpracování nasbíraných dat a jejich následné konverze do formátu, který je kompatibilní se softwary umožňujícími vytvářet BIM model.

3.2.1 Technologie laserového skenování ve stavebnictví

3D skenování pomocí laseru je proces analýzy reálného objektu nebo prostředí za účelem získání trojrozměrných dat o jeho tvaru a případně i vzhledu, jako je barva. Tato data lze následně využít k vytvoření digitálních 3D modelů.

Nejpoužívanější technologií laserového skenování ve stavebnictví je LiDaR (Light Detection and Ranging). LiDAR funguje na principu měření vzdáleností pomocí laserových pulzů. Laser vysílá laserový paprsek směrem k měřenému objektu. Po dopadu na povrch se paprsek odrazí zpět k zařízení, které měří dobu, za kterou se světlo vrátí. Tento časový údaj je přepočítán na vzdálenost mezi skenerem a bodem na povrchu objektu. Tímto způsobem se postupně sbírají miliony bodů, které vytvářejí velmi přesné a detailní mračno bodů. LiDAR samotný nepracuje s barvou povrchu, protože se primárně zaměřuje na měření vzdáleností a vytváření mračna bodů založeného na geometrii. Informace o barvě povrchu však může být integrována do dat LiDARu pomocí dodatečných senzorů, obvykle RGB kamer, které jsou často součástí moderních LiDAR

systemů. Každý bod v mračnu bodů získaném LiDARem má svou přesnou trojrozměrnou polohu (x, y, z). Pomocí softwaru se tyto body propojí s odpovídajícími body na barevném obrazu pořízeném kamerou. [21]



Obrázek 3: Schéma fungování technologie LiDAR [21]

3.2.1.1 Typy LiDAR skenerů

Technologie LiDAR je využívána na několika typech skenerů, které se liší zejména vhodností použití pro jednotlivé případy.

Stacionární skener

Stacionární skenery s technologií LiDAR jsou jedním z nejpresnějších nástrojů pro skenování. Tyto skenery jsou pevně umístěny na stativu (tripodu) a z jedné pozice skenují okolí pomocí rotující hlavy, která pokrývá rozsah 360 stupňů horizontálně a obvykle až 270 stupňů vertikálně. Díky tomu jsou schopny velmi detailně zachytit geometrii objektů v okolí s přesností v řádu nízkých jednotek milimetrů. Přesnost a kvalita skenu se snižuje se vzdáleností skenovaného objektu, běžně lze dosáhnout vysokou přesnost na vzdálenost až několika desítek metrů. Vzhledem ke stacionárnímu umístění skeneru je nutné ho několikrát přemístit a provést sken z jiného bodu, aby se dosáhlo pokrytí všech míst, která zpravidla nejsou vždy viditelná z jednoho bodu. Pro spojení jednotlivých skenů je nutné použití referenčních bodů umístění nebo překryvných oblastí, což může zvýšit časovou náročnost. Stacionární skenery se používají zejména pro skenování interiérů budov. Lze je využít i skenování exteriérů, ale pouze pokud není příliš geometricky složitý (například zdobené fasády) nebo pokud se nejedná o výškovou budovu. [22]



Obrázek 4: Stacionární laserový skener [23]

Ruční skener

Ruční skenery s technologií LiDAR jsou kompaktní a přenosná zařízení, která nabízejí vysokou flexibilitu při skenování menších prostor nebo specifických detailů staveb. Díky své nízké hmotnosti a jednoduché manipulaci jsou ideální pro rychlé zaměření tam, kde není praktické použít větší a těžší zařízení, například ve stísněných prostorech. Jsou oblíbené také při práci na menších projektech, kde je potřeba zachytit detaily, aniž by bylo nutné nastavovat složité statické systémy. Přestože jejich přesnost není tak vysoká jako u stacionárních skenerů, ruční skenery poskytují dostatečně detailní data pro mnoho stavebních aplikací, zejména tam, kde je důležitá rychlost a operativnost. Jako levná, ale méně přesná alternativa profesionálního ručního skeneru může posloužit i mobilní telefon. Některé chytré telefony či tablety vyšší třídy dnes disponují LiDAR senzory a mohou sloužit pro pohotovové a rychlé skenování dle potřeby.



Obrázek 5: Ruční laserový skener [24]

Skener na dronu

Drony vybavené LiDAR skenerem představují efektivní nástroj pro skenování obtížně přístupných oblastí a rozsáhlých venkovních prostor. Tato technologie je obzvláště užitečná při práci v exteriéru, například na velkých staveništích, při mapování terénu nebo při digitalizaci složitých fasád a střech budov. Díky schopnosti létat nad terénem a objekty dokáže dron s LiDARem rychle pokrýt velké plochy, což výrazně urychluje sběr dat a snižuje potřebu manuálního měření. Mezi typické aplikace patří sledování postupu výstavby, kontrola stavu infrastruktury nebo vytváření přesných digitálních modelů terénu. Mezi hlavní omezení skenování z dronu patří vyšší pořizovací náklady, vyšší odbornost operátora a nutnost dobrých povětrnostních podmínek, jako je nízký vítr a absence srážek. [25]



Obrázek 6: Laserový sken na dronu [26]

Mobilní skener

Mobilní skenery s technologií LiDAR představují efektivní nástroj pro rychlé skenování velkých prostor během pohybu. Tyto systémy jsou často integrované na vozidlech nebo přenosných zařízeních a umožňují dynamické sbírání dat bez nutnosti zastavování. Tato schopnost činí mobilní skenery ideální volbou pro projekty, které vyžadují pokrytí rozsáhlých oblastí, jako je mapování infrastruktury, silnic, mostů nebo urbanistických celků. Mobilní skenery vynikají svou rychlostí, díky níž mohou během krátké doby zaznamenat velké množství informací. Vyšší rychlost při sběru informací se odráží ve snížené přesnosti oproti stacionárním systémům, přesto jsou jejich data dostatečně detailní pro většinu aplikací spojených s plánováním a správou infrastruktury. Správné použití vyžaduje kvalitní připojení GPS pro přesné určení polohy skenovaných bodů, což může být omezené v hustě zastavěných městských oblastech nebo tunelech. [27]



Obrázek 7: Mobilní laserový skener na autě [28]

3.2.2 Tvorba modelu z laserového skenu

Tvorba modelu z laserového skenu je proces, který zahrnuje převod dat nasbíraných laserovým skenerem do digitální podoby vhodné pro další analýzy a modelování. Tento postup je klíčový při využívání technologie LiDAR pro stavební aplikace, protože umožňuje transformovat reálný stav objektu nebo prostoru do přesného a využitelného digitálního formátu.

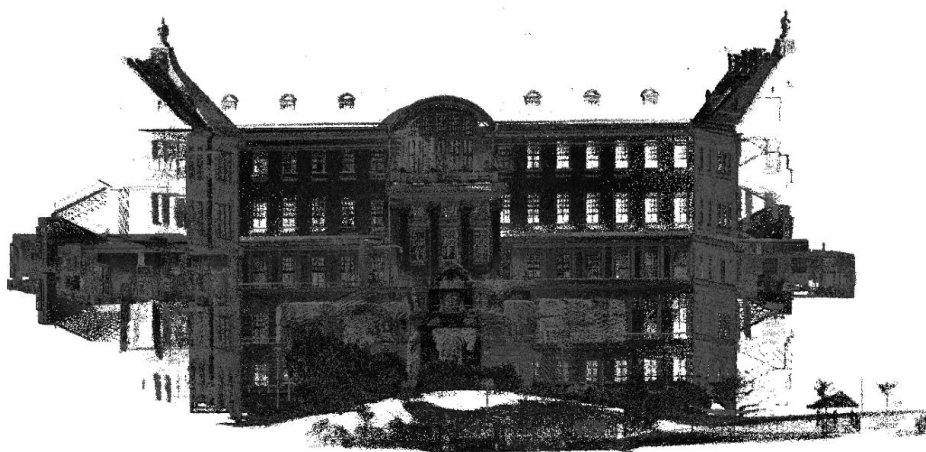
3.2.2.1 Zpracování dat ze skeneru

Prvním krokem je převod nasbíraných dat do podoby tzv. mračna bodů. Laserový skener zaznamenává miliony jednotlivých bodů, které reprezentují povrch objektů v prostoru. Tato data jsou zpracována do mračna bodů, což je trojrozměrný digitální obraz složený z jednotlivých bodů, které obsahují informace o poloze (x , y , z) a případně i barvě odraženého laserového paprsku. Kvalita mračna bodů závisí na přesnosti skeneru, podmínkách skenování a zvoleném rozlišení. Při skenování větších objektů nebo prostor je často nutné provádět skenování z více stanovišť. Každý jednotlivý sken je poté třeba koordinovat a spojit do jednoho celistvého mračna bodů. To se provádí pomocí referenčních bodů, které jsou pevně umístěny v prostoru a slouží jako orientační body při spojování dat. Alternativně lze využít překryvné oblasti mezi jednotlivými skeny, kde odpovídající body identické v napojovaných skenech překryjí a tím se skeny spojí. Tento proces je klíčový pro zajištění přesnosti výsledného mračna bodů a jeho správné geometrie. I malé odchylky a nepřesnosti při spojování jednotlivých skenů se budou kumulovat a povedou k větším nepřesnostem ve finálním modelu.

Při práci s mračny bodů je třeba brát v úvahu velikost mračna. Jedná se o rozsáhlé a na výpočetní výkon náročné soubory, a proto je vhodné vytvořit více dílčích mračen

místo jednoho velkého mračna. Jednotlivá mračna musí mít správně nastavený koordinační systém, který zaručí, že při vložení více dílčích mračen do jednoho souboru budou vzájemně správně umístěna.

Pro zpracování mračna bodů je potřeba zvolit vhodný software. Mezi často používané softwary patří například *Autodesk ReCap*, *FARO Scene* nebo *Bentley Pointools*, které umožňují nejen zpracování mračna bodů, ale také jeho úpravu, filtrování a export do formátů kompatibilních s BIM modelovacími nástroji.



Obrázek 8: Ukázka mračna bodů [zdroj: vlastní]

3.2.2.2 Modelování na základě laser skenu

Prvním krokem je import mračna bodů, které bylo vytvořeno z dat nasbíraných laserovým skenerem. Mračno bodů se typicky ukládá ve formátech, jako je *.e57*, *.rcp* nebo *.las*, což jsou standardy pro přenos velkých objemů 3D dat. Vzhledem k hardwarové náročnosti práce s mračny bodů i samotného modelování je vhodné vždy vkládat pouze ta dílčí mračna, která budou zrovna potřeba pro modelování.

Samotné modelování na základě mračna bodů představuje zásadně odlišný přístup oproti klasickému modelování, které se obvykle řídí teoretickými hodnotami a ideálními geometrickými parametry. Zatímco při klasickém modelování se konstrukce často navrhuje s pravými úhly, dokonale rovnými plochami a modulovými vzdálenostmi, modelování z mračna bodů musí respektovat skutečný stav objektu, který se od těchto ideálních parametrů často významně liší. Tato odchylka od ideálu klade na modeláře nové požadavky. Modelování z mračna bodů není procesem, kde by bylo možné aplikovat běžné koncepční přístupy, jako je nastavování modulových rozměrů nebo snaha o standardizaci geometrie. Místo toho je nutné věnovat pozornost tomu, aby model

co nejméně reflektoval realitu. Tento přístup je zásadní zejména u projektů, kde jsou odchylky od teoretických hodnot kritické, například při rekonstrukcích historických budov, analýzách nosných konstrukcí nebo při přípravě dokumentace skutečného provedení stavby.

3.3 Využití BIM ve facility managementu

Využití technologie BIM v oblasti FM představuje zásadní posun v efektivitě a kvalitě správy budov. BIM umožňuje integrovat detailní informace o budově do jednoho digitálního modelu, který slouží jako centrální databáze všech relevantních dat. Toto usnadňuje a zpřehledňuje správu budovy, jelikož se všechny informace nachází na jednom centrálním modelu, který zvyšuje přehlednost pomocí vizuálního zobrazení budovy ve 3D.

3.3.1 BIM ve FM u nově stavěných budov

U nově stavěných budov, které byly navrženy v BIM, je přechod na správu pomocí BIM modelu výrazně jednodušší. Již během projektování a výstavby vzniká podrobný digitální model budovy, který obsahuje veškeré informace o konstrukcích, technologiích a materiálech. Po dokončení stavby je k dispozici model o úrovni podrobnosti LOD 400 nebo LOD 500. Tento model lze snadno integrovat do systému facility managementu a dále obohacovat o provozní data, například záznamy o údržbě, energetické spotřebě nebo záruční doby jednotlivých zařízení.

V případě, že nová stavba nebyla projektována pomocí BIM, ale podle tradiční 2D dokumentace, je možné tuto dokumentaci převést do 3D BIM modelu. Tento proces však bude časově náročný a bude vyžadovat kvalitně zpracovanou dokumentaci skutečného provedení stavby. Proto je vhodné už ve fázi projektování myslet na celý životní cyklus stavby a pokud bude potřeba ve fázi užívání spravovat budovu s pomocí BIM modelu, tak se vyplatí již projektovat pomocí BIM.

3.3.2 BIM ve FM u existujících staveb

Zavedení technologie BIM u starších budov, které nebyly projektovány v BIM a často disponují pouze omezenou dokumentací, představuje značnou výzvu. Tyto objekty mohou mít pouze základní 2D dokumentaci, která navíc nemusí odpovídat skutečnému stavu, nebo mohou být dokonce zcela bez dokumentace. Tato situace je typická

pro historické budovy nebo stavby, u nichž se původní projektová dokumentace ztratila, nebo byla provedena řada úprav a rekonstrukcí bez aktualizace výkresů.

Pro implementaci BIM ve facility managementu u těchto budov je nutné vytvořit nový BIM model, který reflektuje jejich skutečný stav. K tomuto účelu se nejčastěji využívá technologie laserového skenování, která umožňuje přesné a rychlé zachycení geometrie budovy v podobě mračna bodů. Tento proces zachycuje nejen hlavní konstrukční prvky, ale také detaily, například vybavení a technické systémy, pokud jsou viditelné. Mračno bodů pak slouží jako základ pro tvorbu BIM modelu.

Nově vytvořený BIM model těchto budov má obvykle nižší úroveň podrobnosti (LOD 100 až LOD 300). Důvodem je omezený přístup k některým informacím, například o trasách rozvodů, skladbách konstrukcí nebo skrytých technologiích, které nelze bez destruktivního průzkumu zjistit. Takový model však stále poskytuje dostatečný přehled o geometrii a základních vlastnostech budovy, což umožňuje efektivní plánování údržby a oprav. Přestože jsou vytvořené BIM modely starších budov méně podrobné než modely u novostaveb, mají významný přínos. Poskytují jednotnou platformu pro evidenci technických údajů, plánování údržby a záznam provedených oprav. Umožňují také lépe pochopit reálný stav objektu a efektivněji rozhodovat o prioritách v údržbě. [29]

3.3.2.1 Sydney Opera House

Použití BIM pro správu existujících je stále spíše výjimečné z důvodu vysoké časové náročnosti tvorby modelu. Jedním z mála úspěšných příkladů z praxe je projekt Sydney Opera House.



Obrázek 9: Sydney Opera House [30]

Tato ikonická stavba, navržená již v roce 1957 s použitím ručně zpracované dokumentace, byla v roce 2013 kompletně digitalizována pomocí laserového skenování. Výsledkem byl detailní BIM model, který zahrnuje prostorové i technické informace o složitých systémech budovy. Tento model je nyní využíván pro správu, údržbu a plánování modernizací objektu. Tento projekt ukazuje, že i přes absenci BIM modelu je možno tento model vytvořit a použít pro efektivní správu staveb, zejména tam, kde je nutné zajistit dlouhodobou stabilitu provozu. [31; 32]

Jelikož se jedná o stavbu světových rozměrů s velmi vysokou složitostí, byl i vytvořený model velmi složitý a podrobný. Tento projekt byl inspirací pro analýzu v praktické části této práce, kde jsem se zaměřil na podobnou problematiku – využití BIM modelu pro facility management u existujících staveb bez projektové dokumentace, avšak na stavbě mnohem menších rozměrů, a tedy i v menší úrovni podrobnosti.

3.3.3 Doplnění dat do BIM modelu

Pro efektivní využití BIM modelu v rámci facility managementu je potřeba zejména aktuálnost a komplexnost dat, které obsahuje. Samotný model vytvořený během návrhu nebo laserového skenování obsahuje především geometrická data a základní informace o konstrukčních prvcích. Aby se model stal užitečným nástrojem pro správu budovy, je nutné jej doplnit o provozní a technické informace, které umožní efektivní plánování údržby, sledování životního cyklu zařízení a optimalizaci provozních nákladů.

Proces sběru a doplňování dat zahrnuje získávání informací o všech technických systémech a zařízeních v budově. To zahrnuje například údaje o systémech vzduchotechniky, elektrických instalacích, vodovodních a kanalizačních systémech, výtazích, požárních systémech, technologiích osvětlení a provozní informace. Každé zařízení by mělo být v modelu propojeno s detailními informacemi, jako jsou jeho technické parametry, výrobce, datum instalace, plánovaná životnost, záruční doma a historie a plán údržby.

Další důležitou částí je průběžné aktualizování modelu, aby odrážel změny, ke kterým v budově dochází. To zahrnuje například výměnu zařízení, přestavby nebo změny provozních podmínek. Tyto měny by měly být zaznamenávány nejen pro zachování přesnosti modelu a kontinuální efektivitu správy budovy. Bez pravidelné aktualizace může model rychle ztratit svou užitečnost a stát se zastaralým.

Sběr a doplňování informací do BIM modelu je kontinuální proces, který vyžaduje organizaci a spolupráci mezi technickým personálem a správci budov. Výsledkem je komplexní digitální model, který se stává vhodným nástrojem pro moderní správu budov, zvyšuje jejich provozní efektivitu a přispívá ke snížení dlouhodobých nákladů.

3.3.4 Integrace BIM s FM softwary

Po vytvoření BIM modelu a prvotním doplnění dat ve stavebním modelovacím programu, jako je *Autodesk Revit* nebo *ArchiCAD*, přichází klíčová fáze přenosu tohoto modelu do specializovaného FM softwaru. Stavební modelovací nástroje jsou primárně určeny pro návrh a projektování budov, a i když umožňují zaznamenávat provozní data, jejich prostředí není vždy ideální pro každodenní správu a údržbu budovy. FM software naopak poskytuje prostředí přizpůsobené potřebám správců budov, což usnadňuje práci s daty a jejich využití pro plánování a provoz.

Převod BIM modelu do FM softwaru zahrnuje export modelu ve standardizovaném formátu, například *IFC* (Industry Foundation Classes) nebo *COBie* (Construction-Operations Building Information Exchange), které zajišťují přenos geometrických i informačních dat, jako jsou informace o technických systémech, záručních lhůtách, historii údržby nebo provozních parametrech jednotlivých zařízení.

FM software je navržen tak, aby byl uživatelsky přívětivý a snadno ovladatelný i pro uživatele bez pokročilých znalostí stavebního modelování. Model budovy v FM softwaru je propojen s intuitivním uživatelským rozhraním, které umožňuje správci snadno vyhledávat informace o konkrétních prvcích, přidávat nové záznamy nebo aktualizovat stávající data. Například pokud dojde k výměně zařízení, správce může snadno aktualizovat záznamy o novém zařízení, včetně jeho parametrů, záruční doby a plánovaných revizí.

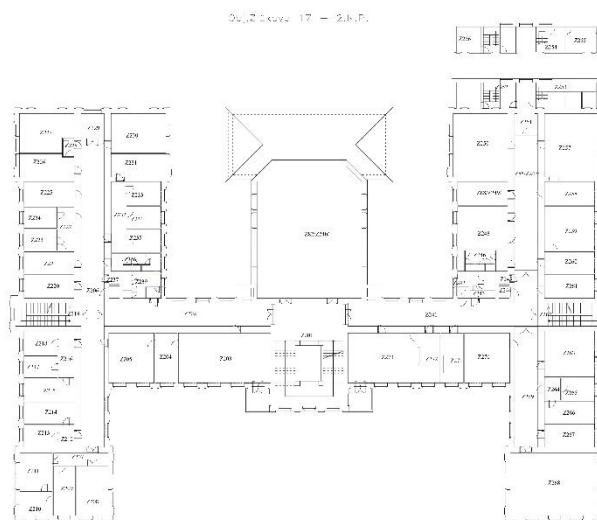
Jednou z hlavních výhod FM softwaru je jeho schopnost propojit BIM model s ostatními moduly facility managementu, což zahrnuje například plánování investic, plánování revizí, energetický management nebo krizový management, což by bylo v modelovacím softwaru obtížně dosažitelné. Integrace BIM modelu s FM softwary tak představuje klíčový krok k moderní správě budov, která je založená na přesných a aktuálních datech. Tento proces zajišťuje, že BIM model nezůstane statickým nástrojem, ale stává se dynamickou součástí dlouhodobé správy budovy, která podporuje její udržitelnost, efektivitu a provozní spolehlivost. [33]

4 Analýza využitelnosti nižších úrovní podrobnosti BIM modelu pro účely FM u staveb bez existující dokumentace

4.1 Předmět analýzy

Předmětem praktické části je zhodnocení a porovnání nižších úrovní podrobnosti (LOD) při tvorbě 3D modelu stávající budovy pro účely FM. Jednotlivé úrovně budou vzájemně porovnány z hlediska nákladů a přínosů. Náklady činí zejména časová náročnost sběru dat, modelování a úprava modelu pro vhodné potřeby FM. Přínosy budou porovnány podle možností využitelnosti v rámci FM.

Pro tuto analýzu byla vybrána budova Fakulty stavební VUT na ulici Žižkova (dále jen Budova Z). Budova Z byla postavena v desátých letech dvacátého století a výuka zde probíhá od roku 1920. K budově je k dispozici pouze jednoduchá dokumentace, která pravděpodobně vychází ze starých plánů a ručního měření, není tedy jasné, do jaké míry odpovídá skutečnému stavu.

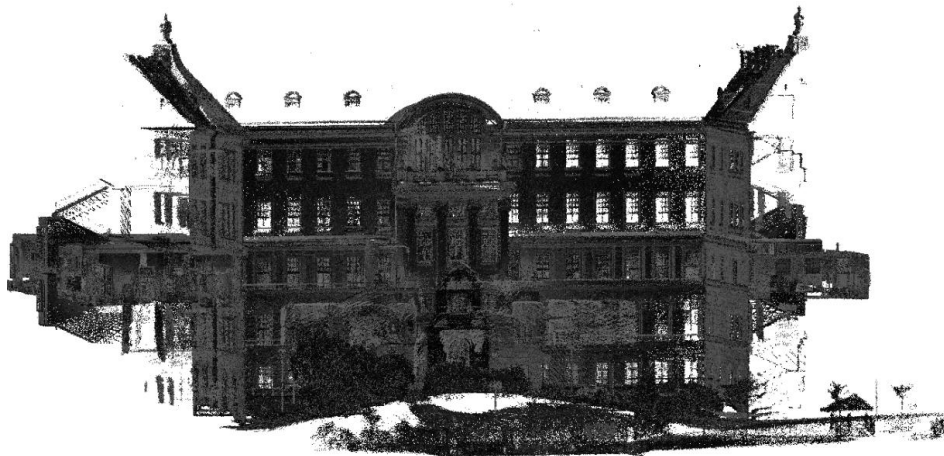


Obrázek 10: Jednoduchá dokumentace budovy Z nejasné přesnosti [zdroj: vlastní]

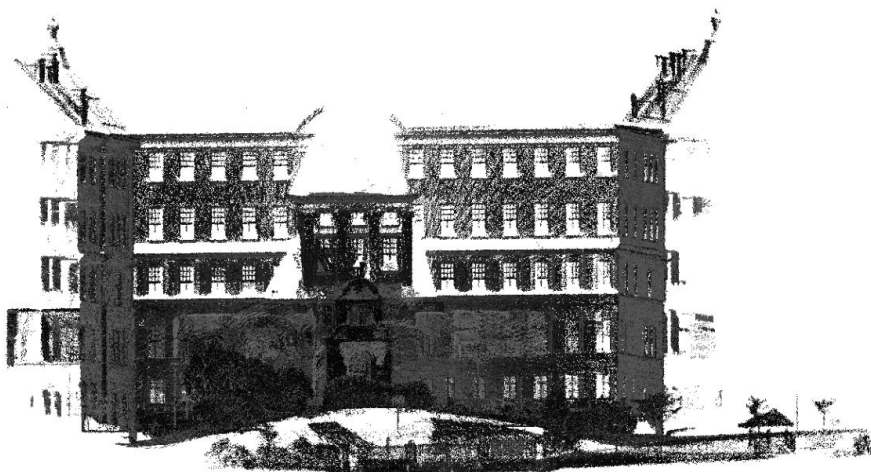
Znalost celkového stavu budovy a současný facility management je na nízké úrovni, zároveň je ze strany VUT snaha nastavit funkční FM i u nezdokumentovaných budov. Jedná se tedy o ideální volbu pro prozkoumání náročnosti tvorby a možností, které jednotlivé nižší úrovně podrobnosti BIM modelu přinesou.

4.2 Popis procesu

Budova Z byla v červenci 2023 přibližně z jedné čtvrtiny naskenována laserovým skenerem. Ke skenování byl použit skener GeoSLAM ZEB Horizon V1. Jednotlivé skeny byly následně převedeny do několika souborů mračen bodů podle výškové úrovně skenů a umístění v budově. Jednotlivá mračna byla koordinována v programu *Autodesk Autocad*. Budova byla skenována za účelem zjištění přesné geometrie některých částí budovy pro účely rekonstrukce (například prostor teras kvůli zatékání). V budoucnu je plánováno naskenovat i zbylé části budovy, doteď pro to však nebyl důvod. Skenování provedl pan Ing. Jak Müller, Ph.D., který mi ochotně poskytl výsledná data pro zpracování této analýzy.



Obrázek 11: Ukázka celého mračna bodů budovy Z [zdroj: vlastní]



Obrázek 12: Ukázka jednoho souboru mračna bodů budovy Z [zdroj: vlastní]

Pro účely modelování jsem mračna převedl do programu *Autodesk Revit*, provedl jsem potřebnou koordinaci a napojení jednotlivých skenů na sebe a dále jsem v tomto programu prováděl samotné modelování a nastavování parametrů. Jelikož cílem práce není vytvořit kompletní model, ale pouze porovnat časovou náročnost a možnosti využití jednotlivých LOD ve FM, není třeba modelovat celou budovu ve všech stupních podrobnosti (realisticky by to ani nebylo možné, jelikož poskytnutý laserový sken obsahuje pouze cca 25 % budovy). Proto jsem v LOD 100 zvolil rozsah levého křídla budovy ve 2NP a v LOD 300 jsem zvolil pouze místnost Z248. Tyto dvě části by měly na zpracování zabrat přibližně stejné množství času a lze je tedy mezi sebou porovnat. Cílem je analyzovat jednotlivé úrovně podrobnosti s dostatečnými rozdíly, proto nebyl stupeň podrobnosti LOD 200 řešen, jelikož se jeho náročnost a možnost použití dost překrývá s řešenými LOD 100 a LOD 300.

Vyšší úrovně podrobnosti LOD 400 a LOD 500 nelze u stávajících staveb bez existující dokumentace skutečného provedení stavby realisticky provést, bylo by pro ně třeba zajistit velmi podrobné a částečně destruktivní sondy (pro skladbu konstrukcí, umístění rozvodů atd), proto tyto vyšší úrovně podrobnosti nejsou součástí této analýzy

Před zahájením prací jsem vytvořil tabulku, ve které jsem shrnul poznatky o podrobnosti jednotlivých LOD z více zdrojů. V tabulce jsou vypsány jednotlivé stavební a zařizovací konstrukce, které se v analyzované budově nachází. Pro poskytnutí komplexního přehledu v případě budoucí zpracování celé budovy jsem zahrnul i komponenty, které se v mnou analyzované části budovy sice nenachází, ale ve zbytku budovy bezpochyby ano. U každé komponenty je stručně popsáno, jak detailně by měla být modelována a jaké dodatečné informace by měla obsahovat. Tabulka obsahuje popis úrovní LOD 100 a LOD 300, které jsou dále řešeny v této analýze, a také nejvyšší úroveň LOD 500, která je zde pro srovnání a demonstraci, že zpracovat model v této úrovni u existující stavby bez řádné dokumentace je prakticky neproveditelné.

Tabulka 1: Detailnost jednotlivých komponent v úrovních LOD

Detailnost jednotlivých komponent v úrovních LOD			
Komponenta	LOD 100	LOD 300	LOD 500
Podlahy	Základní obrys a výškové úrovně	Geometrie, povrch, stav	Přesná geometrie, materiál vrstev, povrchové úpravy, dilatační spáry, stav, datum instalace, předpokládaná životnost
Stropy	Základní obrys a výškové úrovně	Geometrie, povrch, stav	Přesná geometrie, materiál vrstev, povrchové úpravy, dilatační spáry, stav, datum instalace, předpokládaná životnost
Stěny	Hrubé umístění, hrubá tloušťka, výška	Geometrie, povrchová úprava, stav	Přesná geometrie, konstrukční detaily, vrstvy, povrchová úprava, datum instalace, předpokládaná životnost
Dveře	Hrubé umístění a hrubá velikost	Geometrie, přesné rozměry, stav	Přesná geometrie, materiál, zámky, kování, těsnění, panty, funkce, povrchová úprava, datum instalace, předpokládaná životnost
Okna	Hrubé umístění a velikost	Detailní geometrie, materiály, stav	Přesná geometrie, rámy, zasklení, otvírání, těsnění, kování, povrchová úprava, datum instalace, předpokládaná životnost
Schodiště	Hrubé umístění, počet schodů	Detailní geometrie, zábradlí, stav	Přesná geometrie, materiál, detaily stupnic, madla, zábradlí, podstupnice
Výtah	Pouze výtahová šachta	Přesné umístění a velikost, kapacita, výtahové dveře	Přesná geometrie, materiál, datum instalace, revize
Zařízení a nábytek	Pouze sociální zařízení	Základní geometrie a umístění, stav	Přesná geometrie, materiál, uspořádání, stav, datum instalace, povrchová úprava, datum instalace, předpokládaná životnost
Instalace (rozvody)	Neuvedeno	Neuvedeno	Přesná geometrie, materiál, umístění vedení, revize
Podhledy	Neuvedeno, sloučeno se stropem	Geometrie, stav	Přesná geometrie, materiál, povrchové úpravy, upevnění, přístupové otvory
Střešní konstrukce	Základní obrys	Geometrie, nosné prvky, stav	Přesná geometrie, materiál vrstev, detaily spojů, hydroizolace, tepelná izolace
Klempířské prvky	Neuvedeno	Základní umístění, stav	Přesná geometrie, materiály, spoje, upevnění
Komíny	Hrubé umístění	Geometrie, stav	Přesná geometrie, materiály, detaily spojů, povrchové úpravy, revize
Základy	Neuvedeno	Předpokládaný základní obrys a hloubka	Přesná geometrie, materiály, detaily spojů, hydroizolace

[zdroj: vlastní]

Laserové skenování bylo provedeno kvalitně, avšak neposkytlo veškerá potřebná data, zejména pro řešenou úroveň LOD 300. Z tohoto důvodu bylo v dotčených místnostech provedeno místní šetření a ruční doměrování.

4.3 LOD 100

Úroveň podrobnosti LOD 100 je nejnížší používaná úroveň. Při tvorbě nových projektů se používá zejména v koncepční fázi návrhu, jelikož je geometricky i informačně nejjednodušší a tím pádem i časově nenáročná. Při modelování stávající budovy pro účely facility managementu může být úroveň LOD 100 využívána jinak – zajišťuje základní přehled o budově, umožňuje orientaci v prostoru a poskytuje rámcový pohled na dispoziční řešení, ale detaily, geometrická přesnost a informační obsah nejsou v tomto stupni podrobnosti klíčové. Tento model může ve FM sloužit spíše jako výchozí bod pro další detailnější analýzy a revize, najde však i reálné využití. Vzhledem k malé podrobnosti LOD 100 jej lze využít například pouze pro hrubé plánování kapacit budovy nebo plánování únikových tras a shromaždišť.

4.3.1 Popis rozsahu

Pro modelování v LOD 100 jsem vybral levé křídlo (označováno jako Z1) druhého nadzemního podlaží budovy Z. V těchto prostorách se nachází Ústav matematiky a deskriptivní geometrie. Většinu místností tvoří pracovny učitelů, dále se zde nachází jedna učebna, pracovna doktorandů a asistentů, zasedací místnost, sociální zařízení, výtah a schodiště.

4.3.2 Popis procesu tvorby 3D modelu

4.3.2.1 Výběr potřebných souborů mračen bodů

Po laserovém skenování budovy Z byly jednotlivé skeny sloučeny do několik souborů podle lokality v budově a výškové úrovně skenů. Toto řešení bylo zvoleno z důvodů vysoké hardwarové náročnosti při práci s mračnem bodů, v případě sloučení všech skenů do jednoho souboru by při následné práci s nimi hrozily technické problémy a softwarové chyby, zejména při práci na běžně dostupných osobních počítačích. Proto jsem před samotným modelováním jednotlivá mračna bodů prozkoumal a zjistil, které soubory obsahují tu část budovy, které se zrovna budu věnovat a s těmi pracoval dál. Zbylé soubory mračen se zaměřením jiných částí a jiných pater neobsahovaly potřebná data

a bylo tedy zbytečné je vkládat do koordinačního souboru a zatěžovat si tak hardware a zpomalovat práci.

4.3.2.2 Tvorba a úprava rodin

Jako šablonu Revit projektu jsem zvolil generickou stavební šablonu obsahující základní rodiny jednotlivých komponentů. Tyto předvytvořené rodiny jsou více podrobné, než je pro účely LOD 100 potřebné a chtěné, proto jsem je zjednodušil.

Stěna a podlaha

V této úrovni podrobnosti jsem podlahu a strop včetně případných podhledů modeloval celistvou prostou deskou, proto jsou tyto dva typy konstrukcí spojené v jednu (podlaha). Proces při úpravě rodin pro stěny a podlahy byl téměř identický, zejména jsem musel odstranit detailní rozdělení vrstev a nahradil je jednou vrstvou s obecným názvem *stavební konstrukce*. V takto upravených rodinách jsem vytvořil několik typů, které se lišily pouze v tloušťce, které se ve vybrané oblasti budovy nachází. Rodina pro stěny má vytvořené typy *Stěna 100*; *Stěna 200*; *Stěna 600*, *Stěna 800* a *Stěna 1000*. Rodina podlahy má pouze jeden typ *Podlaha 500*.

Dveře a okna

Rodiny pro výplně otvorů jsem rovněž převzal ze základní stavební šablony a dále je zjednodušil pro úroveň LOD 100. Zde jsem upravil jmenovitou šířku a výšku jednotlivých výplní na hrubý (skladebný) rozměr a odstranil nepotřebné detaily jako přesah parapetu, umístění prahu a podobně. Vnitřní struktura oken byla ponechána jednoduchá (jedno plné křídlo), přestože ve skutečnosti se zde nachází dvoukřídlá okna se světlíkem s příčlemi. Stejně tak výplň dveřního křídla byla ponechána jednoduchá plná, oproti částečně skleněné výplni, která se nachází na místě, ale zde byly rozlišeny jednokřídlé a dvoukřídlé dveře. Podrobnější úroveň detailu výplní bude řešena až ve vyšší úrovni podrobnosti.

Celkem se v této části budovy nachází tři typy oken a pět typů dveří. Rodina oken má vytvořené podtypy *Okno 1500x3000*; *Okno 2000x3000* a *Okno 1500x4000*. Rodina jednokřídlých dveří má typy *Dveře 700x2100*, *Dveře 800x2100* a *Dveře 900x2100*. Rodina dvoukřídlých dveří má typy *Dveře 1200x2300* a *Dveře 1500x2300*.

Schodiště

Hlavní schodiště v budově i přidružené schodiště v levém křídle jsem modeloval s použitím výchozí rodiny ve stavební šabloně pro monoliticky lité schodiště. Pouze jsem upravil obsaženou rodinu pro konstrukci ramene, u které jsem upravil tloušťku ramene dle skutečnosti. Další konstrukční parametry, jako je počet stupňů, šířka stupnice nebo šířka ramena se nastavuje až v jednotlivých instancích a není tedy třeba pro dvě geometricky odlišné rodiny tvořit různé typy. Rodina pro schodiště tedy obsahuje pouze jeden typ *Schodiště 120*.

Sanitární vybavení

V této úrovni podrobnosti jsem nemodeloval žádné vybavení a zařízení budovy, pouze jsem umístil sanitární vybavení na toaletách. Z volně dostupných online repositářů jsem stáhnul rodiny pro sociální zařízení, tyto rodiny jsem upravil a zjednodušil pro účely LOD 100. Tato kategorie obsahuje tři rodiny pro jednotlivá zařízení: *Klozet*, *Pisoár* a *Umyvadlo*.

4.3.2.3 Modelování konstrukcí

Po založení a úpravě potřebných rodin jsem mohl začít se samotným modelováním budovy. Do koordinačního souboru jsem vložil potřebná mračna bodů identifikovaných v kapitole 4.3.2.1 a systematicky postupoval s vynášením konstrukcí. Postupoval jsem v pořadí obvodové stěny, podlaha a strop, vnitřní nosné stěny, vnitřní nenosné stěny, okna, dveře, schodiště, vybavení (sanita).

Vynášení všech stěn probíhalo primárně v půdorysném zobrazení s průběžným kontrolováním v 3D pohled a v řezu, podlaha a strop byly půdorysně vyneseny po obvodě vnějších stěn s odečtením prostoru u schodišťových šachet. Okna, která se na budově nachází, jsou umístěna v rastru s pravidelnou osovou vzdáleností a byla tedy vynášena půdorysně s ohlednutím k této osové vzdálenosti a s průběžnou kontrolou výškového osazení v řezu a pohledu na konkrétní okno. Obdobným způsobem jako okna byly vyneseny i dveře. Následně jsem vymodeloval primární i sekundární schodiště, která se v této části budovy nachází. Na závěr jsem umístil sanitární zařízení.

V takto hotovém modelu jsem označil jednotlivé místnosti pro tvorbu výkazu. Čísla a názvy místností jsem převzal z plánu budov na webu *fce.vutbr.cz*.

4.3.2.4 Tvorba výkazů

Z připraveného modelu jsem vytvořil několik různých výkazů, které poskytnou data využitelná pro potřeby FM. Vytvořil jsem výkazy ploch, obvodů a výšky místností, výkaz počtu oken a dveří podle místnosti umístění a výkaz počtu sociálních zařízení. Tyto výkazy jsem následně upravil a vhodně zkombinoval pro poskytnutí relevantních dat pro FM, viz kapitola 4.3.6.

4.3.3 Zdroje dat a přesnost

Vzhledem k jednoduchosti úrovně podrobnosti LOD 100 byl dostatečným zdrojem dat laserový sken a nebylo potřeba provádět žádné dodatečné měření či šetření na místě. Pro zjištění nezaměřených skutečností, jako je například pohled na fasádu z jihovýchodní a jihozápadní strany, které nebyly skenovány, byly použity veřejně dostupná mapová data a 3D pohledy z portálů *maps.google.com* a *earth.google.com*.

Před začátkem modelování byla pro úroveň LOD 100 zvolena maximální možná odchylka $\pm 50\text{mm}$, vzhledem ke kvalitě provedeného laserového skenování a stavební kvalitě budovy (pravoúhlost, pravidelnost) byla tato mezní hodnota odchylky bez problému splněna.

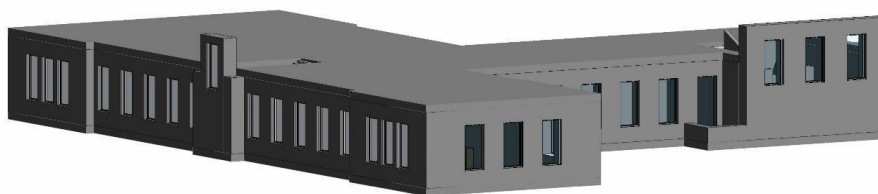
4.3.4 Informační část modelu

Jelikož se jedná o nejnižší úroveň podrobnosti LOD 100, tak se zde nenachází žádná přidaná informační data, jediná data, které lze využít pro účely FM se nachází už nativně v modelu (například šířka a výška výplní otvorů, počet sanitárních zařízení, atd) a lze je jednoduše vykázat. V této fázi tedy není třeba doplňovat o žádné další informace.

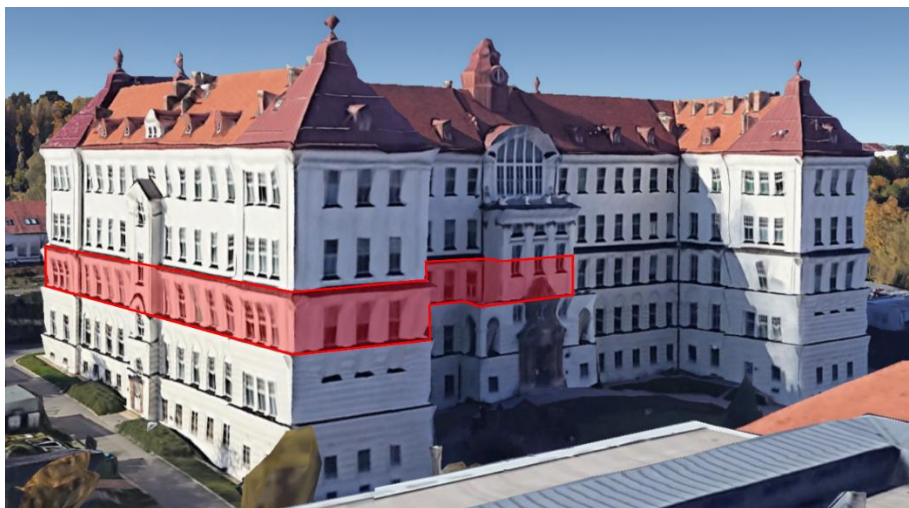
4.3.5 Ukázka modelu

3D pohled z exteriéru

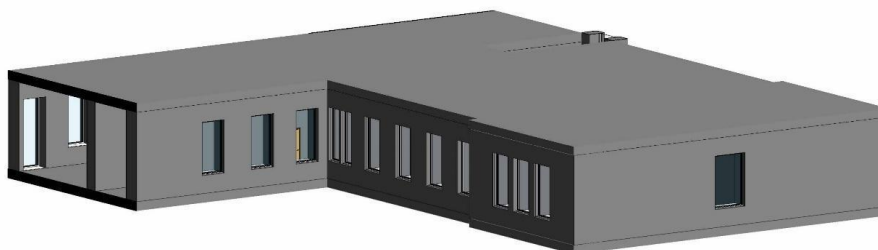
Vizualizace modelu budovy z venkovního pohledu. Pro srovnání je zde i obrázek z Google Earth, který zachycuje skutečný stav budovy a její okolí.



Obrázek 13: LOD 100 - 3D pohled z exteriéru 1 [zdroj: vlastní]



Obrázek 14: LOD 100 - 3D pohled z exteriéru Google Earth 1 [34]



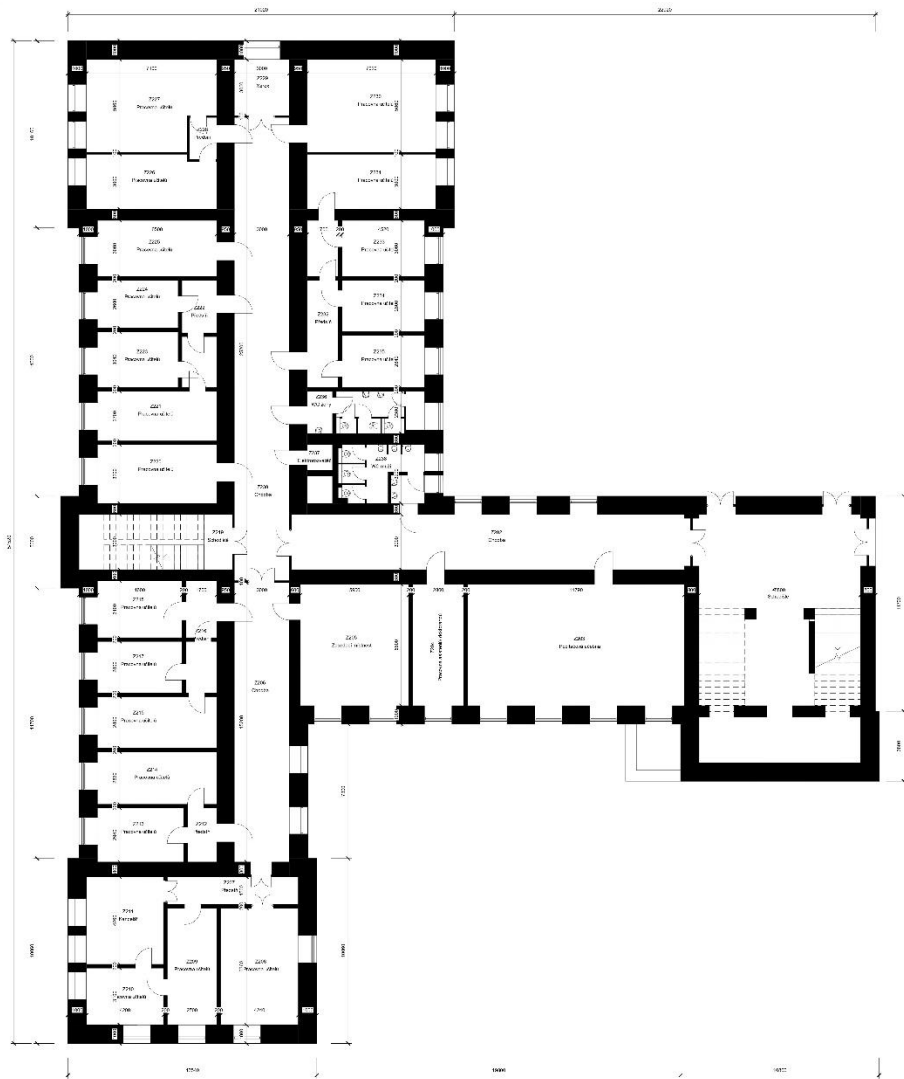
Obrázek 15: LOD 100 - 3D pohled z exteriéru 2 [zdroj: vlastní]



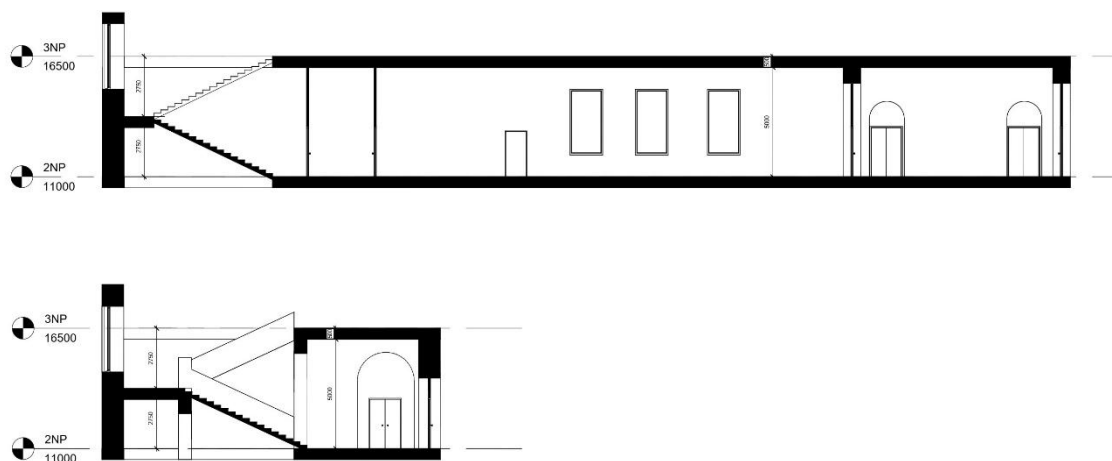
Obrázek 16: LOD 100 - 3D pohled z exteriéru Google Earth 2 [34]

Půdorysy a řezy

Ukázka vygenerovaných půdorysů a řezů z modelu, které zachycují dispoziční řešení budovy a poskytují přehled o jejím vnitřním uspořádání. Tvorba 3D modelu je časově náročnější než tvorba samotné 2D dokumentace, ale při zpracování modelu je generování 2D dokumentace rychlé a variabilnější než při tvorbě pouhé 2D dokumentace.



Obrázek 17: LOD 100 - Půdorys [zdroj: vlastní]



Obrázek 18: LOD 100 - Řez A-A; B-B [zdroj: vlastní]

4.3.6 Příklad využití

Cílem tvorby modelu je zejména jeho využití ve FM. Možnosti využití tohoto modelu je bezpochyby mnoho a záleží na konkrétních požadavcích na správu u dané budovy, já jsem se snažil identifikovat obecné a nejvíce přínosné využití, které vychází z vytvořeného modelu.

4.3.6.1 Využití a kapacita ploch

Výkaz plochy a kapacity místností obsahuje identifikační informace o všech místnostech a jejich možné kapacitě, která je vypočítána na základě podlahové plochy a minimálních požadavků na prostor pro jednoho pracovníka nebo studenta dle normy. kapacita byla počítána pouze u místností s účelem *Učebna*, *Kancelář* a *Zasedací místnost*. Místnosti s účelem *Komunikace* (chodby a předsíně) a *Provoz* (WC, xerox) nebyly ze své podstaty řešeny. Díky těmto údajům lze efektivně plánovat obsazenost jednotlivých místností a optimalizovat využití kapacity místností ústavu, patra nebo celé budovy. Informace mohou také sloužit při reorganizaci jednotlivých místností, například při změně zasedací místnosti na kancelář nebo při změně několika kanceláří na novou učebnu.

Tabulka 2: Kapacita místnosti dle účelu

Kapacita místnosti dle účelu	
Účel	Kapacita
Pracovna	8 m ² /os
Učebna	3 m ² /os
Zasedací místnost	5 m ² /os

[zdroj: vlastní]

Tabulka 3: Výkaz plochy místnosti a možné kapacity dle účelu

Výkaz plochy místností a možné kapacity dle účelu				
Číslo místnosti	Název místnosti	Plocha	Účel	Možná kapacita
Z203	Počítačová učebna	77,87 m ²	Učebna	25 os
Z204	Pracovna asistentů/ doktorandů	18,48 m ²	Pracovna	2 os
Z205	Zasedací místnost	38,94 m ²	Zasedací místnost	7 os
Z208	Pracovna učitelů	26,97 m ²	Pracovna	3 os
Z209	Pracovna učitelů	17,17 m ²	Pracovna	2 os
Z210	Pracovna učitelů	13,02 m ²	Pracovna	1 os
Z211	Kancelář	19,99 m ²	Pracovna	2 os
Z213	Pracovna učitelů	13,82 m ²	Pracovna	1 os
Z214	Pracovna učitelů	18,59 m ²	Pracovna	2 os
Z215	Pracovna učitelů	18,20 m ²	Pracovna	2 os
Z217	Pracovna učitelů	12,88 m ²	Pracovna	1 os
Z218	Pracovna učitelů	14,26 m ²	Pracovna	1 os
Z220	Pracovna učitelů	20,80 m ²	Pracovna	2 os
Z221	Pracovna učitelů	17,55 m ²	Pracovna	2 os
Z223	Pracovna učitelů	13,38 m ²	Pracovna	1 os
Z224	Pracovna učitelů	11,44 m ²	Pracovna	1 os
Z225	Pracovna učitelů	19,89 m ²	Pracovna	2 os
Z226	Pracovna učitelů	20,66 m ²	Pracovna	2 os
Z227	Pracovna učitelů	32,73 m ²	Pracovna	4 os
Z230	Pracovna učitelů	35,52 m ²	Pracovna	4 os
Z231	Pracovna učitelů	21,06 m ²	Pracovna	2 os
Z233	Pracovna učitelů	13,83 m ²	Pracovna	1 os
Z234	Pracovna učitelů	12,66 m ²	Pracovna	1 os
Z235	Pracovna učitelů	12,84 m ²	Pracovna	1 os

[zdroj: vlastní]

4.3.6.2 Využití sociálních zařízení

Výkaz sociálních zařízení umožňuje plánování a optimalizaci kapacit toalet v jednotlivých částech budovy. Obsahuje údaje o počtu klozetů, pisoárů a umyvadel v místnostech WC muži a WC ženy. Dále obsahuje maximální počet osob, které mohou tato zařízení obsloužit na základě normativních požadavků (počet osob na jedno zařízení).

Tabulka 4: Výkaz sociálních zařízení

Výkaz sociálních zařízení					
Číslo místnosti	Název místnosti	Typ	Počet	Maximální možný počet osob	
Z236	WC ženy	Klozet	3 ks	60 os	60 os
Z236	WC ženy	Umyvadlo	3 ks	60 os	
Z238	WC muži	Klozet	3 ks	240 os	40 os
Z238	WC muži	Pisoár	3 ks	60 os	
Z238	WC muži	Umyvadlo	2 ks	40 os	

[zdroj: vlastní]

Tabulka 5: Maximální možný počet osob na jeden kus sociálního zařízení

Maximální možný počet osob na jeden kus sociálního zařízení				
Číslo místnosti	Místnost	Typ zařízení		
		Klozet	Pisoár	Umyvadlo
Z236	WC ženy	20 os	0 os	20 os
Z238	WC muži	80 os	20 os	20 os

[zdroj: vlastní]

4.3.6.3 Výkaz oken

Výkaz oken poskytuje detailní přehled o typech, počtech a plochách oken v jednotlivých místnostech budovy. Obsahuje seznam místností s uvedením typu a počtu oken, celkové plochy oken v každé místnosti a souhrnné plochy oken v celé budově. Tento výkaz je užitečný pro evidenci okenních otvorů a pro plánování údržby, jako je umývání oken, výměna žaluzií či opravné práce, přičemž plocha oken slouží jako základ pro odhad časových a finančních nákladů.

Tabulka 6: Počet a plocha oken v místnosti

Počet a plocha oken v místnosti					
Číslo místnosti	Typ okna				Plocha oken
	1000x3000	1500x3000	1500x4000	2000x3000	
Z201	0 ks	3 ks	0 ks	0 ks	13,5 m ²
Z202	0 ks	3 ks	0 ks	0 ks	13,5 m ²
Z203	0 ks	3 ks	1 ks	0 ks	19,5 m ²
Z204	0 ks	1 ks	0 ks	0 ks	4,5 m ²
Z205	0 ks	2 ks	0 ks	0 ks	9,0 m ²
Z206	0 ks	2 ks	0 ks	0 ks	9,0 m ²
Z207	0 ks	0 ks	0 ks	0 ks	0,0 m ²
Z208	0 ks	2 ks	0 ks	0 ks	9,0 m ²
Z209	0 ks	1 ks	0 ks	0 ks	4,5 m ²
Z210	0 ks	2 ks	0 ks	0 ks	9,0 m ²
Z211	0 ks	2 ks	0 ks	0 ks	9,0 m ²
Z212	0 ks	0 ks	0 ks	0 ks	0,0 m ²
Z213	0 ks	1 ks	0 ks	0 ks	4,5 m ²
Z214	0 ks	1 ks	0 ks	0 ks	4,5 m ²
Z215	0 ks	1 ks	0 ks	0 ks	4,5 m ²
Z216	0 ks	0 ks	0 ks	0 ks	0,0 m ²
Z217	0 ks	1 ks	0 ks	0 ks	4,5 m ²
Z218	0 ks	1 ks	0 ks	0 ks	4,5 m ²
Z219	0 ks	1 ks	0 ks	0 ks	4,5 m ²
Z220	0 ks	1 ks	0 ks	0 ks	4,5 m ²
Z221	0 ks	1 ks	0 ks	0 ks	4,5 m ²
Z222	0 ks	0 ks	0 ks	0 ks	0,0 m ²
Z223	0 ks	1 ks	0 ks	0 ks	4,5 m ²
Z224	0 ks	1 ks	0 ks	0 ks	4,5 m ²
Z225	0 ks	1 ks	0 ks	0 ks	4,5 m ²
Z226	0 ks	1 ks	0 ks	0 ks	4,5 m ²
Z227	0 ks	2 ks	0 ks	0 ks	9,0 m ²
Z228	0 ks	0 ks	0 ks	0 ks	0,0 m ²
Z229	0 ks	0 ks	0 ks	1 ks	6,0 m ²
Z230	0 ks	2 ks	0 ks	0 ks	9,0 m ²
Z231	0 ks	1 ks	0 ks	0 ks	4,5 m ²
Z232	0 ks	0 ks	0 ks	0 ks	0,0 m ²
Z233	0 ks	1 ks	0 ks	0 ks	4,5 m ²
Z234	0 ks	1 ks	0 ks	0 ks	4,5 m ²
Z235	0 ks	1 ks	0 ks	0 ks	4,5 m ²
Z236	0 ks	1 ks	0 ks	0 ks	4,5 m ²
Z237	0 ks	0 ks	0 ks	0 ks	0,0 m ²
Z238	2 ks	0 ks	0 ks	0 ks	6,0 m ²
Z239	0 ks	0 ks	0 ks	0 ks	0,0 m ²
Plocha oken celkem=					207,0 m²

[zdroj: vlastní]

Tabulka 7: Výkaz počtu a plochy oken

Výkaz počtu a plochy oken					
Typ okna	Počet	Šířka	Výška	Plocha typu	Plocha celkem
1000x3000	2 ks	1000 mm	3000 mm	3,0 m ²	6,0 m ²
1500x3000	42 ks	1500 mm	3000 mm	4,5 m ²	189,0 m ²
1500x4000	1 ks	1500 mm	4000 mm	6,0 m ²	6,0 m ²
2000x3000	1 ks	2000 mm	3000 mm	6,0 m ²	6,0 m ²
				Plocha oken celkem= 207,0 m²	

[zdroj: vlastní]

4.3.6.4 Výkaz ploch podlahy a stěn místností

Výkaz místností s uvedenou podlahovou plochou a hrubou plochou zdí je užitečný nástroj pro údržbu povrchových vrstev v jednotlivých místnostech. Podlahová plocha slouží pro odhad materiálů a času potřebného pro výměnu podlahy nebo natření stropu, zatímco plocha zdí je klíčová například pro plánování výmalby stěn.

Tabulka 8: Výkaz místností s podlahovou plochou a hrubou plochou zdí

Výkaz místností s podlahovou plochou a hrubou plochou zdí						
Číslo místnosti	Plocha	Obvod	Výška	Plocha dveří	Plocha oken	Hrubá plocha zdí
Z201	122,06 m ²	47,80 m	5,0 m	13,80 m ²	13,50 m ²	211,70 m ²
Z202	65,08 m ²	49,48 m	5,0 m	13,20 m ²	13,50 m ²	220,70 m ²
Z203	77,87 m ²	36,78 m	5,0 m	2,10 m ²	19,50 m ²	162,30 m ²
Z204	18,48 m ²	18,80 m	5,0 m	2,10 m ²	4,50 m ²	87,40 m ²
Z205	38,94 m ²	25,00 m	5,0 m	1,89 m ²	9,00 m ²	114,11 m ²
Z206	45,60 m ²	36,40 m	5,0 m	12,30 m ²	9,00 m ²	160,70 m ²
Z207	10,71 m ²	17,28 m	5,0 m	10,17 m ²	0,00 m ²	76,23 m ²
Z208	26,97 m ²	21,20 m	5,0 m	2,76 m ²	9,00 m ²	94,24 m ²
Z209	17,17 m ²	18,12 m	5,0 m	3,78 m ²	4,50 m ²	82,32 m ²
Z210	13,02 m ²	14,60 m	5,0 m	3,78 m ²	9,00 m ²	60,22 m ²
Z211	19,99 m ²	17,92 m	5,0 m	4,65 m ²	9,00 m ²	75,95 m ²
Z212	4,70 m ²	9,08 m	5,0 m	5,88 m ²	0,00 m ²	39,52 m ²
Z213	13,82 m ²	15,28 m	5,0 m	1,89 m ²	4,50 m ²	70,01 m ²
Z214	18,59 m ²	18,72 m	5,0 m	1,89 m ²	4,50 m ²	87,21 m ²
Z215	18,20 m ²	18,60 m	5,0 m	1,89 m ²	4,50 m ²	86,61 m ²
Z216	10,37 m ²	15,60 m	5,0 m	11,76 m ²	0,00 m ²	66,24 m ²
Z217	12,88 m ²	14,80 m	5,0 m	1,89 m ²	4,50 m ²	67,61 m ²
Z218	14,26 m ²	15,40 m	5,0 m	2,10 m ²	4,50 m ²	70,40 m ²
Z219	25,05 m ²	22,70 m	5,0 m	3,45 m ²	4,50 m ²	105,55 m ²
Z220	20,80 m ²	19,40 m	5,0 m	2,10 m ²	4,50 m ²	90,40 m ²
Z221	17,55 m ²	18,40 m	5,0 m	1,89 m ²	4,50 m ²	85,61 m ²
Z222	11,10 m ²	15,48 m	5,0 m	11,55 m ²	0,00 m ²	65,85 m ²
Z223	13,38 m ²	14,88 m	5,0 m	1,89 m ²	4,50 m ²	68,01 m ²
Z224	11,44 m ²	14,00 m	5,0 m	1,89 m ²	4,50 m ²	63,61 m ²
Z225	19,89 m ²	19,12 m	5,0 m	2,10 m ²	4,50 m ²	89,00 m ²
Z226	20,66 m ²	20,20 m	5,0 m	1,89 m ²	4,50 m ²	94,61 m ²
Z227	32,73 m ²	24,32 m	5,0 m	1,89 m ²	9,00 m ²	110,71 m ²
Z228	3,45 m ²	7,60 m	5,0 m	5,88 m ²	0,00 m ²	32,12 m ²
Z229	9,18 m ²	12,12 m	5,0 m	3,45 m ²	6,00 m ²	51,15 m ²
Z230	35,52 m ²	24,16 m	5,0 m	2,10 m ²	9,00 m ²	109,70 m ²
Z231	21,06 m ²	20,04 m	5,0 m	1,89 m ²	4,50 m ²	93,81 m ²
Z232	15,47 m ²	21,60 m	5,0 m	13,44 m ²	0,00 m ²	94,56 m ²
Z233	13,83 m ²	15,16 m	5,0 m	1,89 m ²	4,50 m ²	69,41 m ²
Z234	12,66 m ²	14,64 m	5,0 m	1,89 m ²	4,50 m ²	66,81 m ²
Z235	12,84 m ²	14,72 m	5,0 m	1,89 m ²	4,50 m ²	67,21 m ²
Z236	14,77 m ²	17,44 m	5,0 m	17,64 m ²	4,50 m ²	65,06 m ²
Z237	1,96 m ²	5,60 m	5,0 m	1,68 m ²	0,00 m ²	26,32 m ²
Z238	15,05 m ²	17,84 m	4,1 m	14,70 m ²	6,00 m ²	52,44 m ²
Z239	75,60 m ²	56,40 m	5,0 m	30,18 m ²	0,00 m ²	251,82 m ²
Plocha celkem=	952,70 m²			Hrubá plocha zdí celkem= 3587,23 m²		

[zdroj: vlastní]

4.3.6.5 Další příklady využití

BIM model v úrovni LOD 100 nabízí i další možnosti využití, které nevychází pouze z modelu samotného, ale k jejich zavedení by byly potřeba další nástroje, které nejsou obsahem této analýzy. Jedná se například o optimální umístění bezpečnostních systémů (kamerové systémy, senzory pohybu) nebo plánování únikových tras a shromaždišť.

4.3.7 Časová náročnost tvorby

Vzhledem k nízké podrobnosti a nulovému doplňování externích dat byla příprava modelu v úrovni LOD 100 relativně rychlá. V tabulce níže jsou rozepsány jednotlivé úkony a jejich časová náročnost.

U každé činnosti jsem určil koeficient rozsahu, který zohledňuje, jak moc daná činnost přímo koreluje s rozsahem zpracovávané části. *Příprava šablony* je čistě jednorázový úkon, proto jsem zvolil koeficient $K_r=0$, protože rozsah práce na tvorbu šablony nemá vliv. *Koordinace mračen bodů* a *Tvorba a úprava rodin* má také převážně jednorázový charakter, ale koordinace většího objemu dat je náročnější a klesá přehlednost, podobně při zpracování celé budovy se mohou objevit rodiny, které v mnou řešeném rozsahu nebyly obsaženy a bude je tedy třeba nově vytvořit, proto jsem u těchto činností zvolil koeficient $K_r=0,25$. *Vkládání externích dat* a *Tvorba a úprava výkazů* lze do velké části zautomatizovat, ale i tak má rozsah práce na tyto činnosti vliv, zvolil jsem tedy hodnotu $K_r=0,5$. *Tvorba výkresů* téměř koreluje s rozsahem práce, zejména s každým dalším řešeným podlažím přibývá počet výkresů, větší rozsah ale umožňuje částečné snížení časové náročnosti tvorby dokumentace například standardizovanými šablonami a jednotným kótováním, proto jsem zvolil koeficient $K_r=0,75$. Samotné *Modelování* přímo koreluje s rozsahem práce a zvolil jsem tedy koeficient $K_r=1,0$.

Odhadem jsem se pokusil zjistit, kolik procent z celé budovy Z tvořil mnou vybraný a analyzovaný úsek, který jsem porovnával se zbylými částmi budovy, včetně podzemních podlaží a střechou. Při posuzování jsem zvažoval nejen podlahovou plochu jednotlivých částí, ale také jejich komplexnost, umístění unikátních prvků a tak dále. Po zvážení všech vhodných kritérií jsem dospěl k závěru, že mnou vybraný úsek, tedy jedno křídlo druhého nadzemního podlaží, tvoří přibližně 1/16 celkového rozsahu budovy.

Časová náročnost celé budovy byla vypočítána ze vztahu $T_c = T_d * (K_r * R_c / R_d + (1 - K_r))$, kdy T_c je celková časová náročnost, T_d je dílčí časová náročnost, K_r je koeficient rozsahu, R_c je celkový rozsah a R_d je dílčí rozsah.

Tabulka 9: Časová náročnost tvorby modelu v úrovni podrobnosti LOD 100

Časová náročnost tvorby modelu v úrovni podrobnosti LOD 100				
Úkon		Dílčí časová náročnost	Koeficient rozsahu	Celková časová náročnost
		Td [h]	Kr	Tc [h]
Příprava	Koordinace mračen bodů	1 h	0,25	5 h
	Příprava šablony	0 h	0	0 h
	Tvorba a úprava rodnin	2 h	0,25	10 h
Modelování	Svislé konstrukce	2 h	1	32 h
	Vodorovné konstrukce	1,5 h	1	24 h
	Výplně otvorů	2,5 h	1	40 h
	Zařízení	0,5 h	1	8 h
Vkládání externích dat		0 h	0,5	0 h
Tvorba a editace výkazů		7 h	0,5	60 h
Tvorba výkresů	Půdorys	2,5 h	0,75	31 h
	Řezy	1 h	0,75	12 h
	3D pohledy	1 h	0,75	12 h
Celkem		21,0 h		220,6 h
Úspora času na ideálním hardwaru		25%		
Celkem na ideálním hardwaru		15,75 h		165,5 h
Celkový rozsah		Rc= 16		
Dílčí rozsah		Rd= 1		

[zdroj: vlastní]

Levé křídlo druhého nadzemního podlaží, které jsem analyzoval, trvalo zpracovat přibližně 21 hodin. Celý rozsah budovy Z by v této úrovni podrobnosti LOD 100 trvalo zpracovat přibližně 220,6 hodin.

Vzhledem k hardwarové náročnosti práce s mračnem bodů, zejména při použití více mračen napojených na sebe v jednom souboru, dochází ke zpomalování programu Autodesk Revit a ke krátkým, ale častým prostojeům. Tyto prodlevy při načítání a prostoje by bylo možné odstranit práci na výkonnějších počítačích, zejména s větší operační

paměti, než jsem měl k dispozici. Práce na výkonnějším hardwaru by dle mých odhadů mohla být přibližně o 25 % efektivnější. Tvorba výše popsaného modelu by tedy na ideálním stroji mohla zabrat pouze přibližně 15,75 hodin.

Lze tedy předpokládat, že časová náročnost tvorby modelu celé budovy Z v úrovni LOD 100 pro účely základního facility managementu by byla přibližně 165,5 hodin.

Celý model by měl schopen zpracovat jeden člověk během jednoho pracovního měsíce. Do této doby není započten čas pro laserové skenování. Sken, se kterým jsem pracoval, není zpracován na celé budově a časová náročnost skenování zbytku budovy není předmět této analýzy.

4.4 LOD 300

Úroveň podrobnosti LOD 300 představuje střední úroveň detailnosti, která je běžně využívána při zpracování projektů v realizační fázi. Model vytvořený v této úrovni podrobnosti obsahuje detailní a přesnou geometrii jednotlivých prvků, které jsou modelovány v souladu s jejich reálným provedením. Pro potřeby facility managementu znamená LOD 300 zásadní posun oproti LOD 100, jelikož poskytuje přesný přehled o fyzickém umístění a geometrii konstrukčních prvků a také zahrnuje příslušenství pevně spojené s budovou (například topná tělesa, osvětlení atd) a mobilní příslušenství.

Úroveň LOD 300 obsahuje i informační část modelu v rozsahu, který je možný zjistit bez zásahu do konstrukcí. Jedná se zejména o stavu povrchu konstrukcí a stavu pevného příslušenství, přesná kapacita místnosti nebo údaje o přístupu do místnosti, což umožňuje efektivní správu a údržbu budovy.

V porovnání s nižší úrovní podrobnosti poskytuje úroveň LOD 300 rozšiřující informace pro detailnější analýzy a rozhodování, ale neobsahuje komplexní informace o materiálech konstrukcí, vedení instalací a další detaily, které jsou zahrnuty ve vyšších úrovních, jako je například LOD 500.

4.4.1 Popis rozsahu

Pro modelování v LOD 300 byla vybraná místnost Z248. Tato učebna se nachází v druhém patře pravého křídla budovy Z (označováno jako Z2). Jedná se o učebnu, která spadá pod Ústav společenských věd. Místnost jsem záměrně vybral stejném podlaží, ale v jiné křídle budovy, než byl zpracováván první model. To zajistilo, že je složitost

modelu srovnatelná s prvním modelem, ale zároveň nedošlo k časovému zvýhodnění při modelování, jako by tomu bylo v případě výběru místnosti v rozsahu modelu LOD 100, který by byl pouze rozšířen do vyšší úrovně podrobnosti.

4.4.2 Popis procesu tvorby 3D modelu

4.4.2.1 Výběr potřebných souborů mračen bodů

Proces výběru mračen bodů je identický jako u úrovně LOD 100, viz 4.3.2.1

4.4.2.2 Tvorba a úprava rodin

Jako šablonu Revit projektu jsem zvolil opět generickou stavební šablonu obsahující základní rodiny jednotlivých komponentů. Tyto rodiny jsem upravil pro účely LOD 300.

Stěna a podlaha

Podlahu a strop jsem modeloval celistvou prostou deskou *Podlaha 500*, která má nosnou část z materiálu *stavební konstrukce* a povrchovou část z materiálu *PVC podlaha*. Podhled je modelovaný prostou deskou *Podhled 450*, která má nosnou část z materiálu *nosný rošt* a povrchovou vrstvu z materiálu *kazetový podhled*.

U rodiny pro stěny byly upraveny vrstvy, vnitřní nosná vrstva byla nahrazena obecným materiálem *stavební konstrukce*, jelikož není známá materiál a vlastnosti stěn v budově. Povrchové vrstvy byly nahrazeny materiálem *omítka bílá*, což odpovídá skutečnosti. V rodině stěny bylo vytvořeno typy podle jednotlivých tlouštěk zdí, *Stěna 950*; *Stěna 750* a *Stěna 150*.

Dveře a okna

Jelikož výplně otvorů na budově Z jsou velmi specifické, tak jsem okna i dveře modeloval podle skutečných výplní. Jako podklad jsem použil generické rodiny z výchozí stavební šablony, u kterých jsem upravil všechny potřebné detaily. U oken jsem upravil rozměry rámu, počet křídel, počet a umístění příčlív a rozměry vnitřního a vnějšího parapetu. U dveří jsem upravil rozměr a typ křídla včetně profilu a také profil zárubně na obou stranách dveří. Vizuální podoba modelu výplní otvorů tedy přesně odpovídá skutečnosti. V řešené místnosti se nachází pouze jeden typ oken, *Okno 1500x3080*, a jeden typ dveří, *Dveře 900x2100*.

Vybavení

Při výběru, které vybavení místnosti do modelu zahrnout, jsem postupoval podle podmínky pevného spojení se stavbou a nezanedbatelné finanční hodnoty. Například umyvadlo je pevně spojeno se stavbou a tabule s projektorem je sice snadno demontovatelná, ale je nezanedbatelné finanční hodnoty, obě tato zařízení teda byla modelována. Naopak věšák na kabáty je snadno demontovatelný a zanedbatelné finanční hodnoty, ten tedy modelován nebyl. V řešené místnosti se nachází několik druhů vybavení, které odpovídá zadaným kritériím. Jedná se o umyvadlo a příprava pro umyvadlo včetně obkladu, tabule s projektorem a audio systémem, akustický panel na zdi, topná tělesa a osvětlení. Tato vybavení byla modelována ve zjednodušené, ale skutečnosti odpovídající geometrii. Pro každé zařízení byla vytvořena rodina, což umožňuje jejich znovupoužití v dalších místnostech. Byly vytvořeny rodiny *Umyvadlo s obkladem*, *Akustický panel*, *Interaktivní tabule*, *Radiátor* a *Osvětlení*. Rodiny jsou nastaveny parametricky tak, aby byly snadno upravitelné a použitelné i v jiných místnostech, kde se mohou vyskytovat v jiných variantách či rozměrech. Parametry rodiny *Akustický panel* má nastavitelné rozměry, u *Interaktivní tabule* lze nastavit přítomnost projektoru či audiosystému, rodina *Umyvadlo s obkladem* lze nastavit s viditelným umyvadlem nebo bez umyvadla (pouze příprava na umyvadlo), a *Osvětlení* lze nastavit s viditelnými tělesy pro zářivky nebo bez nich (pouze konstrukce pro osvětlení).

4.4.2.3 Modelování konstrukcí

Po vytvoření všech rodin, které se v řešené místnosti nachází jsem přešel k modelování samotné místnosti. Do koordinačního souboru jsem vložil mračno bodů s naskenovaným ústavem společenských věd postupně vynášel všechny konstrukce. Obdobně jako na úrovni LOD 100 jsem postupoval v pořadí obvodové stěny, vnitřní nosné stěny, podlaha, strop a podhled, vnitřní nenosné stěny, vnitřní nenosné stěny, okna, dveře, vybavení místnosti.

Vynášení stavebních konstrukcí probíhalo prakticky identicky jako na úrovni LOD 100, pouze s větším důrazem na přesnost. Půdorysné vynášení bylo průběžně kontrolováno v řezech a v 3D pohledu. Po vynesení nosných stěn jsem vynesl niky u oken a u dveří podle laserového skenu a podle ručního zaměření na místě pro dosažení vyšší přesnosti. Na rozdíl od nižší úrovně jsem se nedržel předpokládané pravidelnosti osové vzdálenosti

prvků (okna, nenosné stěny), ale vynášel jsem je dle skutečnosti pro dosažení vyšší přesnosti (odchylna od zamýšlené osové vzdálenosti se pohybovala v řádech jednotek centimetrů).

Následně jsem v místnosti umístil vybavení, jako jsou topná tělesa, osvětlení, akustický panel, interaktivní tabule a umyvadla. Vybavení jsem polohově umisťoval kombinovaně podle ručního zaměření a laserového skenu, například umístění akustického panelu jsem zaměřil, protože nebylo na laserovém skenu dobře rozpoznatelné, ale například konstrukce osvětlení byla vzhledem k výšce umístění čitelná z laserového skenu.

Do hotové místnosti jsem umístil *místnost* s názvem a číslem místnosti podle plánu budov na webu *fce.vutbr.cz*.

4.4.2.4 Tvorba výkazů

Z připraveného modelu, ve kterém jsou vytvořeny a vyplněny dodatečné informační parametry jsem vytvořil několik výkazů, které mohou sloužit pro potřeby FM. Vytvořil jsem výkaz stavu místnosti, výkaz stavu mobilního vybavení a výkaz pro sledování intervalu kontroly místnosti. Tyto výkazy jsem následně upravil pro poskytnutí relevantních dat pro FM, viz kapitola 4.4.6.

4.4.3 Zdroje dat a přesnost

Úroveň podrobnosti LOD 300 je oproti nižší úrovni náročnější na potřebné detaily, a proto již samotný laserový sken nebyl dostatečný. Poskytl sice dostatečná data pro vynesení stavební části místnosti, avšak pro hlubší detailnost bylo potřeba ruční zaměření a pořízení fotodokumentace na místě. Toto místní šetření zabralo na dané místnosti přibližně 15 minut. Při zajištění šetření jsem narazil na problém s evidencí přístupů do jednotlivých místností, jelikož neexistuje jednotná databáze klíčů do všech místností v budově Z. Na vrátnici jsou dostupné pouze klíče do některých hlavních místností a klíče do zbytku místností jsou ve správě vyučujících, kteří tyto místnosti využívají. Toto vede k neefektivní správě přístupů do místností, dále je v tomto systému teoreticky možné, že se v budově nachází zamčené místnosti, které nikdo nevyužívá, nikdo k nim nemá klíče a nikdo o těchto skutečnostech neví, v neposlední řadě by to značně ztěžovalo možnosti zaměření a pořízení dat z celé budovy pro účely vytvoření jednotného modelu celé budovy k potřebám facility managementu.

Před začátkem modelování byla pro úroveň LOD 300 zvolena maximální možná odchylka ± 20 mm. Kvalita laserového skenu doplněná o místní šetření a ruční zaměření detailů umožnila tuto odchylku dodržet.

4.4.4 Informační část modelu

Úroveň podrobnosti LOD 300 se od předchozí úrovně LOD 100 liší ve stupni grafické podrobnosti modelu, ale hlavní rozdíl je v informační části modelu. Do modelu bylo zahrnuto několik dodatečných informací reflektující skutečný stav budovy, které mohou být užitečné při řízení facility managementu. Níže jsou popsány jednotlivé atributy nesoucí informace, do čeho byly přidány a co obsahují.

Tabulka 10: Informační atributy v LOD 300

Informační atributy v LOD 300										
Atribut	Typ	Popis parametru	Přiřazení							
			Stěna	Podlaha	Podhled	Okno	Dveře	Vybavení	Mobilní vybavení	Místnost
Stav povrchu	Procento	Stav omítky, nátěru, krycí vrstvy podlahy	X	X	X	X	X			
Stav zařízení	Procento	Stav křídla, kování, zasklení, opotřebení nábytku				X	X	X	X	
Identifikační číslo	Text	Identifikační číslo vybavení v inventáři VUT						X	X	
Datum pořízení	Číslo	Kdy bylo vybavení pořízeno						X	X	
Předpokládaná životnost	Číslo	Předpokládaná délka životnosti vybavení						X	X	
Délka záruky	Číslo	Délka záruky vybavení u dodavatele						X	X	
Datum kontroly	Číslo	Datum poslední kontroly stavu	X	X	X	X	X	X	X	
Interval kontroly	Číslo	Interval pro provádění kontroly stavu	X	X	X	X	X	X	X	
Způsob kontroly	Text	Popis procesu kontroly stavu, například vizuální kontrola povrchu, kontrola nátěru, kontrola těsnosti	X	X	X	X	X	X	X	
Zodpovědnost kontroly	Text	Osoba nebo ústav zodpovědný za kontrolu	X	X	X	X	X	X	X	
Přístup	Ano/Ne Text	Identifikace osob, které disponují klíčem či přístupem do dané místnosti								X

[zdroj: vlastní]

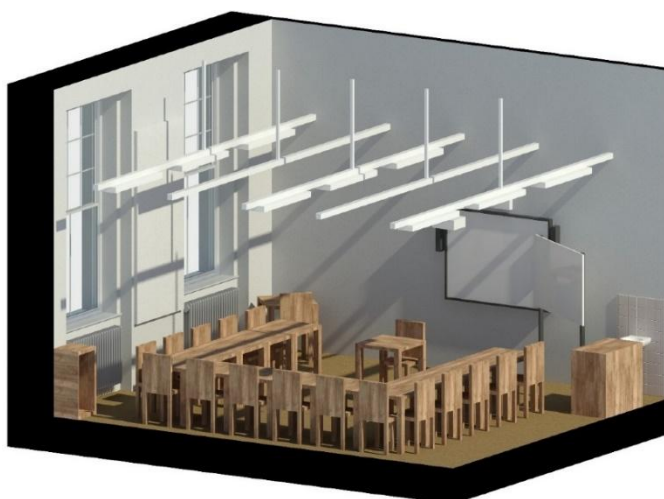
Jelikož nelze zadávat parametr ve formátu datum, byl pro parametry *Datum pořízení* a *Datum kontroly* určen typ číslo, jako hodnota se zadává pořadí v číselné řadě dnů,

kdy počátkem je datum 1.1.1900 s pořadovým číslem 1. Například 17.1.2025 tedy odpovídá číslu 45 674. Parametry *Předpokládaná životnost*, *Délka záruky* a *Interval kontroly*, které jsou určeny délkou trvání, mají rovněž typ parametru číslo, kdy se hodnota zadává v počtu dnů. Například roční interval kontroly se zadá jako číslo 365. Následně lze sečtením parametru *Datum kontroly* a *Interval kontroly* najít datum následující potřebné kontroly.

4.4.5 Ukázka modelu

3D pohled na místnost

Vizualizace modelu místnosti.



Obrázek 19: LOD 300 - 3D pohled na místnost 1 [zdroj: vlastní]



Obrázek 20: LOD 300 - 3D pohled na místnost 2 [zdroj: vlastní]

3D pohled z interiéru

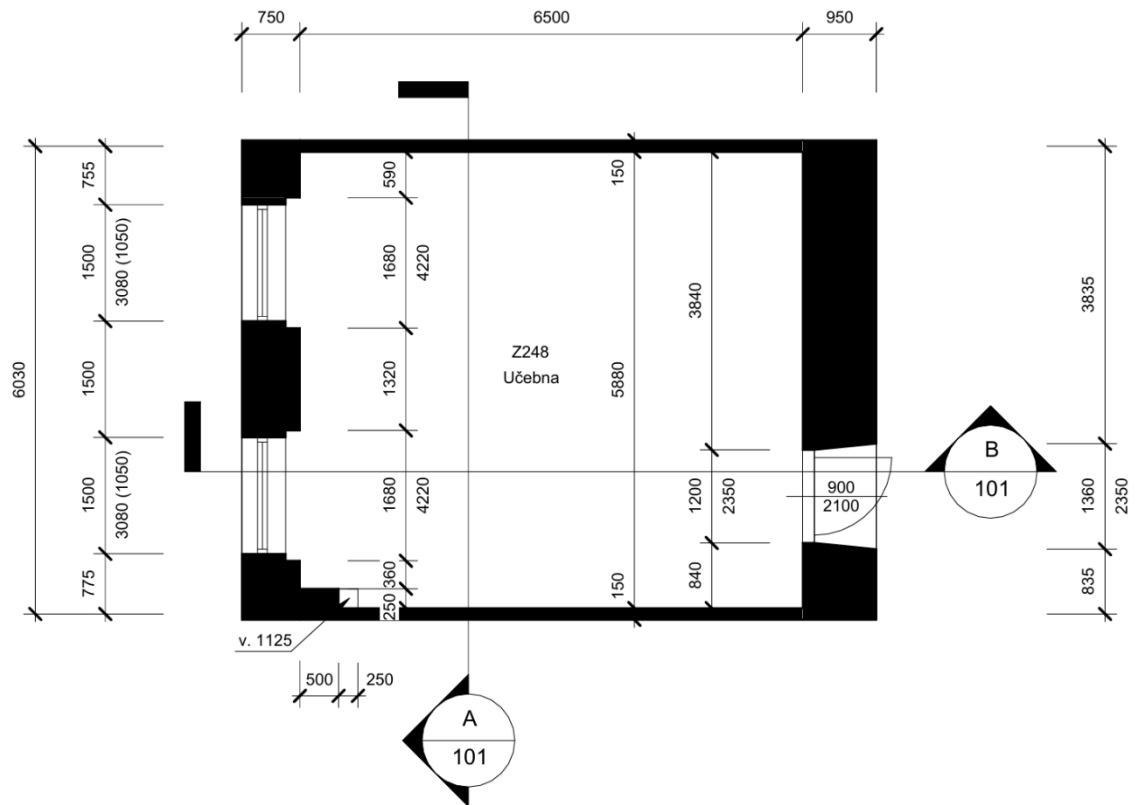
Ukázka 3D modelu interiéru porovnána s reálnými fotografiemi pořízenými ve stejných prostorách. Porovnání demonstruje geometrickou přesnost a úroveň detailu modelu v porovnání se skutečným stavem.



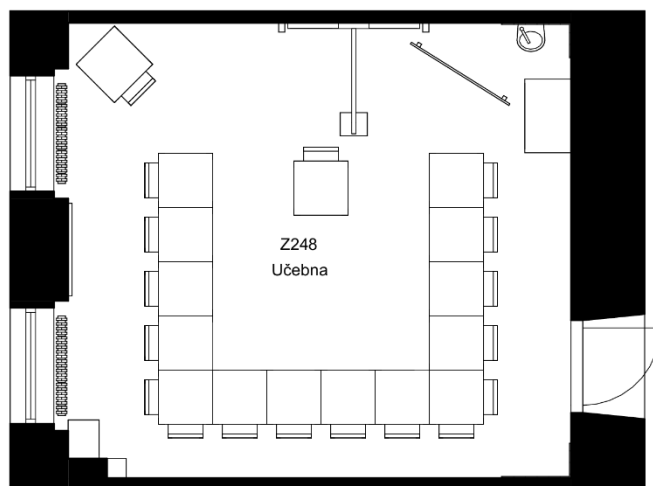
Obrázek 21: LOD 300 - Porovnání pohledu v místnosti a skutečnosti [zdroj: vlastní]

Půdorysy a řezy

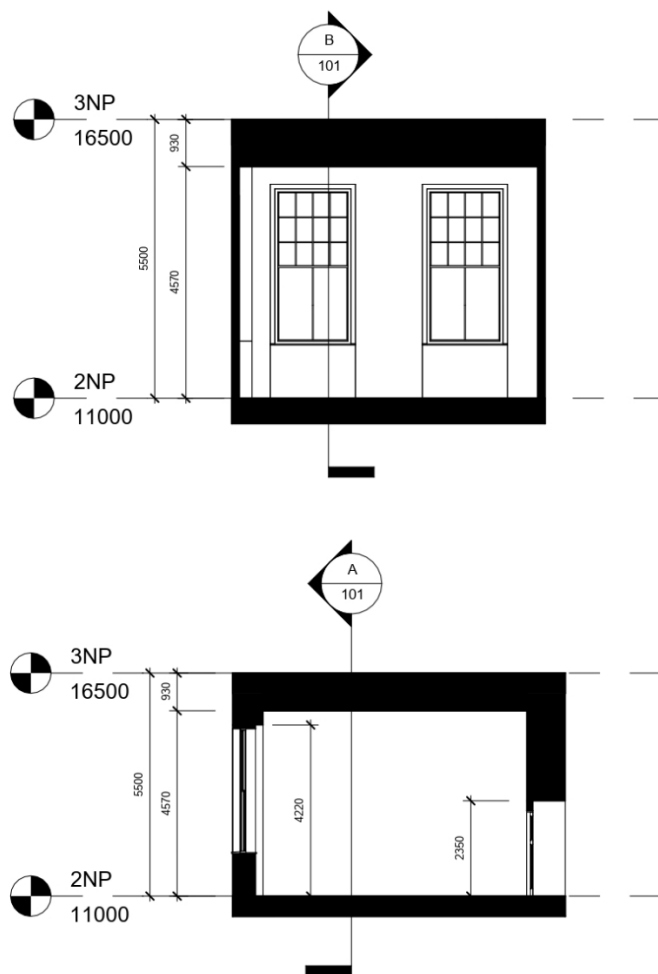
Model v úrovni podrobnosti LOD 300 obsahuje jak stavební část, tak i samotné vybavení místnosti. Z modelu lze tedy exportovat jak stavební výkresy například pro účely plánování rekonstrukcí a údržby budovy, tak půdorysy včetně vybavení například pro přehlednost zaplnění místnosti.



Obrázek 22: LOD 300 - Půdorys stavební [zdroj: vlastní]



Obrázek 23: LOD 300 - Půdorys s vybavením [zdroj: vlastní]



Obrázek 24: LOD 300 - Řez A-A; B-B [zdroj: vlastní]

4.4.6 Příklad využití

Cílem tvorby podrobnějšího modelu je rozšířit jeho využití ve facility managementu. Stupnice LOD je navržena jako inkluzivní, což znamená, že všechny možnosti využití popsané pro nižší úroveň zůstávají platné i pro úroveň vyšší. Všechny aplikace uvedené pro LOD 100, popsané v bodě 4.3.6., lze tedy plně uplatnit i v rámci LOD 300. Vyšší úroveň detailu však umožňuje další specifická využití, která na nižších stupních podrobnosti nejsou možná. Následující přehled zahrnuje pouze příklady nových možností dostupných na úrovni LOD 300.

4.4.6.1 Výkaz stavu místností Z248

Výkaz stavu jednotlivých komponent místnosti poskytuje komplexní přehled o stavu stavebních konstrukcí a zařízení, což je klíčové pro efektivní facility management. Informace o stavu jsem rozdělil na dvě kategorie.

Stav povrchu odráží stav povrchové vrstvy, například stav omítky a výmalby stěny, stav nátěru oken a dveří, stav desek podhledu a stav podlahové krytiny. Hodnoty stavu povrchu byly určeny na základě skutečného stavu, například podlaha má výrazné opotřebení a stopy po přesouvání nábytku a byla tedy ohodnocena na stav 0,65, naopak desky podhledu nenesou žádné stopy opotřebení a má hodnotu 1,00, tedy bez znaků opotřebení.

Stav zařízení odráží funkčnost komponenty bez ohledu na vizuální stav povrchu. U oken a dveří se jedná o stav zasklení, kování, stínění či těsnění. U vybavení se jedná o funkčnost tepelných těles, stav keramiky u umyvadel a podobně.

Výsledkem tohoto výkazu je přehled stavu místnosti jako celku, což pomáhá optimalizovat investice do nejvíce zasažených prostor v budově. Tato data lze využít nejen při auditech a reportech o stavu budovy, ale také k dlouhodobému plánování modernizací, kdy se zohlední životní cyklus jednotlivých komponent.

Tabulka 11: Výkaz stavu místnosti Z248

Výkaz stavu místnosti Z248		
Název	Stav povrchu	Stav zařízení
Stavební konstrukce		
Okno 1500x3080	0.95	0.90
Okno 1500x3080	0.95	0.90
Dveře 900x2100	0.95	0.95
Stěna 750	0.80	
Stěna 150	0.80	
Stěna 950	0.90	
Stěna 150	0.90	
Podlaha 500	0.65	
Podhled 430	1.00	
Vybavení		
Radiátor		1.00
Radiátor		1.00
Akustický panel		1.00
Umyvadlo s obkladem		0.95
Umyvadlo s obkladem		1.00
Interaktivní tabule		1.00
Osvětlení		1.00
Stav místnosti Z248	0.88	0.97

[zdroj: vlastní]

4.4.6.2 Výkaz mobilního vybavení

Výkaz stavu mobilního vybavení poskytuje detailní přehled o počtu, identifikaci a stavu jednotlivých prvků inventáře v místnosti. Informace o stavu mobiliáře umožňují plánovat údržbu a případné opravy či nákup nového vybavení. U židlí, které vykazují nižší stav a vyšší zastaralost lze například navrhnout okamžitou kontrolu nebo výměnu. Přesná evidence včetně identifikačních čísel v inventáři (které byly pro účely této analýzy smyšlené a neodráží skutečná identifikační čísla používaná VUT) zjednodušuje správu majetku, včetně rychlé identifikace při pravidelných inventurách. Souhrnný stav místnosti slouží jako podklad pro stanovení priorit při plánování investic do obnovy a modernizace mobilního vybavení. Výkaz rovněž umožňuje optimalizovat rozmístění mobiliáře v rámci budovy, například přemístění přebytečných nebo méně opotřebovaných kusů do jiných prostor.

Tabulka 12: Výkaz stavu mobilního vybavení v místnosti Z248

Výkaz stavu mobilního vybavení v místnosti Z248			
Název	Počet	Identifikační číslo	Stav
Skříň 400x500x950	1	01.01	0.98
Skříň 600x950x900	1	01.02	0.98
Tabule mobilní	1	02.01	1.00
Stůl 700x700x800	16	03.01	0.90
Židle dřevěná	18	04.01	0.85
Stav místnosti Z248			0.88

[zdroj: vlastní]

4.4.6.3 Výkaz přístupu do místností

Výkaz přístupu do místnosti zajišťuje přehled možnosti vstupu do místnosti. Rozlišuje, zda je přístup na klíč nebo na čipovou kartu, případně zda je místnost bez přístupu (například chodby, záchody). Dále lze evidovat, zda je přístup dostupný na vrátnici v budově Z a osobní čísla zaměstnanců, kteří disponují přístupem do místnosti.

V současné době je v budově prakticky neexistující správa přístupů do jednotlivých místností. Přestože by na vrátnici měly být dostupné klíče do místností v budově, nachází se zde klíče pouze od některých místností a přístup do ostatních je ve správě vyučujících, kteří dané místnosti využívají. Důkladným průzkumem současného stavu přístupů by umožnilo následnou optimalizaci v podobě umístění všech klíčů na vrátnici a vytvoření evidence přístupů a předávání klíčů například pro případy změny využití místností nebo při změně personálu.

Tabulka 13: Výkaz přístupu do místností

Výkaz přístupu do místností					
Místnost	Bez přístupu	Přístup		Přístup na vrátnici	Osobní číslo VUT zaměstnanců s přístupem
		Klíč	Karta		
Z248	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	114846
					121707

[zdroj: vlastní]

4.4.6.4 Výkaz kontroly místnosti

Pro efektivní a udržitelný FM je potřeba kontinuálně ověřovat a aktualizovat data o budově. To lze docílit pravidelnou a plánovanou kontrolou všech sledovaných komponent. Pro plánování je potřeba sledovat zejména datum poslední kontroly a interval kontroly, z čehož lze určit datum následující kontroly a koordinovaně plánovat kontrolu jednotlivých místností v budově. Dále je vhodné sledovat datum pořízení, předpokládanou životnost a dobu záruky nakupovaného vybavení. Všechna tyto data lze pro jednotlivé komponenty určit a automatizovat plánování následujících rutinních kontrol a kontrol před koncem záruky nebo před koncem předpokládané životnosti.

Účelem této analýzy je pouze identifikovat možné využití, proto jsem vytvořil výkaz pouze s vybranými komponentami v místnosti, u kterých jsem smyšleně určil potřebná data a intervaly. Pro zjištění skutečných dat by bylo potřeba provést hluboký průzkum v celé budově a zjistit, kdy byly jednotlivé komponenty pořízeny a určit datum první kontroly a intervaly kontroly.

Tabulka 14: Kontrola místnosti Z248

Kontrola místnosti Z248										
Název	Datum pořízení	Předpokládaná životnost	Délka záruky	Konec záruky	Datum kontroly	Interval kontroly	Další kontrola	Způsob kontroly	Zodpovědnost za kontrolu	
Stavební konstrukce										
Okno 1500x3080					10/09/2023	730	09/09/2025	Kontrola těsnění oken, kontrola funkčnosti kování a stínění	ÚSV	
Vybavení										
Interaktivní tabule	01/08/2020	3650	730	01/08/2022	10/09/2023	730	09/09/2025	Kontrola připojení, osvětlení a světelnosti projektoru, kontrola funkčnosti reproduktorů, vizuální kontrola tabule.	ÚSV	
Mobilní vybavení										
Stůl 700x700x800	-	-	-	-	11/09/2023	1460	10/09/2027	Kontrola pevnosti a stability nábytku, kontrola povrchu.	ÚSV	

[zdroj: vlastní]

4.4.7 Časová náročnost tvorby

Model v úrovni LOD 300 je výrazně časově náročnější na tvorbu, než model v úrovni LOD 100. Nejvyšší nárůst času v samotném modelování vzniká při tvorbě podrobnějších a detailnějších rodnin a při vkládání vybavení budovy do modelu. Další nárůst způsobuje vkládání a vyplňování informační části modelu, která u nižší úrovni podrobnosti nebyla vůbec řešena. V tabulce níže jsou rozepsány jednotlivé úkony a jejich časová náročnost. Použití koeficientu rozsahu je shodné s modelem na úrovni LOD 100, detailnější popis použití a určení hodnot bylo popsáno v kapitole 4.3.7.

Stejně jako u modelu z předchozí části jsem odhadem zjistil, kolik procent z celé budovy Z tvořil mnou vybraný a modelovaný úsek. Po zvážení všech vhodných kritérií jsem dospěl k závěru, že místnost Z248, tvoří přibližně 1/320 celkového rozsahu budovy. Určit poměr takto malé části vůči celé budově je náročnější a méně přesné, než když jsem stejný poměr určoval u jednoho křídla jednoho podlaží v minulé části, přesto by můj odhad měl být řádově dostatečně přesný pro účely této analýzy.

Časová náročnost celé budovy byla vypočítána ze vztahu $T_c = T_d * (K_r * R_c / R_d + (1 - K_r))$, kdy T_c je celková časová náročnost, T_d je dílčí časová náročnost, K_r je koeficient rozsahu, R_c je celkový rozsah a R_d je dílčí rozsah.

Tabulka 15: Časová náročnost tvorby modelu v úrovni podrobnosti LOD 300

Časová náročnost tvorby modelu v úrovni podrobnosti LOD 300				
Úkon		Dílčí časová náročnost	Koeficient rozsahu	Celková časová náročnost
		Td [h]	Kr	Tc [h]
Příprava	Koordinace mračen bodů	1 h	0,25	81 h
	Příprava šablony	0 h	0	0 h
	Místní šetření	1 h	1	320 h
	Tvorba a úprava rodnin	4 h	0,25	323 h
Modelování	Svislé konstrukce	1 h	1	320 h
	Vodorovné konstrukce	0,5 h	1	160 h
	Výplně otvorů	1,5 h	1	480 h
	Zařízení	3 h	1	960 h
Vkládání externích dat		1,5 h	0,75	360 h
Tvorba a editace výkazů		5 h	0,5	803 h
Tvorba výkresů	Půdorys	1 h	0,75	240 h
	Řezy	1 h	0,75	240 h
	3D pohledy	1 h	0,75	240 h
Celkem		21,5 h		4287 h
Úspora času na ideálním hardwaru		25 %		
Celkem na ideálním hardwaru		16,13 h		3215,3 h
Celkový rozsah		Rc= 320		
Dílčí rozsah		Rd= 1		

[zdroj: vlastní]

Místnost Z248, kterou jsem analyzoval, trvalo zpracovat přibližně 21,5 hodin. Celá budova Z by v této úrovni podrobnosti LOD 300 trvala zpracovat přibližně 4287 hodin.

Práce na výkonnějším hardwaru, což by eliminovalo prostoje způsobené nedostatkem výkonu, by dle mých odhadů mohla být přibližně o 25 % efektivnější. Tvorba výše popsaného modelu by tedy na ideálním stroji mohla zabrat pouze přibližně 16,13 hodin a časová náročnost tvorby modelu celé budovy Z v úrovni LOD 300 pro účely rozšířeného facility managementu by byla přibližně 3215,3 hodin.

Celý model by měl schopen zpracovat jeden člověk během dvaceti pracovních měsíců, v případě například pětičlenného týmu by to zabralo pouze čtyři měsíce. Do této doby

není započten čas pro laserové skenování. Sken, se kterým jsem pracoval, není zpracován na celé budově a časová náročnost skenování zbytku budovy není předmět této analýzy.

4.5 Shrnutí, porovnání a doporučení

V kapitolách 4.3 a 4.4 jsem analyzoval použití dvou úrovní podrobností BIM modelu pro účely FM. Obě kapitoly popisují tvorbu modelu s různým zaměřením na detailnost geometrie, obsah informačních dat a časovou náročnost.

Úroveň podrobnosti LOD 100 poskytuje základní přehled o budově, zejména dispoziční řešení a rámcovou geometrii bez detailní specifikace, je časově méně náročná na vytvoření díky absenci podrobných informací a jednodušší geometrii. Tuto úroveň lze využít na základní potřeby FM, jako je plánování kapacity budovy nebo vykazování ploch pro účely úklidu nebo základní údržby. Data v modelu jsou omezena na základní geometrické a dispoziční informace.

Úroveň podrobnosti LOD 300 obsahuje detailnější geometrii a informace, např. přesné názvy vrstev konstrukcí, povrchové úpravy a stavy jednotlivých komponent. Větší komplexnost modelu znamená větší potřebu času na tvorbu, protože zahrnuje detailnější modelování a místní šetření a doměřování. Je vhodný pro přesnější plánování údržby, kontrolu zařízení a rozvodů a detailnější správu budov.

Pro porovnání dvou analyzovaných úrovní BIM modelů jsem zvolil kvantifikaci přínosů, které byly popsány v této práci, a poměřil je s časovou náročností tvorby v dané podrobnosti.

K jednotlivým přínosům jsem přiřadil hodnoty bodové stupnice podle možnosti jejich využití na dané úrovni podrobnosti. Pokud přínos v dané úrovni nelze využít, nese hodnotu 0, pokud lze využít omezeně, nese hodnotu 1 a pokud lze využít ideálně, například protože pracuje s dodatečnými informacemi a umožňuje efektivnější správu, nese hodnotu 2. Součet bodů přínosů byl podělen předpokládaným počtem hodin pro tvorbu modelu celé budovy v dané podrobnosti, jedná se tedy o metodu cost-benefit. Výsledkem je skóre, které určuje vhodnost a efektivnost volby dané úrovně podrobnosti pro případné zhotovení modelu celé budovy s ohledem na množství přínosů a nákladů.

Tabulka 16: Porovnání přínosů a nákladů modelu v úrovních LOD 100 a LOD 300

Porovnání přínosů a nákladů modelu v úrovních LOD 100 a LOD 300			
Popis	LOD 100	LOD 300	Poznámka
Přínosy			0 b= nelze; 1 b= lze; 2 b= lze ideálně
Plánování kapacity	1 b	2 b	U LOD 300 lze doplnit určenou i maximální možnou kapacitu místnosti
Plánování úklidu ploch	1 b	1 b	
Plánování údržby výplní otvorů	1 b	2 b	U LOD 100 lze plánovat pouze rutinní údržbu, u LOD 300 lze plánovat podle skutečného stavu
Plánování údržby stavebních konstrukcí	1 b	2 b	U LOD 100 lze plánovat pouze rutinní údržbu, u LOD 300 lze plánovat podle skutečného stavu
Plánování údržby vybavení	0 b	1 b	
Plánování využití mobilního vybavení	0 b	1 b	
Plánování kontroly stavu místností	0 b	2 b	
Plánování přístupů	0 b	1 b	
Porovnání			
Přínosy	4 b	12 b	
Časová náročnost	160.5 h	3210 h	
Body přínosu na hodinu tvorby	0.025	0.004	

[zdroj: vlastní]

Z výše uvedené tabulky je zřejmé, že efektivnější je vybrat úroveň LOD 100, jelikož výsledný poměr bodů přínosu na hodinu tvorby modelu je 0,025, oproti 0,004 u LOD 300.

Nižší úroveň podrobnosti nabízí sice méně možností využití, než úroveň LOD 300, ale základní možnosti využití jsou podobné a je výrazně méně časově náročná.

Jako alternativní řešení lze navrhnout i verzi vytvoření nové úrovně podrobnosti, která bude modelem stejná, jako LOD 100, ale doplněna o některé dodatečné informace obsažené v LOD 300. Jelikož by se jednalo o rozšířenou verzi LOD 100, můžeme ji nazvat například LOD 150.

V úrovni LOD 150 by bylo nejprůnosnější a zároveň nejjednodušší doplnit informace o současné kapacitě místnosti, stav stavebních konstrukcí a informace o přístupu do místnosti. Vybavení místnosti ani podrobnější vrstvy konstrukcí by v této úrovni nebyly řešeny, modelová část by tedy zůstala identická s úrovní LOD 100. Pro účely přibližného porovnání byla časová náročnost rozšíření úrovně LOD 100 na LOD 150 odhadnuta na 25 % časové náročnosti LOD 100.

Tabulka 17: Porovnání přínosů a nákladů modelu v úrovních LOD 100, LOD 150 a LOD 300

Porovnání přínosů a nákladů modelu v úrovních LOD 100, LOD 150 a LOD 300				
Popis	LOD 100	LOD 150	LOD 300	Poznámka
Přínosy				0 b= nelze; 1 b= lze; 2 b= lze ideálně
Plánování kapacity	1 b	2 b	2 b	U LOD 150 je doplněna určená kapacita místnosti
Plánování úklidu ploch	1 b	1 b	1 b	
Plánování údržby výplní otvorů	1 b	2 b	2 b	U LOD 150 je doplněn stav jednotlivých výplní otvorů
Plánování údržby stavebních konstrukcí	1 b	2 b	2 b	U LOD 150 je doplněn stav jednotlivých stavebních konstrukcí
Plánování údržby vybavení	0 b	0 b	1 b	
Plánování využití mobilního vybavení	0 b	0 b	1 b	
Plánování kontroly stavu místností	0 b	1 b	2 b	U LOD 150 je možná kontrola stavu pouze stavebních konstrukcí, ne vybavení
Plánování přístupů	0 b	1 b	1 b	U LOD 150 je doplněna informace o přístupu do místnosti
Porovnání				
Přínosy	4 b	9 b	12 b	
Časová náročnost	160.5 h	201 h	3210 h	
Body přínosu na hodinu tvorby	0.025	0.045	0.004	

[zdroj: vlastní]

Z výše uvedené tabulky je zřejmé, že v případě vytvoření nové úrovně podrobnosti LOD 150, která by kombinovala modelovou jednoduchost úrovně LOD 100 a některé informace obsažené v LOD 300, by byla tato volba nejefektivnější. Body přínosu na hodinu tvorby u úrovně LOD 150 je téměř dvakrát vyšší, než u LOD 100 a více než desetkrát vyšší, než u úrovně LOD 300.

Kombinace úrovní LOD 100 a LOD 300, které byly řešeny v této práci, se zdá jako nejideálnější volba pro tvorbu BIM modelu stavby bez existující dokumentace pro účely využití pro facility management.

5 Závěr

Diplomová práce se zabývala analýzou využití technologie BIM ve facility managementu, přičemž hlavní důraz byl kladen na aplikaci různých úrovní podrobnosti modelů (LOD) v prostředí existující budovy bez dostupné dokumentace. V teoretické části byly představeny klíčové principy BIM a FM, jejich vzájemná synergie a možnosti implementace.

Praktická část práce se zaměřila na tvorbu a analýzu modelů budovy Fakulty stavební VUT v Brně ve vybraných úrovních podrobnosti. Bylo zjištěno, že zatímco nižší úrovně podrobnosti, jako je LOD 100, nabízejí rychlé a efektivní zpracování základních dat, vyšší úrovně, jako LOD 300, poskytují detailnější informace, které umožňují širší spektrum využití v rámci FM. Zároveň se však ukázalo, že zpracování vyšší úrovně podrobnosti je výrazně časově náročnější a vyžaduje detailnější metody sbírání dat.

Z výsledků práce vyplývá, že optimální úroveň detailnosti modelu závisí na konkrétních požadavcích a možnostech facility managementu dané budovy a také na možnosti časové investice do tvorby modelu. V závěru praktické části práce byly porovnány časové náročnosti a přínosy jednotlivých úrovní podrobnosti. Pro řešenou budovu Z na ulici Žižkova se jako vhodná úroveň podrobnosti jeví hybridní úroveň LOD 150, která kombinuje modelovou jednoduchost nízké úrovně LOD 100 a částečnou informační obsáhlost střední úrovně LOD 300.

6 Seznam použitých zdrojů

- [1] WIGGINS, Jane M. *Facilities manager's desk reference*. Third edition. 2021. ISBN 9781119633594. Dostupné také z: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/natl-ebooks/detail.action?docID=6422927>.
- [2] IFMA CZ. *Slovník pojmů*. Online. IFMA CZ. 2023. Dostupné z: <https://ifma.cz/slovník-pojmu/facility-management/>. [cit. 2025-01-13].
- [3] KUDA, František; WERNEROVÁ, Eva a SOUKUP, Petr. *Facility management v kostce: pro profesionály i laiky*. Form Solution, 2012. ISBN 978-80-905257-0-2.
- [4] BERÁNKOVÁ, Eva. Životní cyklus staveb. Online. *TZB-info*. 2013, s. 1. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/udrzba-budov/10219-zivotni-cyklus-staveb>. [cit. 2025-01-13].
- [5] *Energy Management: How Facilities Managers Can Reduce Costs*. Online. BMS Control Systems. Dostupné z: <https://bmscontrols.co.uk/blog/energy-management-how-facilities-managers-can-reduce-costs/>. [cit. 2025-01-13].
- [6] CHOUDHARY, Bhupendra. In-house VS. Outsourcing Facility Management: Make the Right Decision. Online. Dostupné z: <https://www.fieldcircle.com/articles/in-house-vs-outsourcing-facility-management/>. [cit. 2025-01-14].
- [7] *Mastering Security for Facility Management*. Online. Farsight. Dostupné z: <https://www.farsight.co.uk/blog/security-strategies-and-solutions-for-facility-management/>. [cit. 2025-01-14].
- [8] WELLINGTON, Thom. Access Control: How to Balance Security with Health and Safety. Online. Dostupné z: <https://www.facilitiesnet.com/security/article/Access-Control-How-to-Balance-Security-with-Health-and-Safety--19467>. [cit. 2025-01-14].
- [9] BAXA, Jan. Efektivní řízení budov – energetický management vs. vnitřní prostředí. Online. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vnitri-prostredi/18601-efektivni-rizeni-budov-energeticky-management-vs-vnitri-prostredi>. [cit. 2025-01-14].
- [10] *Certifikace LEED*. Online. Dostupné z: <https://www.leed.cz/certifikace-budov/certifikace-leed/>. [cit. 2025-01-14].

- [11] *Certifikace BREEAM*. Online. Dostupné z: <https://www.leed.cz/certifikace-budov/certifikace-breeam/>. [cit. 2025-01-14].
- [12] LUKÉŠ, Dalibor. Integrace stávajících systémů a IoT technologií je cestou k opravdu chytrým budovám. Online. *TZB-info*. Dostupné z: <https://elektro.tzb-info.cz/inteligentni-budovy/23022-integrace-stavajicich-systemu-a-iot-technologie-je-cestou-k-opravdu-chytrym-budovam>. [cit. 2025-01-14].
- [13] *Umělá inteligence: Budoucnost Facility managementu*. Online. Enectiva Facility. Dostupné z: <https://www.facility.enectiva.cz/cs/blog/2020/09/umela-inteligence-budoucnost-facility-managementu/>. [cit. 2025-01-14].
- [14] *Prediktivní údržba: Maximalizace provozuschopnosti zařízení a úspory nákladů*. Online. SAP. Dostupné z: <https://www.sap.com/cz/products/scm/apm/what-is-predictive-maintenance.html>. [cit. 2025-01-13].
- [15] GOODWIN, Luke. Now trending: Shaping the future of FM. *FMJ*. 2022.
- [16] *Terms & definitions*. Online. National BIM standard US. Dostupné z: <https://www.nibs.org/nbims/v4/terms-definitions>. [cit. 2025-01-13].
- [17] PATEL, Akash. BIM Level of Development | LOD 100, 200, 300, 350, 400, 500. Online. Dostupné z: <https://www.united-bim.com/bim-level-of-development-lod-100-200-300-350-400-500/>. [cit. 2025-01-14].
- [18] LEONOVICH, S. N. a RIACHI1, J. 3D-Modeling for Life Cycle of the Structure. *Science and Technique*. 2021, vol. 20, no. 1, s. 8.
- [19] PATEL, Akash. Why Facility Managers Demand LOD 500? Online. Dostupné z: <https://www.united-bim.com/blog-why-facility-managers-demand-lod-500/>. [cit. 2025-01-14].
- [20] *Upgrading Facilities Management For Existing Buildings With Laser Scanning*. Online. 360 HQ. Dostupné z: <https://360hq.co.uk/upgrading-facilities-management-for-existing-buildings-with-laser-scanning/>. [cit. 2025-01-14].
- [21] RINF. *Your Definitive Guide to LiDAR Technology*. Online. Dostupné z: <https://www.rinf.tech/your-definitive-guide-to-lidar-technology/>. [cit. 2025-01-13].

- [22] *Static Lidar*. Online. Dostupné z: <https://www.wiserimageryservices.com/static-lidar.html>. [cit. 2025-01-14].
- [23] *Trimble TX8*. Online. SGS Geosolutions. Dostupné z: <https://www.geosolutions.sk/detail/trimble-tx8/>. [cit. 2025-01-13].
- [24] *FARO – handheld scanner Freestyle 2*. Online. G2 Metric. Dostupné z: <https://www.g2metric.co.il/product/faro-scanner-freestyle-2/>. [cit. 2025-01-13].
- [25] *LiDAR for Drones: Everything you need to know about LiDARs on UAVs*. Online. Dostupné z: <https://www.yellowscan.com/knowledge/lidar-drone/>. [cit. 2025-01-14].
- [26] *What is Drone LiDAR Scanner?* Online. LiDAR Solutions. Dostupné z: <https://www.lidarsolutions.com.au/uk/blog/knowledge/all-you-need-know-about-drone-lidar-scanners/>. [cit. 2025-01-13].
- [27] *The Different Types of LiDAR Systems*. Online. Dostupné z: <https://lidarradar.com/info/the-different-types-of-lidar-systems>. [cit. 2025-01-14].
- [28] *LiMobile – Vehicle Mounted LiDAR Scanner*. Online. LiDAR Solutions. Dostupné z: <https://www.lidarsolutions.com.au/uk/product/limobile-mobile-lidar-scanner-hesai-pandar40/>. [cit. 2025-01-14].
- [29] KUDA, František. *Zavádění BIM u již existujících staveb*. Online. *TZB-info*. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/bim-informacni-model-budovy/18480-zavadeni-bim-u-jiz-existujicich-staveb>. [cit. 2025-01-14].
- [30] PRICE, Gemma Z. *7 Little-Known Facts About the Iconic Sydney Opera House*. Online. Architectural Digest. Dostupné z: <https://www.architecturaldigest.com/gallery/little-known-facts-sydney-opera-house>. [cit. 2025-01-17].
- [31] TOWNING, Roland a LOCK, Christopher. *Sydney Opera House – Integration of BIM into Design and Management of Architectural Services*. Online. Dostupné z: <https://www.be.unsw.edu.au/sites/default/files/upload/UtzonSymposium/TOWNING%20AND%20LOCK.pdf>. [cit. 2025-01-17].
- [32] SANCHEZ, Adriana X.; HAMPSON, Keith D. a MOHAMED, Sherif. *Sydney Opera House - Case Study Report*. Online. Dostupné z:

https://bim.natspec.org/images/Article_files/Resources/Case_studies/SBEnrc_2015_SydneyOperaHouse_case-study_Pt1.pdf. [cit. 2025-01-17].

- [33] SHVETS, Yulia. Používání BIM ve Facility managementu – CAFM systémy. Online. Dostupné z: <https://cadbim.cz/pouzivani-bim-ve-facility-managementu-cafm-systemy/>. [cit. 2025-01-14].
- [34] GOOGLE. *Google Earth*. Online. Dostupné z: <https://earth.google.com>. [cit. 2025-01-14].

7 Seznam zkratk

BIM: Building Information Modelling (informační modelování staveb)

FM: Facility management

LOD: Level of Detail (úroveň podrobnosti)

LCC: Life Cycle Cost (náklady životního cyklu)

HVAC: Heating, Ventilation Air Conditioning (systém vytápění, chlazení a ventilace vzduchu)

8 Seznam tabulek

Tabulka 1: Detailnost jednotlivých komponent v úrovních LOD.....	35
Tabulka 2: Kapacita místnosti dle účelu	43
Tabulka 3: Výkaz plochy místnosti a možné kapacity dle účelu	43
Tabulka 4: Výkaz sociálních zařízení	44
Tabulka 5: Maximální možný počet osob na jeden kus sociálního zařízení.....	44
Tabulka 6: Počet a plocha oken v místnosti.....	45
Tabulka 7: Výkaz počtu a plochy oken.....	46
Tabulka 8: Výkaz místností s podlahovou plochou a hrubou plochou zdí	47
Tabulka 9: Časová náročnost tvorby modelu v úrovni podrobnosti LOD 100	49
Tabulka 10: Informační atributy v LOD 300	55
Tabulka 11: Výkaz stavu místnosti Z248	61
Tabulka 12: Výkaz stavu mobilního vybavení v místnosti Z248	62
Tabulka 13: Výkaz přístupu do místností	62
Tabulka 14: Kontrola místnosti Z248	64
Tabulka 15: Časová náročnost tvorby modelu v úrovni podrobnosti LOD 300	66
Tabulka 16: Porovnání přínosů a nákladů modelu v úrovních LOD 100 a LOD 300	68
Tabulka 17: Porovnání přínosů a nákladů modelu v úrovních LOD 100, LOD 150 a LOD 300.....	70

9 Seznam obrázků

Obrázek 1: Náklady životního cyklu stavby [4]	11
Obrázek 2: Schéma podrobnosti úrovní LOD [18]	19
Obrázek 3: Schéma fungování technologie LiDAR [21]	23
Obrázek 4: Stacionární laserový skener [23]	24
Obrázek 5: Ruční laserový skener [24]	24
Obrázek 6: Laserový sken na dronu [26]	25
Obrázek 7: Mobilní laserový skener na autě [28]	26
Obrázek 8: Ukázka mračna bodů [zdroj: vlastní]	27
Obrázek 9: Sydney Opera House [30]	29
Obrázek 10: Jednoduchá dokumentace budovy Z nejasné přesnosti [zdroj: vlastní]	32
Obrázek 11: Ukázka celého mračna bodů budovy Z [zdroj: vlastní]	33
Obrázek 12: Ukázka jednoho souboru mračna bodů budovy Z [zdroj: vlastní]	33
Obrázek 13: LOD 100 - 3D pohled z exteriéru 1 [zdroj: vlastní]	40
Obrázek 14: LOD 100 - 3D pohled z exteriéru Google Earth 1 [34]	40
Obrázek 15: LOD 100 - 3D pohled z exteriéru 2 [zdroj: vlastní]	40
Obrázek 16: LOD 100 - 3D pohled z exteriéru Google Earth 2 [34]	40
Obrázek 17: LOD 100 - Půdorys [zdroj: vlastní]	41
Obrázek 18: LOD 100 - Řez A-A; B-B [zdroj: vlastní]	42
Obrázek 19: LOD 300 - 3D pohled na místnost 1 [zdroj: vlastní]	56
Obrázek 20: LOD 300 - 3D pohled na místnost 2 [zdroj: vlastní]	56
Obrázek 21: LOD 300 - Porovnání pohledu v místnosti a skutečnosti [zdroj: vlastní] ..	57
Obrázek 22: LOD 300 - Půdorys stavební [zdroj: vlastní]	58
Obrázek 23: LOD 300 - Půdorys s vybavením [zdroj: vlastní]	58
Obrázek 24: LOD 300 - Řez A-A; B-B [zdroj: vlastní]	59