

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

Katedra ekonomiky a řízení ve stavebnictví

DIPLOMOVÁ PRÁCE



PROHLÁŠENÍ

Jméno diplomanta: Bc. Zdeněk Černohorský

Prohlašuji, že jsem uvedenou magisterskou diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Petra Matějky.

Použitou literaturu a materiály uvádím v seznamu použité literatury.

V Praze dne

.....

podpis



PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval všem, kteří mi poskytli podklady a informace pro vypracování této diplomové práce. Zvláště bych chtěl poděkovat panu Ing. Janu Šourkovi a Ing. Aleši Ulmajerovi ze společnosti Skanska a.s. za umožnění práce s 3D tiskárnou a pomoc při tvorbě interního průzkumu.



Vyhodnocení nákladů technologií 3D tisku s využitím BIM modelů ve stavebním podniku

Cost evaluation of 3D printing technology using BIM in a construction company



ABSTRAKT

Tato diplomová práce se věnuje metodice stanovení nákladů na možnost propojení 3D tisku a informačních modelů budov ve stavebním podniku. V teoretické části práce je kladen důraz na objasnění pojmů a principů v oblasti BIM a 3D tisku, přičemž hlavní pozornost je věnována popisu základních technologií, sběru dat v oblasti využití 3D tisku v České republice v porovnání se zahraničím. Obecně je rozebrána tematika kalkulace nákladů v rámci životního cyklu prvotní investice do 3D tisku a proces kalkulace nákladů na samotný tisk 3D modelů. Praktická část diplomové práce je zaměřena na ukázkou tvorby výstupů z 3D tiskárny společně s porovnáním nákladů interního a externího tisku. V praktické části jsou dále vytvořeny příklady konkrétních možností investice do 3D tisku a došlo také k vyhodnocení interního dotazníku, na který odpovídali anonymně pracovníci stavebního podniku Skanska a.s.

Klíčová slova

BIM; 3D tisk; informační model budovy; kalkulace nákladů

ABSTRACT

This thesis focuses on cost determination methodics of a possible integration of 3D print and building information models in any construction company. The theoretical part emphasizes definition and clarification of concepts and principles related to BIM and 3D print, mainly focusing on the description of basic technologies and data collection methods related to the usage of 3D print in the Czech Republic, in comparison to other countries. Also the topics of lifecycle of the initial investment in 3D print cost calculation and the process of the initial print of 3D models cost calculations are discussed. The practical part of this thesis focuses on sample outputs from the 3D printer together with a comparison of internal and external printing costs. The theoretical part also includes examples of specific investment opportunities related to 3D printing as well as evaluation of an internal questionnaire. The research was conducted anonymously among employees of the construction company Skanska a. s.

Keywords

BIM; 3D print; building information model; cost calculation



OBSAH

PROHLÁŠENÍ.....	ii
PODĚKOVÁNÍ	iii
ABSTRAKT	v
ABSTRACT	v
OBSAH.....	vi
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	ix
Kapitola 1	1
1. Vymezení problematiky.....	2
2. Cíle práce	2
3. Použité metody.....	3
Kapitola 2	5
4. Základní pojednání o metodice BIM	6
4.1. Definice pojmů BIM a BIM model	6
4.2. Historie BIM.....	8
4.3. Zásadní rozdíly mezi klasickým navrhováním staveb a BIM.....	8
4.4. Základní členění BIM procesu	12
4.5. Současná pozice BIM ve stavební praxi v ČR	12
4.6. Odborná rada pro BIM	14
5. Model a modelování.....	15
5.1. Objasnění pojmů.....	15
5.1.1. Jednoduchý model	16
5.1.2. Informační model.....	17
5.1.3. LOD (Level of Development)	19
5.1.4. Praktická ukázka využití LOD	20
6. Základní pojednání o 3D tisku.....	22
6.1. Historie a současnost 3D tisku.....	22
6.2. Nejvyžívanější technologie 3D tisku	26
6.2.1. Stereolitografie (SLA)	26
6.2.2. Digital light processing (DLP)	27
6.2.3. Laserové spékání (SLS)/ Laserové tavení (SLM).....	28
6.2.4. Vytlačování (extruze)	29
6.2.5. Vstřikování.....	30
6.2.6. Selektivní vrstvení (laminování)	32
6.2.7. Lineární a plošný 3D tisk	32



6.3. Materiály využívané v oblasti 3D tisku.....	33
6.3.1. Plasty.....	34
6.3.2. Kov	35
6.3.3. Keramika	35
6.3.4. Papír.....	35
6.3.5. Biologické materiály.....	36
6.3.6. Jídlo.....	36
6.4. Obecné zásady	36
6.4.1. 3D modelování	36
6.4.2. Tisk modelu	37
6.4.3. Dokončovací proces	37
7. Porovnání využití 3D tisku v ČR se světem.....	38
7.1. Využití a budoucí vývoj 3D tisku ve světě.....	38
7.1.1. Příklady využití 3D tisku ve stavebnictví ve světě	41
7.2. Využití 3D tisku v České republice.....	49
7.2.1. Příklady využití a vývoje 3D tisku na českých univerzitách	49
7.2.2. Příklady využití 3D tisku v praxi na území České republiky	53
7.3. Srovnání.....	60
8. Životní cyklus projektu	63
8.1. Fáze životního cyklu projektu.....	64
8.2. Náklady z hlediska životního cyklu projektu	64
8.2.1. Nákladové položky projektu.....	65
8.2.2. Hodnota nákladů životního cyklu	65
9. Rozbor implementace technologie 3D tisku do stavebního podniku	66
9.1. Schéma zavedení 3D tisku ve stavebním podniku	66
9.2. Pilotní projekt.....	68
9.2.1. Stanovení hodnoty nákladů životního cyklu pilotního projektu.....	68
9.2.2. Kategorizace nákladů dle jednotlivých fází životního cyklu pilotního projektu	70
9.2.3. Příklad dělení procesů v pilotním projektu.....	72
9.2.4. Obecný rozbor tvorby variant řešení investice	73
10. Propojení BIM a 3D tisku ve stavebním podniku.....	77
11. Obecný rozbor kalkulace nákladů na 3D tisk konkrétních modelů.....	79
11.1. Interní tisk	79
11.1.1. Obecný popis průběhu tvorby výstupu.....	79
11.1.2. Stanovení ceny modelu tištěného interně	80
11.2. Externí tisk	81
11.2.1. Obecný popis průběhu tvorby výstupu.....	81
11.2.2. Stanovení ceny modelu tištěného externě.....	82



11.3. Porovnání interního a externího tisku.....	82
Kapitola 3	83
12. Příklady variant řešení investice.....	84
12.1.1. Software	84
12.1.2. Hardware	85
12.1.3. Konkrétní varianty řešení.....	87
13. Implementace technologie v praxi	88
13.1. Použitý hardware a software	88
13.2. Použitý BIM model Visionary.....	89
13.3. Postup tvorby výstupu z BIM modelu na 3D tiskárně	90
13.4. Kalkulace nákladů 3D tisku modelu Visionary	99
13.4.1. Interní tisk	99
13.4.2. Externí tisk.....	101
13.4.3. Porovnání nákladů interního a externího tisku.....	102
14. Interní průzkum možností využití 3D tisku	104
14.1. Vyhodnocení odpovědí.....	104
14.2. Shrnutí výsledků průzkumu	109
Kapitola 4	110
15. Závěr.....	111
16. Vyhodnocení cílů diplomové práce.....	112
17. Diskuse	114
17.1. Zhodnocení.....	114
17.2. Možnost návaznosti	114
17.3. Využití v praxi.....	114
17.4. Doporučení	115
Reference	116
Seznam tabulek	121
Seznam schémat	121
Seznam grafů.....	121
Seznam rovnic	122
Seznam obrázků	122
Seznam příloh.....	124



SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

3D	Trojrozměrný
ABS	Akrylonitrilbutadienstyren
BIM	Building Information Modeling, Informační modelování budov
SLM	Selective laser melting, selektivní tavení laserem
PLA	Polylactid acid
SLA	Stereolithography, stereolitografie
SLS	Selective Laser Sintering, selektivní spékání laserem
STL	STereoLithography file format, stereolitografie souborový formát*
IPD	Integrated Project Delivery, integrovaná dodávka projektu
CSG	Constructive solid geometry, konstruktivní geometrie pevných těles
LOD	Level Of Development, úroveň spolehlivosti
AIA	American Institute of Architects
RP	Rapid Prototyping, technologie výroby prototypů
FDM	Fused deposition modeling, technologie „ukládání taveného materiálu“
RepRap	Replicating Rapid Prototyper, sebereplikace a rychlé prototypování
DLP	Digital Light Processing, technologie „tvrzení fotopolymeru světelným paprskem“
FDM	Fused Deposition Modeling, varianta technologie vytlačování
FFF	Freeform Fabrication, varianta technologie vytlačování
PD	Projektová dokumentace
SDL	Selective Deposition Lamination, selektivní vrstvení
WPC	Wood-plastic composite, „umělé dřevo“
LOP	Lehký obvodový plášť
LPD	Layer Plastic Deposition, vrstvení plastu
ASA	Acrylonitrile Styrene Acrylate
LCC	Life Cycle Costs, Náklady životního cyklu projektu
NVP	Net Present Value, Čistá současná hodnota

* volný překlad



KAPITOLA 1

Vymezení problematiky, cíle a metody práce



1. Vymezení problematiky

Je nutné si uvědomit, že stavební podniky v České republice teprve začínají přicházet na to, jaké výhody v sobě BIM skrývá. Některé podniky jej využívají více a některé méně. Důležité ovšem je, že se BIM pomalu, ale jistě začíná dostávat do povědomí odborné veřejnosti. Co se týče 3D tisku, v českém stavebnictví to není zatím moc známý pojem. Celosvětově ovšem tato technologie dokazuje, že by mohla mít v budoucnosti obrovský potenciál a BIM je s 3D tiskem, co se týče stavebního průmyslu, velice úzce provázán. Během posledních dvaceti let technologie 3D tisku velice vyspěla a nachází uplatnění v nejen rámci průmyslové výroby nebo zdravotnictví, ale i ve výrobě spotřebního zboží a umění. Technologie 3D tisku nesou oproti běžným metodám výroby nesporné výhody, které mohou v budoucnosti zajistit bezpečnější, rychlejší a efektivnější proces výstavby. V zahraničí se již propojením 3D tisku a stavebního inženýrství zabývá mnoho institucí a existují velice zajímavé mezinárodní projekty. V této práci se budu zabývat možnostmi využití 3D tisku, budu zkoumat varianty jeho využití a také ekonomické aspekty provozu a zavedení této technologie v podmínkách českého stavebního podniku.

2. Cíle práce

Cíl 1: Rozbor problematiky 3D tisku

Ucelené pojednání o 3D tisku (historický vývoj, současný vývoj, popis technologií, popis tvorby tištěných 3D modelů).

Cíl 1a: Rozbor problematiky 3D tisku v prostředí České republiky

Rozbor by se měl týkat technických univerzit a podniků na území ČR (dostupnost 3D tisku pro studenty, vědecké projekty, využití 3D tisku v rámci českých firem).

Cíl 1b: Srovnání České republiky se světem v oblasti využívání 3D tisku

Srovnání v rámci využitelnosti 3D tisku ČR se světem (přehled využívání 3D tisku ve světě, tvorba srovnání v rámci stavebního průmyslu, výzkumu, vývoje a oblastí, které celosvětově 3D tisk nejvíce využívají).

Cíl 2: Vyhodnocení nákladů na investici do 3D tisku

Rozbor implementace technologie 3D tisku do stavebního podniku (postupy investice, kategorizace nákladů, popis možností investice z hlediska životního cyklu projektu).



Cíl 3: Realizace modelové tiskové úlohy na případové studii

Implementace vybrané technologie v praxi (popis použitých technologií a postupů, shrnutí výsledků tvorby, kalkulace nákladů, porovnání interní tvorby modelů a outsourcingu).

3. Použité metody

Teoretická část je zaměřena jak na problematiku informačního modelování, tak obecnou problematiku 3D tisku. Při získávání informací o BIM jsem využil především rešerše literatury. Sepisování informací o 3D tisku bylo vzhledem k absenci odborné literatury v tomto oboru, o dost složitější. Zde jsem využil z velké části internetové zdroje.

Pro pochopení jednotlivých návazností mezi 3D tiskem a BIM, jsem považoval za nutné vytvořit úvod do technologie 3D tisku, jehož součástí je popis základních technologií používaných materiálů a definice základních pojmů. Následně jsem provedl průzkum využívání 3D tisku v České republice v porovnání světem. V rámci této části jsem navštívil Centrum 3D tisku 3Dees, kde jsem se setkal se specialistou na 3D tisk panem MgA. Adamem Řehákem. Ten mi popsal především oblasti, ve kterých se využívá 3D tisk u nás a ve světě. Pokusil jsem se následně o srovnání. K tomuto srovnání jsem využil především internet a poznatky získané návštěvou 3Dees. Dále jsem v rámci teoretické části provedl obecný rozbor možností investice do technologií 3D tisku ve stavebním podniku a vytvořil jsem jednotlivé varianty řešení s kategorizací nákladů. Zde jsem se soustředil především na technologie, přístroje a softwary, které je možné bez problému zakoupit přes distributora v České republice. S tímto problémem mi také pomohly poznatky z návštěvy Centra 3D tisku.

V praktické části jsem se zabýval implementací vybrané technologie, kterou jsem uskutečnil ve stavebním podniku Skanska a.s. Zde bylo cílem především vyzkoušet možnosti 3D tiskárny, jejímž vlastníkem je Skanska a.s. Následně jsem vytvořil kalkulaci tohoto procesu a snažil jsem se vymyslet finančně nejvýhodnější řešení pro tisk modelů. Důležité bylo především ekonomicky zhodnotit, zda je výhodnější pořídit novější typ tiskárny a pracovníka, který bude mít proces 3D tisku na starosti nebo zda nechat jednotlivé modely tisknout externě ve specializovaných centrech 3D tisku. Při tvorbě výstupu z 3D tiskárny jsem se rozhodl zjednodušit informační model budovy, následně pomocí několika programů vytvořit výstup, vše důkladně popsat a vytvořit kalkulaci tohoto procesu. Vzhledem k tomu, že jsem pracoval se starším modelem 3D tiskárny, musel jsem se soustředit především na tvorbu jednoduchého, ale zároveň přesného



modelu. Bylo také důležité stanovit, pro jaké účely je vhodné vytištěné modely využívat. Pro zjištění nejlepších variant využitelnosti tištěných 3D modelů jsem provedl interní průzkum pomocí jednoduchého dotazníku. Za pomoci Ing. Aleše Ulmajera a Ing. Jana Šourka (oba Skanska a.s.) byl dotazník rozeslán hromadným e-mail pracovníkům Skanska a.s. Výstupy z průzkumu jsou obsaženy v praktické části a samotný dotazník je součástí příloh. Posledním bodem praktické části je celkové vyhodnocení nákladů na celý proces tisku 3D modelu a tvorba vhodných variant řešení pro prvotní investici do 3D tisku ve stavebním podniku.



KAPITOLA 2

Teoretická část



4. Základní pojednání o metodice BIM

Tato část diplomové práce bude věnována základnímu pojednání o BIM metodice. Především se jedná o definice a vysvětlení základních pojmů, vysvětlení zásadních rozdílů mezi klasickým navrhováním staveb a BIM a základní členění BIM procesu. V této části bude také stručně popsána historie BIM a současná pozice BIM ve stavební praxi v ČR.

4.1. Definice pojmů BIM a BIM model

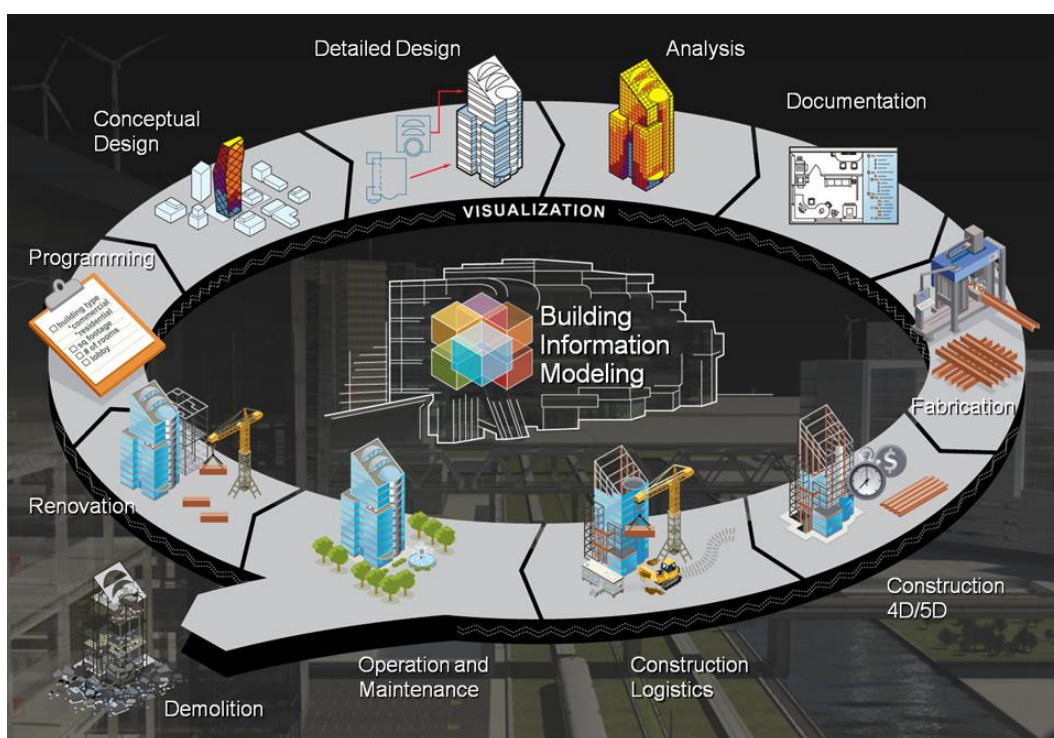
Samotné propojení stavebnictví a 3D tisku by v případě absence BIM metodiky pravděpodobně nebylo vůbec možné. BIM musíme chápat především jako komplexní proces tvorby a správy dat o stavbě, a to nejen ve fázích návrhu a výstavby, ale během celého životního cyklu. BIM nabízí také nový pohled na tvorbu výsledného vzhledu budovy, stavební management a postupně mění zaseté zvyklosti stavebního trhu, na kterém je zaváděn. BIM nachází své uplatnění především v pozemním stavitelství, dopravním stavitelství, speciálním stavitelství, vodohospodářství a správě budov.

Building information modelling (BIM) neboli informační modelování budov je možné definovat mnoha způsoby. Především se jedná o inteligentní proces vytváření a správy dat o budově během jejího životního cyklu [1, s. 1]. Realizace projektu ve formě BIM vyžaduje především úzkou spolupráci všech zúčastněných stran a jasné stanovení cílů projektu. Samotná využitelnost BIM je tedy také otázkou komunikace a spolupráce mezi zainteresovanými osobami. Účastníci by měli sdílet informace mezi sebou a do modelu by měli vložit všechny své vědomosti [2]. Jedním z nejdůležitějších procesů při použití BIM je koordinace mezi profesemi, především kvůli včasnému odhalení kolizí. Ideální je kolize detekovat během navrhování stavby. Detekce kolizí je jedna z největších výhod využívání BIM modelu. Za zkratkou BIM si můžeme tedy představit především propracovaný proces sdílení informací. BIM také tvoří předpoklady pro efektivní využití konceptu moderního dodavatelského systému IPD, který má za úkol využít znalosti všech účastníků projektu po celý průběh jeho trvání [3, s. 348].

Pro prvotní vysvětlení pojmu BIM model jsem vybral definici, která byla vytvořena pro potřeby druhého vydání knihy BIM Handbook. Zde autoři definují BIM model jako technologii, se sadou procesů potřebných k výstavbě, komunikaci a analýze stavby. Uvádějí, že stavební prvky, které jsou zastoupeny v digitálním modelu, tento model reprezentují,

musí obsahovat množství důležitých nedefinovaných dat (parametrů), které mají být správně graficky zpracovány, aby byla umožněna snadná identifikace softwarovými aplikacemi. Musí být také zajištěna jednoduchá manipulace s daty ve 3D prostředí. Jedná se tedy o inteligentní prvky. Mezi tyto prvky lze zahrnout veškeré stavební materiály a komponenty, které slouží k výstavbě a provozu budovy. Sestavy těchto prvků, musí být při změně technických specifikací rychle a snadno editovatelné. Některé prvky, jako například technologická zařízení, mohou obsahovat údaje a specifika jednotlivých funkcí, které se využívají například pro energetickou analýzu a audity [4, s. 15-16].

Informační model budovy, neboli BIM model, lze tedy chápat jako informační databázi. Pomocí informačního modelu se shromažďují data, která musí obsahovat všechny důležité informace o stavbě a musí být použitelná po celý životní cyklus stavby. Do BIM modelu mohou zasahovat všichni účastníci stavebního procesu. BIM model může obsahovat nekonečné množství informací. Při tvorbě modelu je nutné vzhledem k přehlednosti modelovat pouze to, co je potřeba pro splnění daného úkolu a samotný BIM model se musí postupně zpodrobňovat a obohacovat podle toho, jak postupují práce návrhu a realizace projektu [5].



Obrázek 1: BIM a životní cyklus projektu

Zdroj: [6]



4.2. Historie BIM

Za počátek vzniku celé problematiky BIM je považováno položení základní otázky, zda je možné počítačově simulovat model stavebních a architektonických objektů včetně jejich vlastností [7, s. 238]. Tuto otázku položil v 70. letech minulého století takzvaný „father of BIM“ prof. Charles Eastman z University Georgia Institute of Technology. Je nutné také zmínit jména jako je Tom Maver ze Strathclyde University, Arto Kiviniemi ze Salford University, John Mitchell a Robin Drogemuller z Austrálské univerzity QUT. Tito výzkumníci jsou považováni za nejdůležitější v oblasti vzniku BIM procesu. Všichni stále usilují a investují do rozvoje BIM problematiky. Zajímavostí je, že Charles Eastman hovořil o problematice BIM 7 let před založením společnosti Autodesk a 25 let před vydáním první verze programu Revit. Samotný termín *Building Information Model* byl poprvé zaznamenán v roce 1992, a to v krátkém dokumentu, který sepisoval van Nederveen a Tolman z Delft University of Technology v Nizozemsku [8]. Současným požadavkem pro sestavení modelu je nutnost tvorby databáze jednotlivých prvků, které budou mít definovány reálné charakteristiky. Díky tomu může být model reálně použit [7, s. 238].

4.3. Zásadní rozdíly mezi klasickým navrhováním staveb a BIM

Proces návrhu a projektování stavby je v oblasti BIM metodiky zcela zásadní. V této fázi dochází k vytváření samotného informačního modelu a případné nedokonalosti mohou poškodit celý proces výstavby a následně také správu budovy. V současné době dochází v České republice k postupnému zvyšování povědomí o metodice BIM mezi odbornou veřejností. Postupně se začíná jak na středních tak vysokých školách učit projektování pomocí moderních projekčních programů a studenti se díky tomu dostávají do kontaktu s modelováním. Chtěl bych se tedy v této části věnovat hlavním rozdílům mezi 2D a 3D navrhováním staveb, protože v této fázi je tvořen a nejvíce ovlivněn samotný 3D model, ze kterého je následně možné provést výstup na 3D tiskárně.

Je nutné si připomenout, že v dnešní době je navrhování staveb a inženýrská činnost jednou z nejnáročnějších fází při realizaci výstavbového projektu. Dokumentace staveb se dělí na kategorie podle použití při výstavbě nebo dle povolovacího procesu. Obsahuje velké množství dokumentů a v případě větších projektů je manipulace s projektovou dokumentací velmi náročná. Grafické systémy a projekční programy



dostupné na našem trhu umožňují zhotovit technickou dokumentaci jak pomocí 2D nástrojů, tak i ve formě 3D modelů. Jejich nabídka je v současné době velmi přijatelná a stále roste portfolio produktů jednotlivých společností, které tyto programy nabízejí. Většina tradičních projekčních kanceláří pracuje při tvorbě projektů s moderními programy, které již umožňují práci na úrovni BIM, ale pracovníci vzhledem k neznalosti nástrojů nejsou schopni je efektivně využít v plném rozsahu. Modelovací nástroje se v projekčních kancelářích a ateliérech používají především pro tvorbu jednoduchých modelů, pro potřeby vizualizace. Výsledkem je finální 2D projektová dokumentace v papírové podobě. Takto odevzdaná dokumentace musí být archivována a každý dokument musí být při práci pečlivě střežen. Výsledkem tvorby projektové dokumentace pomocí metodiky BIM je smlouvou vymezený datový model. Tento datový model následně zhotovitel během výstavby aktualizuje podle skutečného stavu a po dokončení stavby ho přebírá organizace nebo osoba pověřená správou a údržbou nemovitosti [9].

Tvorba dokumentace na úrovni 2D nese především riziko tvorby chyb v návrhu projektantem. Toto riziko je v případě využití metodiky BIM eliminováno díky sdílení modelu v pracovní skupině. Odhalit chybu je tedy díky spolupráci více osob mnohem snazší. Odhalení chyb, které nejsou tak snadno zjistitelné, lze pomocí tzv. detekce kolizí. Architekti a inženýři stavbu nadefinují ve virtuálním světě a díky tomu mohou vyřešit jednotlivé kolize před zahájením výstavby [10, s. 27-28]. Kolizemi je myšleno například nepřesné osazení jednotlivých prvků TZB, chybné návaznosti nosných konstrukcí, střety prvků (hlavice sloupu s prosklenou příčkou) atd.

Vzhledem k tomu, že do projekčního procesu vstupuje z hlediska tvorby technické dokumentace mnoho zainteresovaných osob, počínaje investorem přes jednotlivé profese až ke zhotoviteli stavby, riziko spojené s tvorbou chyb, které vyplývají z komunikace mezi subjekty, je velmi vysoké. Největší rizika při tvorbě projektové dokumentace stavby vznikají především z důvodu nedostatečné komunikace mezi jednotlivými stranami a neefektivním nastavením odpovědností. Koordinace jednotlivých profesí, které pracují se systémy 2D dokumentace, je mnohdy velmi složitá. Účastníci návrhu často nerespektují návrhy ostatních nebo případné novinky v projektu, a tím mohou vzniknout problémy s kolizemi a aktualizacemi projektu. Tomuto problému se u využití BIM metodiky předchází pomocí koordinace jednotlivých profesí. Zde je zcela zásadní fakt, že díky této koordinaci je možné zkrátit dobu návrhu, projektování, a je také zvýšena kvalita výsledného modelu [10, s. 29]. V čele každého BIM projektu velkého rozsahu by měl stát BIM koordinátor. Úkolem



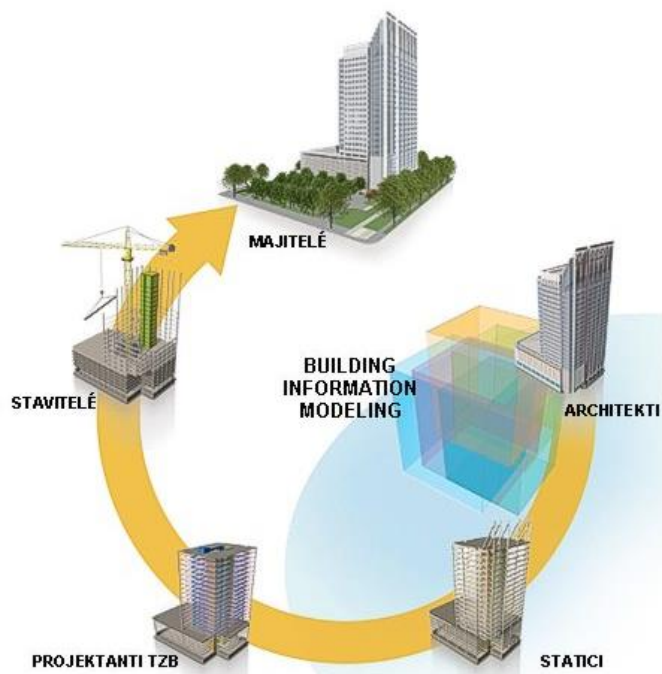
koordinátora by mělo být především řízení spolupráce mezi zainteresovanými stranami a řešení všech problémů spojených s BIM problematikou daného projektu. V případě kolizí je zcela nepochybně BIM ve výhodě. Pomocí moderních nástrojů pro BIM lze generovat nekonečné množství pohledů, detailů a řezů. Výsledná podoba stavby a změny související s kolizemi se provádí v části tvorby modelu. V případě 2D dokumentace je možné, že nastane kolize v průběhu výstavby. Zde je provádění změn velice komplikované a nákladné. Je zapotřebí vytvořit nové výkresy a následně je vytisknout. To samozřejmě generuje vyšší náklady a časovou ztrátu. Většinou jsou zadány ze strany investora velmi přísné požadavky na termín dokončení projektové dokumentace a časové ztráty se díky použití BIM metodiky částečně eliminují právě kvůli kvalitní koordinaci a orientaci v projektu. Koordinace především určuje operativně funkce jednotlivých týmů při návrhu budovy, načasování a rozložení prací současně s vysokou mírou mezioborové spolupráce [10, s. 47].

Další důležitou činností při tvorbě projektu je rozpočtování. Pro rozpočtování je zásadní kvalitní a přesná tvorba výkazu výměr. V případě sestavování výkazu výměr z výkresové 2D dokumentace je velké riziko vzniku možných chyb, které pramení z nepřehledností a špatné orientace v projektu. Další částí rozpočtování stavby je oceňování. Rozpočtář je zcela závislý na podrobnosti projektové dokumentace. Oceňování vyžaduje odborný přístup rozpočtáře k analýze jednotlivých stavebních prvků, materiálů a jejich provádění v závislosti na fázi projektu. Rozpočtář musí ocenit stavbu co nejpřesněji pomocí dostupných oceňovacích podkladů a je odkázán zcela na své schopnosti. V případě rozpočtování s BIM modelem se jedná o proces, ve kterém lze generovat poměrně přesné výkazy výměr a cenové odhady již od počátečních fází životního cyklu projektu.

Rozdíl mezi klasickou tvorbou projektu a pomocí metodiky BIM se přímo dotýká také pozice statika. Význam a rozsah projektů statiky roste s velikostí a složitostí objektu. Standardní projekt statiky musí obsahovat technické zprávy, statické výpočty, výkresovou dokumentaci a výkazy výměr. Podle stavebního zákona je statická část dokumentace vyžadována ve všech fázích projektu stavby. V některých případech se zvláště zpracovává i dokumentace pro výběr dodavatele. Podrobnost a rozsah výkresové dokumentace se liší dle velikosti projektu. Výkresová část by měla obsahovat výkresy tvaru monolitických nebo výkresy skladby montovaných či prefabrikovaných konstrukcí, výkresy výztuže pro železobetonové a výrobní výkresy pro ocelové konstrukce a pro dřevostavby, detaily konstrukcí, detaily styků, kotvení atd. Projekt statiky

staveb většího rozsahu obsahuje obrovské množství dat. V případě využití BIM metodiky statick převezme architektonický model do výpočtových programů a následně z něj pomocí úprav vytvoří výpočtový model. Dále nadefinuje v programech jednotlivé konstrukce a provede pomocí softwaru statické výpočty. Tento výpočtový model se dá v případě změn a kolizí okamžitě aktualizovat. Poté statick může využít při práci s modelem různé doplňkové pluginy, jako je například vyztužování. Oproti použití zaběhnuté 2D tvorbě statických výkresů se snižuje chybovost při překreslování podkladů a je možné automatizované generování výkresů, detailů a řezů. Nespornou výhodou je možnost simulací a hodnocení chování budovy v různých podmínkách. Statický projekt zpracovaný pomocí BIM metodiky má své opodstatnění i vzhledem k případné demolici objektu v budoucnosti. Model může sloužit jako zdroj dat pro plánování demolic a rekonstrukcí. Zde se výrazně snižuje nebezpečí náhlé ztráty stability objektu, protože pomocí modelu lze vytvořit velice přesný plán demolic a rekonstrukcí jednotlivých částí stavby [10, s. 35-37].

Je nutné přiznat, že strach z přijetí BIM má svá opodstatnění. V současné době na českém trhu chybějí také odborníci pro koordinaci projektů, nejsou dostatečně definována autorská práva, chybějí normy, knihovny BIM objektů a další důležité podklady [10, s. 25-26].



Obrázek 2: Postup návrhu konstrukce pomocí BIM

Zdroj: [7, s. 240]



4.4. Základní členění BIM procesu

Jedná se především o popis základních bodů pro efektivní využití BIM procesů. Tyto procesy se týkají tvorby nových objektů, ale i stávajících. Jedná se o opakující se proces po celou dobu životnosti stavby [7, s. 239].

I. Aktuální kondice objektů (Existing conditions)

Vyjadřuje především základní informace o současném stavu objektu, díky kterým je možné zvolit návaznosti v dalších stupních procesu a vytvořit možnosti řešení. Aktuální kondice objektů se váže k příslušným časovým údajům jednotlivých procesů [7, s. 239].

II. Předběžná analýza (Preliminary analysis)

Zde dochází ke sledování jednotlivých aspektů. Jedná se především o spotřeby energií, vhodnost či nevhodnost použití jednotlivých prvků nebo vybavení, použité technologie atd. Využívá se jak při tvorbě nového objektu, tak při rekonstrukci nebo případné demolici [7, s. 239].

III. Podrobná analýza (Detailed analysis)

Pomocí podrobné analýzy dochází k řešení konkrétních problémů (dílků projektů) a popisu jejich řešení. Součástí této analýzy je definice daného problému, shromažďování podkladů, návrh řešení a stanovení podmínek v přípravě pro realizaci. Odráží výstupy z předběžné analýzy [7, s. 239].

IV. Uskutečnění (Implementation)

Proces aplikace vytvořených výstupů jednotlivých analýz. Jedná se o uskutečnění naplánovaných řešení problémů a jejich aplikace do modelu [7, s. 239].

V. Provoz a údržba (Operate and maintain)

Především tento bod vytváří cyklickou vazbu celého BIM procesu. Je v úzké souvislosti s prvním bodem. Při výstavbě a provozu dochází postupně k aktualizaci modelu. Po dokončení stavby v průběhu provozu je nutné provádění údržby, stanovení procenta opotřebení a funkčnosti objektu. Jedná se o tzv. „sledování kondice objektů“ [7, s. 240].

4.5. Současná pozice BIM ve stavební praxi v ČR

V současnosti se již v ČR objevují projekty, jejichž zpracování využívá metody BIM. Jedná se pouze však o oddělené etapy samotného stavebního procesu a metoda BIM byla využita jen v některých částech tohoto procesu.



Konkrétně bych jako jeden z příkladů uvedl stavbu Corso Court v Praze – Karlíně. Stavbu realizovala společnost Skanska a.s. a získala za ni zvláštní cenu za celkovou komplexnost využití BIM modelu během realizace stavby v rámci soutěže Stavba roku 2016. Zpracování BIM modelu bylo vytvořeno pro hlavní nosnou konstrukci objektu, pro jeho stavební část včetně všech hlavních rozvodů TZB a pro některé vybrané části interiérů. Při přípravné a realizační fázi stavby byl BIM použit z hlediska koordinace, veškerých časových plánování a při řešení konkrétních detailů při realizaci na staveništi. V průběhu projektových fází tohoto investičního záměru dochází ke snaze o BIM spolupráci mezi jednotlivými účastníky výstavby a výměnu informací mezi nimi [11].

Vzhledem k postupnému rozvoji metody BIM v ČR zatím nejsou přesně definována jednotná pravidla a postupy na celostátní úrovni. Ke každému projektu musí účastníci výstavby přistupovat individuálně a nezávisle na sobě předem dohodnout vlastní pravidla. Zásadním faktorem pro porozumění problematice je klasifikace jednotlivých stavebních prvků. Případné rozšíření metodiky BIM v ČR postrádá taktéž definice základních standardů. Do soustavy ČSN byly převzaty zatím pouze mezinárodní ISO normy, které je ovšem třeba postupně aplikovat do národního prostředí. Hlavními překážkami, které brání širšímu uplatnění BIM metody v praxi, jsou zejména neznalost problematiky v rámci odborné veřejnosti z hlediska absence standardů, klasifikace stavebních prvků a rozdílné představy o pravidlech používání [12, s. 5-6].

Výhodným aspektem především pro státní správu i s ohledem na rozsah státního majetku by bylo vyžadování potřebných informací o svých stavbách v digitální podobě ve formě BIM modelů. Projekční firmy, ale i zástupci veřejné správy již projevily zájem o vytvoření jednotné problematiky týkající se metody BIM. Do budoucna plánuje např. nejvyšší kontrolní úřad postavit novou budovu pomocí metodiky BIM, Karlova univerzita usiluje o využití BIM pro správu svých budov, město Třinec plánuje v BIM postavit novou tělocvičnu a postupně generovat všechny budovy ve svém majetku z důvodu ekonomičnosti, efektivnosti a přehlednosti. O zavedení BIM v ČR projevují organizace a společnosti evidentní zájem i s ohledem na účast při konferencích týkajících se dané problematiky. Podporu projevila i Úřad pro zastupování státu ve věcech majetkových, který spravuje a provozuje Centrální registr administrativních budov (CRAB). Pro udržení konkurenceschopnosti v Evropě, ale i ve světě bude nezbytnou nutností zavedení metody BIM do stavební praxe v České republice. BIM je ve své podstatě průřezovou záležitostí. Bude ovšem nutné náležitě dodržování legislativních i nelegislativních opatření, tzn.



ucelený a provázaný funkční systém, dostatečná koordinace, vytváření přijatelného podnikatelské prostředí, podpora výzkumu a vývoje, technické vzdělávání [12, s. 6].

V připravovaném zákoně o stavebních výrobcích a jejich použití do staveb je uvedena vazba na metodu BIM, která bude specifikovat vlastnosti pro jednotlivé výrobky povinně deklarované výrobcem a hodnoty/úrovně/třídy těchto vlastností požadované pro zabudování do staveb v ČR. Podřízenou organizací Ministerstva průmyslu a obchodu je Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. Metodika pro zavádění BIM může být vydána formou technických normalizačních informací. Počátkem roku 2015 vznikla pod vedením MPO Meziresortní expertní skupina pro BIM za účelem koordinace kroků v oblasti BIM. Jejimi členy jsou zástupci jednotlivých odvětví stavebnictví. Dalšími významnými rezorty, které se podílejí na spolupráci s problematikou BIM, jsou zejména Ministerstvo pro místní rozvoj, Ministerstvo financí, Úřad pro zastupování státu ve věcech majetkových a Ministerstvo dopravy [12, s. 6-7].

Rada vlády pro stavebnictví České republiky se zabývá současným stavem zavádění BIM v ČR. Přijala již usnesení, kterým uložila Ministerstvu průmyslu a obchodu průběžně sledovat vývoj v této oblasti a koordinovat a podporovat opatření směřující k uplatnění BIM v ČR. Současná Rada vlády doporučuje vládě ČR přijmout opatření, která směřují k postupnému zavádění metody BIM v ČR. Hlavním motivací je především snížení provozních a investičních nákladů. Důraz je kladen především na oblast veřejných zakázek. Rada vlády také navrhuje vládě ČR stanovit gestora pro zavádění BIM do praxe v ČR, přičemž navrhuje jmenovat gestorem Ministerstvo průmyslu a obchodu [12, s. 7].

4.6. Odborná rada pro BIM

Jedná se o otevřenou neziskovou a nestátní organizaci zabývající se systematicky a dlouhodobě problematikou informačního modelu budovy v praxi. Sdružuje členy a firmy za účelem sdílení a prosazení nové metodiky práce, která je spojena se zavedením informačního modelu budovy (BIM) do stavební praxe. Cílem aktivit, o které Odborná rada pro BIM usiluje je především rozpoutání diskuze nad možnostmi metody BIM a jejím postupným zaváděním do stavebnictví a správy majetku. Odborná rada pro BIM má také za úkol iniciovat vědecko-výzkumnou práci v rámci škol.



5. Model a modelování

Vzhledem k tomu, že je tato diplomová práce zaměřena na 3D tisk reálných modelů, je nutné si je blíže teoreticky specifikovat a podrobněji rozdělit. Následující části budou věnovány tomuto rozdělení.

5.1. Objasnění pojmů

Modelem se rozumí fyzické, matematické, parametrické, grafické nebo informační objekty. Jedná se především o vícerozměrné grafické objekty většinou doplněné o mnoho dalších údajů. Pro zjednodušené dělení modelů je vhodné využívat tzv. dimenzionální dělení, které přiřazuje jednotlivým modelům vlastnosti od nejjednodušších (body) až po ty nejsložitější, vícerozměrné. Za vícerozměrné modely se považují modely, které obsahují negeometrické informace. Zde musíme rozlišovat, o jaký vědní obor se jedná, jelikož ve stavebnictví se používají jiné interpretace než například ve fyzice. Za čtvrtý rozměr v rámci stavebnictví označujeme čas. Pátým rozměrem jsou myšlena cenová a finanční data. Následně ve vyšších dimenzích se může jednat o informace energetické, obnovitelné zdroje aj. Použití více rozměrů v praxi se označuje jako vícerozměrné modelování. Následně se modely liší dle úrovně detailnosti. Zde se využívá označení LOD (Level Of Development, dříve Level of Detail) [10, s. 14-15]. Úroveň a samotný pojem LOD se v závislosti na použité terminologii v rámci projektu může lišit. Hrají zde především roli použité normy (USA, UK, atd.). Je tedy nutné význam pojmu LOD zvlášť stanovit pro každý projekt, dodavatele a investora zvlášť.

Rozměr	Grafická podoba, obsah informací
0D	Množina bodů
1D	Přímka, úsečka
2D	Plošný útvar
3D	Prostorový objekt
4D	Časové informace
5D	Cenové informace
6D, 7D, ... nD*	Další - energetická náročnost, řízení životního cyklu
* nD - Označení těchto rozměrů není v současnosti ustálené	

Tabulka 1: Dělení modelů dle rozměru (dimenze)

Zdroj: vlastní tvorba



Modelováním se rozumí tvůrčí lidská činnost, spočívající v zjednodušení dějů reálného světa. Modely mohou být vytvářeny na počítači člověkem pomocí modelovacího softwaru, podle dat získaných měřicím přístrojem z reálného světa nebo na základě počítačové simulace, případně skenování. Hmatatelný 3D model neboli těleso, můžeme definovat jako hraniční model. Ten je popsán jako mnohostěn, který má zcela určeny své hranice. Hranicemi se myslí stěna, hrana nebo vrchol. V projektování a CAD se využívá metody CSG. Modely se konstruuji z primitivních geometrických těles. Primitivní geometrická tělesa jsou koule, kvádr, válec, kužel. Při tvorbě modelu dochází ke sjednocení primitivních těles. Následně se vytvořený model převádí do hraniční reprezentace. V objemové reprezentaci jsou tělesa definována jako množina bodových vzorků získaných např. lékařským tomografem nebo 3D scannerem. Pro zobrazování se používá metoda sledování paprsku, která je založena na zpětném sledování paprsku vycházejícího z oka pozorovatele a jeho kolizí s tělesy. Dobře simuluje ostré stíny, zrcadlové odrazy a průhledné objekty [13]. Modely staveb v digitální podobě lze rozdělit na jednoduchý a informační model. Oba tyto modely se liší úrovní detailů. Volba konkrétního modelu závisí na cíli modelování a požadavku investora.

5.1.1. Jednoduchý model

Tento model slouží k přenesení projektové dokumentace do trojrozměrné podoby za účelem prezentace, vizualizace či kontroly vzhledu objektu. Hlavním znakem jednoduchého modelu je velmi nízká úroveň detailů. Především se jedná o tzv. vektorové 2 ½ D modelování. Ve většině případů bývají prvky vytvářeny obdobným způsobem. Hlavní podstatou jsou pouze objemové, tvarové a vizuální charakteristiky jednotlivých částí modelů. V praxi nejprve uživatelé definují 2D průmět objektu a následně ho pomocí příslušných nástrojů přemění na složitější 3D objekt, kterému je možné dále upravovat vlastnosti povrchu, hmoty či osvětlení [14]. Při tvorbě objektu lze rozlišovat dvojí způsob zadávání modelu – intuitivní a parametrické. V případě parametrického modelování se vytváří prvky pomocí číselného vyjádření jednotlivých rozměrů. Oproti tomu intuitivní tvorba se zakládá na libovolném vytváření dle vlastní fantazie každého uživatele. Výsledky obou těchto modelování jsou totožné, ovšem samotné metody mohou ovlivnit následnou ovladatelnost a srozumitelnost modelářských programů. Tato metoda se vyznačuje úsporou času a nákladů. Uživatel nemusí ovládat pokročilé znalosti grafického modelování. Jednoduchý model se především využívá při tvorbě studií, následné vizualizace, prezentace objektů,



při zobrazování změn v projektové dokumentaci nebo pro upřesnění rekonstrukcí. Dalo by se tedy říci, že hlavní uplatnění tohoto modelu končí již v předinvestiční fázi nebo na začátku fáze investiční [10, s. 45-46].

5.1.2. Informační model

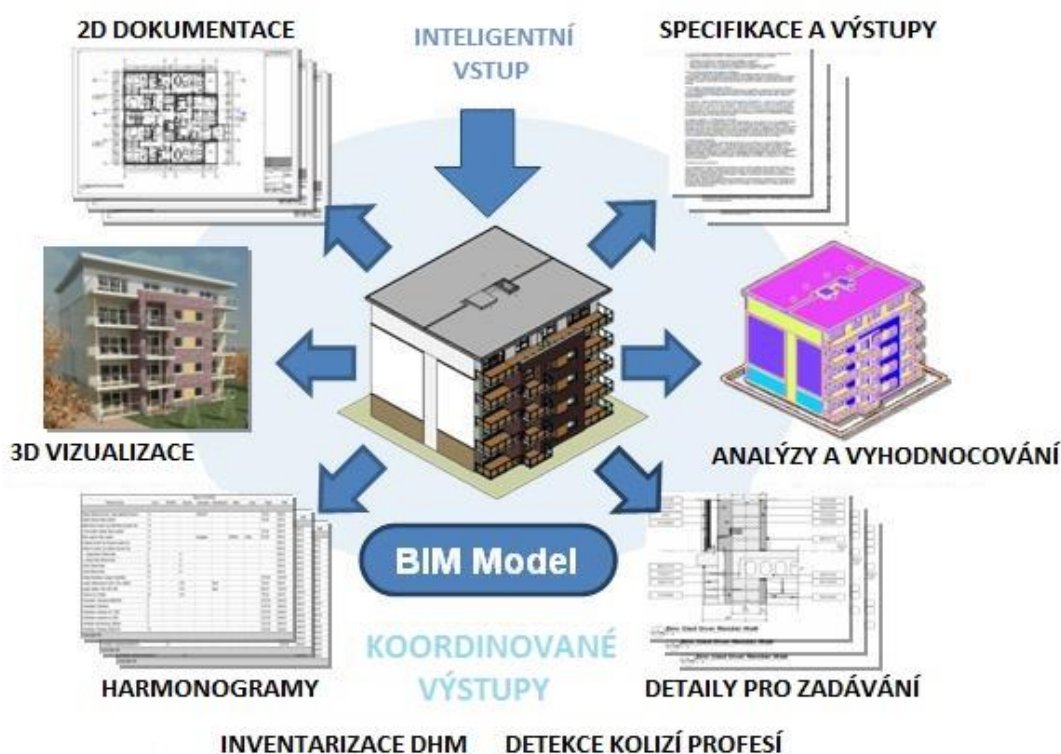
Jedná se o komplexní 3D model, který disponuje vyšším obsahem informací a nesoustředí se pouze na samotnou hmotu budovy. Součástí informačního modelu bývají zpravidla i informace o stavbě, stavebních procesech, časovém plánování, dodavatelích stavebních prvků, jejich ceny aj. Z tohoto důvodu lze říci, že se jedná o vytváření 4D, 5D až nD modelů [10, s. 45].

Informační model nachází své uplatnění ve všech fázích životního cyklu stavby. Hlavní využití spočívá především v provozní fázi stavby, jelikož jsou součástí modelování informace o stavebních prvcích, jejich následné umístění, dodavatelé, cena a životnost. Přínosem je možnost dobře si představit prostorové uspořádání místností v objektu při tvorbě dispozičního řešení a vizuální kontrola vzájemných vazeb pomocí průchodů. Výhodou je také možnost provedení fotorealistické vizualizace a tím vizuální kontrola vzhledu, vhodnost volby použitých materiálů, barevná vyváženost atd. Vizualizace následně může posloužit jako dobrý prodejní nástroj pro dodavatele PD a také pro investora v případě, že se jedná o komerční objekt. Důležitá výhoda nastává v momentě zjištění závady na konkrétním prvku. Uživatel má možnost náhledu do dat v BIM modelu a následně efektivně a rychle určit způsob případné opravy či údržby. Jednotlivé programy mají k dispozici funkce ke kontrole křížení nebo napojení jednotlivých stavebních prvků a technologických zařízení. Ideálně se vyřeší možné problémy již při tvorbě projektové dokumentace pomocí detekce kolizí a tím se značně ušetří finance během provádění stavby. Další předností je zobrazování návazností jednotlivých konstrukčních prvků pro usnadnění komplikovanějších projektových prací. Pro zefektivnění tvorby rozpočtů se využívá možnosti generování výměr a různých tabulek. Metodika BIM nabízí mimo jiné i pomocné nástroje pro projektování TZB a umožňuje do jisté míry sestavení časových plánů [10, s. 46].

Při tvorbě 3D modelu se již na začátku dají odhadnout technicky složitá místa, což vede projektanta k jejich řešení v raných fázích projektu. Tyto místa je možné odhalit již při tvorbě studie projektu. Při běžném 2D projektování se řešení stejného problému posouvá do fáze projektu pro stavební povolení nebo prováděcí dokumentace. V některých případech

dochází k vyřešení těchto problémů až ve fázi výstavby. Řešení komplikovaných míst již v rané fázi projektu má zásadní vliv na cenu projektovaného díla. Je potřeba si uvědomit, že řešení problémů v rané fázi projektové dokumentace je časově náročnější než u tvorby klasické 2D dokumentace. Navíc jsou do modelu vkládány podrobné informace, které jsou běžně vydávány v pozdějších stádiích PD, proto je nutné u BIM projektu pozměnit časování odevzdání jednotlivých fází projektu. [10, s. 46]

Vzhledem k tomu, že se tato diplomová práce týká propojení komplexního 3D modelu a 3D tiskárny, je kvalitně vytvořený model nutností v případě tvorby výstupu ze 3D tiskárny. Jednotlivé kolize a nepřesnosti ve 3D modelu se následně projeví při tvorbě výstupu. V tom případě je nutné tyto chyby a nepřesnosti dodatečně řešit a tím dochází ke značnému navýšení rozpočtu na tvorbu výstupu. V případě kvalitně vytvořeného modelu je celý proces značně zjednodušen.



Obrázek 3: Schéma funkce informačního modelu budovy

Zdroj: [15]



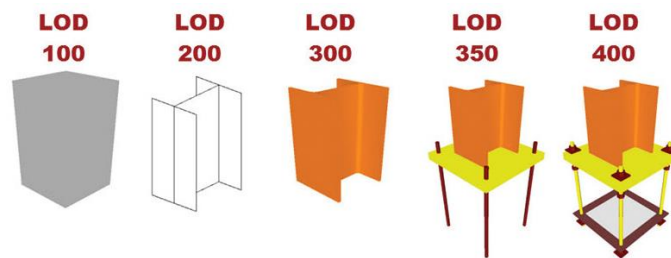
5.1.3. LOD (Level of Development)

Pojem a specifikace LOD byla vyvinuta softwarovou společností VicoSoftware, která se zaměřuje na vývoj programů určených pro tvorbu stavebních rozpočtů. Firma se snaží vyvíjet rozpočtářský software, který by nabídl přímé oceňování stavebních elementů v BIM modelu. Při vývoji se dostavil problém, když nebyli schopni ocenit stavební elementy v modelu, kterým chybělo podrobné zpracování a přesná definice. Při automatické kalkulaci z informačního modelu nelze ocenit model, který není přesně definován. Pokusili se tedy vyvinout koncept, který nazvali „Level of Detail“, tedy měřítko detailnosti zpracování stavebního elementu z hlediska jeho ocenění. V tomto měřítku jednotlivé úrovně přesně definují stavební prvek. Úroveň LOD 100 poukazyvala na to, že současný tvar stavebního elementu není definitivní. Hodnoty jeho plochy či objemu byly naproti tomu dostatečně přesné. V úrovni LOD 200 bylo možné pouze předpokládat již konkrétní počet elementů, ale ne jejich definitivní podobu, každý element bylo nutné ocenit zvlášť. Stavební elementy v úrovni LOD 300 byly již plnohodnotně identifikovány a bylo možné k nim přiřadit skutečné ceny. Poslední úroveň LOD 400 již definovala, jaké konkrétní elementy budou dodány, tato úroveň byla využívána také pro posouzení jednotlivých cenových nabídek dodavatelů [16].

Vývojem LOD se nezabývala pouze společnost VicoSoftware. AIA (American Institute of Architects) rozhodl, že koncept LOD by bylo vhodné využít pro všechna použití informačního modelu (energetické analýzy, 5D programování). Koncept „Level of Detail“ byl následně přejmenován na „Level of Development“. Název „Level of Detail“ mohl způsobovat představu, že daný koncept měří pouze grafickou rozpracovanost elementů a ne potřebnou vypovídající hodnotu zaimplementovaných informací. Pojem „Level of Detail“ se v současné době využívá ve vyjádřeních o grafické rozpracovanosti modelu [10, s. 52].

Pojem Level of Development (LOD) je možné definovat jako doporučení, které umožňuje stavebním inženýrům přesně specifikovat a jasně formulovat spolehlivost informačního modelu stavby v různých fázích návrhu. Je možné říci, že LOD je v podstatě měřítkem jak vložené informace reprezentují daný BIM prvek. LOD není nezbytně měřítkem množství informací. V daném BIM elementu musí být dostatek informací, aby byla splněna úroveň požadovaného LOD. LOD nedefinuje přesnost grafického zpracování daného BIM elementu. Grafický vzhled je jedna část informace o daném elementu a obvykle je považována za nejméně důležitou. Dodavatel daného BIM elementu nepotřebuje vědět, jak daný objekt

vypadá, nebo kde přesně bude v informačním modelu osazen, ale potřebuje vědět název výrobce a číslo modelu, popřípadě je také nutné znát přesné rozměry objektu pro případnou koordinaci s ostatními objekty kolem něj. Stavební element může mít nadefinovány určité Level of Development i za předpokladu, že Level of Detail nebude brán v potaz. Level of Detail vytváří především nadefinování grafické rozpracovanosti prvku a to se zdá být do jisté míry bezpředmětné. Ve funkčním BIM modelu není důležité, jak daný objekt vypadá realisticky, ale pokud neobsahuje data o výrobci či konkrétním výrobku, nebude možné objekt ocenit a následně objednat. LOD má v BIM projektování důležitou roli. Dá se také říci, že LOD může být měřítkem pokroku ve vývoji projektu. Pro dosažení úrovně LOD 300 je zapotřebí mnohem více času a energie než pro dosažení úrovně LOD 100. Projekty v různých fázích podrobnosti budou vždy obsahovat řadu stavebních elementů či sestav, které mohou mít různé LOD. Není tedy příliš logické vyžadovat model o konkrétní hodnotě LOD [16].



Obrázek 4: Využití LOD při definování konstrukčního sloupu

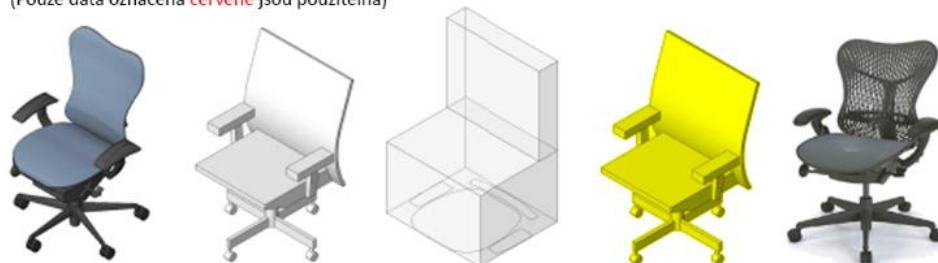
Zdroj: [17]

5.1.4. Praktická ukázka využití LOD

Ukázka se vztahuje na možnosti definice modelu kancelářské židle.

LOD 100 LOD 200 LOD 300 LOD 400 LOD 500

(Pouze data označená červeně jsou použitelná)



Obrázek 5: Ukázka vykreslení kancelářské židle dle LOD

Zdroj: [16]



	Koncept	Návrh	Dokumentace	Konkrétní výrobek	Facility management
POPIS	Kancelářská židle s područky na kolečkách	Kancelářská židle s područky na kolečkách	Kancelářská židle s područky na kolečkách	Kancelářská židle s područky na kolečkách	Kancelářská židle s područky na kolečkách
ŠÍŘKA	-----	700	700	685	685
HLOUBKA	-----	450	450	430	430
VÝŠKA	-----	1100	1100	1085	1085
VÝROBCE	Hermann Miller	Hermann Miller	Hermann Miller	Hermann Miller	Hermann Miller
MODEL	Mirra	Mirra	Mirra	Mirra	Mirra
LOD	100	200	300	400	500

Tabulka 2: Obsah a využitelnost informací dle stupně LOD

Zdroj: [16]

Pokud budeme LOD vztahovat na budovu jako celek, můžeme klasifikovat jednotlivé úrovně takto. LOD 100 obsahuje celkový objemový model budovy, jednotlivé objemy, umístění a orientaci ve 3D modelu. V případě LOD 200 jsou jednotlivé stavební elementy modelovány jako seskupení s přibližným množstvím, rozměry, tvary, umístěním a orientací. K jednotlivým elementům mohou být přiřazeny negeometrické popisné informace. U LOD 300 jsou již elementy modelovány jako přesné specifické skupiny. LOD 400 obsahuje elementy, které jsou modelovány jako specifické objekty s přesnými rozměry, tvary, umístěním, orientací informacemi o zhotoviteli a podrobnými detaily. V případě LOD 500 jsou stavební elementy modelovány tak, jak byly postaveny a dodány s přesnými rozměry, množstvím, tvarem, polohou a orientací. Tento model je již vhodné využít pro správu a údržbu nemovitosti [10, s. 53-55]. Vzhledem k tomu, že v současné době v Česku žádná vyhláška jasně nedefinuje BIM ani LOD, zadavatel vždy musí zvážit po dohodě se zhotovitelem zakázky, jakým způsobem bude model zpracován a jakou funkci a detailnost budou mít jednotlivé BIM elementy [16].



6. Základní pojednání o 3D tisku

Tato část diplomové práce bude věnována konkrétním tématům, které mají za úkol přiblížit historii, nejvyužívanější technologie, materiály a základní procesy 3D tisku.

6.1. Historie a současnost 3D tisku

Pro začátek je nutné si uvědomit, že 3D tisk vychází z klasického inkoustového tisku. Princip inkoustového tisknutí je založen na tom, že inkoust je na papír vymršťován velkou rychlostí v podobě kapek. Inkoustový tisk byl vynalezen v roce 1976 a tento vynález položil základ pro pozdější technologii 3D tisku [18]. První zmínky o 3D tisku pocházejí z Japonska. Zde měl v květnu 1980 původně Dr. Hideo Kodama z Nagoya Municipal Industrial Research Institute žádat o patent k aplikaci Rapid Prototyping (RP), která měla sloužit k rychlé a efektivní výrobě prototypů. Bohužel pro doktora Kodamu byl spis se žádostí o patent předán až v době po uplynutí lhůty, do které bylo možné žádost o patent podat (více než rok po aplikaci). Vznik technologie 3D tisku se datuje do roku 1986, kdy byl vydán první patent na RP technologii stereolitografie (SLA). Tuto technologii si nechal patentovat zakladatel společnosti 3D systems Charles W. Hull, který SLA stroj sestrojil již v roce 1983. Tato metoda slouží k tvorbě objektů pomocí postupného vytvrzování polymerů. Stereolitografie spočívá v trojrozměrném laserovém tisku s využitím UV laseru a tekutého polymeru. 3D systems v roce 1987 představují RP koncept, aparát SLA-1. Jedná se o první komerční systém 3D tisku, který byl po důkladném testování v roce 1988 poprvé prodáván, ale vzhledem k neustálému vývoji pouze beta zákazníkům. Tento model tiskárny byl později základem pro rozvoj současných 3D tiskáren a CNC strojů. První veřejně dostupný model 3D tiskárny nesl označení SLA-250. SLA byla tedy první oficiálně patentovanou RP technologií [19].

Konkurenci technologii SLA vytvořil v roce 1987 Carl Deckard z University of Texas. V tomto roce podal žádost o patent na technologii Selective laser sintering (SLS). Technologie funguje na bázi spékání materiálu. Patent na ni byl vydán v roce 1989. Licenci na vývoj této technologie získala společnost DTM Inc [19].

Další konkurenční technologie se objevila v roce 1989, kdy si Scott Crump (jeden ze zakladatelů Stratasys Inc.) podal žádost o patent na technologii Fused deposition modeling (FDM). Technologie funguje na bázi tavení a ukládání materiálu na podložku. Patent k FDM byl vydán společností

Stratasys v roce 1992. Tato technologie je jednou z nejrozšířenějších metod 3D tisku [19].



Obrázek 6: První 3D tiskárna Stereolithography Apparatus SLA-1
zdroj: [20]

V Německu vznikla v roce 1989 společnost EOS GmbH, kterou založil Hans Langer. Společnost se zaměřovala a vyvíjela technologii Laser sintering (SL). V této technologii dosáhli velkých pokroků a vylepšení. V dnešní době jsou systémy společnosti EOS uznávány po celém světě a jsou schopny vytvořit jedny z nejkvalitnějších výstupů. Jejich prvním prodaným systémem byla technologie direct metal laser sinteringu (DMLS), která je založena na přímém spékání kovu. Prvním velkým zákazníkem byla automobilka BMW se sídlem v Mnichově.

V roce 1991 je firmou Helisys, Inc. vyvíjena technologie Laminated object manufacturing (LOM), která je založena na principu řezání lamel, které jsou vrstvené a vzájemně slepené pomocí lepidel. Žádost o patent byla podána roku 1996 a schválena v roce 1998 [21].

V roce 1993 byla v Massachusetts Institute of Technology vyvinuta nová RP technologie nazvaná Zprinting. Technologie je založena na principu

selektivního nanášení kapalné hmoty, která se skládá z lepidla a prášku. Tisková hlava se pohybuje a nanáší tuto tekutou směs na podložku. ZPrinting využívá k tisku pohyb po ose Z. Jedná se o technologii trojrozměrných technik. Tuto technologii odkoupila společnost Z Corporation.

Další druhy tiskařských technologií, které byly v 90 letech vyvinuty:

- Ballistic Particle Manufacturing (BPM), patent William Masters
- Laminated Object Manufacturing (LOM), patent Michael Feygin
- Solid Ground Curing (SGC), patent Itzchak Pomerantz

Na začátku 90. let vzniklo mnoho nových firem, které se snažily vyvíjet nebo různě vylepšovat RP systémy. Ovšem do dnešní doby se na trhu udržely pouze 3D Systems, EOS a Stratasys. Mezi léty 1990 – 2000 se rozvíjely také technologie odlévání neboli Rapid Tooling (RT). Tento proces měl za úkol zkombinovat systémy Rapid Prototyping (RP) s CAD nástroji a vyrobit přesnou formu funkčního modelu vhodnou k odlévání. Technologie je v případě masivní výroby velice efektivní. V současné době se tato technologie stává velice důležitou a využívanou v oblasti strojního průmyslu [22].



Obrázek 7: Výsledek Rapid Prototyping (RP) procesu

Zdroj: [22]

Mezi lety 1996 - 2005 se objevilo velké množství nových technologií v oblastech 3D tisku, odlévání a svařování, díky kterým bylo možné vytvořit tzv. koncový výrobek nebo prototyp. Bylo tedy za potřebí stanovit jasnou terminologii pro tyto výrobky a rozdělit procesy tvorby prototypů a



koncových výrobků. Pro výrobu koncových výrobků byl přijat pojem Additive Manufacturing (AM) neboli aditivní výroba. Pro výrobu prototypů se ustálil pojem Rapid Prototyping (RP) [23]. Ovšem dá se říci, že aditivní výroba je proces, při kterém dochází k postupnému nanášení jednotlivých vrstev na sebe. V případě, že je tímto způsobem vyráběn prototyp nebo forma (pomocí 3D tisku) jedná se o prototyp či formu vyráběnou pomocí aditivního procesu.

Po roce 2003 vypršely společně některé patenty a díky tomu se začaly objevovat nové technologie využívající fotopolymer. Technologie se nazývá PolyJet a je srovnatelná s technologií SLA. Jako první ji představila Izraelská společnost Objet v roce 2000, která na ni získala patent. 3D tiskárny na bázi PolyJet mají hlavici, která tryská jednotlivé vrstvy tekutého fotopolymeru na podložku. Hlavice taví plast ze zásobníku ve směru osy X, Y a rovnoměrně ho pokládá na podstavec, který se pohybuje ve směru osy Z. V praxi se tato technologie využívá i pro 3D tiskárny menších rozměrů. To vytváří předpoklady pro možnosti případné domácího nasazení. V roce 2009 byla technologie PolyJet upgradována na technologii PolyJetMatrix, která umožňuje tisk jednoho prvku z více materiálů. V roce 2012 společnost Objet Geometries oznámila sloučení se společností Stratasys, Ltd.

Za velice důležitý milník v oblasti 3D tisku lze považovat rok 2005. V tomto roce byl na University of Bath doktorem Adrianem Bowyerem založen projekt RepRap. Tento mezinárodní projekt je vyvíjen na principu otevřeného hardware. Hlavní myšlenkou bylo navrhnout 3D tiskárnu, která bude umět vytisknout co nejvíce vlastních součástí. Název RepRap je zkratkou slov replicating rapid prototyper, což znamená, že je schopný sebereplikace a rychlého prototypování. Projekt byl pojat jako Open Source (otevřený projekt), což umožnilo nadšencům z celého světa zapojit se do spolupráce. V lednu 2009 přichází na trh první komerčně dostupná RepRap 3D tiskárna s názvem BfB RapMan 3D printer. V dubnu téhož roku byla vydána konkurenční tiskárna Makerbot Industries. RepRap tiskárny jsou dnes nejrozšířenějším druhem 3D tiskáren na světě [19].

V roce 2012 přišla na trh tiskárna B9Creator, která využívá technologii DLP (Digital Light Processing). Pomocí této novodobé technologie se dají vytvářet pevné modely s vysokou přesností z tekutého fotopolymeru působením světelného paprsku. [24].

V září roku 2016 oznámila společnost Matell uvedení na trh první 3D tiskárny, která je určena pro děti a má název ThingMaker. Ta by měla přijít do prodeje v roce 2017 a prodejní cena by se měla pohybovat

okolo 300 dolarů (7500 Kč). Tiskárna by měla být kompatibilní se systémy iOS a Android. Měla by dovolit tisk jednoduchých komponent pro skládání hraček a postaviček z formátu STL [25].



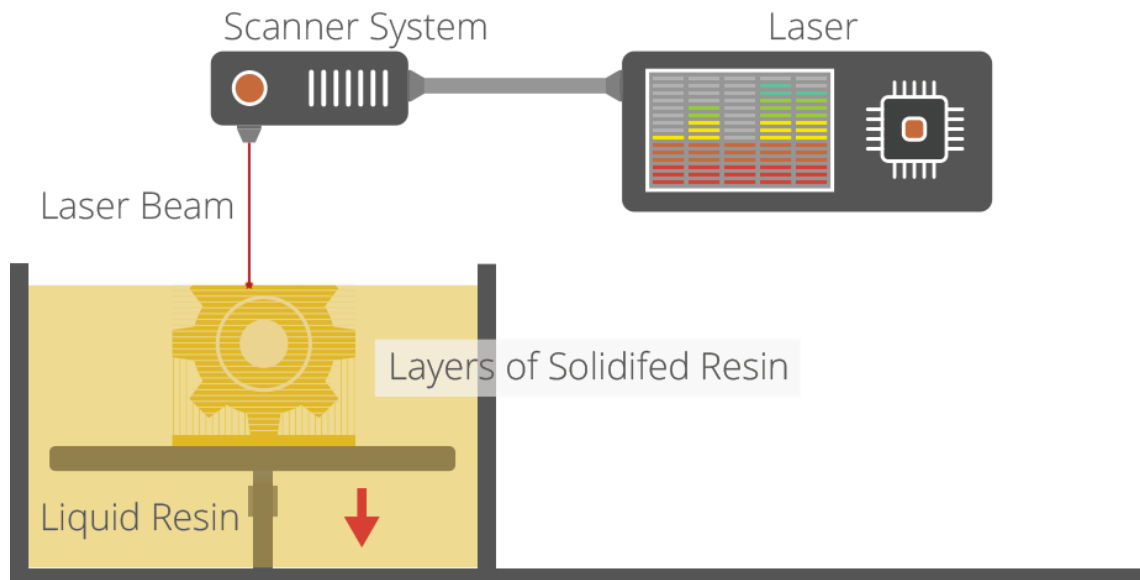
Obrázek 8: Tiskárna ThingMaker určená pro děti
Zdroj: [25]

6.2. Nejvyžívanější technologie 3D tisku

6.2.1. Stereolitografie (SLA)

Jedná se o první komerčně využívanou technologii 3D tisku. Model při tomto postupu vzniká působením ultrafialového laserového paprsku na tekutou fotopolymerickou pryskyřici, která je působením laseru ztvrdována ve vrstvách, jejichž tvar vždy odpovídá dané vrstvě řezu STL modelu. Po vytvrzení vrstvy se platforma posune ve vertikálním směru o tloušťku další vrstvy, nanese se další vrstva pryskyřice a laser v ní opět vytvrdí vzor dle řezu STL modelu. Při tisku tvarově složitějších modelů jsou budovány dočasné podpory, které je nutné po dokončení tisku manuálně odstranit. Vytvrzovací proces může zahrnovat také vystavení modelu v sušárně, kde dochází za působení světla k plnému vytvrzení pryskyřice. Součástí novodobých tiskáren již bývá vytvrzovací komora, nebo vytvrzování probíhá po dokončení tisku přímo v prostoru tisku. Výhodou stereolitografie je možnost vytvářet velké modely s dobrými fyzikálními vlastnostmi. Výrobky lze dále obrábět nebo využívat například jako formy pro vstřikování plastů. Zařízení pro stereolitografii patří mezi dražší a materiály (pryskyřice) vhodné k použití technologie bývají také

nákladnější. Stereolitografie je považována za jednu z nejpřesnějších technologií 3D tisku s vynikajícími vlastnostmi povrchové úpravy modelu [26].

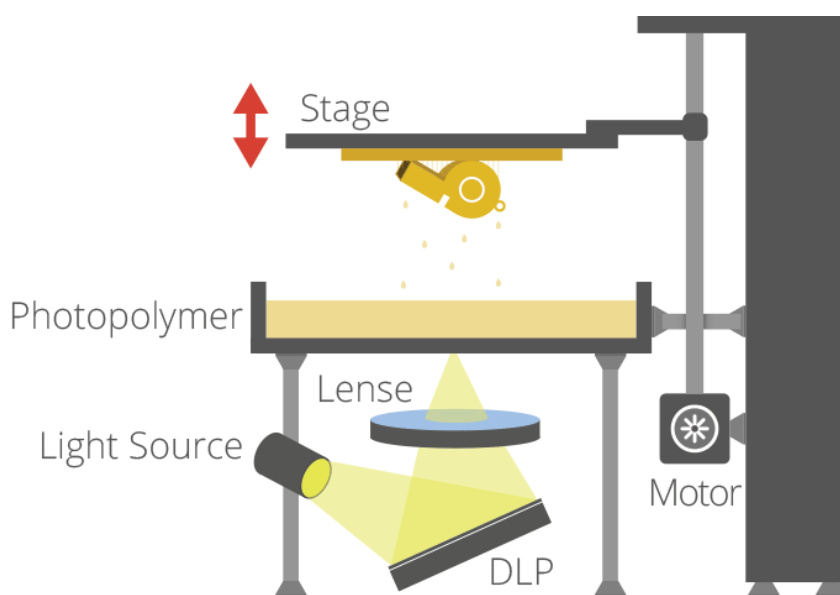


Obrázek 9: Schéma technologie stereolitografie

Zdroj: [26]

6.2.2. Digital light processing (DLP)

Digital light processing, neboli tvrzení pomocí světelného paprsku, se dosti podobá stereolitografii. Hlavním rozdílem je využití světelného paprsku. DLP využívá konvenční světelné zdroje, jako jsou světelné projektory nebo obloukové lampy. Pomocí světelného zdroje je promítán obraz průřezu modelu přímo na povrch pryskyřice a tím dochází k vytvrzení promítnuté vrstvy světlem. Deska stroje postupně sestupuje a vytváří prostor pro tvorbu nové vrstvy. Po úplném dokončení objektu dochází k odstranění přebytečného materiálu a případnému vytvrzení pomocí UV záření nebo ponořením do chemické lázně. Jedna z výhod DLP oproti stereolitografii je použití mělké vany s pryskyřicí. Díky tomu vzniká méně odpadového materiálu a jsou sníženy náklady celého procesu tisku. Výrobek vytvořený metodou DLP je takřka ideálně hladký, nejsou na něm patrné vrstvy materiálu. DLP zařízení se využívají například pro výrobu šperků s drobnými detaily, zubních protéz a podobně [26].

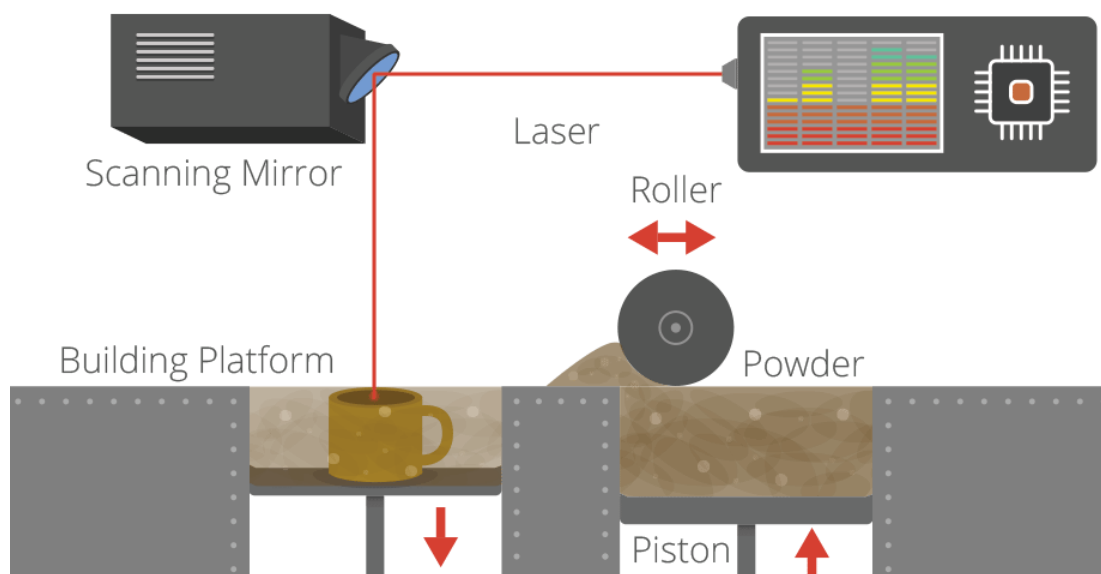


Obrázek 10: Schéma technologie DLP

Zdroj: [26]

6.2.3. Laserové spékání (SLS)/ Laserové tavení (SLM)

Pro tyto technologie se používají zkratky SLS (Selective laser sintering) a SLM (Selective laser melting). Výrobek zde vzniká tavením nebo spékáním práškového materiálu (tím může být např. plast, kov, keramika nebo sklo), který je po tenkých vrstvách spékán v ploše řezů dle digitálního modelu výkonným laserem. Nejprve je nanesena vrstva prášku v celé ploše stavěcí platformy a stroj tento materiál předehřeje na teplotu blízkou jeho bodu tání, aby laseru umožnil využít veškeré jeho energie ke spečení materiálu v ploše právě vytvářeného řezu modelem. Jakmile laser osvítl příslušnou plochu, klesne stavěcí platforma o tloušťku jedné stavební vrstvy níže, nanese se další vrstva materiálu a takto se celý proces opakuje až do dokončení výrobku. Tiskařská komora musí být po celou dobu tisku zcela utěsněna a musí v ní být uchována přesná teplota, odpovídající bodu tání daného materiálu. Jedním z problémů procesu je požadavek na výkonné chlazení, příkon až 5kW a dobrá volba materiálu pro požadovanou kvalitu modelu. Vytvářený model je neustále obklopen zbytkovým práškovým materiálem. Výhodou postupu je eliminace potřeby dočasných podpor. SLS technologie dokáže vyrábět modely z kovu, keramiky nebo dalších materiálů. Díky této technologii je možné vytvářet i velmi složité struktury. Vzhledem k široké škále dostupných materiálů, které je možné při procesu použít, je tavení a spékání velice oblíbený proces. Mezi tyto materiály patří polymery (nylon, polystyren), kovy (titan, ocel, slitiny), kompozitní materiály, keramika a slévárenský písek [26].



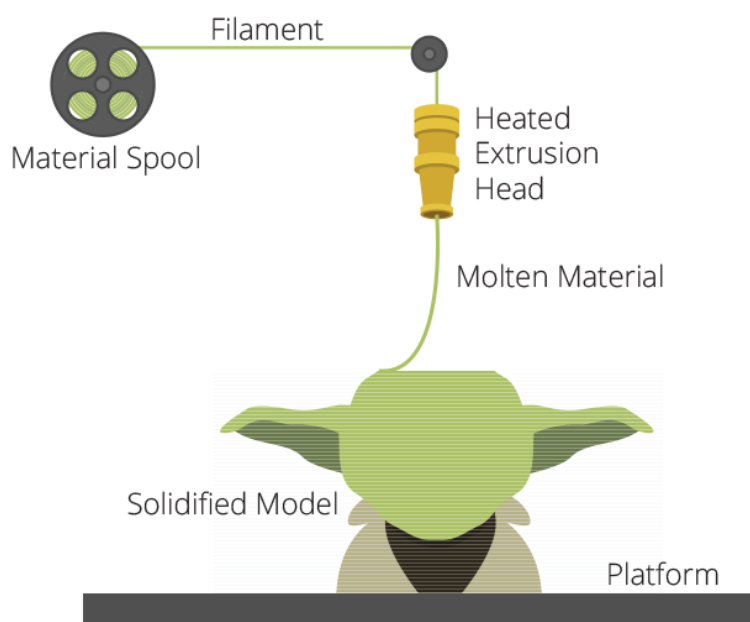
Obrázek 11: Schéma technologie SLS

zdroj: [26]

6.2.4. Vytlačování (extruze)

Tyto velice používané technologie pracují na principu vytlačování termoplastických materiálů. Nejznámější varianty vytlačování jsou známy pod zkratkami FDM (Fused Deposition Modelling) a FFF (Freeform Fabrication). Fused Deposition Modeling (FDM) je jednou z nejrozšířenějších metod profesionálního 3D tisku na světě. Díky postupnému zdokonalování a zjednodušení tohoto procesu bylo možné vytvořit jedny z nejlépe cenově dostupných 3D tiskáren. Odvozená technologie FFF se využívá v RepRap projektech. Princip FDM spočívá v tavení plastového vlákna (filamentu) nebo kovu uvnitř extruzní hlavy, která taveninu následně vytlačuje na podložku a svým pohybem v osách X a Y postupně nanáší tenkou vrstvu materiálu v rovině horizontálního průřezu modelu. Po nanesení celé vrstvy se podložka sníží o tloušťku vrstvy v ose Z a postupné nanášení pokračuje nanovo až do vytvoření celého produktu. Jednotlivé vrstvy díky ukládání taveného plastu na sebe mezi sebou vytvoří vazby a vznikne tak pevný a přesný model. Procesy FDM/FFF nabízejí širokou škálu možností pro odstranění podpor. Podpory je možné odstranit mechanicky nebo pomocí vyplavování u dražších typů tiskáren. Při kombinaci více barev jednotlivých filamentů se pro aplikaci využívají duální hlavice. Z hlediska přesnosti je výhodnější systém FDM, ovšem u procesu FFF dochází k neustálému zdokonalování díky RepRap projektům. Nejčastěji používanými materiály pro technologie vytlačování jsou

termoplasty ABS a PLA. V profesionálních aplikacích jsou využívány další materiály jako polykarbonáty nebo speciální termoplasty [26].



Obrázek 12: Schéma technologie vytlačování

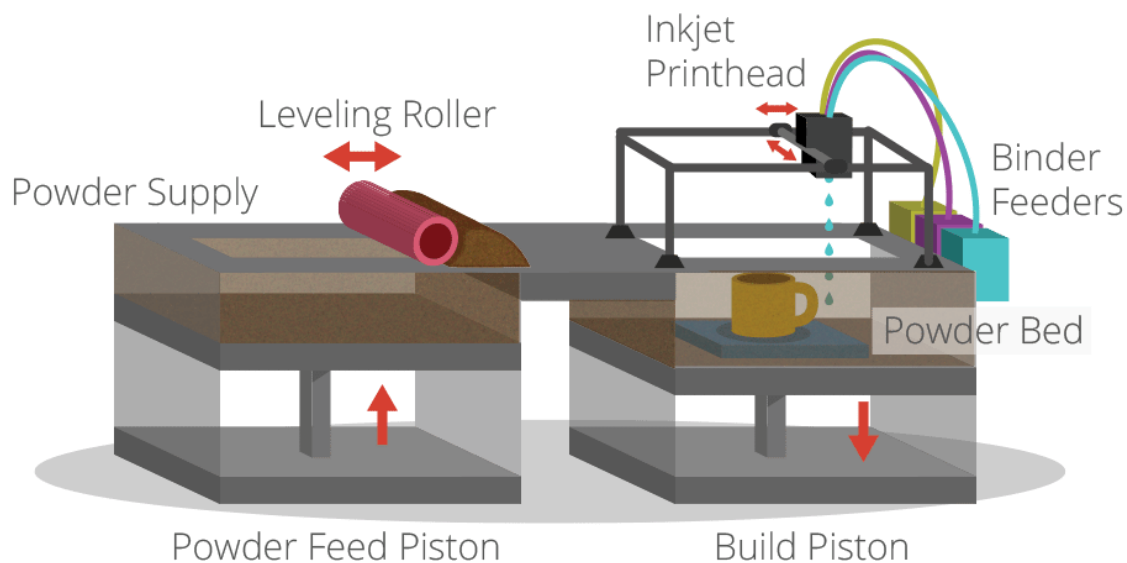
zdroj: [26]

6.2.5. Vstřikování

V současné době existují dva způsoby, které využívají techniku vstřikování. Vstřikování pojiva neboli Binder jetting a vstřikování materiálů neboli Material jetting. Technologie Binder jetting využívá selektivního rozstřikování pojiva do práškového lože. Nejprve dojde pomocí rotačního válce nebo kotouče k roznesení vrstvy prášku po podložce. Při vstřiku lepidla dochází k propojení s práškem a tím se vytvoří požadovaná vrstva. Následně dojde k poklesu podložky a rotační válec roznese další vrstvu prášku a tím se celý proces opakuje. Výhodou této technologie je, že selektivní vstřik pojiva do prášku vytváří přesný tvar bez potřeby tvorby podpor. V této technologii je možné využít mnoho různých materiálů od keramiky až po potraviny a také využít plnou paletu barev [26].

Technologie Material jetting využívá přímého vstřikování materiálů v kapalném nebo roztaveném stavu. Dochází k ukládání materiálu na vyhřívanou podložku pomocí několika pohyblivých hlavic a následnému zchlazování. Každá vrstva je vytvořena pomocí UV světla. Výhoda tohoto procesu se skrývá v možnosti tvorby modelu z několika různých materiálů s různými vlastnostmi zároveň. Díky této technologii je možné tvořit velmi přesné díly s hladkým povrchem [26].

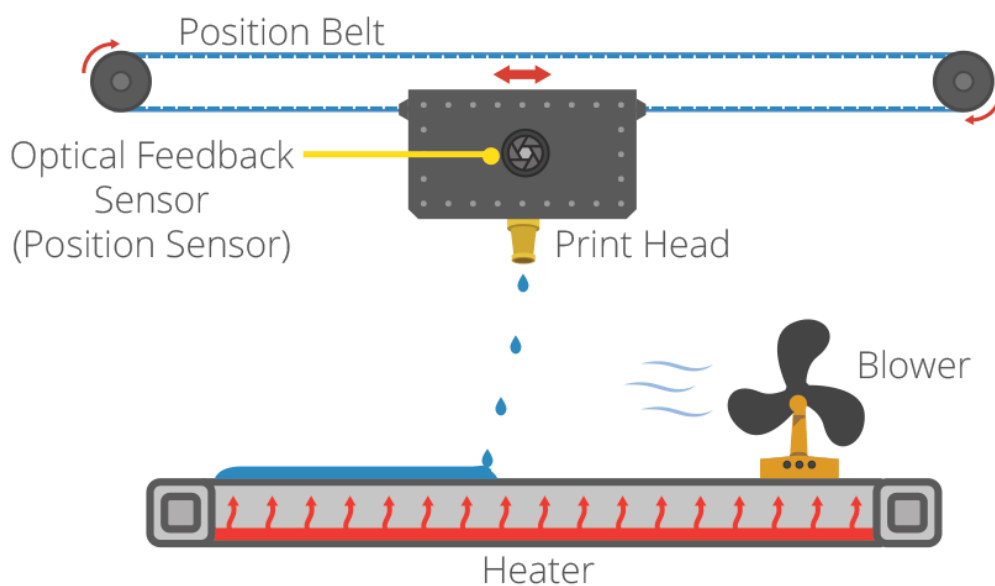
Inkjet: Binder Jetting



Obrázek 13: Schéma technologie vstřikování pojiva

zdroj: [26]

Inkjet: Material Jetting

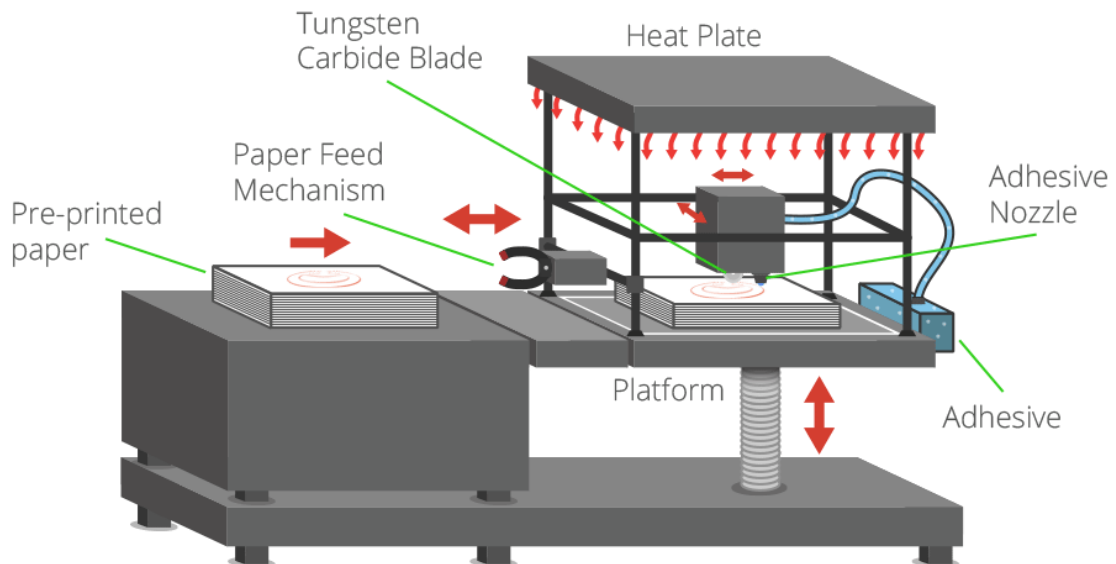


Obrázek 14: Schéma technologie vstřikování materiálu

zdroj: [26]

6.2.6. Selektivní vrstvení (laminování)

Při procesu SDL (Selective Deposition Lamination) dochází k vrstvení standartního kopírovacího papíru. Každá vrstva je k předchozí vrstvě připevněna pomocí lepidla, které je aplikováno dle 3D dat vytvářeného modelu z počítače. Lepidlo je kladeno tím způsobem, že v místě modelu je jeho koncentrace hustší a v místě podpory řidší. To umožňuje následné jednodušší odstranění podpory. Podavač papíru klade listy na vyhřívanou desku s vrstvami lepidla a pomocí tlaku jsou jednotlivé listy spojeny. Po položení vrstvy dojde pomocí speciálního ostří k oříznutí podle tvaru dané vrstvy modelu. Celý proces se následně opakuje. Výhoda této technologie spočívá v možnosti produkce plnobarevných částí modelu a šetrnosti k životnímu prostředí díky využití běžného papíru. Touto technologií není možné vyrábět prvky se složitou geometrií [26].



Obrázek 15: Schéma technologie selektivního vrstvení

Zdroj: [26]

6.2.7. Lineární a plošný 3D tisk

Jedná se o technologie využívané ve stavebnictví. Především se jedná o způsob ukládání materiálu. Lineární 3D tisk je obdobou technologie vytlačování (FDM/FFM). V případě lineárního 3D tisku dochází k ukládání promíchané směsi pojiva a plniva lineárně tryskou v horizontálních vrstvách. Podporu konstrukce tvoří zemní podklad nebo zhotovená základová konstrukce [27, s. 10].

Plošný 3D tisk je obdobou technologie SLS, případně SDL. Dochází ke sprejování pojiva na nosnou vrstvu plniva. Tisk probíhá nanášením jednotlivých vrstev v celé ploše půdorysu pomocí robotického zařízení. Poloha budoucí konstrukce je určena souřadnicemi, pomocí kterých nanáší robot v daných vrstvách pojivo. Plnivo nezasažené pojivem tvoří po dobu tvrdnutí podporu budoucí konstrukce. Po vytvrdnutí je nevyužitá plniva odstraněna. Tento postup umožňuje vytvořit neomezenou tvarovou flexibilitu [27, s. 29].



Obrázek 16: Lineární 3D tisk – Winsun, ČLR
Zdroj: [27]



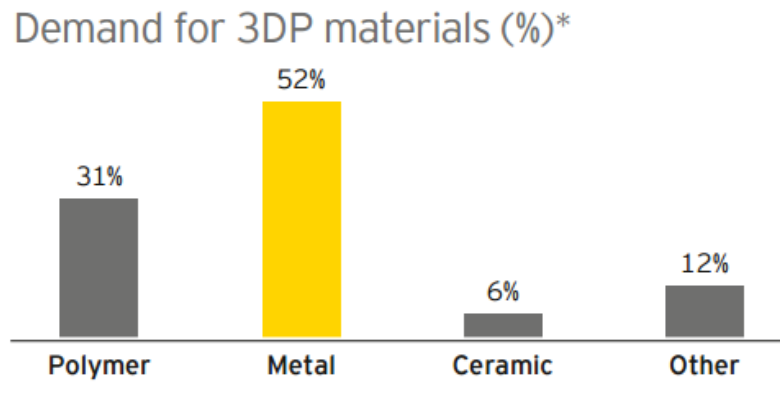
Obrázek 17: Plošný 3D tisk – D-SHAPE – Monolite UK - Enrico Dini
Zdroj: [27]

6.3. Materiály využívané v oblasti 3D tisku

Materiály, které se využívají v dnešní době v oblasti 3D tisku, prošly stejně jako tiskařské technologie určitým vývojem. Existuje široká škála těchto materiálů, které se vyskytují v různých formách, jako jsou prášky, vlákna, pelety, granule, pryskyřice atd. Existují i mnohé speciální materiály, které jsou využívány především ve zdravotnictví. Pro každou technologii 3D tisku je specifikované určité portfolio jednotlivých materiálů. Chtěl bych se

v této části práce zaměřit především na popis těch nejpopulárnějších a nejvyužívanějších.

Následující graf znázorňuje poptávku po materiálech určených pro 3D tisk v roce 2016. Tento graf vznikl na základě průzkumu o světovém využití 3D tisku. Součástí grafu není poptávka soukromého a vědeckého sektoru. Graf se vztahuje na data získaná od 900 zástupců společností, ve kterých byl průzkum proveden.



*N=900 companies, EY global 3DP study, April 2016

Graf 1: Poptávka po materiálech pro 3D tisk (2016)

Zdroj: [28]

6.3.1. Plasty

Nylon a polyamid se běžně používají ve formě prášků při spékání nebo tavení a ve formě vláken v případě FDM. Jedná se o silné pružné a chemicky odolné materiály, které jsou pro tyto procesy 3D tisku velice vhodné. Přirozená je pro tyto materiály bílá barva, ale objevují se i barevné varianty. Ve formě prášku lze tento materiál kombinovat s práškovým hliníkem [29].

Velice široký rozsah využití má v oblasti 3D tisku termoplastický materiál Akrylonitrilbutadienstyren, zkráceně ABS. Jeho výhodou je tuhost, odolnost proti nízkým i vysokým teplotám a chemikáliím. Další velkou výhodou je zdravotní nezávadnost. Jednotlivé díly z ABS je možné lepit rozpouštědlovými a polyakrylátovými lepidly. Materiál je dodáván v široké paletě barev a nejčastěji v podobě tiskařské struny [30].

Polylactid acid (PLA) je společně s ABS nejpoužívanějším materiálem pro 3D tisk metodou vytlačování termoplastu a technologie FDM.



Termoplastický polyester je získáván z obnovitelných zdrojů, např. z kukuřičného nebo bramborového škrobu a je biologicky odbouratelný. Pro účely 3D tisku je dodáván obvykle ve formě tiskařské struny o průměru 1,75 až 3 milimetry. V porovnání s ABS je rychleji zpracovatelný při stejných výchozích podmínkách. Výrobky z PLA mají ovšem menší odolnost vůči teplotám. Měknout začínají již kolem šedesáti stupňů Celsia, zatímco ABS až při sto stupních. PLA není tolik náchylné k deformacím vlivem chladnutí vytištěného materiálu, nevyžaduje tedy použití vyhřívané podložky. Výrobky z PLA jsou oproti ABS méně pružné a mají vyšší lesk [31].

LayWood neo také Wood-plastic composite (WPC) je materiál speciálně vyrobený pro technologii vytlačování. Skládá se z kvalitní dřevité moučky, která je doplněna polymerem. Materiál eliminuje nežádoucí vlastnosti dřeva (hniloba, plísně, atd.) a vytváří vizuální efekt dřevěného povrchu.

6.3.2. Kov

V současné době počet kovů a kovových kompozitních materiálů v oblasti 3D tisku neustále narůstá. Nejčastěji jsou využívány hliníkové a kobaltové deriváty. Dalším velice využívaným materiálem je ocel ve formě prášku určená pro sintrování (spékání) a tavení. V posledních několika letech se využívá také zlato a stříbro, především v případě využití 3D tisku v klenotnictví. Oba tyto materiály se využívají ve formě prášku [29].

6.3.3. Keramika

Keramika tvoří relativně novou skupinu materiálů, které je možné pro 3D tisk využít. Keramické materiály, které jsou využívány pro 3D tisk musí, projít stejnými procesy jako při tradiční výrobě keramických výrobků. To znamená vypálením a glazováním. Využívají se především extrudéry na bázi směsí jílu a vody. V dnešní době je možné pomocí těchto materiálů tisknout různé druhy atypického nádobí a dekorativní prvky [32].

6.3.4. Papír

Standartní papír formátu A4 se využívá při 3D tisku pomocí technologie SDL. Použití tohoto materiálu vyjadřuje především snahu o ekologičnost, snížení výdajů a nákladovou efektivitu této technologie. Výrobky z něj vyrobené jsou bezpečné, šetrné k životnímu prostředí a recyklovatelné [29].



6.3.5. Biologické materiály

V oblasti 3D tisku mají tyto materiály globálně obrovský potenciál. Po celém světě dochází k investování nemalých prostředků do tohoto výzkumu, nejvíce v oblasti zdravotnictví. Především se jedná o výzkum 3D tisku z živé tkáně, vzhledem k možnému použití pro transplantace orgánů [29]. Vědci se také pokoušejí o přesné výtisky částí lidské kostry a chrupavek. Toto odvětví 3D tisku se nazývá Biotisk. Mechanickou odolnost zajišťuje tisk z buněčných hydrogelů, které jsou netoxické vůči buňkám, v nosné struktuře z biologicky rozložitelných polymerů. Stávající postupy doposud nedokázaly zajistit funkci miniaturních cév, které jsou nezbytné pro zásobení buněk živinami a kyslíkem [33].

6.3.6. Jídlo

Ve světě začíná během posledních let vzrůstat poptávka po extrudérech na bázi potravin a potravinářských přísad. V běhu jsou různé experimenty, které se tímto odvětvím intenzivně zabývají. Nejčastěji se jedná o výrobu modelů z čokolády a cukru. Experimentuje se také s využitím těstovin, sýrů a masa. Výzkum se soustředí na tisk a budoucí produkci vyváženého jídla [29].

6.4. Obecné zásady

6.4.1. 3D modelování

3D modely určené pro 3D tisk jsou z velké části tvořeny pomocí počítačových CAD aplikací, které podporují 3D navrhování. Další možnosti tvorby 3D modelu jsou 3D skenování a pomocí fotografií z digitálního fotoaparátu ve spolupráci s fotogrammetrickými softwary. Technologie 3D skenování je v současnosti využívána v mnoha oblastech běžného života, od průmyslu přes zdravotnictví a umění. Největší výhodou ručních 3D skenerů je jejich mobilita. Díky přenositelnosti je možné skenovat téměř cokoli a kdekoli. V oblasti fotogrammetrie se jedná především o využití technologie stereofotogrammetrie, díky které lze provést odhad trojrozměrných souřadnic jednotlivých bodů objektu, který byl nafocen z více stran. Největší potenciál využití stereofotogrammetrie je v oblasti rychlého 3D mapování.



6.4.2. Tisk modelu

Před samotným zahájením tisku 3D modelu z formátu STL, je nutné detekovat případné chyby, které mohly vzniknout při modelačním procesu. Mezi chyby je možné započítat například chybné vykreslení nadpraží oken, výskyt prvků nepotřebných pro finální vzhled modelu nebo tenké prvky (skleněné výplně oken), které není 3D tiskárna schopna zpracovat a vytisknout. Pro úpravu výstupů z CAD modelářských programů je dnes k dispozici na trhu mnoho softwarových studií (3ds Max, Blender), ve kterých se dá poměrně snadno model upravit a zjednodušit pro tisk. Úprava modelu, který vznikne pomocí metody 3D skenování, se většinou provádí ručně pomocí úprav polohy jednotlivých prostorových bodů ve speciálních programech (Artec Studio). Po dokončení jednotlivých úprav modelu přichází na řadu nahrání STL souboru do příslušného programu, který je propojen s 3D tiskárnou (Repetier, Meshmixer, Cura). V tomto programu se provádí nastavení tisku. Finální velikost objektu, rozmístění jednotlivých podpor (supportů), celková tloušťka stěn, a další varianty nastavení, které mají za úkol zajistit hladký průběh tisku. Následuje proces nařezání modelu neboli slicer. Pomocí této funkce dochází k vytvoření trajektorií pohybu tiskařské hlavy. Z tohoto procesu je následně generován přenositelný kód (G-code). G-code slouží při případném přenosu dat na jinou tiskárnu, kdy uživatel nahraje do tiskařského programu G-code a z něho se automaticky vygeneruje již nařezaný a připravený model určený k tisku. Samotný tisk modelu může trvat od několika hodin po několik dnů. Zde záleží především na velikosti a složitosti modelu, typu tiskárny a nastavení rychlosti tisku. V případě méně složitých modelů je možné tisknout je současně na jedné tiskařské desce. Podrobně je tento proces popsán v praktické části na ukázce tisku konkrétního modelu.

6.4.3. Dokončovací proces

Po dokončení tisku je nutné celý model důkladně překontrolovat, odstranit přebytečné zbytky tiskařského materiálu (fillamentu), případně odstranit venkovní podpory (supporty). Některé vícenákladové typy tiskáren mohou být vybaveny funkcí vyplavování těchto přebytečných částí. V případě tisku z materiálů jako jsou ABS, PLA, atd. Je nutné zlepšit povrchové vlastnosti modelu ručně nebo pomocí chemických látek, jako je aceton nebo podobná rozpouštědla. Finální úpravu modelu je možné provést pomocí modelářského náčiní. Úprava musí být provedena s velkou pečlivostí a



přesností. Za dokončovací proces můžeme také považovat finální barvení modelu (pokud je vyžadován).

7. Porovnání využití 3D tisku v ČR se světem

Podle nejaktuálnější předpovědi společnosti Gartner Inc. bude v roce 2016 dodáno téměř půl milionu kusů 3D tiskáren, což je dvojnásobek oproti roku 2015. Tato prognóza jasně ukazuje stále se zvyšující zájem o 3D tisk po celém světě. Díky tomu dochází takřka denně k novým objevům a inovacím v této oblasti a je tedy těžké držet s tímto postupem krok. Některé prognózy předpovídají, že globální trh s 3D tiskem dosáhne v roce 2025 hodnoty 15,2 miliard \$ [34]. V této části práce bude vytvořeno stručné porovnání ve využívání a vývoji 3D tisku v České republice a ve světě.

7.1. Využití a budoucí vývoj 3D tisku ve světě

Tento bod by měl vytvořit jasný přehled o aktuální pozici 3D tisku ve světě a ukázat pravděpodobnost budoucího vývoje. Jako podklad jsem použil výsledky globálního průzkumu mezinárodní společnosti Ernst & Young Global Limited „EY's Global 3D Printing Report 2016“. Před vydáním tohoto dokumentu, neexistoval žádný komplexní přehled o obchodním postavení 3D tisku na globálním trhu. Tato studie je založena na názorech 900 respondentů z devíti průmyslových odvětví, ve kterých je využívání 3D tisku nejvíce zastoupeno. Především se jedná o automobilky, letecký průmysl, strojírenství, průmyslové zpracování plastů, výroba elektroniky, farmacie, medicína a energetika. Průzkum byl veden ve 12 zemích světa [28, s. 4-6].

Mezi jednotlivými průmyslovými odvětvími existují rozdíly v názorech na přijetí 3D tisku. Během průzkumu bylo zjištěno, že z 900 dotazovaných společností využívá 3D tisk téměř čtvrtina. 24% společností má již s 3D tiskem zkušenosti a dalších 12% zvažuje přijetí. Pro 64% není přijetí 3D tisku v současné době relevantní. Největší zkušenosti mají společnosti, zabývající se zpracováním plastů a strojírenské závody [28, s. 5].

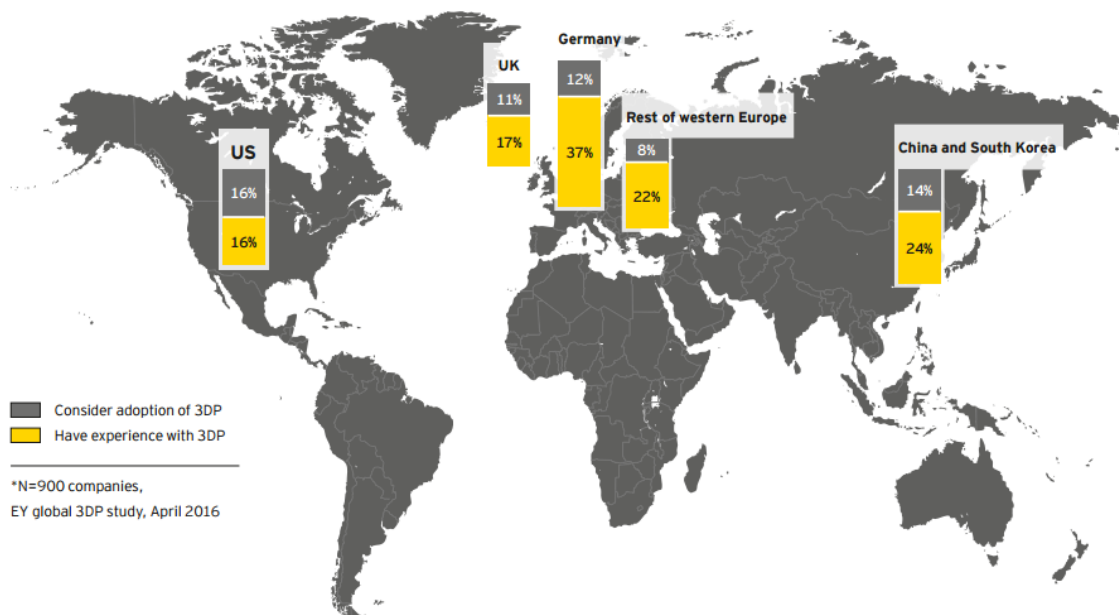


*N=900 companies, EY global 3DP study, April 2016

Graf 2: Využití 3D tisku v dotazovaných společnostech

Zdroj: [28, s. 5]

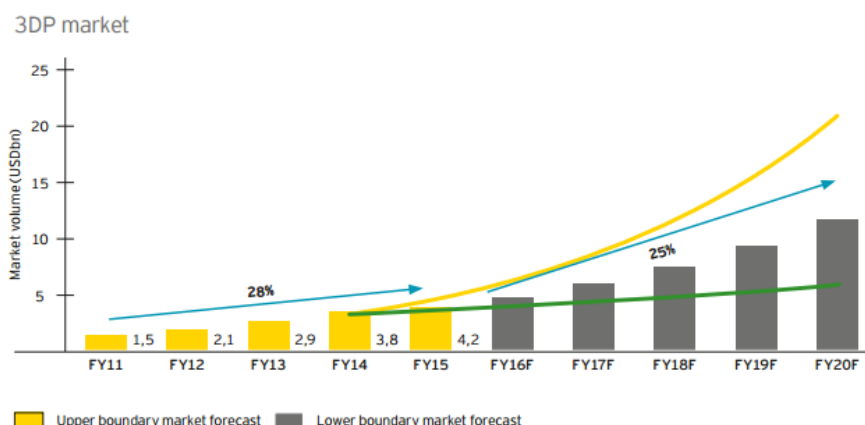
Situace v jednotlivých částech světa je dle výsledků šetření následující. Pomyslné první místo ve zkušenostech s 3D tiskem v praxi drží Německo, následuje Čína s Jižní Koreou, státy západní Evropy, Velká Británie a USA. V Německu má zkušenost s 3D tiskem 37% společností a dalších 12% uvažuje o přijetí. V porovnání s USA, kde má s 3D tiskem zkušenost pouhých 16% z dotázaných a dalších 16% zvažuje přijetí je toto procento značně vysoké. Průzkum v Číně a Jižní Koreji ukázal, že 3D tisk využívá 24% společností a 14% uvažuje o přijetí. Z výzkumu ve státech západní Evropy ukazuje, že z tamních dotázaných společností má s 3D tiskem zkušenost 22% z nich a dalších 8% plánuje přijetí. Ve Velké Británii z dotázaných firem 3D tisk využívá 17% a dalších 11% zvažuje přijetí [28, s. 5]. Veškerá tato čísla jsou znázorněna na obrázku 15. Tato procentuální vyjádření se mohou v současné době zdát jako malá, ale je nutné brát na vědomí, že 3D tisk má za sebou prozatím pouze 30 let vývoje a čísla jsou neustále na vzestupu.



Obrázek 18: Současné využití a předpoklad přijetí 3D tisku v jednotlivých zemích

Zdroj: [28, s. 5]

Objem služeb, které souvisejí s aditivní výrobou, zaznamenal od roku 2011 prudký nárůst. Do roku 2015 byl roční nárůst těchto služeb 28%. Do roku 2020 se očekává roční nárůst přibližně o 25% ročně. Záleží samozřejmě na růstu světové ekonomiky a především na růstu jednotlivých odvětví, ve kterých bude 3D tisk využíván. V případě růstu dle předpokladů lze předpokládat, že se 3D tisk začne využívat i v oblastech, které v současné době nemají v tomto odvětví tak velké zastoupení [28, s. 20]. Mezi tyto oblasti je možné zařadit také stavebnictví, ve kterém má 3D tisk vzhledem k výhodám, které nabízí obrovský potenciál.



Graf 3: Vývoj na trhu 3D tisku (2011-2020)

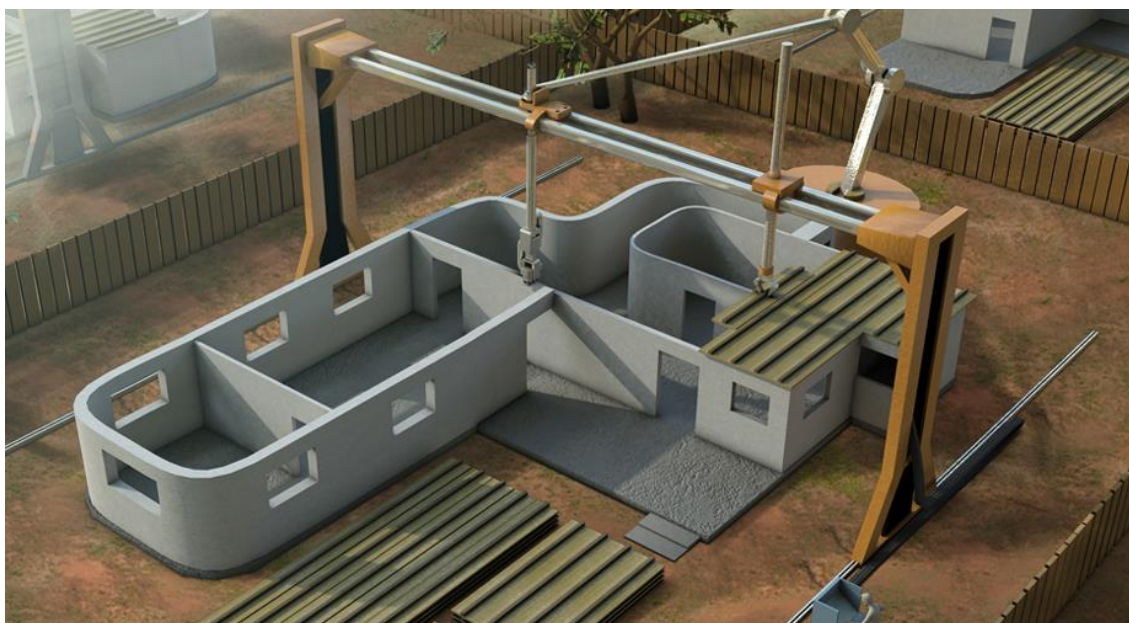
Zdroj: [28, s. 20]



7.1.1. Příklady využití 3D tisku ve stavebnictví ve světě

Předchozí bod měl za úkol vytvořit především představu o využitelnosti 3D tisku a jeho celosvětovém vývoji v rámci odvětví, kde je nejvíce využíván. V tomto bodě se chci již věnovat konkrétním ukázkám využití 3D tisku ve stavebnictví. Vyberu několik aktuálních projektů, které jsou realizovány v rámci výzkumu využití 3D tisku. Z těchto projektů je patrné, jaký potenciál má do budoucna tato metoda ve stavebnictví. Nejen že otevírá nové možnosti v oblasti architektury, přípravy a realizace, ale také skrývá velký potenciál ve využívání ekologických materiálů, jako jsou například bio-plasty. Další výhodou je možné spatřit v rychlosti a přesnosti výstavby. Nespornou výhodou je také nižší podíl produkovaných odpadů [35].

S převratným využitím technologie 3D tisku přišli vědci z University of Southern California. Podle nich bude možné v budoucnu rychle, levně a kvalitně tisknout celé domy. Metoda nazvaná Contour Crafting by mohla být využita i pro vybudování základny na Měsíci. Jedná se o automatizovaný systém výstavby, který je založen na technologii lineárního 3D tisku. V čele týmu, který se zabývá vývojem Contour Crafting, stojí Dr. Behrokh Khoshnevis. Finanční podporu tomuto výzkumu poskytuje od roku 2008 společnost Caterpillar Inc. Contour Crafting by podle profesora Khosnevisa mohl zásadně zlepšit životní podmínky miliardám lidí po celém světě. „V příštích desetiletích se naše planeta přelidní a nedostatek obydlí se stane obrovským problémem. Budeme potřebovat levné a úsporné domy, které lze navíc stavět rychleji než nyní,“ uvedl Khosnevis [35]. Velký potenciál využití má tento projekt také v oblastech zasažených přírodními katastrofami, a to především v možnosti poskytnout obětem rychle a důstojné bydlení. Tento systém výstavby má také mnohé environmentální a bezpečnostní výhody oproti běžnému způsobu výstavby. Mezi environmentální výhody patří především nižší spotřeba materiálu, nižší celková spotřeba energie pro všechny stavební činnosti, nižší spotřeba materiálu a spotřeba energií v průběhu výstavby, nižší frekvence dopravy materiálu, techniky a lidí. Mezi bezpečnostní aspekty patří snížení úrazovosti, snížení hluku při výstavbě, méně kontaktu pracovníků s nebezpečnými látkami [36].



Obrázek 19: Možnost využití Contour Crafting

Zdroj: [36]

Průkopníkem v tisku celých domů se na světovém trhu stává Čína. Zde existují dva projekty, o kterých je nutné v souvislosti s 3D tiskem mluvit. V roce 2014 Čínská společnost Su-čou Jing-čchuang Science and Trade Development z východní provincie Ťiang-su dokázala metodou 3D tisku postavit deset domů v Šanghaji za 24 hodin. Pomocí lineárního 3D tisku a obřího mechanismu 3D tiskárny z materiálu na bázi písku, cementu a skleněných vláken bylo postaveno deset funkčních domů, které jsou reálně využívány jako kanceláře pro úředníky. „Části staveb jsou tištěny 3D tiskárnou po vrstvách, které se skládají na sebe. Všechny přitom drží pevně pohromadě, nerozpadají se, nedeformují a nehroučí. Vrstvy jsou přibližně tři centimetry silné, ale pětikrát tvrdší než běžné stavební materiály. V továrně jsou vytištěny celé zdi, které dělníci pomocí jeřábu na stavbě sestaví dohromady. Zdi jsou duté. Pokud je třeba armování, ocelové tyče se vytisknou už uvnitř. Na stavbě se pak již jen betonuje.“ řekl Ma Yihe, prezident Suzhou Yingchuang Science and Trade Development Co., Ltd. Tato průlomová technologie 3D tištěných staveb musí před uvedením do běžné výroby projít ještě řadou testů, jako je např. požární odolnost a trvanlivost [35].



Obrázek 20: Detailní pohled na konstrukce vystavěné 3D tiskem

Zdroj: [35]

V roce 2016 čínská společnost HuaShang Tenda dokázala v Pekingu pomocí technologie vytlačování za 45 dní postavit dvoupodlažní vilu. Tato vila o ploše 400 m² je schopná odolat zemětřesení o síle 8,0 stupňů RichtEROVY škály. Pro výstavbu byla použita tiskárna sestavená přímo na staveništi a celý proces byl řízený pomocí počítačového programu. Software zahrnoval čtyři systémy. První systém se staral o elektrické vysílání a formulaci dat, další ovládal míchání betonu, třetí systém se zabýval transportem betonu a poslední zajišťoval pohyb a ovládání tiskařské hlavice. Na výstavbu domu bylo použito 20 tun výztuže a 380 m³ betonu třídy C30. Tloušťka stěn je 250 mm [37].



Obrázek 21: Vila vystavěna pomocí technologie 3D tisku firmou HuaShang Tenda

Zdroj: [37]

V Brazílii vznikla v roce 2015 pod vedením Anielle Guedesové společnost Urban3D, která pracuje s myšlenkou rychlé a levné výstavby domů pomocí 3D tisku. Mohlo by to vyřešit problém s neustálým narůstáním slumů. V současné době tato společnost spolupracuje s německými firmami

především na vývoji vhodných materiálů, robotických sestav a těžké techniky. Projekt ovšem v současné době nemá žádnou oficiální podporu a pracuje se především na výzkumu technologií a materiálů. Společnost se chce zaměřit na výstavbu pětipatrových budov za několik týdnů a díky robotizaci snížit náklady až o 80 %. Pro úspěch tohoto projektu bude nutné sehnat silného investora a podporu vlády. Projekt této společnosti má ovšem velký potenciál. V současné době jsou již téměř dokončeny prototypy robotického systému a čeká se na první oficiální zakázku [38].

Co se týče velkých projektů, které propojují 3D tisk a stavebnictví, nezůstává v pozadí ani Evropa. V Itálii byla v roce 2015 představena nejvyšší 3D tiskárna na světě, díky které by bylo možné stavět domy z bláta a jílu. Celá konstrukce tiskárny byla sestrojena v Itálii a za projektem stojí italská společnost WASP (World's Advanced Saving Project). Tiskárna má název Big Delta, vysoká je 12 metrů a kruhový průměr má 6 metrů. Tvoří ji kovový rám z příhradových nosníků a tisková hlava s míchačem materiálu. Tiskárnu je možné použít i pro tisk z cementových směsí, ale agentura razí myšlenku zelené výstavby a používání přírodních materiálů. Výhodou tiskárny je také jednoduchost konstrukce. Díky tomu je možné celou sestavu velmi rychle postavit a použít. Úkolem této tiskárny je provádět výstavbu sociálního bydlení s minimálními náklady a s využitím lokálních dostupných materiálů, a to především v oblastech, které byly zasaženy živelnými pohromami a také pro potřeby rychlé výstavby při extrémním nárůstu světové populace. Tiskárna byla představena v Italském městě Massa Lombarda [39].



Obrázek 22: Hlavice 3D tiskárny Big Delta

Zdroj: [39]



Obrázek 23: Konstrukce 3D tiskárny Big Delta

Zdroj: [39]

V roce 2014 vzniklo ve Velké Británii partnerství mezi Loughborough University a společností Skanska se zaměřením na vývoj 3D tisku z betonu. Skanska s univerzitou podepsala dohodu o spolupráci v rámci rozvoje a využívání technologií 3D tisku ve stavebnictví. Cílem dohody je umožnit společnosti Skanska, používat na základě licence konkrétní technologie 3D tisku vyvinuté na základě výzkumu univerzity a aplikovat je na reálných projektech. Tým vědců pod vedením doktora Richardy Buswella a profesora Simona Austina pracoval od roku 2007 na projektu portálové tiskárny s robotickým rámem, která provádí počítačem řízený lineární 3D tisk. Ukládaným materiálem je beton. Pomocí tiskárny je možné tvořit komplexní konstrukční systémy, zakřivené panely a architektonické prvky. Skanska si díky tomuto propojení s univerzitou klade za cíl prozkoumání možností, které se díky technologiím 3D tisku objevují. Daného projektu se také účastní společnosti Foster+Partners, Lafarge Tarmac, ABB Robotics a Buchan Concrete. První výsledky byly veřejnosti prezentovány v roce 2015. Pomocí lineárního 3D tisku byla vytvořena zakřivená betonová konstrukce s pevností v tlaku 100 N/mm^2 a pevností v tahu 10 N/mm^2 . Pevnost v tahu této konstrukce je možné zvýšit vložením ocelové výztuže. Techniky vyztužování těchto konstrukcí jsou zatím v rámci výzkumu prověřovány. Použitý systém dokázal tisknout rychlostí až 600 mm za sekundu. Sestava na obrázku se skládá ze čtyř panelů a díky takto rychlé technologii výroby je možné jeden panel vyrobit v rozmezí 3-4 hodin. Cílem společnosti

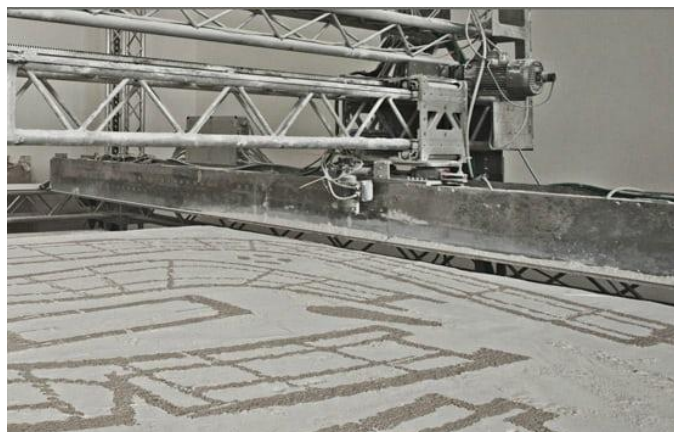
Skanska je vyrábět prefabrikované komponenty s použitím robotické 3D tiskárny přímo na místě stavby [40].



Obrázek 24: Konkrétní vytištěné betonové panely

Zdroj: [40]

V souvislosti s využitím technologií 3D tisku ve světě bych se chtěl dále zmínit o projektu Enrica Diniho, zakladatele společnosti Monolite ve Velké Británii, který pracuje na výzkumu projektu D-Shape. Jedná se o robotický výstavbový systém, který je založený na technologii plošného 3D tisku. Dini se snaží vyvíjet robotickou 3D tiskárnu, díky které by mohlo být v budoucnosti možné vytisknout jednopatrovou budovu doplněnou o schodiště, příčky, sloupy a dutiny pro instalace. V současné době se využívá pro tisk písek a anorganické pojivo. Uskutečněné výtisky mají vzhled a fyzikální vlastnosti podobající se mramoru [41].



Obrázek 25: Tiskárna D-Shape v průběhu tisku

Zdroj: [41]

V současné době se také objevují varianty využití tištěných modelů v interiérech budov. Především tisk dekorací a nábytku skrývá do budoucna možnost zajímavého podnikatelského záměru. Oblasti výroby nábytku na 3D tiskárně se věnuje Francouzská společnost Drawn, která byla založena v roce 2014. Tato společnost se zabývá výrobou designového nábytku a dekorací pomocí technologie 3D tisku. Společnost vlastní e-shop s vlastním tištěným nábytkem, spolupracuje s bytovými architekty na tvorbě jedinečných návrhů a veškerý nábytek vytváří z recyklovatelných materiálů. Na výrobu využívají velkoplošnou 3D tiskárnu s názvem Galatea, která byla sestrojena po dvouletém výzkumu přímo pro potřeby firmy Drawn. Na sestrojení prototypu tiskárny Galatea pracoval sám jeden z majitelů Drawn, inženýr Sylvain Charpiot. Tiskárna je schopna tisknout rychlostí 30 cm za hodinu. Výška tištěných modelů se pohybuje mezi 1,5 m – 2 m. Na tiskárně je možné tisknout z ABS, celulosy, polykarbonátů, kompozitních a recyklovatelných materiálů. Konkurenci této tiskárně tvoří pouze velkoformátové 3D tiskárny izraelské společnosti Massivit 3D Printing Technologies Ltd. [42].

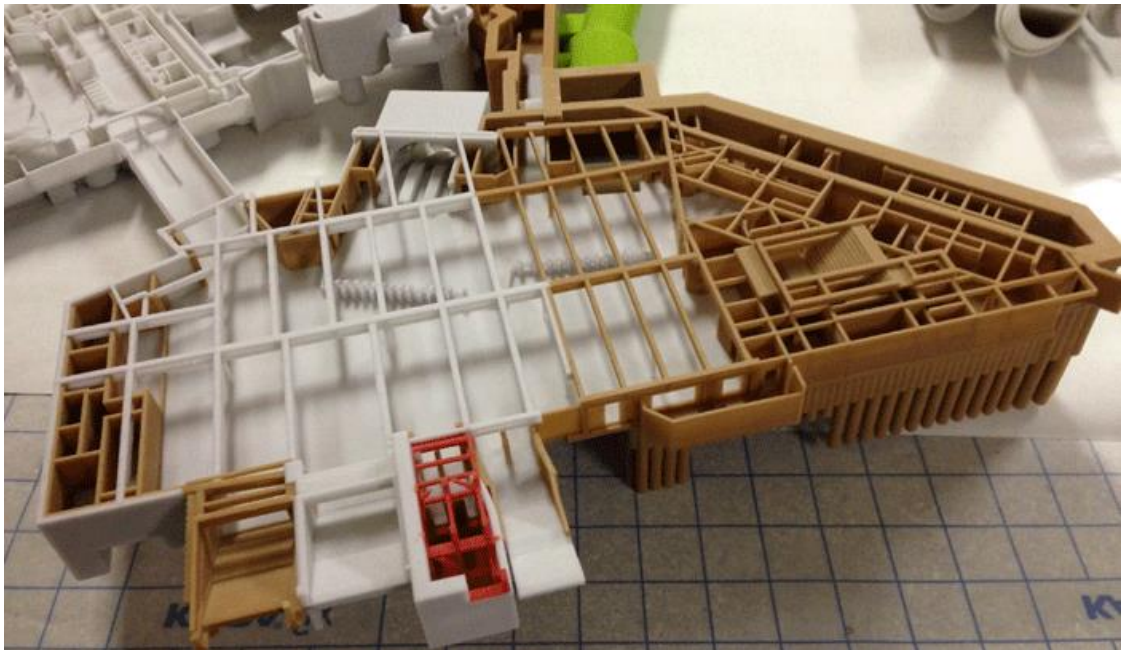


Obrázek 26: Gesign Table dodávaný firmou Drawn

Zdroj: [43]

Ve světě se ovšem 3D tisk v oblasti stavitelství nevyužívá jenom pro tisk budov, nábytku a zařízení. Mnoho architektonických kanceláří a stavebních společností využívá 3D tisku při práci na svých vlastních projektech v menším měřítku. Pro příklad uvedu konkrétní projekt z Velké Británie. Zde využívají místní architektonická studia 3D tisk v architektonickém modelářství, protože je díky této technologii možné vytvořit rychle přesné modely v každé fázi návrhu budovy. Před příchodem 3D tisku stavební podniky a architektonické ateliéry využívaly pro zpracování modelů modelářské dílny a na modelech pracovalo značné množství lidí. Díky 3D

tisku se výroba modelů značně zefektivnila, obsluhu strojů zvládne jeden modelář a tiskárny lze umístit do menších prostor. 3D tisk pro potřeby architektů a stavebních společností ve Velké Británii nabízí společně s konzultační činností v oblasti BIM například Hobs Studio, které má své pobočky v Londýně, Manchesteru, Bristolu a Glasgow. Architektonické ateliéry a stavební firmy ve Velké Británii 3D tisk využívají především pro potřeby konzultací s klienty a inženýry. Jako příklad bych uvedl návrh rekonstrukce nádraží London's Victoria Station. Konstruktivní tým zde použil výtisky jednotlivých pater a napojení infrastruktury, kde jsou barevně odděleny jednotlivé konstrukce. Díky tomu bylo možné si konstrukci lépe představit a vymyslet ideální konstruktivní a architektonické řešení. Dále byly modely využity pro účely prezentací jednotlivých řešení. Vzhledem ke složitosti železniční sítě byl model velice nápomocný, protože si architekti a inženýři dokázali jasně představit napojení jednotlivých tras a jejich křížení. Výtisky byly provedeny v rámci tvorby informačního modelu technologií SLA. Zkušenosti s tvorbou těchto modelů vytvářejí také prostor pro neustálé vylepšování a ekonomické zefektivňování celého procesu. Příkladem je postupné zeštíhlování jednotlivých konstrukcí tištěného modelu a díky tomu dochází k šetření výdajů na materiál a zrychlení celého procesu 3D tisku [44].



Obrázek 27: Detail konstrukčního modelu London's Victoria Station

Zdroj: [44]



Obrázek 28: Pracovník Hobs Studio držící komplexní model London's Victoria Station
Zdroj: [44]

7.2. Využití 3D tisku v České republice

V současné době již v naší republice 3D tisk několik společností a institucí využívá. V této části práce jsem se především zaměřil na uvedení konkrétních příkladů využití této technologie v rámci technických univerzit a českých podniků.

7.2.1. Příklady využití a vývoje 3D tisku na českých univerzitách

Univerzity hrají ve světě 3D tisku velice významnou roli, zejména v oblasti vývoje a inovací. Rozhodl jsem se vytvořit stručné pojednání o využívání 3D tiskáren na předních českých technických univerzitách. Vývoj ve využívání této technologie značně ovlivňuje kontakt budoucích architektů a techniků již v rámci studia.

České vysoké učení technické v Praze (ČVUT)

ČVUT nabízí studentům seznámení s 3D tiskem v několika projektech. Fakulta informačních technologií nabízí studentům v rámci laboratoře 3D



tisku možnost práce s 3D tiskárnou RepRap. Dále se v laboratoři pracuje na optimalizaci tisku a prototypování. Na FIT je vyučován volitelný bakalářský předmět 3D tisk.

V laboratořích pro vývoj a realizaci Fakulty elektrotechnické se pracuje s 3D tiskárnou řady ProJetTM firmy 3D Systems. Na tomto pracovišti se díky této 3D tiskárně vytvářejí prototypy.

Dále se studenti ČVUT mohou s 3D tiskem seznámit v rámci studentského klubu Silicon Hill. V rámci místního projektu 3D tisk studenti mohou pracovat na RepRap tiskárně.

V rámci Fakulty strojní je studentům umožněno studovat předmět 3D tisk kovových materiálů. Předmět má za úkol seznámit studenty s možnostmi využití aditivních technologií. Studenti mohou využívat 3D tiskárny, které pracují s technologií spékání laserovým paprskem a FMD.

Ústav mechaniky, biomechaniky a mechatroniky Fakulty strojní ČVUT v Praze má dlouholeté zkušenosti s technologií 3D tisku polymerů a jeho využití při konstrukci náhrad kloubů nebo rekonstrukční chirurgii defektů lebky. V rámci tohoto ústavu probíhá v současné době projekt s názvem „3D tisk implantátů s vysokou přidanou hodnotou - spolehlivost, účinnost, individualita“.

Na veletrhu MSV Brno 2016 byla představena nová technologie 3D tisku kovu, která byla vyvinuta plně v České republice. Jedná se o technologii Hybrid Manufacturing, kterou vyvíjela společnost KOVOSVIT MAS, a.s. a Výzkumné centrum pro strojírenskou výrobní techniku a technologii, Ústavu výrobních strojů a zařízení, Fakulty strojní ČVUT v Praze.

3D tisk studenti ČVUT využívají také v projektu Formula Student. V tomto projektu v případě využití 3D tisku dochází ke spolupráci s firmou MCAE Systems a Misan. Studenti tisknou pomocí moderních technologií 3D tisku jednotlivé součástky pro vyvíjený vůz. Díky využití 3D tisku došlo ke zjednodušení výrobního procesu složitějších součástí.

Laboratoř fotogrammetrie na Fakultě stavební ČVUT je vybavena 3D tiskárnou Z410 a skenerem Konica/Minolta Vi9. Zde si mohou studenti v rámci výuky či výzkumu tisknout své vlastní modely.

Vysoké učení technické v Brně (VUT)

Na Fakultě výtvarných umění VUT v Brně vzniklo v roce 2007 3D studio. V rámci tohoto studia mohou studenti pracovat s 3D scannerem a 3D tiskárnou. Ve studiu jsou k dispozici dvě 3D tiskárny. Tiskárna Dimension SST 768 pracuje metodou FDM a na druhé plnobarevné tiskárně ZPrinter



450 je možné tisknout ze sádro-kompozitního prachu. Dále mají studenti k dispozici 3D Scanner ATOS I, díky kterému lze převádět fyzické modely do digitální podoby, dále je upravovat a následně vytisknout. V rámci této fakulty probíhá také výuka předmětu digitální sochařství. V daném předmětu studenti pracují na Samostatné práci s 3D tiskárnou a snaží se pochopit proces 3D tisku.

Ústav konstruování VUT v Brně nabízí studentům možnost využití 3D tiskárny SST 1200, která používá FDM technologii a tiskne modely z formátu STL. Tento ústav zajišťuje v rámci Fakulty strojního inženýrství také výuku předmětu Aditivní technologie. V rámci předmětu se studenti seznámí s 3D tiskem z kovů. Studenti mohou využít možnosti tisku modelů pomocí technologie SLM a plnobarevné tiskárny ZPrinter 650.

V rámci Středoevropského technologického institutu Vysokého učení technického v Brně (CEITEC VUT) vědci vyvíjejí speciální keramický materiál pro výrobu náhrad čelistních kostí. Keramické granulky bude možné naplnit biopolymerem a v podobě roztoku je použit jako materiál do 3D tiskáren. Na tomto projektu vědci spolupracují s německými, švédskými, španělskými a čínskými experty.

Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (VŠB-TUO)

V rámci Katedry robotiky Fakulty strojní na VŠB-TU Ostrava je studentům umožněno pracovat na FDM tiskárně FORTUS 360mc L. Studenti tiskárnu mohou využít k tvorbě vlastních modelů a funkčních prototypů. Pro tisk se zde využívá materiál polykarbonát.

Dne 15. 11. 2016 univerzita slavnostně otevřela Laboratoř aditivní výroby na Fakultě strojní. Díky spolupráci se společností Renishaw byla univerzitě pro potřeby výzkumu, vývoje a výuky zapůjčena 3D tiskárna Renishaw AM 400 v hodnotě 15 milionů Kč. Univerzita tuto tiskárnu využije na 3D tisk kovových prototypů a vývoj kovových prášků. Univerzita chce také zavést nový předmět určený studentům navazujícího magisterského a doktorského studia, v rámci kterého by se studenti zabývali právě 3D tiskem.

Studenti VŠB-TU Ostrava využívají 3D tiskárnu v rámci projektu Formula Student. Díky spolupráci s firmou 3Dtiskarna vyrobili studenti pomocí 3D tisku airbox a další díly na svůj vůz.

Západočeská univerzita v Plzni (ZČU)

S jednou z nejmodernějších 3D tiskáren v České republice se pracuje na Regionálním technologickém institutu (RTI), výzkumném centru Fakulty



strojní Západočeské univerzity v Plzni. Jedná se o práci s 3D tiskárnou kovových dílů EOS M 290, která využívá technologii laserového spékání kovů.

Na ZČU se s 3D tiskárnou studenti mohou setkat také v rámci Katedry kybernetiky a Katedry aplikované elektroniky a telekomunikací.

Technická univerzita v Liberci (TUL)

V roce 2009 zde vznikl Ústav pro nanomateriály, pokročilé technologie a inovace. V tomto ústavu se nachází laboratoř prototypových technologií a procesů, v rámci které je prováděn intenzivní výzkum v oblasti prototypových technologií, především ve vývoji nových struktur, zařízení a materiálového vývoje pro konstrukci výrobků a strojů. Pro účely tohoto ústavu jsou zde tři velice moderní 3D tiskárny. 3D tiskárna Objet500 Connex s technologií PolyJet Matrix s možností dvou-komponentního tisku k rychlému zhotovení modelů a velmi přesných prototypových funkčních dílů a celků z různých materiálů. 3D tiskárna SLM 280HL pro rychlou výrobu komplexních modelů z práškových kovů. 3D tiskárna FORTUS 450mc k výrobě opakovaně přesných a odolných dílů z termoplastů. Tyto 3D tiskárny se na TUL využívají také pro potřeby Katedry výrobních systémů, laboratoře robotických soustav, laboratoře progresivních průmyslových technologií a pro výzkum a výrobu prototypů.

Fakulta strojní TUL disponuje vlastní 3D tiskárnou Zcorp310 pro výrobu prototypů a forem. V rámci této fakulty proběhl v roce 2015 první ročník odborného semináře „Trendy kovového 3D tisku“.

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně (UTB)

Fakulta aplikované informatiky spravuje laboratoř pro výrobu prototypů. V této laboratoři je možné využít k práci 3D scanner ATOS Triple, 3D tiskárnu EDEN 250 Objet a 3D tiskárnu Rapid Prototyping Dimension.

Česká zemědělská univerzita v Praze (ČZU)

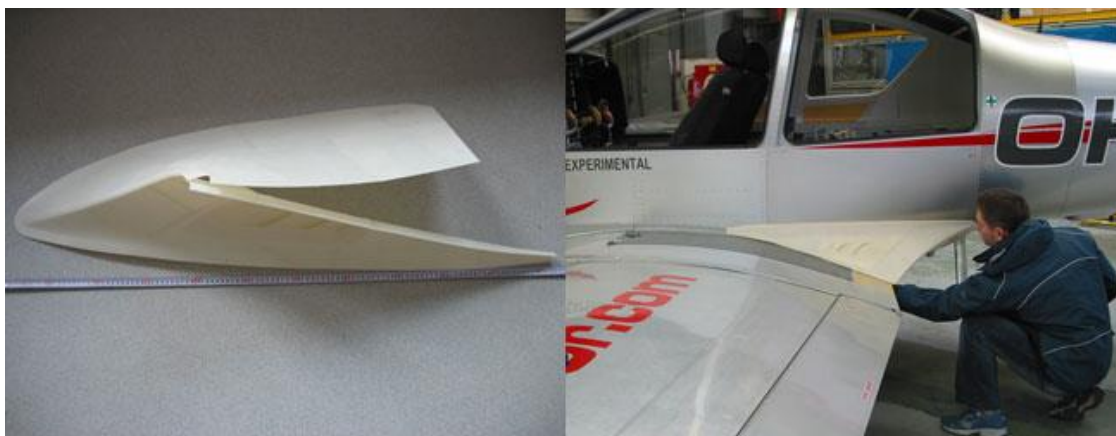
V roce 2014 byla Provozně ekonomická fakulta ČZU vybavena Open source 3D tiskárnou RebeliX. Tuto tiskárnu je možné využívat v rámci všech fakult.

7.2.2. Příklady využití 3D tisku v praxi na území České republiky

V předchozí části jsem se věnoval obecně především využívání a vývoji technologií 3D tisku na českých univerzitách. V tomto bodě bych chtěl představit příklady využití 3D tisku v českých podnicích a využití v rámci stavebnictví.

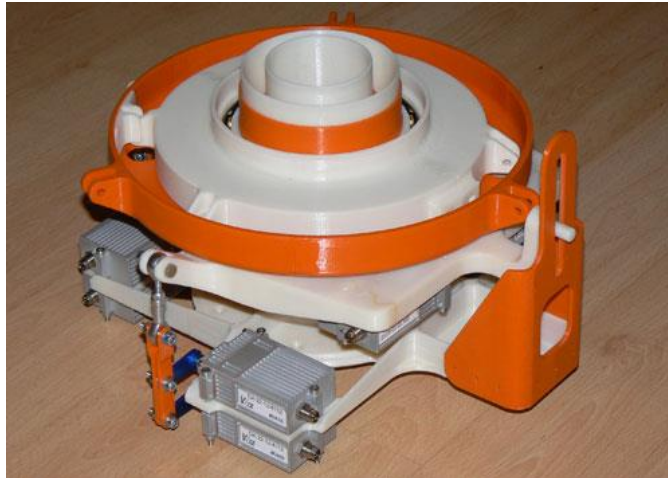
První průmyslové 3D tiskárny byly v České republice instalovány v polovině devadesátých let společností MCAE Systems. V roce 2009 překročil počet instalovaných systémů 3D tisku v České republice hranici sta strojů. Předními uživateli 3D tisku v České republice jsou podobně jako ve světě zástupci strojírenství, automobilového, leteckého a spotřebního průmyslu [45].

Jako první příklad využití 3D tisku v České republice bych zmínil společnost Evektor s.r.o. Tato společnost působí v automobilovém, leteckém a spotřebním průmyslu. 3D tisk se zde využívá především v rámci Rapid prototyping. Konkrétně pro rychlou výrobu dílů, které jsou plně funkční a svými mechanickými vlastnostmi se blíží finálnímu výrobku. V této společnosti využívají technologie vakuového lití, 3D tisk technologií FDM a 3D optické skenování. K výrobě dílů využívají především materiál ABS, termoplast ULTEM 9085 a termoplastický polykarbonát. Pomocí 3D tisku společnost vyrobila a testovala například mřížky výstupu vzduchu z motorového prostoru letadel, přechodový kryt trup - křídlo a funkční prototyp rotorové hlavy [46].



Obrázek 29: Funkční prototypový díl nainstalovaný na letoun (Evektor s.r.o.)

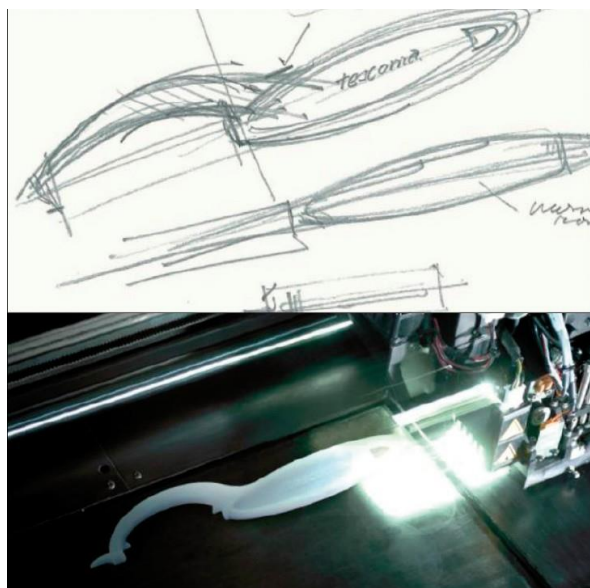
Zdroj: [46]



Obrázek 30: Funkční prototyp rotorové hlavy (Evektor s.r.o.)

Zdroj: [46]

Ve velkém využívá 3D tisk tradiční český výrobce kuchyňských pomůcek Tescoma s.r.o. Firma Tescoma patří k průkopníkům praktického využití 3D tisku u nás. Firma pro výrobu svých výrobků používá vlastní vývojové centrum. Tescoma užívá 3D tisk od roku 2000 především v rámci výroby funkčních dílů v jednotlivých fázích vývoje produktu. Díly následně posuzuje a vyladuje. Především dochází k posuzování designu a testování odolnosti vůči vysokým teplotám. 3D tisk ve společnosti Tescoma zcela nahradil CNC obrábění, zejména díky schopnosti vytvářet velmi detailní tenkostěnné modely v kratším čase. V současnosti neexistuje jediný výrobek z aktuální produkce firmy Tescoma, který by za sebou neměl vývoj v podobě testovacích prototypů vyrobených na 3D tiskárnách. Tescoma v současnosti využívá profesionální FDM zařízení Stratasys Fortus 400mc, Dimension Elite, Uprint Plus a dále 3D tiskárny Objet Eden a Connex 500 s technologií PolyJet, které umožňují tisk z široké škály materiálů. O dodávky i údržbu zařízení se stará kuřimská společnost MCAE Systems. Jedna z menších 3D tiskáren, konkrétně Uprint Plus, slouží designérům Tescoma také mobilně při cestách na stáže v italské Brescii. Zde dochází k vývoji výrobků specifických především pro středomořský trh. Pro okamžitou zpětnou vazbu bylo nutné nalézt časově nejefektivnější způsob získání fyzických prototypů ke konzultacím a následnému vývoji. Pro tyto účely využívají vývojáři právě 3D tiskárnu Uprint Plus. Díky využití moderních technologií, které umožňují rychlé reakce na změny v návrzích, je Tescoma schopna vyprodukovat ročně až tři sta novinek [47].



Obrázek 31: Návrh výrobku Tescoma s.r.o. – Skica + realizace na 3D tiskárně

Zdroj: [47]

Technologické centrum Buggyra racing využilo 3D tisku na výrobu prototypu nového řešení vzduchových kanálků disku závodního tahače pro testování v aerodynamickém tunelu. Výroba tohoto disku se uskutečnila ve spolupráci s firmou 3Dwiser s.r.o. Projekt zahrnoval úpravu stávajícího 3D modelu a 3D tisk technologií FDM [48].



Obrázek 32: Vytištěný prototyp disku závodního tahače

Zdroj: [48]

Firma DEIMOS s.r.o., která se věnuje navrhování, konstruování, výrobě, montáži a programování průmyslových strojů a montážních linek využila

3D tisk ve spolupráci s 3Dwiser s.r.o., pro výrobu formovacích nástrojů. Konkrétně se jednalo o výrobu modelů kopyt pro tvarování autodílů. Za použití metody FDM byly tyto modely vytištěny a jsou použity ve výrobní lince. Tisk byl uzpůsoben tak, aby výsledný model odolával zvýšenému mechanickému namáhání [48].



Obrázek 33: Kopyta tvarování autodílů použita ve výrobní lince

Zdroj: [48]

Škoda auto zavedla 3D tisk za účelem výroby částí vozidla pro funkční testování v náročných podmínkách. Ve Škoda Doosan Power, která sídlí v Plzni, se s 3D tiskem prozatím experimentuje a technologie se využívá hlavně pro výrobu atypických náhradních dílů.

Společnost Alucast, s.r.o. využívá technologie 3D tisku při výrobě prototypů a forem na odlitky, které směřují do oblasti letectví či zdravotního průmyslu. Díky použití 3D tisku zde dochází k podstatnému zkrácení času výroby a vynaložení nižších nákladů na vytvoření prototypu.

V České republice působí na poli 3D tisku celosvětově velice úspěšná firma Prusa Research s.r.o. Firmu založil vývojář Josef Průša a jeho RepRap tiskárny patří k nejoblíbenějším osobním tiskárnám na světě. Firma Josefa Průši se specializuje především na oblast výroby, poradenství a konzultací Open Source tiskáren. Vyrábějí vlastní 3D tiskárny pod názvem Prusa i3 a dodávají tiskové struny spolu s náhradními díly. Na tiskárnách je možné tisknout z materiálu PLA, ABS, PET, Laywood, Nylon. Tyto tiskárny využívají metodu FDM [49].



Obrázek 34: 3D tiskárna Original Prusa i3 MK2

Zdroj: [49]

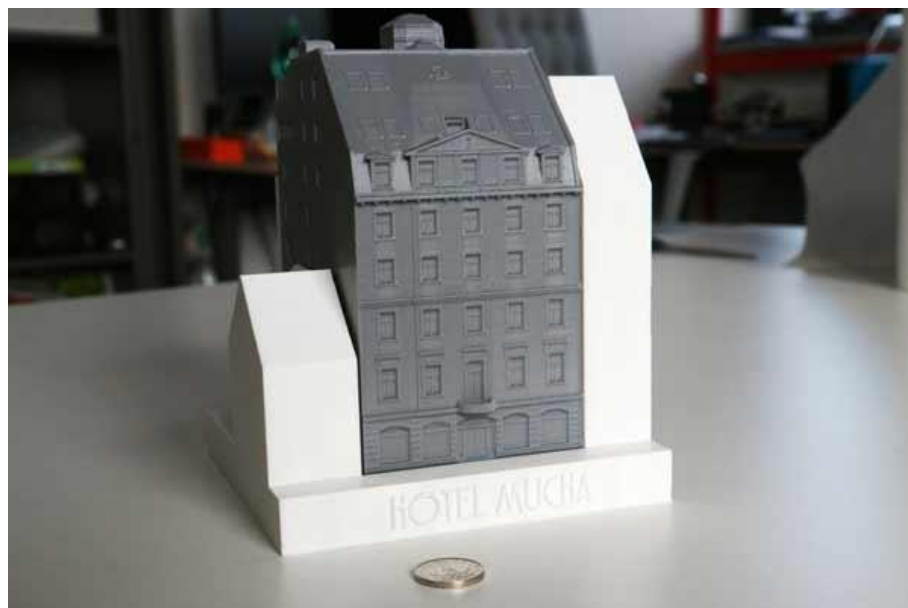
V roce 2013 byla na Mezinárodním strojírenském veletrhu v Brně představena tiskárna MAXI od české firmy Aroja. V tomto roce se jednalo o největší 3D tiskárnu na světě. Na tiskárně je možné tisknout modely o maximálních rozměrech $1 \times 1 \times 1$ m. Díky modulárnímu řešení by mělo být v budoucnu možné vytvářet modely s délkou až šest metrů. Tiskárna využívá technologii FDM a její cena začíná na 1,8 milionu korun bez DPH [50].

V českém stavebním průmyslu se 3D tisk využívá zejména pro potřeby architektů a projekčních kanceláří. Přínos 3D tisku pro architekty vyzdvihl Ing. Walter Kurschatke z ateliéru Omniatrading, „V návrhu náměstí uvažujeme o několika variantách řešení. Jak pro nás, tak i pro pány radní je model daleko srozumitelnější než obrázky. 3D tisk se stal nejen pomůckou pro naši tvorbu, ale i doplňkovou činností našeho ateliéru.“ [35].

Jiří Domas ve spolupráci se studiem 3Dwiser s.r.o. nechal vytvořit pomocí technologie FMD modely projektů pro potřeby prezentace. Jednalo se o model rodinného domu a hotelu v proluce. U obou modelů došlo k úpravě 3D dat z projektu a optimalizaci pro 3D tisk. Po samotném tisku následovaly drobné modelářské úpravy a postprocessing výsledného modelu [51].

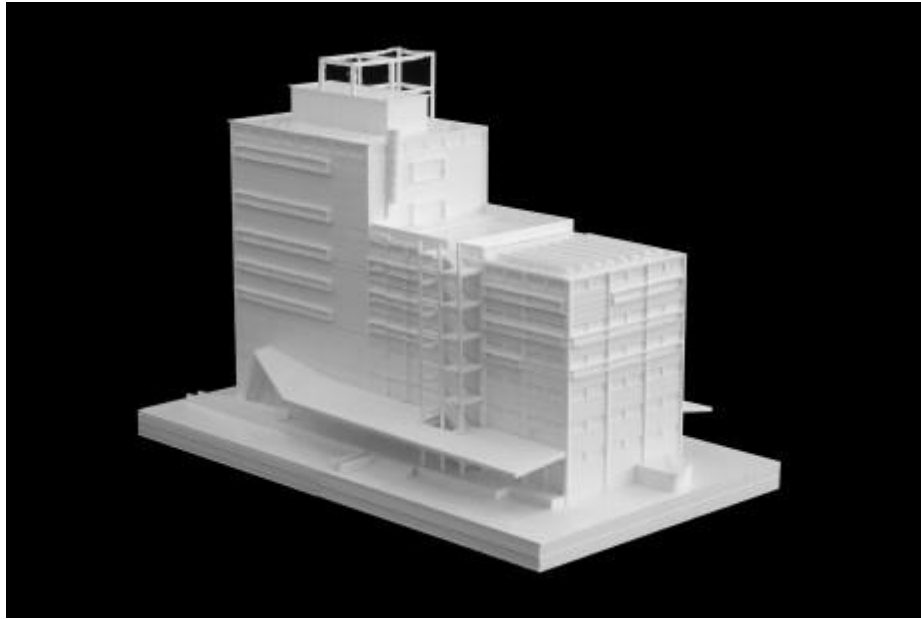
**Obrázek 35: Model rodinného domu**

Zdroj: [51]

**Obrázek 36: Model Hotelu Múcha**

Zdroj: [51]

Další využití 3D tisku v rámci architektonického návrhu bylo použito v projektu rekonstrukce obilného sila na víceúčelovou budovu společnosti NWT a.s. Konceptní studii vytvořil Ing. arch. Ladislav Semela a projektová dokumentace byla vytvořena společností Centropjekt Group a.s. [52]. Vytisknutý model zde vytváří jasnou představu o vzhledu budovy a jednotlivých architektonických prvků exteriéru.



Obrázek 37: Architektonický model nové budovy NWT Silo

Zdroj: [53]



Obrázek 38: víceúčelová budova společnosti NWT a.s.

Zdroj: [52]

3D tisk v oblasti výroby architektonických modelů využívá aktivně česká firma PK model s.r.o. Zákazníky této firmy jsou většinou architektonické a projekční kanceláře, designerská studia, muzea, investorské a developerské organizace. 3D tiskárnu pro svou práci využívá firma od roku 2012, a to k rychlé výrobě složitých objektů a hmotových modelů v měřítku 1:500, případně 1:1000. Tvůrci stránek také uvádějí, že lze vytvořit modely

s vyšší mírou detailu, než které lze dosáhnout klasickými technologiemi výroby [54]. V rámci webových stránek pkmodel.cz je provozováno Fórum 3D tisku, kde jsou zveřejňovány příspěvky a zkušenosti uživatelů 3D tiskáren. O fórum se stará Ing. Michal Chalupa. Firma se také aktivně věnuje přiblížení technologií 3D tisku studentům v rámci působení na katedře architektury Fakulty stavební ČVUT.



Obrázek 39: Ukázka tvorby - PK model s.r.o. (Zelené Město, Praha 1:500)

Zdroj: [54]

7.3. Srovnání

Při sběru pro tuto část diplomové práce mě překvapila pestrost využití 3D tisku ve světě napříč mnoha odvětvími. Technologie 3D tisku jdou neustále dopředu. Vybíjejí se nové materiály, šíře využití neustále roste a proniká do nových oblastí. Z mezinárodního průzkumu společnosti Ernst & Young se dá velice dobře posoudit současný stav využívání 3D tisku ve světě a jeho budoucí vývoj. Předpokládaný roční nárůst trhu v oblasti 3D tisku do roku 2020 o 25 % ročně [28] naznačuje dobré podmínky pro vývoj, výzkum a implementaci všech technologií a jejich postupné vylepšování.



Ve světě jsou téměř všechny projekty zaměřené na 3D tisk propojeny s univerzitami. Tyto univerzity a výzkumná zařízení poskytují vědeckou podporu a vývoj technologií a materiálů. Bez propojení univerzitního prostředí a praxe by mnohé z projektů nebylo možné realizovat. Firmy, které s těmito univerzitami spolupracují, následně z výzkumu těží. Nové technologie firmám pomáhají zlepšit kvalitu a urychlit výrobu výsledného produktu. 3D tisk je ve světě využívají především automobilky, letecký průmysl, strojírenství, průmyslové zpracování plastů, výroba elektroniky, farmacie, medicína a energetika. Tyto odvětví využívají tištěné modely především k výrobě prototypů a funkčních součástí v testovací fázi jednotlivých produktů. Díky této technologii se vývoj jednotlivých součástí značně urychlí a zlevní. Ve výsledku to napomáhá zvýšit efektivitu práce a rychlost výroby koncového produktu.

Ve stavebním průmyslu je celosvětově v současné době 3D tisk budov na úrovni výzkumu a testování. V Asii se již postoupilo k tisku samotných budov. Otázkou zůstává, na jaké funkční úrovni tyto objekty jsou a zda je možné je využívat tak, jak tamní média a tiskové zprávy uvádějí. Je pouze otázkou času, než se začne 3D tisk využívat na konkrétních projektech také v USA a Evropě. V oblasti realizace staveb pomocí propojení robotizace a 3D tisku existuje několik velice zajímavých projektů. Ty nejdůležitější jsou v této práci popsány. Zmenšeniny modelů staveb jsou hojně využívány projekčními a architektonickými kancelářemi, které se zabývají metodikou BIM. Firmy, mají buď vlastní tiskařské oddělení, nebo si modely nechávají tisknout u specialistů. Díky 3D tisku odpadá nákladná a složitá ruční výroba modelů, kterou bylo nutné v minulosti využívat. Vytisknuté modely jsou používány k vytvoření představy o rozložení jednotlivých materiálů v modelu, pro tvorbu funkční a dokonale propracované dispozice v objektech se složitým půdorysem, k prezentaci modelu budovy pro klienta a při tvorbě napojení jednotlivých prvků infrastruktury. Barevně vytisknuté modely se také využívají pro potřeby zobrazení složitých technologických úseků v oblasti TZB. Díky těmto modelům je pro projektanta, architekta, ale i stavebního technika přímo na stavbě jednodušší si představit, jak by měl výsledný produkt vypadat. Také je díky tomu usnadněná orientace ve složitých BIM modelech. V dopravním stavitelství je barevně dělený 3D tisk velice nápomocný při projekci a vymýšlení složitých dopravních uzlů (křížovatky, křížení metra a železnic). Celosvětově bude vývoj v oblasti 3D tisku pokračovat.

V České republice se stav v oblasti 3D tisku a aditivní výroby výrazně neodlišuje od situace ve světě. Klíčové oblasti i zde jsou především strojírenství, automobilový a spotřební průmysl. Podíl 3D tiskáren ve



firmách narůstá a podniky si uvědomují důležitost této technologie a její přínosy. Studenti se mohou s 3D tiskárnou setkat v rámci českých technických univerzit. Tyto univerzity nabízejí studentům možnost podílet se na jednotlivých projektech a nabízejí výuku v oblastech aditivní výroby. Vědci v této oblasti mají již k dispozici nejmodernější technologie a stroje pro provádění kvalitního výzkumu. Také v této oblasti se české univerzity úspěšně angažují ve velice zajímavých projektech. Nesmíme zapomínat ani na úspěchy českých výrobců 3D tiskáren. Josef Průša vyvíjí a prodává jednu z nejúspěšnějších RepRap tiskáren na světě¹, ale i další výrobci slaví na světovém trhu se svými tiskárnami úspěch. V České republice také probíhají veletrhy a konference, které se 3D tisku intenzivně věnují. České firmy využívají 3D tisk při výrobě a vývoji svých produktů stejně, jako jinde ve světě. Použití ve stavebnictví ovšem nepatrně zaostává. Neexistuje zde propojení mezi univerzitami a stavebními podniky v rámci vývoje a aplikace těchto technologií. Většina projekčních/architektonických ateliérů vyrábí modely pro ukázky stále pomocí zastaralých modelářských procesů. Stavební podniky, které se zabývají výstavbou budov, tyto technologie rovněž nevyužívají. Ovšem najdou se i projekty, které modelování pomocí 3D tiskárny využívají. V této práci jsem uvedl několik příkladů, které se mi podařilo dohledat. Je ovšem možné předpokládat, že s postupným zaváděním metodiky BIM v prostředí českého stavebního průmyslu se stejnou mírou v budoucnosti zvýší zájem také o využívání technologií 3D tisku.

Lze tedy konstatovat, že v oblastech, ve kterých se celosvětově 3D tisk nejvíce využívá, Česká republika drží podobné tempo a podniky v těchto oblastech o výhodách a přínosu 3D tisku vědí. V oblasti výzkumu, vývoje, výuky a výroby zařízení si vedeme také dobře. Ovšem v oblasti stavebního průmyslu Česká republika za vývojem ve světě zaostává. Světlou výjimkou v českém stavebnictví je možnost tisknout na 3D tiskárně architektonické modely v rámci specializovaných studií, které již v současné době využívají pro tyto účely moderní technologie a zařízení.

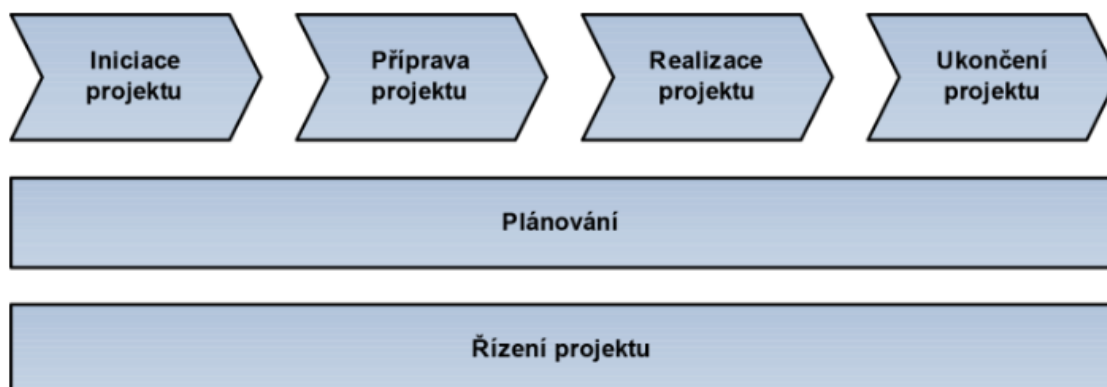
¹ Více informací: <http://www.czechcrunch.cz/2016/11/cesky-startup-prusa-research-vyhral-oceneni-pro-nejlepsi-3d-tiskarnu-na-svete/>

8. Životní cyklus projektu

V rámci tohoto bodu bude přiblížena obecně problematika životního cyklu projektu a jednotlivé náklady s ním spojené. Následující části diplomové práce budou věnovány rozboru konkrétního projektu (pilotní projekt), který by bylo možné aplikovat při zavádění technologií 3D tisku do stavebního podniku.

Samotné zavádění 3D tisku do stavebního podniku je možné chápat jako proces, který se stává z jednotlivých na sebe navazujících projektových fází. Fáze musejí být vedením podniku jasně specifikovány a analyzovány především z finančního a časového hlediska. Z hlediska projektového řízení se od ostatních podnikových projektů zavádění 3D tisku liší pouze obsahem a specifikací jednotlivých částí a je tedy možné říci, že se tento proces vyvíjí a postupuje v rámci vlastního životního cyklu.

Metodika projektového řízení určuje základní fáze životního cyklu každého projektu. Životní cyklus je tedy možné chápat jako posloupnost fází, kterými projekt prochází od iniciace až po ukončení. Životní cyklus dává do vzájemné souvislosti jednotlivé činnosti a výstupy projektu, stává se strategickým plánem pro průběh projektu [55]. Každá fáze životního cyklu má v projektu vlastní důležitou roli, je specifická svým cílem a výstupy. Ke každému projektu by mělo být přistupováno individuálně a každá fáze by se měla případně upravovat dle jeho specifického zaměření.



Obrázek 40: Příklad životního cyklu projektu

Zdroj: [55]

Toto schéma je využíváno pro typizované projekty Ministerstva kultury České republiky.



8.1. Fáze životního cyklu projektu

Životní cyklus projektu se skládá ze čtyř fází. V těchto jednotlivých fázích lze následně stanovit konkrétní kategorie nákladů.

Předinvestiční (koncepční a plánovací) fáze

V předinvestiční fázi dochází k návrhu, plánování a schvalování předmětu projektu [56].

Investiční fáze

V investiční fázi dochází k investování finančních prostředků potřebných k realizaci projektu [56].

Provozní (implementační) fáze

V provozní fázi dochází především k dosažení cílů projektu, testování a dokumentování [56].

Likvidační fáze

Likvidační fáze uzavírá investiční cyklus. Dochází zde k ukončení životnosti projektu [57].

8.2. Náklady z hlediska životního cyklu projektu

Pro rozhodnutí o investici do projektu je potřeba brát v úvahu, že každý projekt má svůj vlastní životní cyklus a čerpá konkrétní náklady po celou dobu svého trvání [58]. Náklady v životním cyklu projektu jsou součtem všech nákladů, které jsou v rámci průběhu projektu vynaloženy na [58]:

Vývoj nebo návrh předmětu projektu

- studie proveditelnosti
- průzkumy návratnosti
- vývoj produktu nebo prototypu včetně testování a dokumentace

Průběh projektu podle návrhu

- tvorba předmětu projektu (práce a materiál)
- výroba nebo pořízení podpůrných technologií
- výstavba nebo adaptace prostor
- testování, dokumentace, školení, doprava a manipulace

Provoz a údržbu

- drobné změny a opravy (včetně materiálu a náhradních dílů)
- testování a prevence



Vyřazení a likvidaci

- recyklace, rozebrání, doprava, pozemní úpravy

8.2.1. Nákladové položky projektu

Nákladové položky projektu tvoří přímé a nepřímé náklady.

Přímé náklady lze jednoznačně přiřadit k projektu a zahrnují osobní náklady na zaměstnance, kteří na projektu přímo pracují, cestovní náhrady, dlouhodobý majetek, spotřební materiál, který je nezbytný pro provedení projektu, subdodávky a náklady třetích stran.

Nepřímé náklady nelze přímo přiřadit danému projektu, ale mohou být identifikovány a doloženy účetním systémem organizace jako vzniklé v přímé souvislosti s přímými ustatelnými náklady projektu. Tyto náklady zahrnují mzdy podpůrných zaměstnanců, náklady na vedení organizace, odpisy či nájem prostor, náklady související s provozem prostor, administrativní náklady, všeobecně používané vybavení.

Rámcový průběh čerpání nákladů projektu určuje plán financování [58].

Přímé a nepřímé náklady budou blíže specifikovány v bodě 9.2.1.

8.2.2. Hodnota nákladů životního cyklu

Hodnotu nákladů životního cyklu investičního projektu (LCC) lze zjistit pomocí výpočtu čisté současné hodnoty nákladů životního cyklu (NVP_{LCC}).

$$NVP_{LCC} = \sum_{t=0}^T \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

NVP_{LCC} ... čistá současná hodnota nákladů životního cyklu (LCC)

C_t ... součet všech relevantních nákladů po odpočtu výnosů vzniklých v období t

T ... životní cyklus

r ... diskontní sazba

t ... analyzované období ($t = 1 \dots T$)(roky)

Rovnice 1: Obecný vzorec pro výpočet čisté současné hodnoty nákladů životního cyklu
Zdroj: [57]



9. Rozbor implementace technologie 3D tisku do stavebního podniku

V této části práce budou popsány vhodné oblasti a postupy investice do 3D tisku pro stavební podnik. V první části bude uvedený příklad schéma myšlenkového pochodu zavádění 3D tisku. Následně bude definováno, pro jaké oblasti je v současnosti vhodné 3D tisk v českém stavebním podniku využít. Dále dojde ke kategorizaci nákladů, které je nutné při zavádění této technologie akceptovat a obecně budou popsány možnost investice do pilotního projektu v rámci zavádění 3D tisku ve stavebním podniku.

9.1. Schéma zavedení 3D tisku ve stavebním podniku

Pro jednodušší průběh implementace technologie 3D tisku je vhodnější když podnik, který uvažuje o zavedení této technologie, již aktivně využívá ve svých projektech metodiku BIM. V případě stavebního podniku není moudré z počátku nakupovat drahé stroje a software. Ideální variantou je nákup jednoho stroje, se kterým se vyčleněný pracovník naučí pracovat a nalezne pro 3D tisk ideální uplatnění v rámci pilotního projektu. Využití složitějších technologií bych doporučil až ve fázích, které mohou následovat po úspěšném pilotním projektu.

V rámci tohoto obecného rozboru jsem se rozhodl sestavit schéma, které má především za úkol nastítnit možný životní cyklus zavádění 3D tisku do stavebního podniku. Schéma by mohlo následně sloužit jako vzor pro vedení podniku, které zavedení 3D tisku zvažuje.

První bod tohoto schématu vyjadřuje myšlenku na možnost zavedení 3D tisku ve stavebním podniku a sdělení této myšlenky vedení. V případě, že se vedení podniku začne myšlenkou zavedení technologie 3D tisku zabývat, bylo by vhodné v druhém bodě analyzovat možnosti a schopnost efektivního využití této technologie. V tomto bodě by vedení mělo analyzovat rozsah investice. Jedná se především o možnost uvolnění finančních prostředků na jednotlivé investiční fáze a stanovení přibližné doby trvání těchto fází. Investičními fázemi může být myšleno nejprve vytvoření pilotního a následně ostrého projektu, případně investice do dalšího výzkumu. Po provedení analýzy možností by mělo vedení podniku definovat cíle investice do 3D tisku. Mezi tyto cíle lze zařadit například úspěch pilotního projektu, nalezení konkrétních oblastí využití, formulace přínosů, možnost využití 3D tisku v ostrém projektu atd. Následovat by mělo schválení investice do pilotního projektu.

Po schválení by mělo dojít k realizaci pilotního projektu. Pilotnímu projektu se budu blíže věnovat v kapitole 9.2. Pilotní projekt by měl být následně vyhodnocen a vedení podniku by mělo vydat stanovisko, které určí další vývoj investic do 3D tisku.

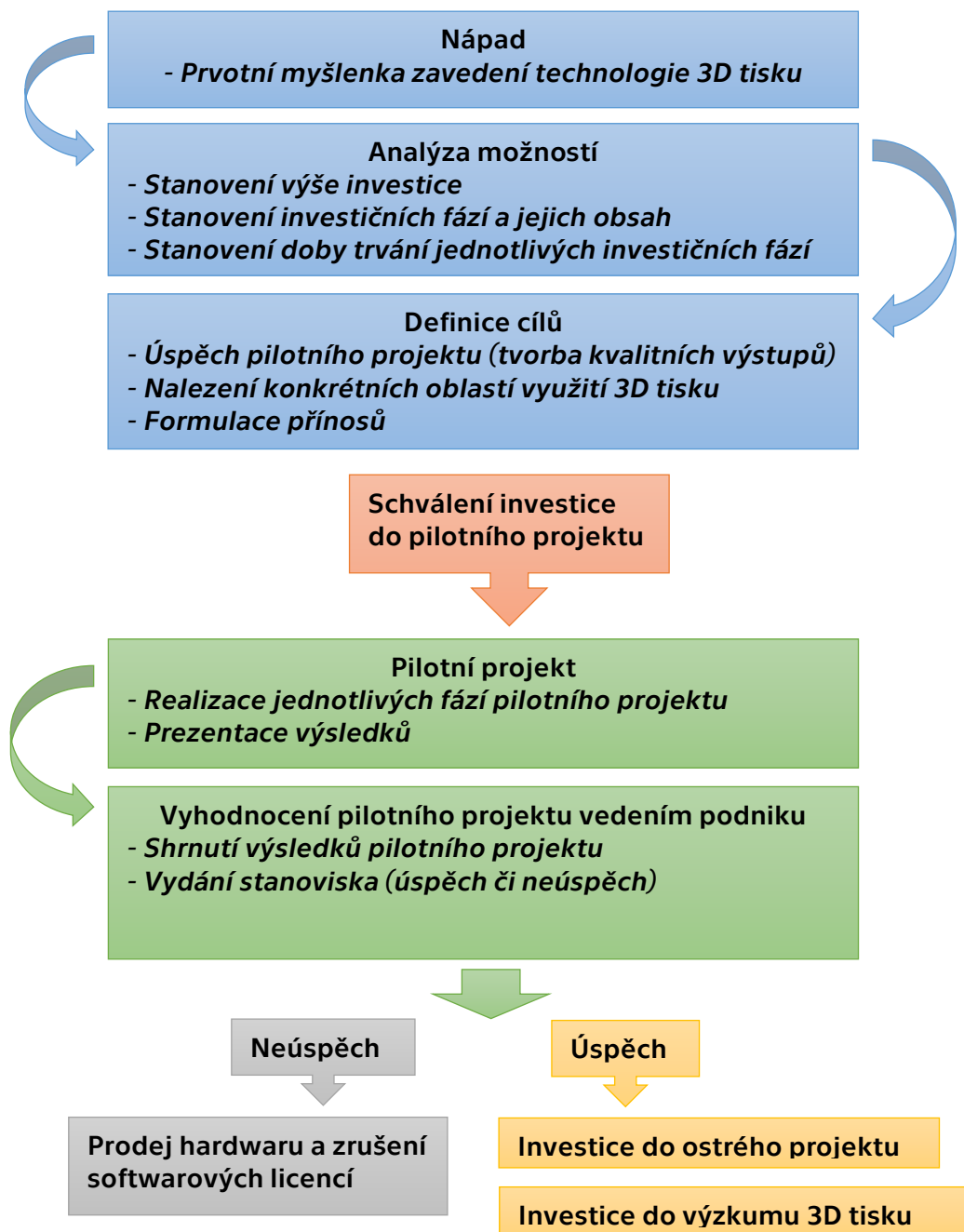


Schéma 1: Příklad životního cyklu pilotního projektu zavedení 3D tisku

Zdroj: Vlastní tvorba

V rámci této diplomové práce se chci zabývat především prvotní investicí do 3D tisku, kterou v tomto případě tvoří právě pilotní projekt. Konkrétně



se budu v následujících bodech věnovat možnému řešení a kategorizaci nákladů pilotního projektu. Uvedu také vhodná propojení BIM a 3D tisku v rámci pilotního projektu. Tyto části by mohly být následně detailně rozebrány a rozšířeny v navazujících pracích nebo detailně zkoumány v rámci doktorského studia. V praktické části uvedu příklady konkrétních softwarových a hardwarových sestav, které jsou v případě prvotní investice do 3D tisku ve stavebním podniku nejvhodnější, zejména z technologického hlediska. Provedu také popis tisku konkrétního modelu a s tím související kalkulaci nákladů včetně porovnání interního a externího tisku. Veškeré poznatky z praktické části lze následně při realizaci pilotního projektu využít.

9.2. Pilotní projekt

Vzhledem k tomu, že při prvotní investici podniku do 3D tisku je potřeba analyzovat jednotlivé kategorie nákladů a rozčlenit je do skupin, je ideální tyto náklady strukturovat v rámci životního cyklu. Pilotní projekt nevytváří výnosy, a proto je na něj třeba pohlížet především jako na výzkumný projekt. V tomto případě je nutné vnímat kalkulaci životního cyklu projektu obecně jako metodiku stanovení nákladů z hlediska doby trvání projektu. Životní cyklus pilotního projektu by měl být dělen na jednotlivé fáze stejně jako každý jiný investiční projekt. Samotný pilotní projekt by se měl následně skládat z úkolů, které jsou v rámci přípravné (předinvestiční) fáze schváleny vedením podniku.

9.2.1. Stanovení hodnoty nákladů životního cyklu pilotního projektu

K výpočtu hodnoty nákladů životního cyklu pilotního projektu investice do 3D tisku nelze využít obecný vzorec pro výpočet čisté současné hodnoty nákladů životního cyklu NPV_{LCC} . Tento vzorec je nutné upravit, protože čistá současná hodnota se využívá jako kritérium při hodnocení výnosnosti investičních projektů, která vyjadřuje celkovou diskontovanou hodnotu všech peněžních toků souvisejících s investičním projektem [59, s. 40-42]. Investice do pilotního projektu negeneruje žádné výnosy/příjmy a nedochází zde k hodnocení ziskovosti projektu. Nevznikají zde žádná rizika



a nejistoty spojené s budoucími příjmy a výnosy. Není tedy nutné počítat s diskontní sazbou (mírou)².

Jedná se především o vnitropodnikový výzkumný projekt, který má za úkol najít vhodné oblasti využití 3D tisku v konkrétním stavebním podniku. Pomocí tohoto výzkumu a vývoje si stavební podnik může vytvořit vlastní know-how pro zvýšení konkurenceschopnosti a využívat tištěné modely v rámci vlastních projektů, které jsou více rozvedeny v bodě 10. Podnik se tímto projektem také částečně připraví na budoucí uplatnění 3D tisku ve stavebním průmyslu.

V první řadě je nutné vytvořit kategorie přímých a nepřímých nákladů:

Přímé náklady
Osobní náklady na zaměstnance, kteří přímo pracují na projektu
Cestovní náhrady
Spotřební materiál
Subdodávky a náklady třetích stran
Hardware/Software
Nepřímé náklady
Náklady na mzdu podpůrných zaměstnanců (ekonom, účetní, správce sítě)
Náklady na vedení organizace
Pronájem prostor
Náklady související s provozem prostor (nájem, pojištění, úklid, ostraha, údržba, energie)
Administrativní náklady (telefon, internet, kancelářské potřeby)
Všeobecně používané vybavení (počítače, tiskárny, kopírky)

Tabulka 3: Dělení přímých a nepřímých nákladů projektu

Zdroj: [60, s. 14]

- náklady na zaměstnance zahrnují hrubou mzdu, sociální a zdravotní pojištění, běžné odměny v návaznosti na produktivní skutečně odpracované hodiny [60, s. 16-19]
- spotřebním materiálem se myslí materiál, který je nezbytný pro implementaci projektu [60, s. 20]
- subdodávky a náklady třetích stran vyjadřují poskytnutí služby či zdrojů pro realizaci projektu (školení, tvorba externích výtisků modelů) [60, s. 20-23]

² Více informací o diskontní sazbě a současné hodnotě zde: http://k126.fsv.cvut.cz/predmety/126fir1/fir1_skripta.pdf (od strany 37)



Vzorec výpočtu čisté současné hodnoty je nutné upravit tak, aby došlo především k sečtení všech vynaložených nákladů po dobu trvání životního cyklu pilotního projektu. Tento součet určuje celkovou hodnotu vynaložených nákladů na pilotní projekt.

Obecně by se tento vzorec dal vyjádřit takto:

$$HPP_{LCC} = PN_t + NN_t$$

HPP_{LCC} ... hodnota nákladů životního cyklu pilotního projektu

PN_t ... součet všech přímých nákladů po celou dobu trvání pilotního projektu

NN_t ... součet všech nepřímých nákladů po celou dobu trvání pilotního projektu

Rovnice 2: Obecný vzorec pro výpočet hodnoty nákladů na pilotní projekt

Zdroj: Vlastní tvorba

9.2.2. Kategorizace nákladů dle jednotlivých fází životního cyklu pilotního projektu

Z hlediska životního cyklu je nutné pilotní projekt dělit na jednotlivé fáze. V těchto fázích následně dochází k procesům, ze kterých lze určit náklady na pilotní projekt.

V předinvestiční fázi by mělo dojít k jasnému definování cílů, kategorizaci nákladů a analyzování procesů, které budou v rámci pilotního projektu provedeny. Těmto procesům by se mělo především věnovat vedení podniku ve spolupráci s BIM a IT týmem.

V investiční fázi by následně mělo dojít k pořízení a instalaci hardwaru, softwaru a díky tomu ke startu pilotního projektu. Zde by mělo dojít k úzké spolupráci pracovníků BIM a IT týmu se společnostmi, které dodávají software a hardware.

V rámci fáze průběhu pilotního projektu by mělo dojít k vynaložení nákladů na provoz. V provozních nákladech jsou zahrnuty mzdové náklady, náklady na tiskařský materiál, pronájem prostor, údržbu, servis a školení.

Fáze ukončení životnosti uzavírá životní cyklus pilotního projektu. Tato fáze má v případě pilotního projektu dvě možná řešení. V případě, že je pilotní projekt úspěšný a podnik chce ve vývoji a používání 3D tisku pokračovat, dochází ke startu nového projektu. Tímto projektem může být navazující výzkumný projekt nebo ostrý projekt, ve kterém dojde



k praktickému využití tištěných modelů. Výzkumný a ostrý projekt by mohl v rámci podniku fungovat současně nezávisle na sobě. V případě neúspěchu pilotního projektu by mělo dojít po vydání stanoviska k okamžitému vynaložení nákladů na ukončení využívání technologií 3D tisku (likvidace zbytkových materiálů, prodej či likvidace hardwaru a ukončení licenčních smluv jednotlivých softwarů).

Kategorizace nákladů pilotního projektu	
1. Předinvestiční (koncepční a plánovací) fáze	
<i>Návrh předmětu pilotního projektu</i>	
<i>Tvorba studie proveditelnosti</i>	
<i>Výběr vhodných technologií a variant investice</i>	
<i>Schvalovací procesy</i>	
2. Investiční fáze	
<i>Investice do hardwaru a softwaru</i>	
Hardware (HW)	Software (SW)
3D tiskárna	CAD/BIM software
Notebook	Animační software
<i>Doprava</i>	
<i>Sestavení a instalace HW/SW</i>	
3. Provozní (implementační) fáze	
<i>Provozní náklady</i>	
Mzdy	
Prostory + energie	
Tiskařský materiál	
Školení	
Servis a údržba	
4. Fáze ukončení životnosti pilotního projektu	
<i>Likvidační</i>	<i>Start navazujícího projektu</i>
Ukončení licenčních smluv SW	Předinvestiční fáze ostrého/navazujícího výzkumného projektu
Prodej/Likvidace HW	
Likvidace materiálů	

Tabulka 4: Kategorizace nákladů dle jednotlivých fází pilotního projektu

Zdroj: Vlastní tvorba

Nejvíce prostředků bude v rámci pilotního projektu investováno do provozních nákladů. V této diplomové práci se chci především zaměřit na investici do méně nákladných technologií 3D tisku, protože tyto technologie jsou z hlediska výzkumu využitelnosti, šíři možného použití a poměrně snadné ovladatelnosti pro prvotní investici do 3D tisku ideální.



V případě pilotního projektu je možné šetřit náklady pouze na osobě, která bude provádět výzkum implementace. V případě, že si firma najme brigádníka, který bude schopen průzkum vyhotovit, dojde k výraznému snížení mzdových nákladů. Tento postup ovšem nese mnohá rizika v podobě nedodržení termínů, nedostatečné kvality provedení průzkumu. Provedením tohoto výzkumu bych doporučil pověřit stávajícího člena BIM týmu, který je vázán pracovní smlouvou.

9.2.3. Příklad dělení procesů v pilotním projektu

Pilotní projekt by se měl dělit na několik procesů. Tyto procesy by měly mít alespoň přibližně stanovenou dobu trvání, protože je nutné především zajistit licence potřebných softwarů po dobu trvání projektu. Pilotní projekt zavedení 3D tisku by měl vzhledem k náročnosti výzkumu a výhodnému pořízení softwarových licencí trvat přibližně jeden rok. Po dobu jednoho roku nabízejí firmy poskytující software výhodnější ceny než v případě objednávky softwaru na několik měsíců a celkově je na všechny procesy projektu dostatek času. Zde se jedná pouze o doporučenou dobu trvání. Tato doba se dle potřeb a stanovených cílů může podnik od podniku lišit.

Uvedený příklad pilotního projektu v tabulce 3 se týká využití jedné tiskařské technologie. V rámci tohoto projektu by měly být vyhotoveny dva kvalitní výstupy a nalezeny oblasti možného využití tištěných modelů v daném podniku. V případě využití více tiskařských technologií, je možné tento postup aplikovat pro každou technologii zvlášť.

Pilotní projekt je především nutné chápat jako výzkumný projekt, v rámci kterého dochází k testování technologie 3D tisku a hledání možností uplatnění v rámci konkrétního projektu.

V první fázi pilotního projektu by mělo dojít k instalaci softwaru, zprovoznění tiskárny, provedení testu funkčnosti zařízení a cvičného výtisku. Součástí první fáze by mělo být také studium materiálů, které se týkají zakoupeného softwaru a zařízení.

V další fázi by mělo dojít ke tvorbě prvních výstupů z BIM modelu. Těmito výstupy může být tisk modelu exteriéru nebo interiéru. Důležité je využít pro výstupy konkrétní informační model budovy.

V následující fázi by bylo vhodné využít tento model při prezentaci projektu před investorem. V případě výtisku modelu interiéru bytu prezentovat potenciálnímu klientovi tímto způsobem dispoziční uspořádání. Pokud bude pilotní projekt probíhat v rámci již skončeného projektu, výsledky by bylo vhodné prezentovat vedení podniku. Díky



prezentaci bude možné odhadnout z reakce investora, klienta nebo vedení potenciální přínos.

Následující fáze by měla být zaměřena na tisk konkrétního detailu BIM modelu. Tímto detailem může být například místo, ve kterém se nachází kolize nebo výřez pohledu s prvky TZB. Výtisky by bylo vhodné následně konzultovat se stavebními technikami a najít s nimi konkrétní možnosti praktického využití.

V poslední fázi by mělo dojít k vyhodnocení výsledků a prezentaci celého projektu před vedením podniku. V případě úspěchu pilotního projektu je možné uvažovat o následném navýšení investice do 3D tisku a využití této technologie v ostrém projektu, případně zahájení výzkumu možností využití nových technologií.

Zavedení 3D tisku ve stavebním podniku	
Pilotní projekt	
Pořadí	Procesy
1	Studium, zprovoznění zařízení, testy funkčnosti
2	Prvotní výstupy z BIM modelu
3	Prezentace výstupů před investory/klienty
4	Vyhodnocení první části projektu
5	Tisk konkrétních detailů z BIM modelu
6	Stanovení možností využití tištěných detailů
7	Vyhodnocení a prezentace výsledků projektu

Tabulka 5: Příklad posloupnosti činností pilotního projektu zavádění 3D tisku

Zdroj: Vlastní tvorba

9.2.4. Obecný rozbor tvorby variant řešení investice

V rámci průběhu předinvestiční (koncepční a plánovací) fáze by mělo dojít k výběru technologií 3D tisku, které budou v pilotním projektu použity. Jedná se především o nalezení vhodných kombinací hardwarových a softwarových nástrojů. Především se jedná o nalezení kompatibilních propojení mezi 3D tiskárnou, pracovní stanicí (notebook, stolní počítač), CAD/BIM softwarem, animačním softwarem a tiskařským softwarem. V této části předinvestiční fáze by mělo vedení úzce spolupracovat s BIM a IT týmem. V této fázi by měl mít již podnik stanoveny procesy pilotního projektu a měl by tyto nástroje vybírat s ohledem na co největší šíři možného využití. Je nutné také dbát na ekonomické aspekty pilotního projektu, především při vyjednávání o licenčních možnostech využitých softwarů. V současné době existují na trhu free verze jednotlivých

programů, na nichž lze vyzkoušet jejich kompatibilitu s počítačem a ostatními softwary, které mohou být v pilotním projektu následně využity.

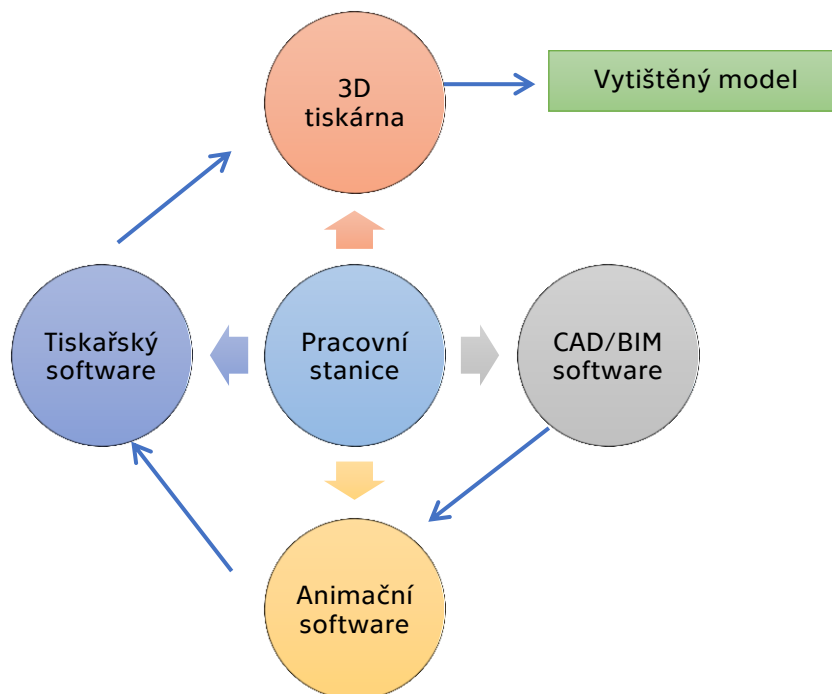


Schéma 2: Vazby mezi jednotlivými nástroji

Zdroj: Vlastní tvorba

Software

V první řadě je nutné zvolit vhodný software, který vytváří požadavky na hardware. Dle těchto požadavků je následně vhodné vybrat kvalitní PC sestavu (ideálně notebook) s odpovídajícím výpočetním výkonem.

I. CAD/BIM software

Každý stavební podnik, který využívá metodiku BIM, by měl mít k dispozici vhodný software pro potřeby správy a úprav jednotlivých BIM modelů. Dále se tyto programy využívají na automatické generování výkresové dokumentace, koordinaci prací ve fázi zpracování projektové dokumentace i při realizaci stavby a k dalším konkrétním úkonům v rámci využívání BIM metodiky. V České republice je možné využívat například Autodesk Revit³, ArchiCAD⁴, Allplan⁵. Stavební podniky většinou zavádějí tyto programy za použití hromadných licencí.

³ Více informací: <http://www.autodesk.cz/products/revit-family/overview>

⁴ Více informací: <http://www.graphisoft.com/archicad/>

⁵ Více informací: <https://www.allplan.com/cz.html>



Zde je možné za domluvenou sazbu aplikovat program díky licenčnímu klíči na firemní počítač. Ceny se liší dle použitých programů a smlouvy podniku s dodavatelem softwaru.

II. Animační software

V oblasti 3D tisku slouží animační softwary především ke grafickým úpravám jednotlivých modelů a exportu do formátu pro 3D tisk (STL, OBJ, atd.). Je zde možné využít placený program společnosti Autodesk 3ds Max⁶ nebo open-source program Blender⁷. U obou těchto programů je nutné podstoupit školení. Volba vhodné pracovní stanice by měla respektovat hardwarové požadavky na tyto animační programy.

III. Tiskařský software (slicer software)

V tiskařském programu dochází k finálním úpravám modelu před samotným tiskem. Tento program je přes počítač napojen na 3D tiskárnu a dochází z něho k vyslání dat do 3D tiskárny. Je možné přiřadit k modelu vhodné podpory, měnit jeho velikost dle tiskařské plochy tiskárny, sledovat a upravovat průběh tisku. V programu tako dochází ke generování G-code a průběhu slicu (nařezání) modelu. Modely jsou do těchto programů importovány ve formátech určených pro 3D tisk z animačních programů. Nejčastěji jsou využívány formáty STL a OBJ [61]. Každý výrobce 3D tiskárny buď přímo definuje v manuálu, jaký program je vhodné využít nebo poskytuje vlastní program určený přímo pro konkrétní 3D tiskárnu. Většina těchto programů je tzv. open source, což znamená, že je volně (zdarma) dostupná ke stažení na internetu. Mezi nejvyžívanější tiskařské programy patří Cura⁸, CraftWare⁹, Repetier¹⁰ atd. [61].

Hardware

Hledání vhodných variant hardwaru by mělo probíhat souběžně s hledáním vhodných variant softwaru. Především je nutné zajistit kompatibilitu mezi těmito nástroji.

I. 3D tiskárna

Ve stavebním podniku se pro prvotní investici hodí využívat zejména stolní 3D tiskárny s technologií FDM/FFF a SLA. Tiskárnu s technologií FDM lze využít ve fázi tvorby prvotních výstupů z BIM modelu a technologii SLA lze

⁶ Více informací: <http://www.autodesk.com/products/3ds-max/overview>

⁷ Více informací: <https://www.blender.org/>

⁸ Více informací: <https://ultimaker.com/en/products/cura-software>

⁹ Více informací: <https://craftunique.com/craftware>

¹⁰ Více informací: <https://www.repetier.com/>



použít při tisku konkrétních detailů z BIM modelu. Tyto tiskárny jsou pro stavební podnik vhodné proto, aby zbytečně neinvestoval v počátcích této investice do drahých technologií, pokud nemá vytvořenou jasnou vizi a vymezenou konkrétní oblast použití. V případě zkoumání technologií 3D tisku v rámci pilotního projektu tyto tiskárny zcela dostačují. Na těchto tiskárnách lze v dnešní době již vyhotovit přesné a detailní modely. Je možné také testovat provádění výtisků z BIM modelů a díky tomu ekonomicky a efektivně vyhledávat možné oblasti využití modelů v rámci podniku. V případě, že se podnik rozhodne investovat pouze do jedné tiskárny, je vhodné zakoupit tiskárnu s technologií FDM. Tato technologie nabízí větší stavební prostor a v současné době je úroveň výstupů z tiskáren, které pracují s touto technologií, na vysoké úrovni. Do dražších a složitějších technologií bych doporučil investovat až ve fázích, které navážou na úspěšný pilotní projekt.

II. Pracovní stanice

V tomto případě se pracovní stanicí myslí buď stolní počítačová sestava nebo přenosný notebook. Z hlediska variability je vhodnější investovat do notebooku. Každý podnik by měl výběr pracovní stanice volit individuálně v rámci IT týmu. Při jejím výběru je nutné dosáhnout minimálních hardwarových požadavků na využívané softwary. Vyšší výkon počítačové sestavy je důležitý především pro snížení časové náročnosti při přípravě modelu a také zvyšuje pracovní komfort. Osobně bych doporučil volit počítačovou sestavu/notebook s doporučenými požadavky na vybraný animační software. V případě výběru notebooku pro práci s grafickými aplikacemi se doporučuje využít nezávislý benchmark, kterým je například *PassMark*¹¹. Jedná se obecně o nejucelenější přehled výkonu procesorů, grafik, disků a kompletních systémů. Lze zde najít jak informace o špičkových řešeních, tak o aktuálně nejzajímavějších poměrech cena / výkon. Další variantou řešení výběru vhodné pracovní stanice může být certifikační test hardware, který nabízejí dodavatelé softwarů. Jedná se o účelově sestavený přehled hardware, který je testován s nabízenými aplikacemi. Je určen pro profesionální využití pracovních stanic a nabízí převážně dražší komponenty, které jsou certifikovány pro odborný software. Tuto možnost nabízí například společnost Autodesk v online aplikaci *Certified Hardware*¹². Při výběru notebooku je nutné se především soustředit na poměr cena / funkčnost / výkon [62].

¹¹ Více informací: <http://www.passmark.com/>

¹² Více informací:

<http://usa.autodesk.com/adsk/servlet/syscert?id=18844534&siteID=123112>



10. Propojení BIM a 3D tisku ve stavebním podniku

V první řadě je potřeba definovat, k jakým účelům bude 3D tisk v podniku využíván. V této práci se chci věnovat využití modelů, které jsou vytištěny přímo z informačního modelu budovy a mohou posloužit jednotlivým profesím ve fázi návrhu a při výstavbě. Zavedení technologie 3D tisku je vhodné především pro podniky, které zavádějí nebo již využívají ve svých projektech metodiku BIM a mají možnost pracovat s kvalitní výpočetní technikou. Důležitá je také kvalitní IT podpora podniku. 3D tisk mohou stavební podniky aktivně využívat v rámci pozemního, dopravního, vodohospodářského i speciálního stavitelství.

Vytištěné 3D modely je vhodné využívat pro pochopení jednotlivých stavebních projektů a jejich částí. Mnohé složitosti při návrhu a výstavbě mohou být díky vytištěnému modelu studovány v detailech. Pro účastníky projektu, kteří dobře neovládají výpočetní techniku, mohou být vytištěné modely srozumitelnější než virtuální model. Díky 3D tisku je umožněno vyrábět v potřebném měřítku funkční a přesné součásti staveb přímo z informačního modelu budovy [63, s. 12]. Jako příklad bych zde uvedl části TZB. V rozsáhlejších BIM modelech je mnohdy velice složité orientovat se v jednotlivých uzlech a trasách TZB systému. Informační model budovy ovšem dovoluje tvořit nekonečné množství 3D pohledů a výřezů. Úseky, kde se potkávají jednotlivé prvky technologických zařízení a vedení, jsou mnohdy těžko pochopitelné. Jedná se zejména o uspořádání trubních systémů v podhledech a šachtách, uspořádání technologických zařízení ve strojovnách, trubní vyústění nad střešní konstrukce atd. V těchto detailech by mohl být 3D tisk velice nápomocný. Jednotlivé soustavy a uspořádání je možné přesně vytisknout dle projektové dokumentace z BIM modelu a poskytnout technikům jako podklad pro realizaci. V případě tisku těchto soustav TZB se nabízí využití vícebarevného tisku nebo barvení jednotlivých částí ručně.

Tištěné modely lze využít při prezentaci exteriéru stavby a dispozičního uspořádání interiéru. Díky tomu, že si pozorovatel může model zblízka fyzicky prohlédnout, získá jasnou představu o budoucím vzhledu a uspořádání vnitřních prostor budovy. Případné clientské změny a požadavky ze strany investora se zakreslí do virtuálního modelu a lze je na tiskárně dodatečně vytisknout. Pokud se bude jednat o změny menšího rozsahu, které výrazně nenařadí původní vzhled budovy, je možné instalovat tyto dotištěné prvky na původní model pomocí modelářských technik. V případě rozsáhlejších změn se vytvoří nový kompletní výtisk. 3D tisk je v pozemním stavitelství také vhodné využít v rámci komplexních



modelů architektonického a urbanistického řešení. V případě návrhu sídelních útvarů nebo osazení nové stavby do stávající zástavby je možné tvořit velké modely jednotlivých částí měst a do nich osadit nové stavby.

Pomocí 3D tisku lze vytvořit také atypické interiérové a exteriérové prvky stavby. Jednat se může například o speciální tvary schodišť, markýzy, hlavice sloupů, pohledové vazníky, průvlaky, zábradlí atd. Vytištěné modely mohou pomoci architektovi a klientovi v rozhodování ve fázi návrhu těchto atypických prvků. Díky vytištěnému modelu jednotlivých variant těchto prvků je jednodušší si představit vzhled jednotlivých prvků.

V oblasti dopravních staveb je možné 3D tisk využít v rámci mnoha odvětví. Při stavbě a návrhu mostů by tištěný model mohl sloužit při prezentacích. V případě výstavby silnic a železnic je možné tisknout složité modely křižovatek a dalších dopravních uzlů. To může pomoci inženýrům v orientaci při návrhu a výběru nejvhodnějšího řešení. V případě, že je nutné napojit prvky infrastruktury s pozemní stavbou (železniční stanici, administrativní budovu), je možné díky detailnímu BIM modelu provést výtisk stavby s napojením na stávající infrastrukturu a také analyzovat možné nedostatky a problémy po dokončení výstavby. V případě podzemních staveb může 3D tisk sloužit k výrobě variant jednotlivých řešení. Příkladem může být výstavba nové trasy metra. Díky modelům je možné si jednoduše představit řešení napojení na stávající trasy, výškové rozdíly v úrovních jednotlivých tras a výsledný tvar podzemního tělesa. V případě výstavby kolektorů je možné vytvořit tisk části tělesa společně s uspořádáním inženýrských sítí.

V současné době jsou součástí větších stavebních podniků specializovaná centra, která se zabývají řešením jednotlivých konstrukcí. Jedná se například o řešení ocelových konstrukcí, lehkých obvodových plášťů, facility management atd. Zde je rozsah využití 3D tisku velice široký. V případě ocelových konstrukcí se nabízí tvorba modelů při řešení složitých detailů (spoje konstrukcí, vrstvy sendvičových prvků, tvary ocelových nosníků). V případě návrhu LOP se nabízí využít 3D tisk pro tvorbu prototypů složitých tvarů a spojů. Architekti mohou 3D tisk v rámci návrhu LOP využít k volbě ideálního tvaru, barevnosti a materiálového řešení fasády. Inženýři mohou použít 3D tisk v rámci návrhu konstrukčního řešení LOP, to se může týkat výroby prototypů jednotlivých panelů. Díky tvorbě prototypů mohou inženýři zvolit a otestovat ideální řešení spojů, odvodňovacích drážek a dalších specifických parametrů.

V případě, že se vedení stavebního podniku rozhodne tuto technologii zavést a využívat, vidím výše zmíněné možnosti využití jako ideální. 3D tisk



by měl být k dispozici pro BIM týmy, projekční a architektonická střediska. Specializované oblasti by se měly 3D tiskem zabývat v rámci vlastní laboratoře nebo případně navázat úzkou spoluprací s BIM týmem. Celý proces 3D tisku ve stavebním podniku by měl být podporován IT oddělením.

11. Obecný rozbor kalkulace nákladů na 3D tisk konkrétních modelů

Součástí všech projektů v rámci zavádění 3D tisku ve stavebním podniku je tvorba modelů tištěných na 3D tiskárně. V této části práce bude popsán průběh interního a externího tisku včetně porovnání nákladů vzniklých při obou těchto možnostech tvorby 3D modelů. V rámci každého pilotního projektu zavedení 3D tisku do stavebního podniku bych doporučil toto porovnání provést. Díky tomuto porovnání lze vyhodnotit efektivitu vlastních tiskáren nebo případné využití outsourcingu.

11.1. Interní tisk

V rámci interního tisku by měl pracovník zapisovat a analyzovat jednotlivé činnosti včetně doby trvání a spotřebovaný materiál na tisk jednotlivých modelů. Díky tomu je následně možné vyhodnotit skutečné náklady na 3D tisk těchto modelů.

11.1.1. Obecný popis průběhu tvorby výstupu

Tisk BIM modelů na 3D tiskárně se skládá z několika činností. Nejdůležitější je důkladná úprava modelu v CAD/BIM softwaru. Zde dochází k jasnému definování vzhledu modelu a jeho obsahu. Po exportu z CAD/BIM softwaru následuje úprava v animačním programu, kde se provede především sjednocení jednotlivých komponent. Ty jsou nezávisle na sobě umístěny v prostoru modelu a exportu modelu do tiskařského formátu, který je podporován tiskařským softwarem (STL, OBJ, atd.). Po této úpravě následuje import modelu (STL, OBJ, atd.) do tiskařského softwaru, kde se provedou finální úpravy před tiskem, včetně vhodné volby podpor a vygenerování G-code. Následovat by mělo spuštění cvičného tisku, během kterého by po určitou časovou dobu mělo dojít ke sledování průběhu tisku a ke kontrole. Pokud vše probíhá řádně, je nutné cvičný tisk zastavit, odstranit cvičný výtisk a spustit ostrý tisk. V rámci tohoto tisku by mělo dojít ke kontrole průběhu a v případě tvorby chyb k úpravám průběhu tisku (snížení nebo zvýšení rychlosti tisku, zvýšení nebo snížení intenzity

chlazení atd.) nebo modelu v jednotlivých softwarech. Po vytištění modelu je nutné provést finální úpravy modelu. To se týká především vyjmutí modelu z tiskařského prostoru a následnému odstranění podpor, přebroušení, barvení atd. Každá technologie a 3D tiskárna má v rámci finální úpravy modelu svá vlastní specifika. Tato specifika je nutné vždy před zahájením tisku důkladně nastudovat. Detailně je postup tvorby výstupu z BIM modelu na 3D tiskárně popsán v bodě 6.4. Obecné zásady a v praktické části této diplomové práce.

V přípravné fázi tisku modelů na 3D tiskárně je nutné brát v potaz, že je nutné důkladně připravit především první tištěný model. Následující modely lze tisknout pomocí vygenerovaného G-code z tiskařského softwaru. G-code obsahuje detailní informace o modelu (počet vrstev tisku, tvar modelu, velikost modelu, umístění podpor) a určuje průběh tisku (pohyb tiskové hlavy, rychlost tisku, dobu tisku, spotřebovaný materiál). Nejjednodušší možnost generování G-code nabízejí tiskařské softwary [64]. Při tisku upravených modelů pomocí G-code dochází již pouze ke kontrole/úpravě procesu tisku a finální úpravě modelu. První model je vzhledem k časové náročnosti přípravy nejnákladnější.

Tisk prvního modelu
Úpravy modelu v CAD/BIM softwaru
Úpravy v animačním softwaru
Příprava na tisk v tiskařském softwaru
Provedení cvičného tisku
Kontrola a úpravy v průběhu tisku
Finální úpravy vytištěného modelu

Tabulka 6: Činnosti průběhu tvorby prvního modelu na 3D tiskárně

Zdroj: Vlastní tvorba

Tisk následujících modelů
Import G-code do tiskařského softwaru
Kontrola a úpravy v průběhu tisku
Finální úpravy vytištěného modelu

Tabulka 7: Činnosti průběhu tvorby následujících modelů na 3D tiskárně

Zdroj: Vlastní tvorba

11.1.2. Stanovení ceny modelu tištěného interně

Pro přesné stanovení ceny modelu vyrobeného interně v rámci podniku je nutné především znát dobu trvání jednotlivých prací a množství spotřebovaného materiálu. Dále je nutné započítat spotřebu energií a amortizaci tiskárny. Je nutné počítat s hodinovou mzdou a počtem



pracovníků, kteří provedli úpravy a výtisk modelu. Cena modelu vytištěného interně se rovná součtu všech nákladů, které bylo nutné na průběh tvorby modelu vynaložit.

Výpočet ceny modelu (interní tisk)			
Náklad	Započitatelné hodnoty	Jednotka	Hodnota nákladové jednotky
A	Doba trvání činností	hod	Doba trvání x pracovník x mzda
	Počet pracovníků	-----	
	Mzda pracovníka	Kč/hod	
B	Spotřebovaný materiál	Kg; m	Spotřebovaný materiál x cena materiálu
	Cena materiálu	Kč/Kg; Kč/m	
C	Amortizace zařízení	Kč	Amortizace zařízení
D	Spotřeba energií na tisk	kWh	Spotřeba energií x cena energií
	Cena energií	Kč/kWh	
Cena modelu = A+B+C+D			

Tabulka 8: Stanovení ceny modelu (interní tisk)

Zdroj: Vlastní tvorba

Tento model výpočtu lze využít jak při tisku prvního modelu, tak i následujících modelů z G-code.

11.2. Externí tisk

Podnik by měl v rámci zavádění 3D tisku prozkoumat také možnosti, které nabízí tištění modelů externě v profesionálních centrech. V České republice již v současnosti existuje několik center 3D tisku, které využívají pro tisk modelů vyspělé technologie a nejmodernější postupy. Jako příklad bych uvedl Centrum 3D tisku 3Dees¹³ a firmu 3Dwiser s.r.o.¹⁴ Obě tyto studia nabízejí možnost profesionálního 3D tisku na zakázku a poradenství.

11.2.1. Obecný popis průběhu tvorby výstupu

V případě tisku modelu externě by mělo dojít k poskytnutí připraveného modelu v tiskařském formátu STL, OBJ atd. Záleží na domluvě s tiskařským centrem. V rámci podniku by mělo dojít pouze k úpravě modelu v CAD/BIM softwaru, úpravě v animačním programu a následnému exportu do tiskařského formátu (STL, OBJ, atd.). Při předávání modelu by mělo dojít ze strany podniku k popisu velikosti modelu, využití technologie a použitého

¹³ Více informací: <http://www.3dees.cz/3d-tisk/>

¹⁴ Více informací: <http://3dwiser.com/o-nas/>



materiálu. Po předání modelu v tiskařském formátu by mělo dojít k vypracování cenové nabídky. Cena se liší dle použité technologie a materiálu. Vše záleží na domluvě podniku a tiskařského centra.

11.2.2. Stanovení ceny modelu tištěného externě

Pro stanovení přesné ceny modelu tištěného externě je nutné počítat s hodinovou mzdou a počtem pracovníků, kteří provedli úpravy modelu. Cena modelu vytištěného externě se rovná součtu cenové nabídky a všech nákladů, které bylo nutné vynaložit na úpravy modelu.

Výpočet ceny modelu (externí tisk)			
Náklad	Započitatelné hodnoty	Jednotka	Hodnota nákladové jednotky
A	Doba trvání činností	hod	Doba trvání x pracovník x mzda
	Počet pracovníků	-----	
	Mzda pracovníka	Kč/hod	
B	Cenová nabídka	Kč	Cenová nabídka
Cena modelu = A+B			

Tabulka 9: Stanovení ceny modelu (externí tisk)

Zdroj: Vlastní tvorba

V případě potřeby tisku více modelů zde existuje možnost vyjednání množstevní slevy. Množstevní sleva je stanovena vždy individuálně dle počtu a složitosti modelu.

11.3. Porovnání interního a externího tisku

V rámci pilotního projektu doporučuji provést porovnání modelů tištěných externě a interně. Toto porovnání by se nemělo týkat pouze výsledných cen, ale také dosažené kvality modelů. Díky tomuto porovnání si podnik může vytvořit jasnou představu o cenách a dosažené kvalitě jednotlivých výtisků.

Cenové porovnání doporučuji provést jak při tisku jednoho, tak i více modelů pomocí rozdílů cen. Při porovnávání tisku více modelů bude hrát roli možnost tisku z G-code (interní tisk) a množstevní sleva (externí tisk).

Porovnání kvality je vždy subjektivní. Záleží zde na využití technologii a kvalitním provedení finálních úprav.

Ideálním výstupem je nalezení vhodného poměru ceny a kvality.



KAPITOLA 3

Praktická část



12. Příklady variant řešení investice

V tomto bodě jsou vytvořeny nejvhodnější varianty prvotní investice do technologie 3D tisku ve stavebním podniku. V první části jsou vyhledány a popsány konkrétní softwary, které jsou potřeba pro práci s modelem. Ve druhé části jsou vyhledány a popsány vhodné 3D tiskárny společně s příklady notebooků, které mají vhodné technické parametry pro kvalitní práci s modely a 3D tiskárnou.

Softwarové a hardwarové varianty jsou vytvořené s ohledem na možný nákup technologií u českých dodavatelů, kteří uživatelům poskytují možnost podpory a školení. K softwaru je rovněž poskytována uživatelská podpora a ke každé zakoupené tiskárně je zdarma poskytnuto uživatelské školení. V případě prvotní investice do 3D tisku by bylo vhodné investovat do dvou tiskáren s odlišnou technologií.

12.1.1. Software

I. CAD/BIM software

Cena pronájmu jedné roční licence plné verze programu:

- Autodesk Revit: 58 915 Kč¹⁵ bez DPH
- ArchiCAD 20: 59 160 Kč¹⁶ bez DPH
- Allplan Architecture: 75 050 Kč¹⁷ bez DPH

II. Animační software

Cena pronájmu jedné roční licence plné verze programu:

- Autodesk 3ds Max: 41 510 Kč bez DPH¹⁸
- Blender: *Zdarma ke stažení*¹⁹

Cena školení animačních softwarů:

- Základní kurz Autodesk 3ds Max: 9 000 Kč bez DPH²⁰

¹⁵ Cena ročního pronájmu programu AUTODESK REVIT byla stanovena přepočtem oficiální ceny (EUR) z webových stránek dne 15. 12. 2016 kdy 1EUR = 27,0250 Kč

¹⁶ Cena ročního pronájmu programu ArchiCAD 20 byla sdělena dne 15. 12. 2016 telefonicky (+420 257 310 090) pracovníkem spol. Centrum pro podporu počítačové grafiky ČR s.r.o.

¹⁷ Cena ročního pronájmu programu Allplan Architecture byla sdělena telefonicky (+420 225 384 880) pracovníkem Allplan Česko s.r.o. dne 15. 12. 2016

¹⁸ Cena ročního pronájmu Autodesk 3ds Max: <https://shop.cadstudio.cz/3ds-max-2017-cs-pronajem-na-1-rok.html>

¹⁹ Program Blender lze zdarma stáhnout zde: <https://www.blender.org/download/>

Více informací:



- Základní kurz Blender: 11 100 Kč bez DPH²¹
- Kurz pokročilých technik Blender: 11 100 Kč bez DPH²²

Místo konání těchto kurzů je Praha. V případě práce s programem Blender bych doporučil vzhledem ke složitosti programu absolvovat také kurz pokročilých technik.

III. Tiskařský software (slicer software) - zdarma

V případě tiskařského softwaru doporučuji zvolit některý z open-source programů (Cura, CraftWare, Repetier, atd.) nebo program dodávaný přímo ke konkrétní 3D tiskárně. Program je nutné zvolit dle doporučení konkrétního výrobce 3D tiskárny kvůli kompatibilitě.

12.1.2. Hardware

I. 3D tiskárna ULTIMAKER 3

Tato 3D tiskárna využívá technologii FFF (FDM). Velikost tiskové komory je 215 x 215 x 200 mm. 3D tiskárna disponuje dvěma tryskami, vyhřívanou skleněnou podložkou a rychlost tisku se pohybuje od 30 do 300 mm/s. Tiskárna je dodávána společně s tiskařským softwarem Cura. Je možné na ní tisknout z materiálů PLA, ABS, Nylon. Díky dvěma tryskovým hlavám je možné kombinovat barvy a materiály. Autorizovaným dodavatelem této tiskárny v ČR je firma 3Dwiser s.r.o. [65].

Cena 3D tiskárny: 82 363 Kč bez DPH²³

II. 3D tiskárna BUILDER PREMIUM SMALL

Tiskárna pracuje s technologií FFF (FDM). Velikost tiskové komory je 210 x 200 x 220 mm. Tiskárna využívá k tisku jednu trysku a vyhřívanou skleněnou podložku. Na tisk je možné využít materiály PLA, PET a PVA. Na tomto stroji je možné díky technologii color mixing tisknout dvoubarevné modely. Autorizovaným dodavatelem této tiskárny v ČR je firma 3Dwiser s.r.o. V případě použití této tiskárny je možné pro tisk využít open-source software (Cura, Repetier-Host, atd.) [65].

Cena 3D tiskárny: 68 600 Kč bez DPH²⁴

²⁰ Autodesk 3ds Max – základní kurz: <http://www.gopas.cz/Kurzy/Katalog-kurzu/Grafika-multimedia-a-design/Autodesk/Autodesk-3ds-Max-zakladni-kurz-AD3DS1.aspx>

²¹ Blender 3D – základní kurz: <http://www.gopas.cz/Kurzy/Katalog-kurzu/Grafika-multimedia-a-design/Blender-3D/Blender-3D-zakladni-kurz-BLEND1.aspx>

²² Blender 3D – pokročilé techniky: <http://www.gopas.cz/Kurzy/Katalog-kurzu/Grafika-multimedia-a-design/Blender-3D/Blender-3D-pokrocile-techniky-BLEND2.aspx>

²³ <http://3dwiser.com/3d-tiskarny/fdm/ultimaker-3/>



III. 3D tiskárna Makerbot Replicator +

Díky 3D tiskárně Replicator+ lze tisknout kvalitní koncepční modely technologií FDM. Součástí dodávky této tiskárny je software MakerBot Print. Maximální velikost tisku 295 x 195 x 165 mm. Tiskárna je vybavena jednou tryskovou hlavicí a podložkou Flex s přilnavým povrchem. Ideálním materiálem pro tisk je MakerBot PLA a MakerBot ABS. Oficiálním distributorem tiskáren MakerBot pro ČR je společnost MCAE Systems, s. r. o. [66].

Cena 3D tiskárny: 69 900 Kč bez DPH²⁵

IV. 3D tiskárna FORMLABS FORM 2

Stolní SLA 3D tiskárna, která je určena pro tvorbu detailních modelů, je vybavena silným optickým zdrojem o výkonu 250 mW. Součástí tiskárny je integrovaný dávkovač pryskyřice, vyhřívaná nádrž a čistící planžeta. Díky čistící planžetě dochází k odstranění zbytkového fragmentu, který vznikne během tisku. Autorizovaným dodavatelem této tiskárny v ČR je firma 3Dwiser s.r.o. [65].

Cena 3D tiskárny: 90 990 Kč bez DPH²⁶

V. Notebook HP Zbook 17 G3

Jedná se o výkonný firemní notebook se 4jádrovým procesorem Intel Core i7-6700HQ (2.6GHz, TB 3.5GHz, HyperThreading); 8GB RAM DDR4; 17.3" FullHD displejem; grafickou kartou NVIDIA Quadro M2000M 4GB GDDR5; 256GB SSD Z Turbo Drive PCIe. Součástí notebooku jsou USB porty 3.0, HDMI a VGA pro připojení externího displeje. OS Windows 7 Professional (licence Windows 10 Pro). Tento notebook splňuje parametry pro práci s BIM/CAD a animačním softwarem. [67].

Cena notebooku: 44 620 Kč bez DPH²⁷

VI. Notebook Lenovo ThinkPad P50s

Přenosná pracovní stanice pro graficky náročné aplikace. 2jádrový procesor Intel Core i7-6500U (2.5GHz, TB 3.1GHz, HyperThreading); 8GB RAM DDR3; grafika NVIDIA Quadro M500M 2GB; 256GB SSD; OS Windows 7

²⁴ Více informací: <http://3dwiser.com/3d-tiskarny/fdm/builder-premium-small/>

²⁵ Více informací: <http://www.makerbot.cz/portfolio/makerbot-replicator-plus/>

²⁶ Více informací: <http://3dwiser.com/3d-tiskarny/sla-dlp/formlabs-form-2/>



Professional (licence Windows 10 Pro). Tento notebook splňuje parametry pro práci s BIM/CAD a animačním softwarem [68].

Cena notebooku: 42 388 Kč bez DPH²⁸

12.1.3. Konkrétní varianty řešení

Nejnákladnější varianta	
Hardware	Cena Kč bez DPH
3D tiskárna ULTIMAKER 3	82 363 Kč
3D tiskárna FORMLABS FORM 2	90 990 Kč
Notebook HP Zbook 17 G3	44 620 Kč
Software	Cena Kč bez DPH/rok
CAD/BIM - dle konkrétního podniku	-----
Autodesk 3ds Max	41 510 Kč
Školení	Cena Kč bez DPH
Základní kurz Autodesk 3ds Max	9 000 Kč
Cena celkem bez DPH	268 483 Kč

Tabulka 10: Nejnákladnější varianta investice

Zdroj: Vlastní tvorba

Nejméně nákladná varianta	
Hardware	Cena Kč bez DPH
3D tiskárna BUILDER PREMIUM SMALL	82 363 Kč
Notebook Lenovo ThinkPad P50s	42 388 Kč
Software	Cena Kč bez DPH/rok
CAD/BIM - dle konkrétního podniku	-----
Blender	zdarma
Školení	Cena Kč bez DPH
Základní kurz Blender	11 100 Kč
Kurz pokročilých technik Blender	11 100 Kč
Cena celkem bez DPH	189 339 Kč

Tabulka 11: Nejméně nákladná varianta investice

Zdroj: Vlastní tvorba

²⁸ Více informací: <https://www.czc.cz/lenovo-thinkpad-p50s-cerna/186326/produkt>



13. Implementace technologie v praxi

V této části bude prezentován postup a výsledky práce s 3D tiskárnou ve společnosti Skanska a.s. Skanska se v současné době snaží na území České republiky o aktivní využívání metodiky BIM ve svých projektech. Je zde snaha o využívání moderních technologií v procesu výstavby, ale také v oblasti prezentace vlastních projektů (virtuální realita). V rámci brigády v BIM týmu pod vedením Ing. Jana Šourka jsem byl pověřen k prozkoumání možností tvorby výstupů z reálného BIM modelu na 3D tiskárně, kterou společnost Skanska a.s. vlastní. BIM tým společnosti Skanska při práci s BIM modely využívá program Autodesk Revit. Nutností bylo vymyslet, jak dostat model z tohoto programu do 3D tiskárny a vytvořit tak kvalitní výstup.

13.1. Použitý hardware a software

Pro tvorbu výstupů byla k dispozici 3D tiskárna Builder Mono Extruder, která pracuje na technologii FFF (FDM). Jednalo se o starší typ tiskárny s rokem výroby 2013. Velikost tiskové komory tiskárny je 220 x 210 x 170 mm. Tiskárna je vybavena jednou tryskou, je možné použít pouze jeden druh a barvu tiskařské struny o průměru 1,75 mm. Tiskárna má klasickou skleněnou podložku bez výhřevu a ideální materiál pro tisk je PLA nebo ABS. Je na ní možné tisknout rychlostí maximálně 80 mm/s. Tiskárna je napojena na stolní PC sestavu, která nedisponuje vysokým výkonem. Na sestavě bylo možné vytvořit pouze základní nastavení finálního modelu před tiskem.

Práci s modelem jsem prováděl na mém osobním notebooku TOSHIBA, který je vybaven 2jádrovým procesor Intel Core i5-3230M CPU 2.6GHz, 4GB RAM, grafickou kartou NVIDIA GeForce 710M 2GB a operačním systémem Windows 10. Vzhledem k nižšímu výkonu počítače byla práce s modelem nepohodlná a náročná.

Při práci se softwary jsem používal výukovou verzi programu Autodesk Revit a trial verzi programu 3ds Max 2017. Práce s programem Revit probíhala po nahrání BIM modelu, kvůli nižšímu výkonu notebooku, v pomalejším tempu. Značně nepříjemná byla práce s programem 3ds Max, který vyžaduje pro práci vyšší výkon počítače. Pro finální úpravu modelů jsem využíval free verzi programu Meshmixer. Tiskárna byla přes stolní PC sestavu ovládána pomocí programu Repetier Host.

13.2. Použitý BIM model Visionary

Pro tvorbu výstupu na 3D tiskárně byl vybrán BIM model administrativní budovy Visionary²⁹, která v současné době roste na rohu ulic Plynární a Argentinská v pražských Holešovicích. Výstavbu této budovy realizuje společnost Skanska. Visionary se má stát moderním kancelářským projektem. Jedná se o budovu se sedmi nadzemními a třemi podzemními podlažími, jejíž půdorys připomíná písmeno H. K pronájmu bude nabídnuto 20 300 m² kancelářských ploch a 2 300 m² maloobchodních ploch v přízemí. Součástí budovy má být také restaurace a kavárna. K dispozici má být 214 parkovacích míst v podzemních garážích. Budova se nachází v bezprostřední blízkosti stanice metra Nádraží Holešovice. Na veřejně přístupné zahradě za budovou vznikne multifunkční hřiště a open air kino. Visionary má budoucím nájemcům nabídnout zdravé pracovní prostředí, kvalitní designové zpracování, terasy s výhledem a pro zajímavost také běžeckou dráhu na střeše budovy [69].



Obrázek 41: Vizualizace administrativní budovy Visionary

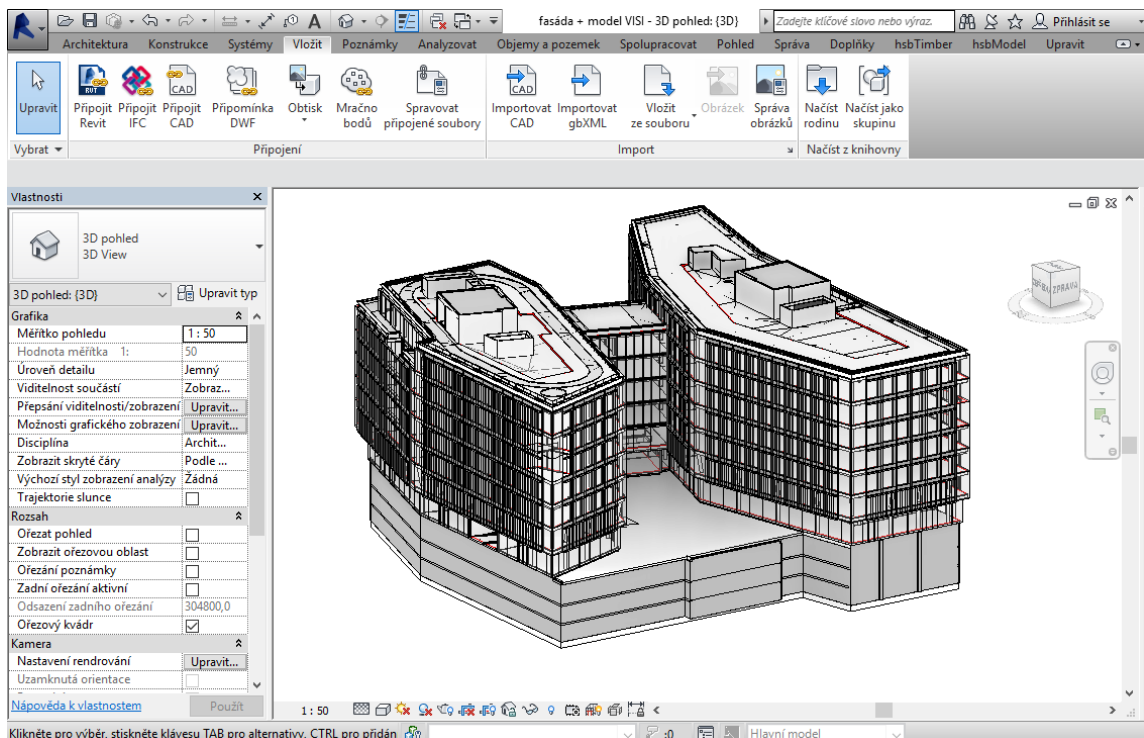
Zdroj: [69]

²⁹ Více infomací: <http://www.visionarybyskanska.cz/>



13.3. Postup tvorby výstupu z BIM modelu na 3D tiskárně

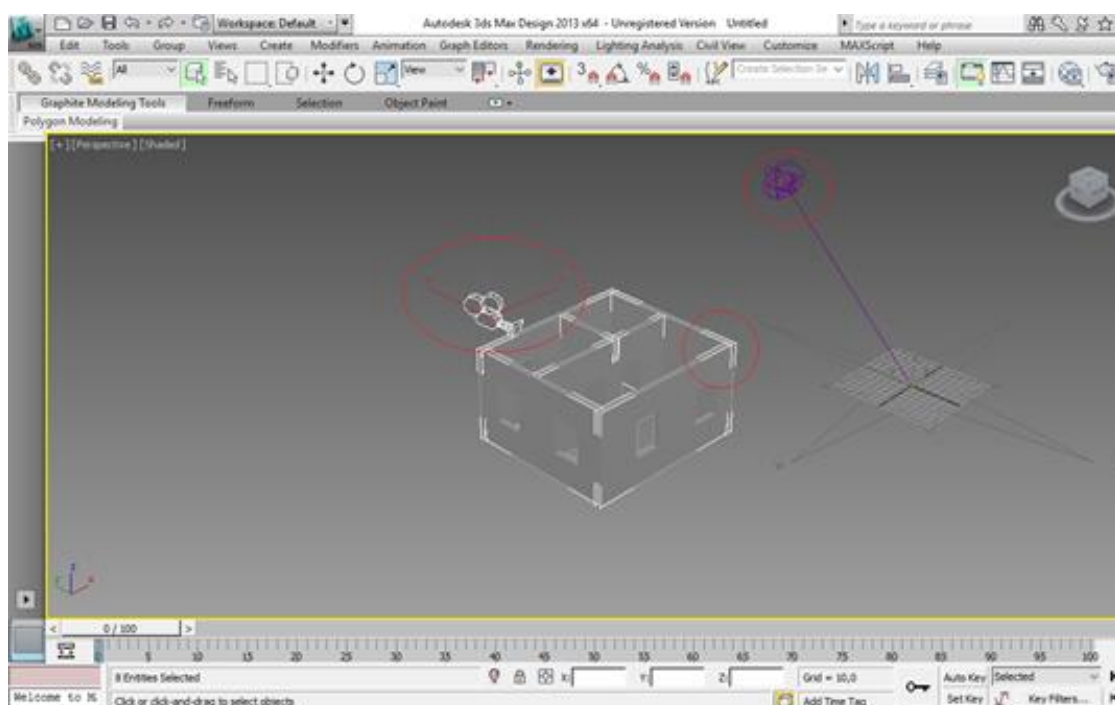
V rámci testování 3D tiskárny ve společnosti Skanska jsem se snažil o vytvoření modelu nadzemní části (fasády) administrativní budovy Visionary. Dostal jsem k dispozici jednotlivé části BIM modelu tohoto objektu, které byly potřeba pro vytvoření výstupu. Konkrétně se jednalo o model železobetonové a zděné konstrukce a fasády. Po nahrání BIM modelu do programu Autodesk Revit se musí nejprve provést propojení jednotlivých modelů mezi sebou. Po nahrání dat musí dojít k odstranění nebo skrytí prvků, které si nepřejeme ve vytisknutém modelu zobrazit. Skrytí prvků v modelu je nutné provést ve 3D pohledu pomocí funkce přepsání viditelnosti jednotlivých prvků. Lze přepsat i viditelnost jednotlivých kategorií. Při skrývání prvků je nutné všechny prvky pečlivě projít a po každém skrytí model prohlédnout, aby nedošlo ke skrytí některých potřebných částí modelu. V případě tvorby výtisku fasády bylo potřeba v první řadě skrýt podzemní podlaží pomocí ořezového kvádru, následně odstranit vnitřní betonový monolit (desky, sloupy, stěny, schodiště), zachovat střešní konstrukci s nástavbou a kompletní konstrukci fasády. Po provedených úpravách byl následně 3D model exportován do formátu FBX, aby bylo možné provést úpravy v programu 3ds Max. Úpravy v programu Autodesk Revit trvaly celkem osm hodin.



Obrázek 42: BIM model Visionary v prostředí Autodesk Revit 2016

Zdroj: Vlastní tvorba/ model vlastní SKANSKA a.s.

Po exportu upraveného modelu do formátu FBX je možné tento model otevřít v programu 3ds Max a pokračovat v úpravách. V programu 3ds Max se provádějí finální úpravy modelu před exportem do tiskového formátu STL. Dochází zde k odstranění objektů, které by mohly narušit export do formátu STL. Nejčastěji se dle nastavení v Revitu objevuje kamera, slunce a počáteční bod. Tyto prvky je možné odstranit klikem na prvek a stiskem klávesy „Delete“. Je potřeba si uvědomit, že po exportu modelu do formátu FBX se model skládá z mnoha entit (skleněné tabule fasády, desky, stěny, atd.). Dané entity by následně program pro 3D tisk nebyl schopen rozpoznat a nebylo by možné tisk provést. Je potřeba tyto entity sloučit a vytvořit tak jeden samostatný model. Toto sjednocení je umožněno díky funkci „Group“. Hromadným výběrem označíme všechny entity modelu a následně klikneme na možnost „Group“. Vybereme možnost sloučit v jeden objekt, následně model pojmenujeme a tím proběhne hromadné propojení všech vybraných entit. Po provedení tohoto kroku je možné exportovat model do formátu STL. Tento formát umožní přenos dat modelu do programu, který je určený pro tvorbu výstupu z 3D tiskárny. Úprava modelu fasády Visionary trvala v programu 3ds Max 30 minut.

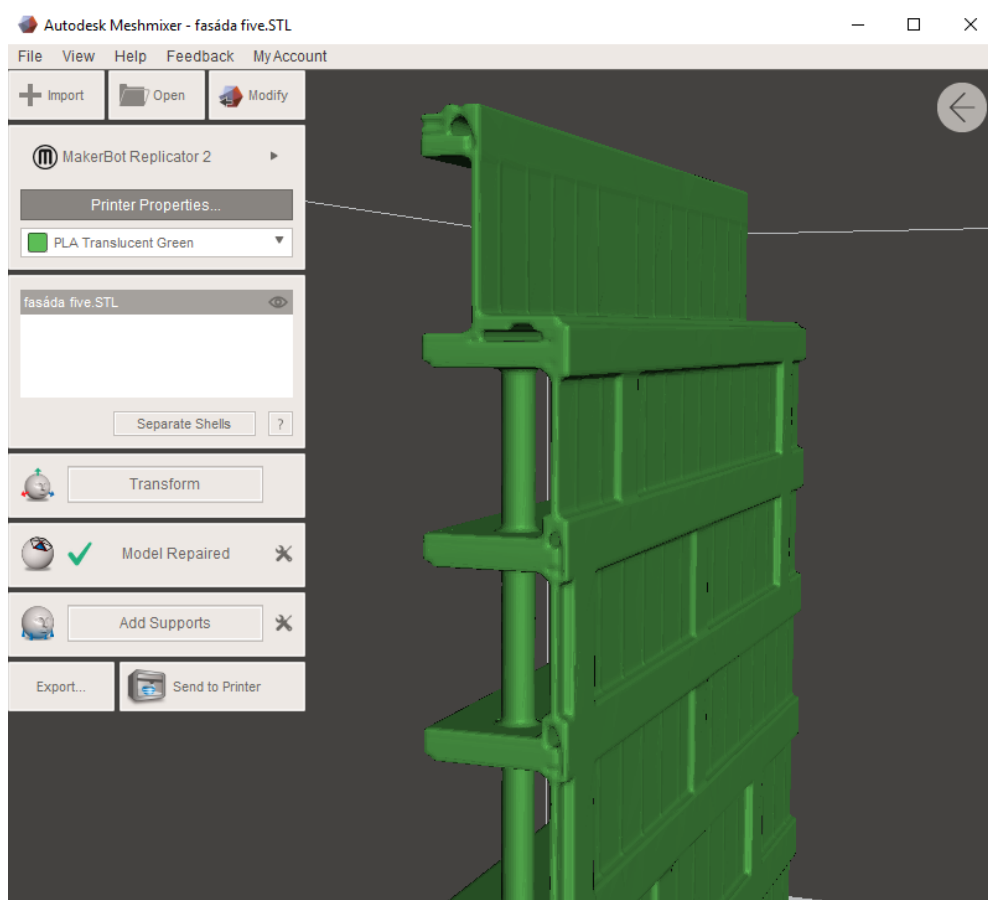


Obrázek 43: Ukázka úpravy jednoduchého modelu v programu 3ds Max

Zdroj: Vlastní tvorba

Pro větší přehlednost jsem pro ukázkou úprav modelu v programu Autodesk 3ds Max využil jednoduchý model bytu. Červeně zakroužkované objekty kamera a slunce (fialový objekt v pravém horním rohu) budou vymazány. Červeně značený roh objektu značí místo spojení entit (propojení stěn). Tyto entity musí být před exportem do formátu STL sjednoceny funkcí „Group“.

Po exportu do formátu STL doporučuji při tisku složitějšího modelu (v mém případě tisku fasády) nejprve otevřít model v programu Autodesk Meshmixer. Hlavní využití Meshmixeru při propojení s programem Revit a 3ds Max spočívá v tom, že vygenerované modely dokáže automaticky upravit tak, aby 3D tisk proběhl bez problémů. Především se jedná o automatickou úpravu tloušťek. V případě, že se v objektu vyskytují tenké stěny, desky nebo profily, program dokáže objekty opravit pomocí funkce „Repair Selected“. Po aplikaci této funkce dojde k automatickému nadefinování problémových prvků a kompletní kontrole objektu. Kontrola a oprava modelu fasády Visionary trvala v tomto programu 60 minut. Po této opravě je nutné nadefinovaný objekt znovu exportovat do formátu STL. Po exportu máme k dispozici zkontrolovaný model připravený na tisk.

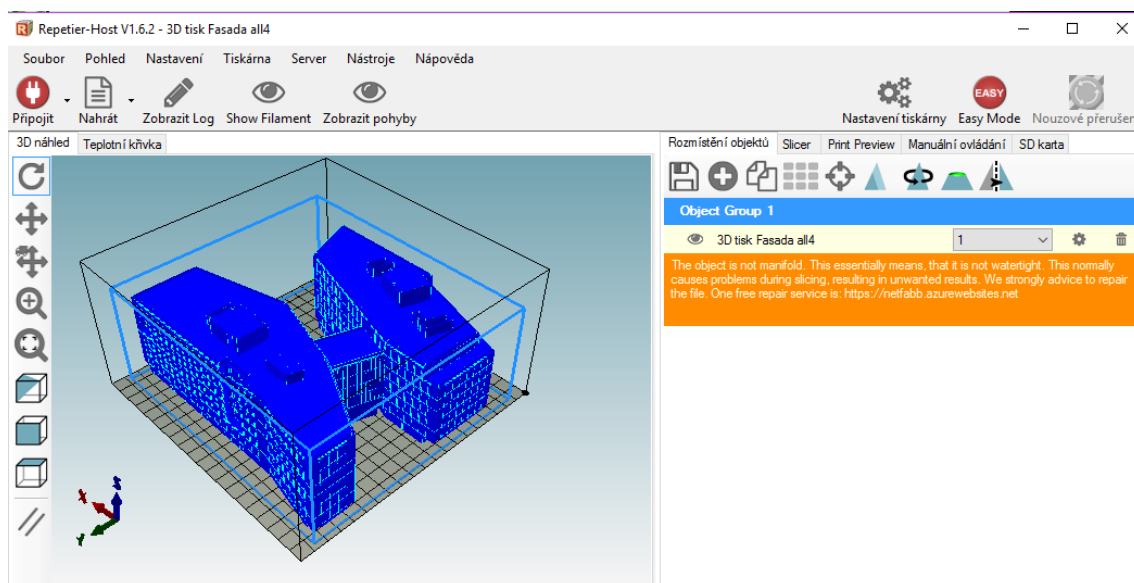


Obrázek 44: Opravený model v Autodesk Meshmixer

Zdroj: Vlastní tvorba/ model vlastní SKANSKA a.s.

Vzhledem k větší názornosti jsem pro ukázkou opravy modelu v programu Autodesk Meshmixer použil výřez z fasády. Na tomto modelu je dobře viditelné zvětšení tloušťky v oblasti spojů lehkého obvodového pláště, zvětšení tloušťky skleněné výplně a vytvořené náběhy v místě dotyku sloupu s deskou.

Po těchto úpravách by mělo dojít k otevření modelu (STL) v tiskařském programu, který je napojený na 3D tiskárnu. V případě tisku fasády Visionary se jednalo o program Repetier-Host. V tomto programu nejprve musí dojít k umístění modelu do oblasti pro tisk a celkové úpravě velikosti modelu. Pomocí tlačítka „Scale Object“ si model upravíme na potřebnou velikost.



Obrázek 45: Prostředí programu Repetier-Host s modelem umístěným v oblasti tisku

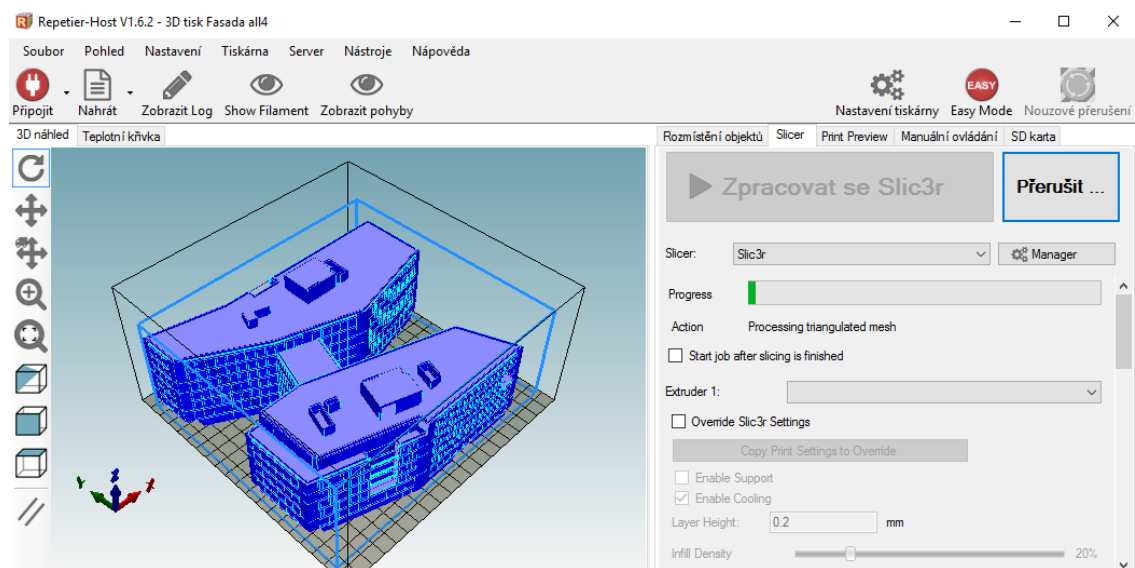
Zdroj: Vlastní tvorba/model vlastní SKANSKA a.s.

Po umístění modelu do plochy tisku se provede nastavení podpor (supportů). Pro každý tištěný objekt je nutné otestovat ideální nastavení podpor. Při výběru vhodných podpor jsem provedl dva cvičné tisky. Příprava, spuštění a kontrola těchto tisků trvala tři hodiny a bylo spotřebováno 10 metrů tiskařské struny. Po vytvoření cvičných výtisků jsem se rozhodl využít 30 % vyplnění modelu materiálem a vzor podpory „Rectilinear“. Následně je model nutné rozřezat na jednotlivé vrstvy pomocí funkce „Slicer“. V rámci tohoto procesu probíhá také výpočet trajektorií pohybu tiskařské hlavy s tryskou. Proces trval v případě modelu fasády Visionary 40 minut. Součástí procesu je také vygenerování „G-code“, který slouží v případě přenosu nařezaného modelu do jiné tiskárny. „G-code“ obsahuje informace o nařezaném modelu a pohybu trajektorií tiskařské hlavy. Doba průběhu sliceru byla využita k přípravě tiskařské podložky. V případě, že podložka není vyhřívána, je nutné ji polepit izolační páskou, aby šel model po dokončení tisku bez problému odloupnout. Po dokončení procesu nařezání provedeme kontrolu jednotlivých vrstev. Kontrola se provádí pomocí funkce „Visualization“. Zde jsou možnosti „Show single layer“ nebo „Show layer Range“ a pomocí šipek si projedeme postupně jednotlivé plátky tisku. Pokud je vše v pořádku můžeme objekt vytisknout. Příprava modelu na tisk trvala v programu Repetier-Host celkově 60 minut.

Kontrola modelu při tisku může probíhat dvěma způsoby. Je možné umístit web kameru na tiskárnu a vše sledovat pomocí živého přenosu na internetu nebo chodit model kontrolovat cca po 2 -3 hodinách.

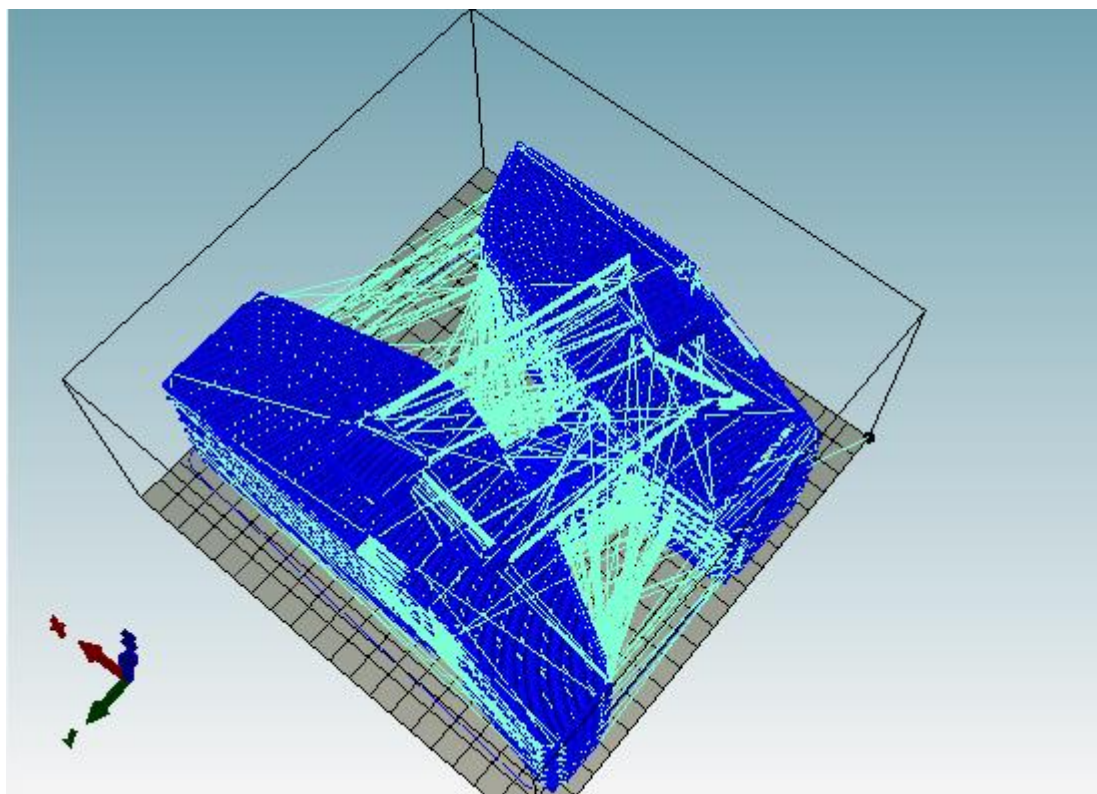
V případě objektu Visionary jsem provedl ruční korekci tiskařského procesu. Tryskková hlavice musela v oblasti střešní konstrukce překonávat v některých místech vzdálenost až 3 cm bez podpor. V případě, že by vytékal roztavený materiál stejnou rychlostí o stejné teplotě jako v předchozích fázích tisku, došlo by k propadu materiálu dovnitř modelu. Vzhledem k tomu jsem se rozhodl snížit rychlost tisku v této části na 90 % a nastavit maximální výkon větrání. Tím došlo k vytlačování tužšího materiálu a díky tomu k překonání této vzdálenosti. Kontrola modelu při tisku a jednotlivé korekce trvaly celkem 120 minut. Na tisk byla použita tisková struna 3D Factories PLA natur 1,75 mm. Celkem bylo spotřebováno na celý model včetně podpor 44 metrů tiskové struny a samotný tisk probíhal 15 hodin.

Po dokončení tisku došlo k finální úpravě modelu. Nejprve k odloupení od skleněné podložky a odstranění zbytků lepicí pásky. Následně jsem provedl odstranění viditelných podpor (supportů) pomocí nože a finální začištění modelu. S modelem je nutné zacházet velice opatrně, protože materiál PLA je relativně křehký. Tyto finální úpravy trvaly celkem 180 minut.



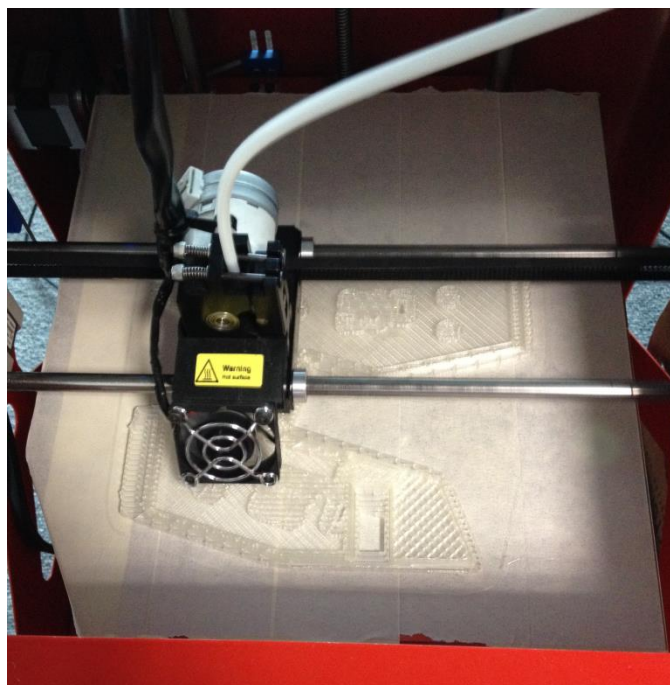
Obrázek 46: Průběh nařezání a tvorby podpor modelu Visionary v programu Repetier-Host

Zdroj: Vlastní tvorba/model vlastní SKANSKA a.s.



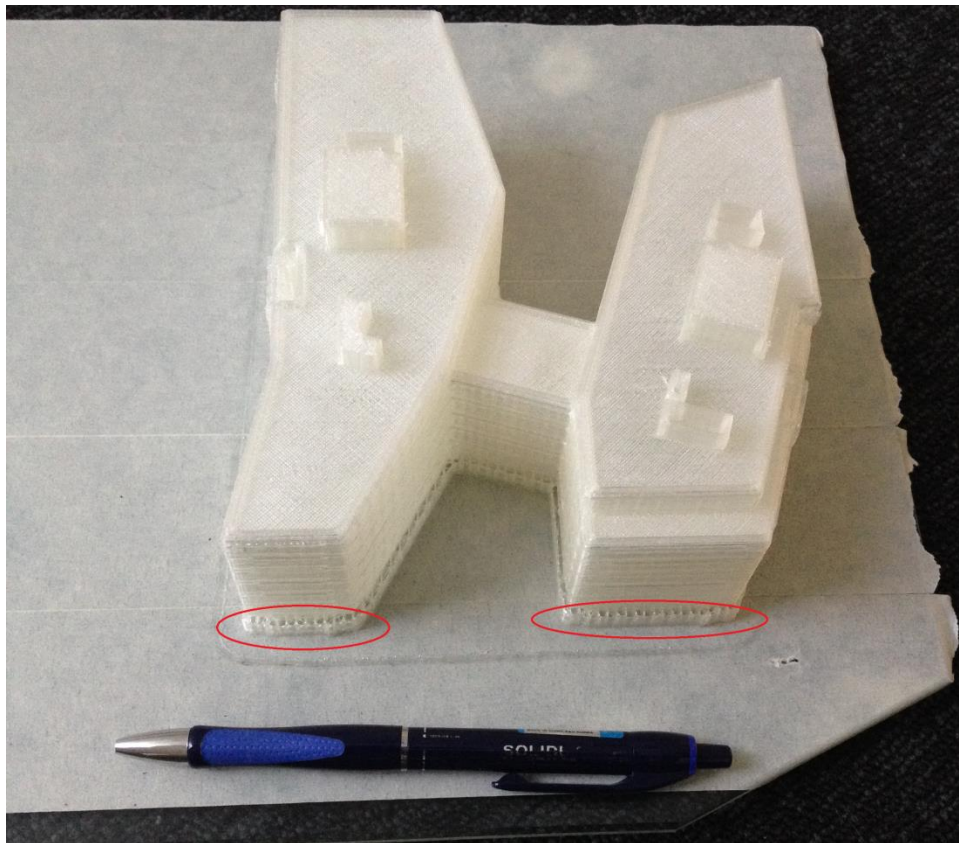
Obrázek 47: Model Visionary po nařezání v programu Repetier-Host včetně trajektorií

Zdroj: Vlastní tvorba/ model vlastní SKANSKA a.s.



Obrázek 48: Průběh tisku modelu Visionary na 3D tiskárně Builder Mono Extruder

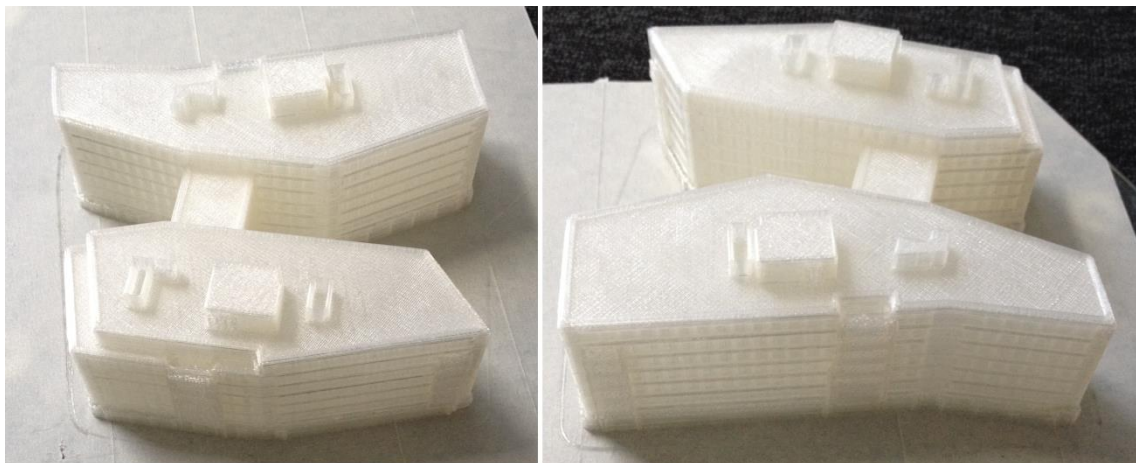
Zdroj: Vlastní tvorba/3D tiskárna je majetkem SKANSKA a.s.



Obrázek 49: Vytištěný model fasády Visionary na podložce

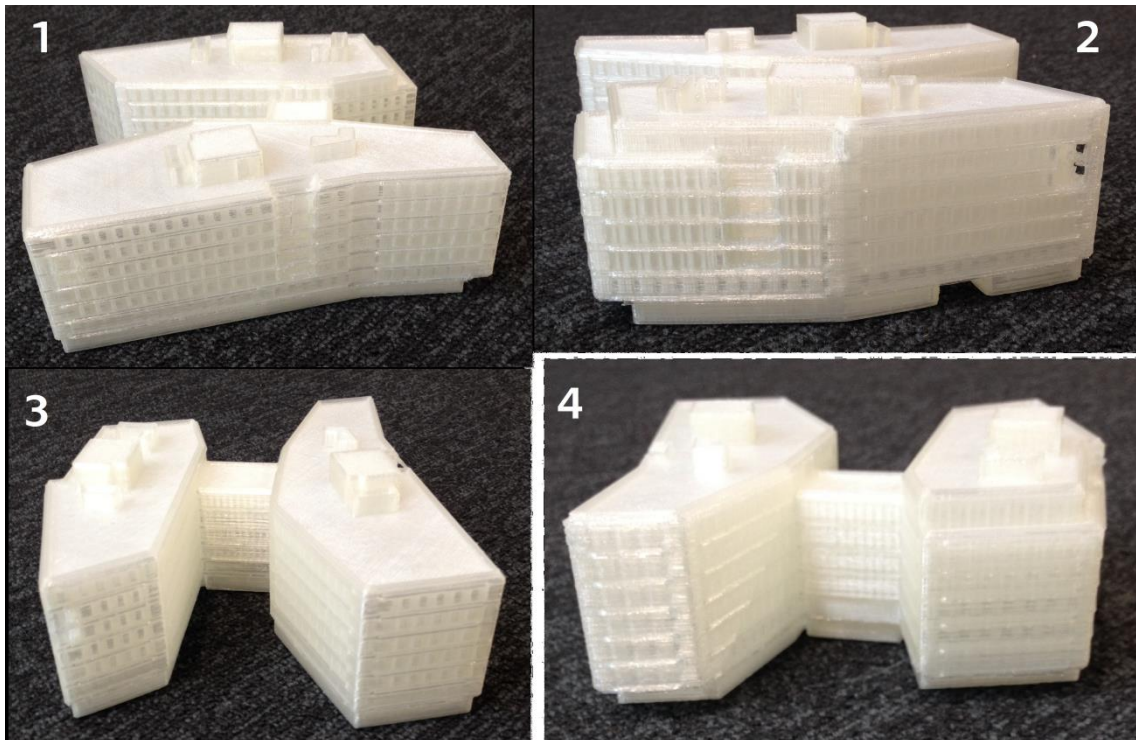
Zdroj: Vlastní tvorba/model vlastní SKANSKA a.s.

Na obrázku jsou červeně označena místa, ve kterých se nacházejí viditelné podpory. Model je v tuto chvíli nutné odlepit od podložky, odstranit podpory a provést finální úpravy před prezentací.



Obrázek 50: Ukázky vytištěného modelu Visionary na podložce

Zdroj: Vlastní tvorba/ model vlastní SKANSKA a.s.



Obrázek 51: Finální podoba upraveného modelu fasády Visionary

Zdroj: Vlastní tvorba/ model vlastní SKANSKA a.s.

Na čtyřech pohledech je vidět upravený model fasády Visionary. Ve spodní části byla odstraněna podpora a díky tomu je na obrázku číslo 2 viditelný vjezd do podzemních garáží. Na těchto obrázcích jsou viditelné terasy (obrázky 2 a 4), členitost fasády, přesazení pater a konstrukce vystavěné nad úrovní střešního pláště. Výsledná délka modelu je 152 mm.



Obrázek 52: Použitý materiál

Zdroj: [70]



13.4. Kalkulace nákladů 3D tisku modelu Visionary

V této části shrnu časové a finanční údaje o procesu tisku modelu fasády objektu Visionary a porovnám náklady na interní a externí tisk modelu.

13.4.1. Interní tisk

Činnost	Hodin	Metrů
Úpravy v Autodesk Revit	8	
Úpravy v Autodesk 3ds Max	0,5	
Úpravy v Autodesk Meshmixer	1	
Příprava na tisk v Repetier-Host	1	
Cvičné tisky v Repetier-Host	3	
Spotřebovaný materiál (3D Factories - PLA natur)		10
Kontrola a úpravy v průběhu tisku	2	
Finální úprava modelu	3	
Spotřebovaný materiál (3D Factories - PLA natur)		44
Celkem	18,5 hod	54 m

Tabulka 12: Shrnutí doby trvání jednotlivých činností a použitého materiálu
Zdroj: Vlastní tvorba

Amortizace	Materiál
120 Kč	3D Factories - PLA natur
Cena energií	Cena balení 1 Kg (340m)
57 Kč	748 Kč bez DPH ³⁰
Superhrubá mzda (brigádník)	Cena za 1 m
120 Kč/hod	2,2 Kč bez DPH
Celkem hodin	Spotřeba
18,5	54 m
Cena práce celkem	Cena materiálu celkem
2 220 Kč	119 Kč bez DPH
Celková cena za model fasády Visionary	
2 516 Kč	

Tabulka 13: Shrnutí nákladů na výtisk modelu fasády Visionary
Zdroj: Vlastní tvorba

Cena energií je stanovena násobkem doby trvání tisku a průměrné ceny za 1 kWh elektřiny³¹: $15 \times 3,78 = 56,7$ zaokrouhleně 57 Kč.

³⁰Více informací: <http://www.nej-ceny.cz/483094/3d-factories-tiskova-struna-pla-natur-1-75-mm-1-kg.html>

³¹ Průměrná cena za 1 kWh: <http://www.energie123.cz/elektrina/ceny-elektricke-energie/cena-1-kwh/>



Z tabulky číslo 12 vychází, že celkový čas potřebný na proces 3D tisku modelu fasády je 18,5 hodiny a bylo spotřebováno celkem 54 metrů tiskové struny. Celková cena tisku prvního modelu fasády Visionary byla vypočtena zaokrouhleně na 2 516 Kč. V tomto případě je nutné brát v potaz fakt, že výtisk dalšího totožného modelu bude o poznání levnější, protože již nebude nutné provádět složité úpravy v programech a cvičné tisky. Dojde pouze k nahrání „G-code“ do programu Repetier-Host, kontrole a korekci během tisku a finální úpravě modelu.

Činnost	Hodin	Metrů
Kontrola a úpravy v průběhu tisku	2	
Finální úprava modelu	3	
Spotřebovaný materiál (3D Factories - PLA natur)		44
Celkem	5	44 m

Tabulka 14: Shrnutí doby trvání jednotlivých činností a použitého materiálu na následující modely
Zdroj: Vlastní tvorba

Amortizace	Materiál
120 Kč/model	3D Factories - PLA natur
Cena energií	Cena balení 1 Kg (340m)
57 Kč	748 Kč bez DPH
Superhrubá mzda (brigádník)	Cena za 1 m
120 Kč/hod	2,2 Kč bez DPH
Celkem hodin	Spotřeba
5	44
Cena práce celkem	Cena materiálu celkem
600 Kč	97 Kč bez DPH
Celková cena za model fasády Visionary	
874 Kč	

Tabulka 15: Shrnutí nákladů na výtisk následujících modelů fasády Visionary
Zdroj: Vlastní tvorba

Z tabulky číslo 15 je jasně viditelné, že náklady na výtisk dalších modelů jsou oproti prvnímu modelu méně než třetinové. Tyto modely by mohla využívat ve svých činnostech developerská společnost. V případě projektu Visionary a dalších komerčních nemovitostí, jejichž výstavbu provádí stavební podnik Skanska a.s., se jedná o Skanska Property Czech Republic s.r.o. Developerská společnost by mohla modely využít při prezentaci projektu a případně modely rozdávat klientům, aby si vytvořili jasnou představu o vzhledu a tvaru budovy.

13.4.2. Externí tisk

V rámci posouzení ideálního řešení tvorby modelů fasády Visionary bylo potřeba zjistit, zda je finančně výhodnější tvořit modely na vlastní 3D tiskárně nebo je nechat tisknout externě. Rozhodl jsem se oslovit Centrum 3D tisku 3Dees s prosbou o vytvoření cenové nabídky na tisk modelu fasády Visionary. Pro potřeby vytvoření nabídky jsem dodal Centru 3D tisku 3Dees upravený model připravený k tisku ve formátu STL. Jednalo se o totožný model, který byl použit v případě interního tisku.

Dne 30. 11. 2016 jsem obdržel oficiální nabídku od specialisty 3D tisku MgA. Adama Řeháka. Nabídka byla vytvořena na 3 různé technologie, které jsou ve 3Dees zákazníkům nabízeny. Model fasády byl zvětšen tak, aby vždy vyplnil maximální tiskovou plochu tiskárny.

První model byl naceněn na 3D tiskárně Zotrax, která využívá technologii Layer Plastic Deposition (LPD). Tato technologie je obdobou technologie FDM s tím rozdílem, že umožňuje použití různých materiálů s odlišnými fyzikálními vlastnostmi. Pro potřeby vytvoření nabídky byl použit tiskařský materiál ABS s konkrétním označením Z-ULTRAT. Jedná se o pevný termoplastický filament určený pro přesný tisk. Naceněný model má délku 198 mm a výsledná cena je 7 724 Kč bez DPH.

Druhý model byl naceněn na tiskárně Stratasys Fortus 360mc, která umožňuje vodní vymývání podpor a pracuje na technologii FDM. Díky tomu lze vytvořit velmi přesný model. Použitým materiálem je termoplastický filament ASA (Acrylonitrile Styrene Acrylate). Délka modelu je 276 mm s cenou 31 387 Kč bez DPH.

Třetí model je naceněn na 3D tiskárně Stratasys Objet 30PRO, která pracuje s Polyjet technologií. Jedná se o tisk s velmi hladkým povrchem a vysokým detailem. Na tisk je použita termoplastická pryskyřice VeroClear. Délka modelu je 207 mm s cenou 63 452 Kč bez DPH.

Model	Materiál	Cena modelu
Externí 1 (Zotrax)	ABS	7 724 Kč bez DPH
Externí 2 (Fortus)	ASA	31 387 Kč bez DPH
Externí 3 (Objet)	VeroClear	63 452 Kč bez DPH

Tabulka 16: Shrnutí nabídky 3Dees na tisk modelu fasády Visionary

Zdroj: Vlastní tvorba

Kopie kompletní cenové nabídky od Centra 3D tisku 3Dees na tisk modelu fasády Visionary je jedna z příloh této diplomové práce.



13.4.3. Porovnání nákladů interního a externího tisku

Pro vytvoření relevantního porovnání nákladů je nutné přičíst k cenovým nabídkám náklady na přípravu modelu, kterou jsem provedl v rámci brigády ve stavebním podniku Skanska. Následně je nutné provést přepočítání ceny na 1 mm délky modelu, protože všechny modely mají odlišné rozměry a délka je v tomto případě při tvorbě ceny rozhodující. Délka modelu, který byl vytištěn na interní 3D tiskárně je 152 mm. Nacenené modely mají délky 198 mm, 276 mm a 207 mm.

Činnost	Hodin	Superhrubá mzda (brigádník)
Úpravy v Autodesk Revit	8	120 Kč/hod
Úpravy v Autodesk 3ds Max	0,5	120 Kč/hod
Úpravy v Autodesk Meshmixer	1	120 Kč/hod
Cena úprav		1 140 Kč

Tabulka 17: Stanovení ceny úprav modelu určeného k externímu tisku

Zdroj: Vlastní tvorba

Model	Cena úprav	Cena modelu	Cena celkem
Interní	2 220 Kč	296 Kč bez DPH	2 516 Kč
Externí 1 (Zotrax)	1 140 Kč	7 724 Kč bez DPH	8 864 Kč
Externí 2 (Fortus)	1 140 Kč	31 387 Kč bez DPH	32 527 Kč
Externí 3 (Objet)	1 140 Kč	63 452 Kč bez DPH	64 592 Kč

Tabulka 18: Shrnutí cen modelů včetně úprav

Zdroj: Vlastní tvorba

Model	Délka	Cena celkem	Cena za 1 mm délky
Interní	152 mm	2 516 Kč	16,55 Kč
Externí 1 (Zotrax)	198 mm	8 864 Kč	44,77 Kč
Externí 2 (Fortus)	276 mm	32 527 Kč	117,85 Kč
Externí 3 (Objet)	207 mm	64 592 Kč	312,04 Kč

Tabulka 19: Stanovení ceny 1 mm délky při tisku jednoho modelu

Zdroj: Vlastní tvorba

Model	Délka	Cena celkem	Cena za 1 mm délky
Interní	152 mm	874 Kč	5,75 Kč
Externí 1 (Zotrax)	198 mm	7 724 Kč	39 Kč
Externí 2 (Fortus)	276 mm	31 387 Kč	113,72 Kč
Externí 3 (Objet)	207 mm	63 452 Kč	306,53 Kč

Tabulka 20: Stanovení ceny 1 mm délky následujících modelů

Zdroj: Vlastní tvorba

Z výše uvedených tabulek je jasně patrné, že interní tisk je mnohonásobně levnější, než tisk externí. Je nutné brát v potaz, že Centrum 3D tisku 3Dees



využívá pro tisk nejmodernější technologie a kvalitnější materiály. Technologicky a materiálově je přijatelné srovnávat interní model s modelem z tiskárny Zotrax. Zde jsou využity příbuzné technologie a podobné materiály. Ovšem cenový rozdíl je stále značný. Ostatní externí tisky jsou uvedeny spíše pro zajímavost.

I. Rozdíl v ceně tisku jednoho modelu

V případě, že by byl externě na tiskárně Zotrax vytvořen jeden model fasády Visionary z materiálu Z-ULTRAT (ABS) o stejné délce jako model vytvořený interně (152 mm), jeho cena by byla zaokrouhleně 6 896 Kč. Cena modelu při využití interního tisku z materiálu PLA je 2 339 Kč.

Cenový rozdíl externího a interního 3D tisku jednoho modelu fasády Visionary o délce 152 mm:

$$(44,77 * 152) - (16,55 * 152) = 6805 - 2516 = \text{je } 4\,289 \text{ Kč}$$

Rozdíl v ceně tisku interního modelu z materiálu PLA natur a externího modelu z materiálu Z-ULTRAT (ABS) o délce 152 mm je 4 289 Kč.

II. Rozdíl v ceně tisku deseti modelů

Interní tisk deseti modelů fasády Visionary z materiálu PLA natur:

$$2\,516 + (874 * 9) = 10\,382 \text{ Kč}$$

Výsledná cena interních deseti modelů je 10 382 Kč.

Externí tisk deseti modelů fasády Visionary na tiskárně Zotrax z materiálu Z-ULTRAT (ABS) o délce 152 mm:

$$(44,77 * 152) + (9 * (39 * 152)) = 60\,157 \text{ Kč}$$

Výsledná cena externích deseti modelů je 60 157 Kč.

Cenový rozdíl externího a interního 3D tisku deseti modelu fasády Visionary o délce 152 mm:

$$60\,157 - 10\,382 = 49\,775 \text{ Kč}$$

Rozdíl v ceně tisku deseti interních modelu z materiálu PLA natur a deseti externích modelů z materiálu Z-ULTRAT (ABS) o délce 152 mm je 49 775 Kč.

III. Zhodnocení

Kvalita externího modelu z materiálu Z-ULTRAT (ABS) je vyšší, ale pro potřeby ukázky a prezentace model vytvořený na interní tiskárně z levnějšího materiálu PLA zcela postačuje a je ušetřeno značné množství finančních prostředků.

14. Interní průzkum možností využití 3D tisku

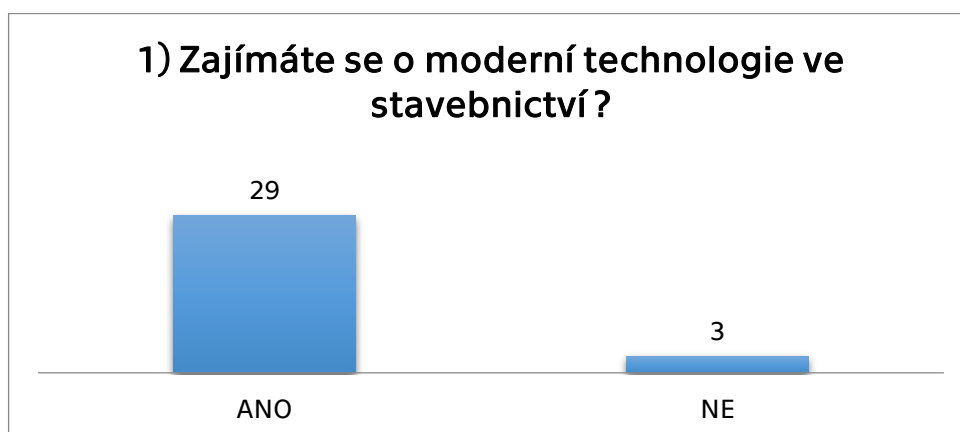
V rámci praktické části diplomové práce jsem se rozhodl vytvořit internetový dotazník, pomocí kterého jsem se pokoušel zjistit možnosti využití 3D tisku ve společnosti Skanska a.s. Dotazník jsem vytvořil pomocí webové služby *Google formuláře*. Dotazník byl odeslán za pomoci Ing. Aleše Ulmajera a Ing. Jana Šourka hromadným e-mail pracovníkům Skanska a.s. Dotazník byl zcela anonymní, nebyl vystaven ve veřejných médiích, ani na sociálních sítích. V první části jsem se pokoušel zjistit, zda má respondent povědomí o 3D tisku, následují otázky, které zjišťují názor na případné oblasti využití 3D tisku, a v závěru jsou položeny otázky, které mají za úkol zjistit názor na případnou investici do 3D tisku.

Výstupem z dotazníku by měl být průzkum názorů zaměstnanců Skanska a.s. na možnosti využití technologie 3D tisku. Z výsledků by mělo být možné vyčlenit nejvhodnější oblasti využití a také názor zaměstnanců na investici do této technologie.

14.1. Vyhodnocení odpovědí

Dotazník tvořilo celkem devět otázek a celkem ho vyplnilo 32 respondentů. Formulář s otázkami je součástí příloh této diplomové práce. Dotazník byl rozeslán 28. 11. 2016 a byl vyhodnocen 19. 12. 2016.

První otázka má především za úkol zjistit, zda se respondent zajímá o moderní technologie, které se ve stavebnictví využívají. Tato otázka patřila mezi povinné. Odpověď ANO zvolilo 29 respondentů. Odpověď NE zvolili 3 respondenti.



Graf 4: Vyhodnocení otázky č. 1

Zdroj: Vlastní tvorba

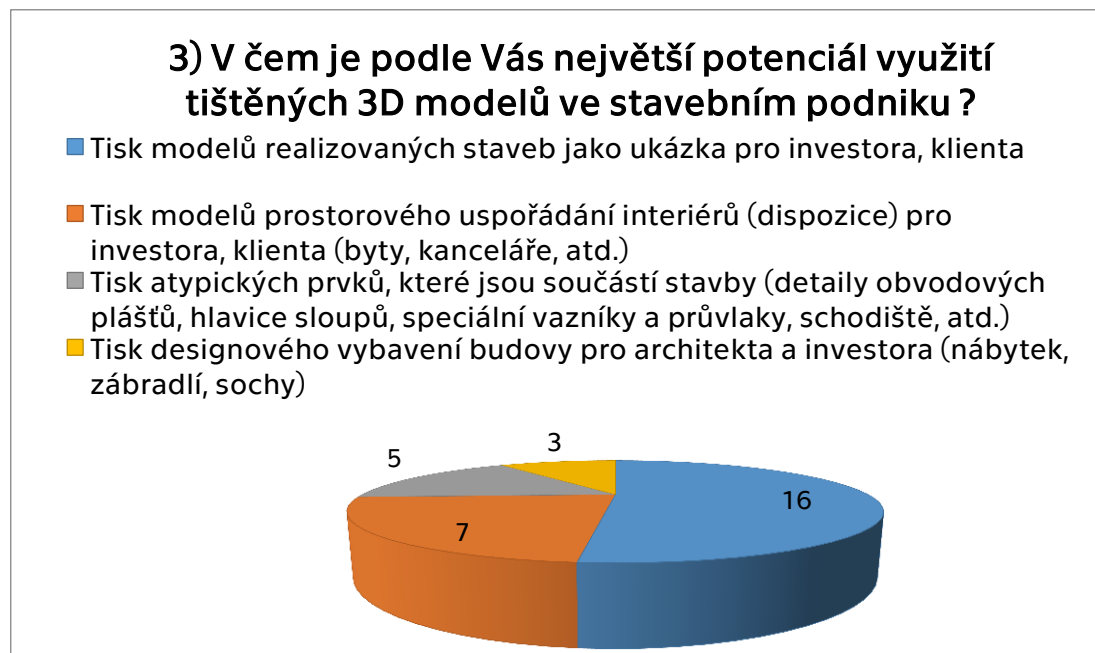
V otázce číslo 2 jsem zjišťoval, zda respondent již někdy slyšel o pojmu 3D tisk. V tomto bodě všichni respondenti (32) odpověděli jednohlasně ANO. Znamená to tedy, že mají alespoň základní představu o tom, co je to 3D tisk.



Graf 5: Vyhodnocení otázky č. 2

Zdroj: Vlastní tvorba

Otázka číslo 3 je již konkrétně zaměřena na oblast 3D tisku. Má za úkol zjistit názor respondenta na největší možný potenciál využití tištěných 3D modelů ve stavebním podniku.

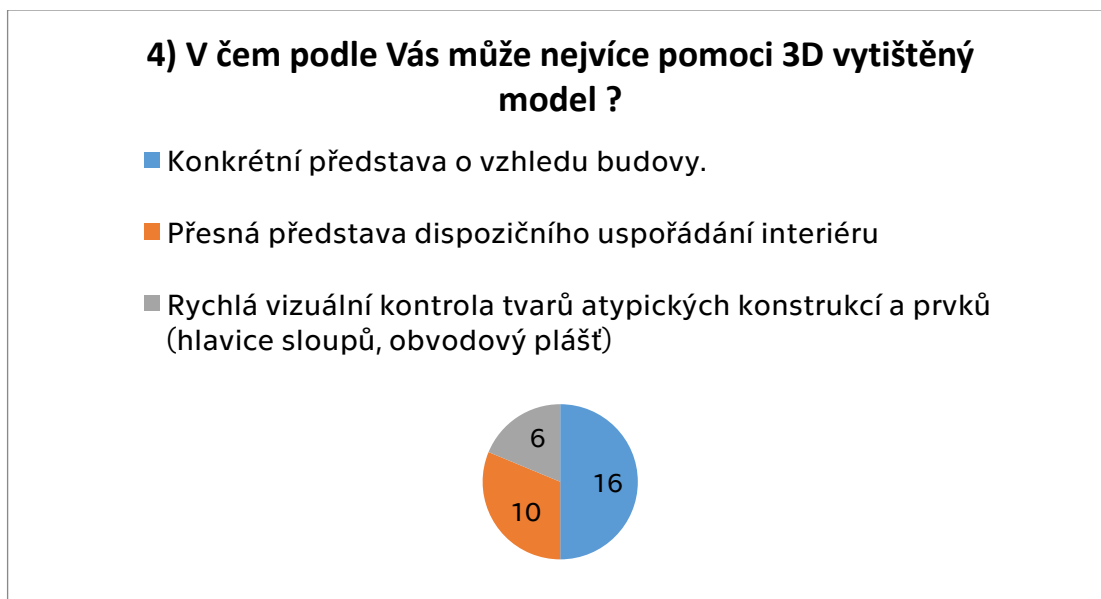


Graf 6: Vyhodnocení otázky č. 3

Zdroj: Vlastní tvorba

Na otázku číslo 3 odpovědělo z 32 respondentů celkem 31. Nadpoloviční většina si myslí, že by měl být model využíván především jako ukázka pro investora a klienta.

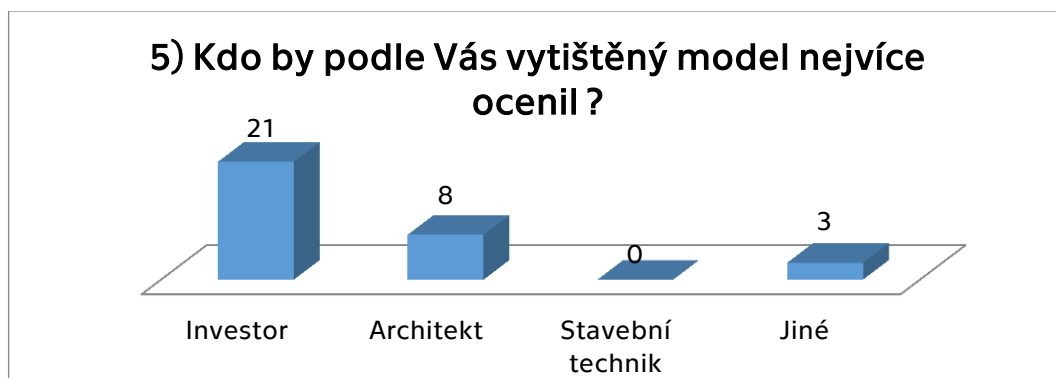
V otázce číslo 4 se ptám na názor, kdo by nejvíce ocenil vytištěný model. Jde především o to, pro koho by tento model měl v současné době největší význam. Na tuto otázku odpovědělo všech 32 respondentů.



Graf 7: Vyhodnocení otázky č. 4

Zdroj: Vlastní tvorba

V otázce číslo 5 zjišťuji názor respondenta na oblast (osobu), která by nejvíce ocenila vytištěný model. Především se jedná o to, pro koho by tento model měl největší potenciální přínos. Na tuto otázku odpovědělo všech 32 respondentů.

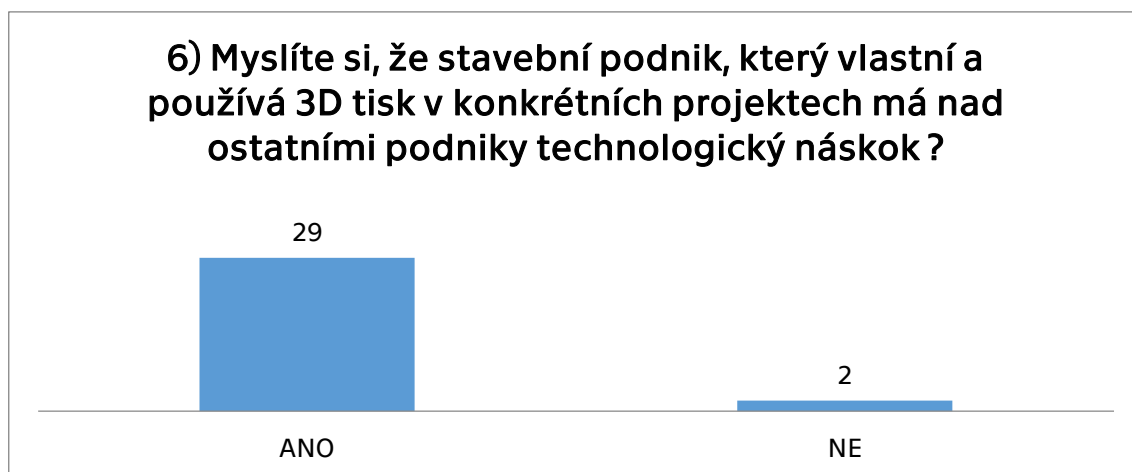


Graf 8: Vyhodnocení otázky č. 5

Zdroj: Vlastní tvorba

Výsledky otázky číslo 5 jednoznačně ukazují, že vytištěný model by nejvíce ocenil investor, následuje architekt a možnost stavebního technika nezvolil žádný z respondentů. V případě jiné možnosti jeden z respondentů uvádí designéra, jeden uvádí klienta a třetí respondent profesi nedokáže určit.

V otázce číslo 6 se snažím zjistit názor respondentů na to, zda si myslí, že stavební podnik, který využívá 3D tisk má nad ostatními stavebními podniky technologický náskok. Na tuto otázku odpovědělo z 32 respondentů celkem 31.

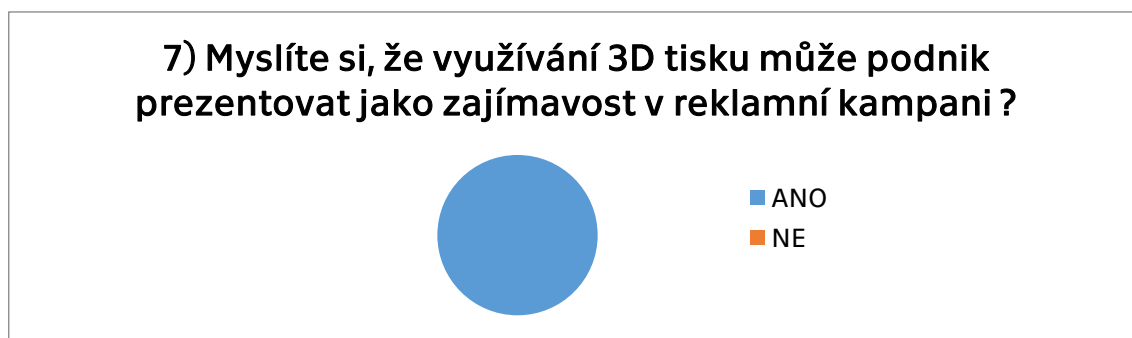


Graf 9: Vyhodnocení otázky č. 6

Zdroj: Vlastní tvorba

Naprostá většina respondentů (29) si myslí, že stavební podnik využívající 3D tisk má nad ostatními technologický náskok.

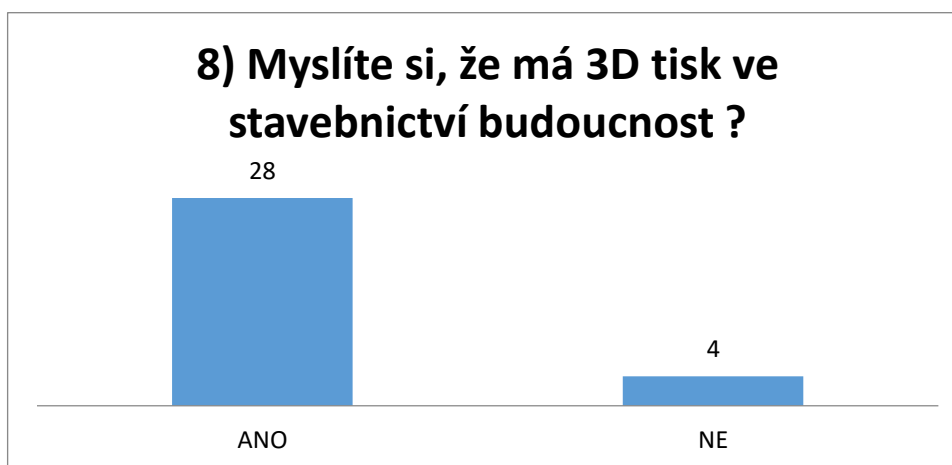
V otázce číslo 7 zjišťuji, zda by bylo vhodné prezentovat veřejnosti jako zajímavost využívání 3D tisku ve stavebním podniku v rámci reklamní kampaně. Na tuto otázku odpovědělo z 32 respondentů celkem 31. Na tuto otázku všichni respondenti (31) odpověděli jednohlasně ANO.



Graf 10: Vyhodnocení otázky č. 7

Zdroj: Vlastní tvorba

Otázka číslo 8 má za úkol zjistit názor respondentů na budoucnost 3D tisku ve stavebnictví. Odpovědělo všech 32 respondentů.

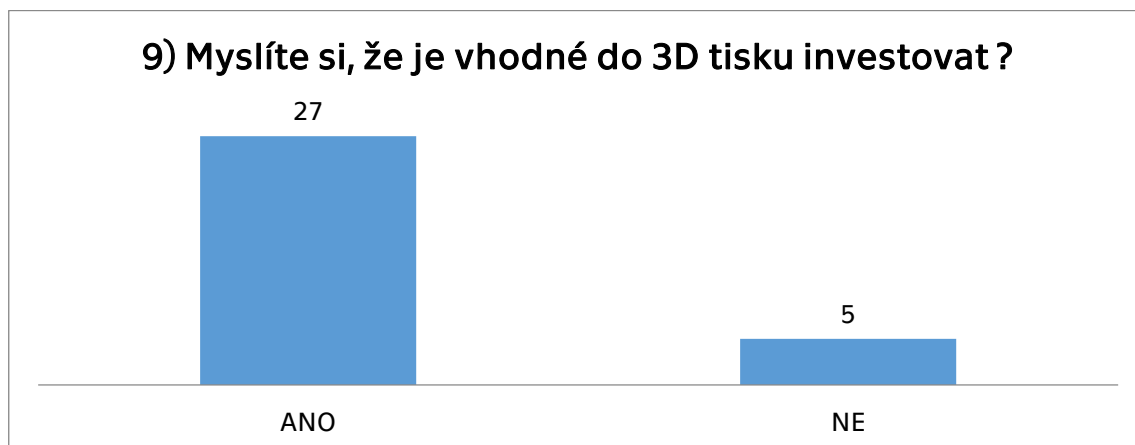


Graf 11: Vyhodnocení otázky č. 8

Zdroj: Vlastní tvorba

Na tuto otázku odpovědělo 28 respondentů ANO a 4 respondenti NE. Je jasné, že většina respondentů vidí možnost využití 3D tisku ve stavebnictví v budoucnosti jako reálnou.

Otázka číslo 9 uzavírá tento dotazník. Pomocí této otázky se snažím zjistit názor pracovníků na případnou investici do 3D tisku. Odpovědělo všech 32 respondentů.



Graf 12: Vyhodnocení otázky č. 9

Zdroj: Vlastní tvorba

Většina respondentů si myslí, že do 3D tisku je vhodné investovat (27). Zbývajících (5) respondentů si myslí, že to vhodné není.



14.2. Shrnutí výsledků průzkumu

Po vyhodnocení tohoto průzkumu bylo zjištěno, že většina respondentů (91 %) z řad pracovníků stavebního podniku Skanska a.s., kteří se zúčastnili ankety, se zajímá o moderní technologie ve stavebnictví a všichni dotázaní již někdy slyšeli o pojmu 3D tisk. Z celkových výsledků se dá vyčíst, že pracovníci jsou nakloněni využívání nových technologií a procesů ve stavebním podniku. Většina z pracovníků také vidí 3D tisk jako potenciální nástroj k cestě za zvýšením technologického náskoku nad ostatními a použili by tuto technologii jako zajímavost v reklamní kampani. Většina respondentů si myslí, že investice do 3D tisku je vhodná (85 %) a vidí ve využívání 3D tisku ve stavebnictví budoucnost (88 %).

V otázkách, které se zabývají konkrétním využitím vytištěných modelů, jsou počty hodnocení u jednotlivých variant vyrovnanější. Většina respondentů vidí největší potenciál využití tištěných modelů především v ukázkách a prezentacích exteriéru (52 %) a interiéru budovy (22 %). Následují možnosti využití při tisku atypických prvků (16 %) a designového vybavení budovy (10 %). Podle poloviny respondentů může vytištěný model pomoci k vytvoření konkrétní představy. Vytištěný model by podle 66 % respondentů nejvíce ocenil investor.



KAPITOLA 4

Shrnutí výsledků práce



15. Závěr

Metodiku BIM v současné době vnímá mnoho odborníků jako budoucnost stavebnictví. V mnoha průmyslových odvětvích je budoucností využívání technologií 3D tisku. Propojení metodiky BIM a 3D tisku by mohlo v budoucnosti znamenat ve stavebnictví revoluci. Světoví odborníci v tomto propojení vidí především výhody v oblasti rychlosti a detailní přesnosti výstavby. Spojení těchto technologií by mohlo přinášet výhody oproti konvenčním technologiím také v nižší produkci odpadů a využívání recyklovatelných materiálů. To znamená velice příznivý dopad na životní prostředí. Technologie BIM a 3D tisku mají také význam v oblasti snížení rizika poranění pracovníků na staveništi. Tyto poznatky v současném světovém stavebnictví nejsou již na úrovni pouhé teorie, ale existuje několik velice zajímavých projektů, které je potvrzují.

Je nutné si uvědomit, že Česká republika ve využívání a zavádění metodiky BIM za vyspělými zeměmi poněkud zaostává. Technologii 3D tisku zde využívá pouze několik menších podniků a architektonických studií pro účely prezentace projektů. Technologii BIM využívají v současné době především projektanti a architekti. Situace se ovšem neustále zlepšuje. Výhod BIM metodiky již začínají využívat i větší stavební podniky při realizaci výstavbových projektů. Masové zavádění a využívání BIM metodiky v českém stavebním průmyslu je tedy spíše otázkou času. Díky využívání BIM metodiky je také možné očekávat zvýšený nárůst poptávky po moderních technologiích. 3D tisk je možné vnímat jako jednu z těchto technologií, která má ve všech odvětvích průmyslu obrovskou budoucnost. Nic se ovšem nedá stihnout přes noc, a proto by již v současné době měly české stavební podniky vnímat 3D tisk jako budoucnost.

V této práci se především věnuji rozboru prvotní implementace technologie 3D tisku ve stavebním podniku. Tato implementace se může také týkat projekčních kanceláří a architektonických studií. Pro pochopení jednotlivých návazností jsem nejprve teoreticky pojednal o oblastech BIM metodiky, modelů a samotném 3D tisku. Jedná se především o objasnění základních pojmů, členění technologií, historii atd. Díky tomuto pojednání a ukázkám využití je možné si vytvořit představu o možném provázání těchto technologií.

Vytvořil jsem také srovnání využití technologií 3D tisku se světem. Při tomto porovnávání mi velice pomohl komplexní přehled o obchodním postavení 3D tisku na globálním trhu, který nechala vyhotovit společnost Ernst & Young v roce 2016. V této části práce jsou ukázány konkrétní



příklady využití 3D tisku v různých odvětvích průmyslu a zajímavé projekty z oblasti stavebního průmyslu.

Následující body této diplomové práce se již věnují konkrétním oblastem prvotní implementace technologie 3D tisku ve stavebním podniku. Především se jedná o rozbor prvotní investice, životní cyklus projektu a možná propojení BIM a 3D tisku ve stavebním podniku. V rámci této části práce jsem vytvořil myšlenku investice do pilotního projektu. Následně jsem pilotní projekt důkladně rozebral z hlediska jednotlivých kategorií nákladů v rámci životního cyklu a jednotlivých úkolů, které by měl v rámci implementace 3D tisku obsahovat. V této části práce také detailně popisují tvorbu vhodných variant řešení. Posledním bodem teoretické části je popis rozboru kalkulace nákladů na 3D tisk konkrétních modelů. V tomto bodě jsou popsány varianty interního tisku a outsourcingu včetně jejich porovnání.

Praktická část této práce obsahuje řešení konkrétních variant investice včetně doporučených hardwarových a softwarových sestav. Na tuto část navazuje implementace technologie v praxi. Jedná se o detailní popis průběhu výtisku fasády z BIM modelu Visionary společnosti Skanska a.s., kterou jsem provedl v rámci brigády v této společnosti. Následně jsem porovnal náklady na interní a externí tisk tohoto modelu. V posledním bodě praktické části jsem provedl vyhodnocení internetového anonymního dotazníku, na který odpovídali zaměstnanci společnosti Skanska a.s. Za důležitý výstup tohoto dotazníku považuji fakt, že si 85% respondentů myslí, že investice do 3D tisku je vhodná a 88% respondentů vidí v používání 3D tisku ve stavebnictví budoucnost.

16. Vyhodnocení cílů diplomové práce

V tomto bodě budou shrnuty stanovené cíle a bude vyhodnoceno jejich splnění.

Cíl 1 - Rozbor problematiky 3D tisku

Tento cíl byl splněn v rámci bodu 6. *Základní pojednání o 3D tisku*. V tomto bodě jsou podrobně popsány jednotlivé technologie 3D tisku a jejich vývoj od historie až po současnost. Je zde rovněž vytvořeno pojednání o současných nejvyužívanějších technologiích, materiálech a jsou zde obecně popsány zásady tvorby výstupů na 3D tiskárně. V rámci těchto bodů jsou popsány možnosti tvorby modelů, jejich následný tisk a dokončovací procesy.



Cíl 1a – Rozbor problematiky 3D tisku v prostředí České republiky

Tento cíl byl splněn v bodě 7.2. *Využití 3D tisku v České republice*, ve kterém jsou uvedeny konkrétní příklady použití této technologie v rámci technických univerzit a českých podniků. V této části práce jsou také uvedeny dohledané zajímavé vědecké projekty, na kterých se čeští vědci aktivně podílejí, technologie vyvinuté na území České republiky a výrobci českých 3D tiskáren.

Cíl 1b – Srovnání České republiky se světem v oblasti využívání 3D tisku

Tento cíl byl splněn v bodě 7.3. *Srovnání*. Podkladem pro toto srovnání byly informace popsány v bodech 7.1. *Využití a budoucí vývoj 3D tisku ve světě* a 7.2. *Využití 3D tisku v České republice*. Ze srovnání vyplynulo, že v oblastech, ve kterých se celosvětově 3D tisk nejvíce využívá, Česká republika drží podobné tempo. Podniky v těchto oblastech o výhodách a přínosu 3D tisku vědí. V oblasti výzkumu, vývoje, výuky a výroby zařízení si Česká republika také vede v porovnání se světem dobře. Ovšem v oblasti stavebního průmyslu Česká republika za vývojem ve světě zaostává. Světovou výjimkou v českém stavebnictví je možnost tisknout na 3D tiskárně architektonické modely v rámci specializovaných studií, které již v současné době využívají pro tyto účely moderní technologie a zařízení.

Cíl 2 - Vyhodnocení nákladů na investici do 3D tisku

Tento cíl byl částečně splněn v bodě 9. *Rozbor implementace technologie 3D tisku do stavebního podniku*. V této části práce jsou obecně popsány vhodné postupy investice do 3D tisku pro stavební podnik, je zde vytvořené schéma myšlenkového pochodu zavádění 3D tisku a následně kategorizovány náklady, které je nutné při zavádění této technologie akceptovat. Obecně je zde popsána možnost investice do pilotního projektu a jeho životní cyklus. Je vytvořen postup pro stanovení hodnoty nákladů životního cyklu pilotního projektu a jsou zde kategorizovány náklady dle jednotlivých fází životního cyklu pilotního projektu.

Cíl byl splněn pouze částečně, protože nebylo možné tyto teoretické aspekty zavádění 3D tisku ve stavebním podniku vzhledem k časové náročnosti pilotního projektu aplikovat v praxi a následně reálně vzniklé náklady vyhodnotit.

Cíl 3 - Realizace modelové tiskové úlohy na případové studii

Tento cíl je splněn v bodě 13. *Implementace technologie v praxi*, kde jsou prezentovány postupy a výsledky tvorby modelu z reálného BIM modelu na



3D tiskárně, kterou vlastní společnost Skanska a.s. Je zde důkladně popsán použitý hardware/software, BIM model a postup tvorby výstupu.

V tomto bodě je také vytvořena kalkulace a porovnání nákladů na interní a externí tisk modelu. Z tohoto porovnání vychází levněji model vytvořený na interní tiskárně z materiálu PLA. Externí model vyrobený z materiálu Z-ULTRAT (ABS) je kvalitnější. Pro potřeby ukázky a prezentace model vytvořený na interní tiskárně zcela postačuje a je ušetřeno značné množství finančních prostředků.

17. Diskuse

17.1. Zhodnocení

BIM metodika je velice rozsáhlé téma, které se dotýká všech oblastí stavebnictví. V této závěrečné práci bylo řešeno netradiční téma propojení této metodiky a technologie, která je známá a uplatňuje se spíše ve strojním průmyslu. Ovšem ve světě se tyto dvě oblasti v rámci výzkumných projektů stále častěji protínají a jejich úspěšné spojení by mohlo v blízké budoucnosti znamenat revoluci ve stavebnictví. Tato práce je řešena jako příklad toho, že i české stavební podniky mají možnost tyto moderní technologie prakticky aplikovat v rámci svých projektů.

17.2. Možnost návaznosti

Na tuto práci lze navázat v rámci doktorského studia a implementovat ve spolupráci s konkrétním stavebním podnikem funkční pilotní projekt zavedení 3D tisku, který by byl po skončení důkladně vyhodnocen a analyzován. V navazujících diplomových pracích by bylo vhodné se zabývat investicemi do ostrých a výzkumných projektů v rámci stavebních podniků, případně konkrétněji rozebrat propojení BIM a 3D tisku.

17.3. Využití v praxi

Tuto práci by prakticky mohl využít každý stavební podnik, který uvažuje o zavedení technologie 3D tisku. Firmy může tato práce motivovat k aktivnímu využívání 3D tisku ve svých projektech a může pro ně tvořit podklad v rámci prvotní investice. Firmy v této práci mohou také najít detailní popisy tvorby výstupů a mohou si vytvořit představu o oblastech využití tištěných modelů v rámci stavebního průmyslu.



17.4. Doporučení

V první řadě bych chtěl doporučit stavebním podnikům, které o zavedení 3D tisku uvažují, aby nejprve investovaly do méně nákladných technologií, protože tyto technologie jsou z hlediska výzkumu využitelnosti, šíří možného použití a poměrně snadné ovladatelnosti pro prvotní investici naprosto dostačující. Dále bych chtěl doporučit stavebním podnikům, aby v prvních fázích zkoumání technologií a využitelnosti navázaly spolupráci s univerzitami nebo profesionálními centry 3D tisku, protože tato vzájemná spolupráce může celý výzkum značně urychlit a zefektivnit.



Reference

1. VANĚK, P. Informační model budovy. In: *issuu* [online]. 2012 [cit. 2016-12-04]. Dostupné z: https://issuu.com/czbim/docs/era21-2012-6__72-74
2. CAD, S. BIM - informační model budovy. *CAD Studio a.s.* [online]., 2015 [cit. 2016-12-04]. Dostupné z: <http://www.cadstudio.cz/bim>
3. KLEE, L. *Stavební smluvní právo* [Elektronická kniha]. Praha: Wolters Kluwer ČR, a. s., 2015 [cit. 2016-12-04]. ISBN 978-80-7478-850-5. Dostupné z: https://books.google.cz/books?id=Hyo1CgAAQBAJ&pg=PA347&lpg=PA347&dq=metoda+integrated+project+delivery&source=bl&ots=K7Lo_U8ekz&sig=KIEjNrkgqLcrZACcmJrJQ8HCZos&hl=cs&sa=X&ved=0ahUKEwj-wYbEI9rQAhXEthQKHTluBFQQ6AEISzAG#v=onepage&q=metoda%20integrated%20proj
4. EASTMAN, C. *BIM Handbook*. 2. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2011. ISBN 978-0-470-54137-1.
5. MINKA, T. ZADÁNÍ PODROBNOSTI BIM MODELU. In: *bim-point* [online]. 2016 [cit. 2016-12-05]. Dostupné z: <http://www.bim-point.com/blog/zadani-podrobnosti-bim-modelu>
6. DISPENZA, K. *The Daily Life of Building Information Modeling (BIM)*., 2010 [cit. 2016-08-04]. Dostupné z: <http://buildipedia.com/aec-pros/design-news/the-daily-life-of-building-information-modeling-bim>
7. BIM PROCES A JEHO APLIKACE V TUZEMSKÝCH PROJEKTECH. In: VENKRBEČ, V. *STRUCTURA STAVEBNÍ TRENDY 2013*. Ostrava: VŠB-TUO, 2013. ISBN 978-80-248-3235-7. Dostupné také z: http://www.mladi.vyzkumnici.cz/attachment/News/168/1383754378_Sborn%C3%ADk_Structura_2013.pdf
8. MACDONALD, J. History of Building Information Modelling. In: *CODEBIM* [online]. 2016 [cit. 2016-12-05]. Dostupné z: <http://codebim.com/resources/history-of-building-information-modelling/>
9. HAMPL, I. M. PŘECHOD NA DIGITÁLNÍ MODEL BUDOVY – VÝZVY A DŮSLEDKY. In: *ASB-portal* [online]. 2013 [cit. 2016-12-04]. Dostupné z: <http://www.asb-portal.cz/tzb/facility-management/prechod-na-digitalni-model-budovy-vyzvy-a-dusledky>
10. ČERNÝ, M., et al. *BIM příručka* [Elektronická kniha]. Praha: Odborná rada pro BIM a.s., 2013. ISBN 978-80-2605-279-5. Dostupné také z: <http://issuu.com/czbim/docs/bim-prirucka-2013-v1>
11. VANĚK, P. Zvláštní cenu za BIM získala Skanska za Corso Court v Karlíně. In: *czbim* [online]. 2016 [cit. 2016-12-04]. Dostupné z: <http://czbim.pr.co/137824-zvlastni-cenu-za-bim-ziskala-skanska-za-corso-court-v-karline>
12. VANĚK, P. 167/16 Význam metody BIM (Building Information Modelling) pro stavební praxi v ČR. In: *issuu* [online]. 2016 [cit. 2016-12-04]. Dostupné z: https://issuu.com/czbim/docs/material_vyznam-metody-bim
13. Počítačová 3D grafika. In: *Portál Wikipedie* [online]. 2010 [cit. 2016-12-05]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Po%C4%8D%C3%ADta%C4%8Dov%C3%A1_3D_grafika
14. VANÍČEK, T. *Přednáška z informačních systémů: Vektorová grafika, 3D modelování*. Praha: Katedra inženýrské informatiky, ČVUT Fsv, 2014 [cit. 2016-12-05].



- 15 KAŇA, O. CO JE TO BIM? In: *PASPORT* [online]. 2013 [cit. 2016-12-05]. Dostupné z: <http://www.pasport.eu/budovy-bim>
- 16 TUNKA, L. LOD - Level Of Development. In: *BIMfo* [online]. 2016 [cit. 2016-12-05]. Dostupné z: <http://www.bimfo.cz/Aktuality/LOD-Level-Of-Development.aspx>
- 17 IKERD, W. Beating Chaos and Achieving Profits in BIM with LOD 350. In: *STRUCTURE magazine* [online]. 2013 [cit. 2016-12-31]. Dostupné z: <http://www.structuremag.org/?p=558>
- 18 PRŮŠA, J. *ZÁKLADY 3D TISKU*. Praha: prusa3D.cz, 2014 [cit. 2016-12-06]. Dostupné z: <http://www.prusa3d.cz/wp-content/uploads/zaklady-3d-tisku.pdf>
- 19 STAN CARMER, J. K. History of 3D Printing. In: STAN CARMER. *3D Printing Industry* [online]. 2015 [cit. 2016-12-05]. Dostupné z: <http://3dprintingindustry.com/3d-printing-basics-free-beginners-guide/history>
- 20 KRASSENSTEIN, E. You Can Now See the First Ever 3D Printer -- Invented by Chuck Hull - In the National Inventors In: *3dprint.com* [online]. 2015 [cit. 2016-12-06]. Dostupné z: <https://3dprint.com/72171/first-3d-printer-chuck-hull/>
- 21 HELISYS, I. *Laminated object manufacturing system*. United States of America, 5730817. 1998-03-24 [cit. 2016-12-06]. Dostupné z: <https://docs.google.com/viewer?url=patentimages.storage.googleapis.com/pdfs/US5730817.pdf>
- 22 CORIOLANO, R. RT - Rapid Tooling. In: *Factory of Factories* [online]. [cit. 2016-12-06]. Dostupné z: <http://www.factoryoffactories.com/rapidtool.htm>
- 23 HOMOLA, J. ENCYKLOPEDIÉ 3D TISKU - Aditivní výroba. In: *3D-tisk* [online]. 2014 [cit. 2016-12-06]. Dostupné z: <http://www.3d-tisk.cz/aditivni-vyroba/>
- 24 HOMOLA, J. Na úspěch levných 3D tiskáren plastu brzy navážou přesné tiskárny SLA a DLP. In: *3D-tisk* [online]. 2014 [cit. 2016-12-06]. Dostupné z: <http://www.3d-tisk.cz/na-uspech-levnych-3d-tiskaren-z-plastu-brzy-navazou-velmi-presne-tiskarny-sla-a-dlp/>
- 25 PEREZ, S. Mattel Unveils ThingMaker, A \$300 3D Printer That Lets Kids Make Their Own Toys. In: *TechCrunch* [online]. 15. 2. 2016 [cit. 2016-12-06]. Dostupné z: <https://techcrunch.com/2016/02/15/mattel-unveils-thingmaker-a-300-3d-printer-that-lets-kids-make-their-own-toys/>
- 26 STAN CARMER, J. K. 3D Printing Processes. In: *3D Printing Industry* [online]. 2015 [cit. 2016-12-08]. Dostupné z: <http://3dprintingindustry.com/3d-printing-basics-free-beginners-guide/processes/>
- 27 MICHAL KOVÁŘÍK, P. S. *3D TISK – REVOLUCE VE STAVEBNICTVÍ* [prezentace]. Praha: ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra technologie staveb 122, 2015 [cit. 2016-12-11]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/8676905-3d-tisk-revoluce-ve-stavebnictvi.html>
- 28 ANDREAS MÜLLER, S. K. EY's Global 3D printing Report 2016. In: *Ernst & Young Global Limited* [online]. 2016 [cit. 2016-12-09]. Dostupné z: [http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/EY-3d-druck-studie-executive-summary/\\$FILE/EY-3d-druck-studie-executive-summary.pdf](http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/EY-3d-druck-studie-executive-summary/$FILE/EY-3d-druck-studie-executive-summary.pdf)
- 29 STAN CARMER, J. K. 3D Printing Materials. In: *3D Printing Industry* [online]. 2015 [cit. 2016-12-08]. Dostupné z: <http://3dprintingindustry.com/3d-printing-basics-free-beginners-guide/materials/>
- 30 HOMOLA, J. ENCYKLOPEDIÉ 3D TISKU - ABS. In: *3D-tisk* [online]. 2014 [cit. 2016-12-08]. Dostupné z: <http://www.3d-tisk.cz/abs/>



- 31 HOMOLA, J. ENCYKLOPEDIÉ 3D TISKU - PLA. In: *3D-tisk* [online]. 2014 [cit. 2016-12-08]. Dostupné z: <http://www.3d-tisk.cz/pla/>
- 32 HERPT, O. V. Functional 3D Printed Ceramics. In: *Olivier Van Herpt* [online]. 2014 [cit. 2016-12-08]. Dostupné z: <http://oliviervanherpt.com/functional-3d-printed-ceramics/>
- 33 VÍT, T. 3D biotiskárna už dokáže vyrobit náhradní tkáň dostatečně odolné pro transplantaci. In: *3D-tisk* [online]. 2016 [cit. 2016-12-08]. Dostupné z: <http://www.3d-tisk.cz/3d-biotiskarna-uz-dokaze-vyrobti-nahradni-tkane-dostatecne-odolne-pro-transplantaci/>
- 34 HALE, B. 3D PRINTING IS CHANGING THE WORLD. In: *3DFORGED* [online]. 2016 [cit. 2016-12-09]. Dostupné z: <https://3dforged.com/3d-printing/#5>
- 35 REJL, O. 3D tisk a jeho využití ve stavebnictví. In: *TZB-INFO* [online]. 2014 [cit. 2016-12-10]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/11123-3d-tisk-a-jeho-vyuziti-ve-stavebnictvi>
- 36 KHOSHNEVIS, B. APPLICATIONS. In: *CONTOUR CRAFTING* [online]. 2014 [cit. 2016-12-10]. Dostupné z: <http://www.contourcrafting.org/>
- 37 COOKE, L. 3D-printed house in China can withstand an 8.0 earthquake. In: *inhabitat* [online]. 2016 [cit. 2016-12-10]. Dostupné z: <http://inhabitat.com/3d-printed-house-in-china-can-withstand-an-8-0-earthquake/>
- 38 BUREN, A. Brazilian startup Urban3D sees 3D printed housing as solution for growing slum problems. In: *3D printer and 3D printing news, trends and resources* [online]. 2016 [cit. 2016-12-10]. Dostupné z: <http://www.3ders.org/articles/20160323-brazilian-startup-urban3d-sees-3d-printed-housing-as-solution-for-growing-slum-problems.html>
- 39 BORGHINO, D. World's largest delta 3D printer could build entire houses out of mud or clay. In: *NEW ATLAS* [online]. 2015 [cit. 2016-12-10]. Dostupné z: <http://newatlas.com/wasp-big-delta-3d-printer-clay-housing/39414/>
- 40 KUCHARÉK, J.C. 3D-printed concrete components. In: *RIBAJ* [online]. 2015 [cit. 2016-12-11]. Dostupné z: <https://www.ribaj.com/products/3d-printing>
- 41 BELEZINA, J. D-Shape 3D printer can print full-sized houses. In: *NEW ATLAS* [online]. 2012 [cit. 2016-12-11]. Dostupné z: <http://newatlas.com/d-shape-3d-printer/21594/>
- 42 MOORE, H. Exclusive: Galatea the Ultra fast very large 3D Printer now available. In: *3D Printing Industry* [online]. 2016 [cit. 2016-12-10]. Dostupné z: <https://3dprintingindustry.com/news/exclusive-galatea-ultra-fast-large-3d-printer-now-available-78845/>
- 43 CHARPIOT, S. *drawn* [online], 2014 [cit. 2016-12-10]. Dostupné z: <http://www.drawn.fr/en/>
- 44 CORKE, G. 3D printing in the Capital. In: *AECMAGAZINE* [online]. 2014 [cit. 2016-12-10]. Dostupné z: <http://aecmag.com/case-studies-mainmenu-37/625-hobs-3d-printing>
- 45 DRÁPELA, M. Rapid prototyping je stále dostupnější. In: *Konstrukter* [online]. 2011 [cit. 2016-12-12]. Dostupné z: <http://www.konstrukter.cz/2011/03/09/rapid-prototyping-je-stale-dostupnejsi/>
- 46 MIKULKA, Z. 3D tisk technologií FDM. In: *Evektor* [online]. 2015 [cit. 2016-12-12]. Dostupné z: <http://web.evektor.cz/3d-tisk-fdm.aspx>



- 47 HOMOLA, J. Tescoma využívá 3D tisk pro každý svůj výrobek. In: *Konstruktér* [online].
. 2015 [cit. 2016-12-12]. Dostupné z: <http://www.konstrukter.cz/2015/02/23/tescoma-vyuziva-3d-tisk-pro-kazdy-svuj-vyrobek/>
- 48 SOÓKY, T. *3Dwiser s.r.o.* [online], 2016 [cit. 2016-12-12]. Dostupné z: <http://3dwiser.com/profese/automotive/>
- 49 PRŮŠA, J. *Prusa Research s.r.o.* [online], 2015 [cit. 2016-12-12]. Dostupné z: <http://shop.prusa3d.com/cs/>
- 50 HOMOLA, J. Komentář: České firmy se přetahují v nabídkách „největší 3D tiskárny na světě“. In: *3D-tisk* [online]. 2013 [cit. 2016-12-12]. Dostupné z: <http://www.3d-tisk.cz/komentar-ceske-firmy-se-pretahuji-v-nabidkach-nejvetsi-3d-tiskarny-na-svete/#comments>
- 51 3DWISER S.R.O. PŘÍKLADY VYUŽITÍ. *3dwiser.com* [online], 2016 [cit. 2016-12-12]. Dostupné z: <http://3dwiser.com/profese/architektura/#case-studies>
- 52 CENTROPROJEKT GROUP A.S. *centroprojekt.cz* [online], 2015 [cit. 2016-12-12]. Dostupné z: <http://www.centroprojekt.cz/projekt-batovskeho-sila-ve-stavebnich-a-investorskych-novinach/>
- 53 NWT A.S.. *nwt.cz* [online], 2015 [cit. 2016-12-12]. Dostupné z: <https://www.nwt.cz/holding/3d-tisk/>
- 54 MICHAL CHALUPA, P. K. 3D printer. In: *PK model s.r.o.* [online]. [cit. 2016-12-31]. Dostupné z: <http://www.pkmodel.cz/3Dprinter.html>
- 55 MINISTERSTVO KULTURY. ŽIVOTNÍ CYKLUS PROJEKTU. In: *Elektronický manuál Projektové kanceláře MK* [online]. 2015 [cit. 2016-12-29]. Dostupné z: <http://projektoverizeni.mkcr.cz/zivotni-cyklus-projektu/>
- 56 KUDA, F. *Životní cyklus stavby* [online]. Ostrava – Poruba: Fakulta stavební Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava, 2015 [cit. 2016-12-30]. Dostupné z: http://fast10.vsb.cz/kuda/Ekonomika/Eko%20ve%20v%FDstavb%EC/P%F8edn%E1%9Aky%202012/09_%8Eivotn%ED%20cyklus%20stavby.pdf
- 57 HERALOVÁ, R. S. *Stavební ekonomika: Life cycle costing jako moderní metoda hodnocení nákladů staveb* [online]. Praha: ČVUT v Praze, Fakulta stavební, 2013 [cit. 2016-12-30]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/3344901-Stavebni-ekonomika-life-cycle-costing-jako-moderni-metoda-hodnoceni-nakladu-staveb-doc-ing-renata-schneiderova-heralova-ph-d.html>
- 58 BUSINESSINFO.CZ. Náklady projektu a stanovení jeho ceny. In: *BusinessInfo.cz* [online]. 2011 [cit. 2016-12-29]. Dostupné z: <http://www.businessinfo.cz/cs/clanky/naklady-projektu-a-stanoveni-jeho-ceny-2858.html#!&chapter=1>
- 59 TOMEK, A. *Finanční řízení ve stavebním podniku: Stavební firma 40..* Praha: Vydavatelství ČVUT, 1999. Dostupné také z: http://k126.fsv.cvut.cz/predmety/126fir1/fir1_skripta.pdf
- 60 LEPIČOVÁ, L. a KOLMANOVÁ, M. *PRAVIDLA FINANCOVÁNÍ PROJEKTŮ 7. RP.* Praha: Technologické centrum AV ČR, 2007. ISBN 80-86794-22-9. Dostupné také z: http://www.fp7.cz/files/dokums_raw/pravidla-financovani-projektu-7-rp_1199956151.pdf
- 61 GRIESER, F. 20 Best 3D Printing Software Tools (Most are Free). In: GRIESER, F. *All about 3D printing* [online]. 2016 [cit. 2017-01-01]. Dostupné z: <https://all3dp.com/best-3d-printing-software-tools/>



- 62 FOŘT, P. Jak vybírat notebook pro odborný grafický software? In: *AUTODESK CLUB* . [online]. 2012 [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: <http://autodeskclub.cz/clanek/5992-jak-vybirat-notebook-pro-odborny-graficky-software/>
- 63 ANDERSSON, L. *Implementing Virtual Design & Construction Using BIM*. New York: . Routledge, 2016. ISBN 978-1-138-01994-2.
- 64 REPRAPWIKI. G-code. In: *RepRapWiki* [online]. 2016, verze 30.12.2016 [cit. 2017-01-02]. . Dostupné z: <http://reprap.org/wiki/G-code>
- 65 3DWISER S.R.O. 3D tiskárny. *3dwiser* [online]., 2014, verze 2016 [cit. 2016-12-15]. . Dostupné z: <http://3dwiser.com/3d-tiskarny/fdm/>
- 66 MCAE SYSTEMS, S. R. O.. Makerbot Replicator +. *MakerBot* [online]., 2014 [cit. 2016-12-15]. Dostupné z: <http://www.makerbot.cz/portfolio/makerbot-replicator-plus/>
- 67 CZC.CZ S.R.O. HP Zbook 17 G3, černá. In: *CZC.CZ S.R.O. CZC.cz* [online]. 2016 [cit. 2016-12-15]. Dostupné z: https://www.czc.cz/hp-zbook-17-g3-cerna_8/190417/produkt
- 68 CZC.CZ S.R.O. Lenovo ThinkPad P50s, černá. In: *CZC.cz* [online]. 2016 [cit. 2016-12-15]. . Dostupné z: <https://www.czc.cz/lenovo-thinkpad-p50s-cerna/186326/produkt>
- 69 SKANSKA A.S. Visionary. In: *Skanska* [online]. 2016 [cit. 2016-12-17]. Dostupné z: <http://www.skanska.cz/cz/projekty/projekty/?pid=11406>
- 70 J+M VÝPOČETNÍ TECHNIKA. 3D Factories tisková struna PLA natur 1,75 mm 1 Kg. In: . *nejceny* [online]. 2015 [cit. 2016-12-18]. Dostupné z: <http://www.nej-ceny.cz/483094/3d-factories-tiskova-struna-pla-natur-1-75-mm-1-kg.html>
- 71 IMANICA S.R.O.. *imanica* [online]., 2013 [cit. 2016-12-15]. Dostupné z: <http://www.imanica.cz/i/#>



Seznam tabulek

Tabulka 1: Dělení modelů dle rozměru (dimenze).....	15
Tabulka 2: Obsah a využitelnost informací dle stupně LOD.....	21
Tabulka 3: Dělení přímých a nepřímých nákladů projektu.....	69
Tabulka 4: Kategorizace nákladů dle jednotlivých fází pilotního projektu..	71
Tabulka 5: Příklad posloupnosti činností pilotního projektu zavádění 3D tisku.....	73
Tabulka 6: Činnosti průběhu tvorby prvního modelu na 3D tiskárně	80
Tabulka 7: Činnosti průběhu tvorby následujících modelů na 3D tiskárně..	80
Tabulka 8: Stanovení ceny modelu (interní tisk)	81
Tabulka 9: Stanovení ceny modelu (externí tisk)	82
Tabulka 10: Nejnákladnější varianta investice	87
Tabulka 11: Nejméně nákladná varianta investice	87
Tabulka 12: Shrnutí doby trvání jednotlivých činností a použitého materiálu	99
Tabulka 13: Shrnutí nákladů na výtisk modelu fasády Visionary	99
Tabulka 14: Shrnutí doby trvání jednotlivých činností a použitého materiálu na následující modely	100
Tabulka 15: Shrnutí nákladů na výtisk následujících modelů fasády Visionary.....	100
Tabulka 16: Shrnutí nabídky 3Dees na tisk modelu fasády Visionary	101
Tabulka 17: Stanovení ceny úprav modelu určeného k externímu tisku ..	102
Tabulka 18: Shrnutí cen modelů včetně úprav.....	102
Tabulka 19: Stanovení ceny 1 mm délky při tisku jednoho modelu	102
Tabulka 20: Stanovení ceny 1 mm délky následujících modelů.....	102

Seznam schémat

Schéma 1: Příklad životního cyklu pilotního projektu zavedení 3D tisku.....	67
Schéma 2: Vazby mezi jednotlivými nástroji.....	74

Seznam grafů

Graf 1: Poptávka po materiálech pro 3D tisk (2016).....	34
Graf 2: Využití 3D tisku v dotazovaných společnostech.....	39
Graf 3: Vývoj na trhu 3D tisku (2011-2020).....	40
Graf 4: Vyhodnocení otázky č. 1	104
Graf 5: Vyhodnocení otázky č. 2	105
Graf 6: Vyhodnocení otázky č. 3	105



Graf 7: Vyhodnocení otázky č. 4	106
Graf 8: Vyhodnocení otázky č. 5	106
Graf 9: Vyhodnocení otázky č. 6	107
Graf 10: Vyhodnocení otázky č. 7	107
Graf 11: Vyhodnocení otázky č. 8.....	108
Graf 12: Vyhodnocení otázky č. 9.....	108

Seznam rovnic

Rovnice 1: Obecný vzorec pro výpočet čisté současné hodnoty nákladů životního cyklu	65
Rovnice 2: Obecný vzorec pro výpočet hodnoty nákladů na pilotní projekt	70

Seznam obrázků

Obrázek 1: BIM a životní cyklus projektu	7
Obrázek 2: Postup návrhu konstrukce pomocí BIM.....	11
Obrázek 3: Schéma funkce informačního modelu budovy	18
Obrázek 4: Využití LOD při definování konstrukčního sloupu	20
Obrázek 5: Ukázka vykreslení kancelářské židle dle LOD	20
Obrázek 6: První 3D tiskárna Stereolithography Apparatus SLA-1	23
Obrázek 7: Výsledek Rapid Prototyping (RP) procesu	24
Obrázek 8: Tiskárna ThingMaker určená pro děti	26
Obrázek 9: Schéma technologie stereolitografie.....	27
Obrázek 10: Schéma technologie DLP	28
Obrázek 11: Schéma technologie SLS.....	29
Obrázek 12: Schéma technologie vytlačování	30
Obrázek 13: Schéma technologie vstřikování pojiva	31
Obrázek 14: Schéma technologie vstřikování materiálu	31
Obrázek 15: Schéma technologie selektivního vrstvení.....	32
Obrázek 16: Lineární 3D tisk – Winsun, ČLR.....	33
Obrázek 17: Plošný 3D tisk – D-SHAPE – Monolite UK - Enrico Dini.....	33
Obrázek 18: Současné využití a předpoklad přijetí 3D tisku v jednotlivých zemích.....	40
Obrázek 19: Možnost využití Contour Crafting	42
Obrázek 20: Detailní pohled na konstrukce vystavěné 3D tiskem	43
Obrázek 21: Vila vystavena pomocí technologie 3D tisku firmou HuaShang Tenda	43



Obrázek 22: Hlavice 3D tiskárny Big Delta.....	44
Obrázek 23: Konstrukce 3D tiskárny Big Delta.....	45
Obrázek 24: Konkrétní vytištěné betonové panely	46
Obrázek 25: Tiskárna D-Shape v průběhu tisku	46
Obrázek 26: Gesign Table dodávaný firmou Drawn	47
Obrázek 27: Detail konstrukčního modelu London's Victoria Station	48
Obrázek 28: Pracovník Hobs Studio držící komplexní model London's Victoria Station.....	49
Obrázek 29: Funkční prototypový díl nainstalovaný na letoun (Evektor s.r.o.).....	53
Obrázek 30: Funkční prototyp rotorové hlavy (Evektor s.r.o.).....	54
Obrázek 31: Návrh výrobku Tescoma s.r.o. – Skica + realizace na 3D tiskárně	55
Obrázek 32: Vytištěný prototyp disku závodního tahače.....	55
Obrázek 33: Kopyta tvarování autodílů použita ve výrobní lince	56
Obrázek 34: 3D tiskárna Original Prusa i3 MK2	57
Obrázek 35: Model rodinného domu.....	58
Obrázek 36: Model Hotelu Mucha.....	58
Obrázek 37: Architektonický model nové budovy NWT Silo.....	59
Obrázek 38: víceúčelová budova společnosti NWT a.s.	59
Obrázek 39: Ukázka tvorby - PK model s.r.o. (Zelené Město, Praha 1:500)..	60
Obrázek 40: Příklad životního cyklu projektu	63
Obrázek 41: Vizualizace administrativní budovy Visionary	89
Obrázek 42: BIM model Visionary v prostředí Autodesk Revit 2016	91
Obrázek 43: Ukázka úpravy jednoduchého modelu v programu 3ds Max ..	92
Obrázek 44: Opravený model v Autodesk Meshmixer.....	93
Obrázek 45: Prostředí programu Repetier-Host s modelem umístěným v oblasti tisku.....	94
Obrázek 46: Průběh nařezání a tvorby podpor modelu Visionary v programu Repetier-Host.....	95
Obrázek 47: Model Visionary po nařezání v programu Repetier-Host včetně trajektorií.....	96
Obrázek 48: Průběh tisku modelu Visionary na 3D tiskárně Builder Mono Extruder	96
Obrázek 49: Vytištěný model fasády Visionary na podložce.....	97
Obrázek 50: Ukázky vytištěného modelu Visionary na podložce	97
Obrázek 51: Finální podoba upraveného modelu fasády Visionary	98
Obrázek 52: Použitý materiál.....	98



Seznam příloh

Příloha 1: Cenová nabídka na tisk modelu Visionary od Centra 3D tisku 3Dees

Příloha 2: Průzkum k zavedení technologie 3D tisku ve stavebním podniku