



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA PODNIKATELSKÁ
ÚSTAV MANAGEMENTU

FACULTY OF BUSINESS AND MANAGEMENT
INSTITUTE OF MANAGEMENT

VYUŽITÍ TECHNOLOGIE RAPID PROTOTYPING PRO VIZUALIZACI ARCHITEKTONICKÝCH OBJEKTŮ

USAGE OF RAPID PROTOTYPING TECHNOLOGY FOR VISUALISATION OF ARCHITECTURAL
OBJECTS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

PETR STEHLÍK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. JOSEF SEDLÁK, Ph.D.

BRNO 2011

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Stehlík Petr

Ekonomika a procesní management (6208R161)

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách, Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně a Směrnicí děkana pro realizaci bakalářských a magisterských studijních programů zadává bakalářskou práci s názvem:

Využití technologie Rapid Prototyping pro vizualizaci architektonických objektů

v anglickém jazyce:

Usage of Rapid Prototyping Technology for Visualisation of Architectural Objects

Pokyny pro vypracování:

Úvod

Současný stav problematiky, metodika výroby

Konstrukce objektu v ArchiCAD aplikaci

Popis dostupných technologií Rapid Prototyping

Výroba objektu metodou Fused Deposition Modeling

Závěr

Seznam odborné literatury:

JACOBSON, D. M., RENNIE, A. E. W., BOCKING C. E. In Proceedings of the 5th National Conference on Rapid Design, Prototyping, and Manufacture. Professional Engineering Publishing, 2004, pp.112. ISBN 1860584659.

MATŮŠŮ, M. Parametrické modelování v moderní architektuře. CERM 2007. 125 s. ISBN 322-40-333-95.

PÍŠA, Z., KEJDA, P., GÁLOVÁ, D. Rapid Prototyping in Mechanical Engineering. In Proceedings of the Abstracts 12th International Scientific Conference CO-MA-TECH 2004. Bratislava: STU, 2004. s. 160. ISBN 80-227-2121-2.

PÍŠKA, M. a kolektiv. Speciální technologie obrábění. CERM 1.vyd. 246s. 2009. ISBN 978-80-214-4025-8.

PLESKAČ, J., SOUKUP, L. Marketing ve stavebnictví. Praha: GRADA, 2001 138 s. ISBN 80-247-0052-2.

SEDLÁK, J., PÍŠA, Z. Rapid Prototyping master modelů pomocí CAD/CAM systémů. In Mezinárodní vědecká konference 2005. Ostrava: VŠB TU Ostrava, Fakulta strojní, 07.09.2005-09.09.2005. 30 s. ISBN: 80-248-0895-1.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Josef Sedlák, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/2011.

L.S.

PhDr. Martina Rašticová, Ph.D.
Ředitel ústavu

doc. RNDr. Anna Putnová, Ph.D., MBA
Děkan fakulty

V Brně, dne 27.05.2011

ABSTRAKT:

Tato bakalářská práce se zabývá využitím technologie Rapid Prototyping při vizualizaci architektonických objektů. Součástí práce je konstrukce 3D modelu objektu v ArchiCAD aplikaci a popis dostupných technologií Rapid Prototyping. Výroba architektonického objektu byla realizována na 3D tiskárně uPrint s využitím metody Fused Deposition Modeling a porovnána s jinými dostupnými metodami.

ABSTRACT:

This batchelors thesis deals with usage of Rapid Prototyping technology for visualisation architectonic structures. A part of thesis is construction of 3D model in ArchiCAD aplication and description of availible Rapid Prototyping technologies. Production of architectonic structure was implemented in 3D printer uPrint with usage of metod Fused Deposition Modeling and compared with another availible technologies.

KLÍČOVÁ SLOVA:

Rapid Prototyping, Fused Deposition Modeling, architektonický model, vizualizace, prezentace.

KEYWORDS:

Rapid Prototyping, Fused Deposition Modeling, Architectonic Model, Visualization, Presentation.

STEHLÍK, P. *Využití technologie Rapid Prototyping pro vizualizaci architektonických objektů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta podnikatelská, 2011. 56 s.
Vedoucí bakalářské práce Ing. Josef Sedlák, Ph.D.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ:

Prohlašuji, že předložená bakalářská práce je původní a zpracoval jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, že jsem ve své práci neporušil autorská práva (ve smyslu Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským).

V Brně dne 25.5. 2011

.....

PODĚKOVÁNÍ:

Děkuji vedoucímu práce Ing. Josefu Sedlákov, Ph.D. za cenné rady, připomínky a odborné vedení bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat své rodině za to, že mi studium umožnila a také mě v něm podporovala.

Obsah

1	Úvod.....	10
2	Současný stav problematiky, metodika výroby	11
2.1	Pojem vizualizace	11
2.2	Využití modelů v současnosti	11
2.3	Druhy vizualizací v architektuře.....	12
2.3.1	3D vizualizace v PC programech.....	12
2.3.2	3D vizualizace – reálné modely	14
2.4	Architektonický návrh a jeho místo v životním cyklu projektu stavby	16
2.4.1	Metody pro stanovení nákladů projektu	17
2.4.2	Proces tvorby návrhu	19
2.4.3	Realizace projektu.....	22
3	Konstrukce objektu v ArchiCAD aplikaci.....	23
3.1	Charakteristika koncepce softwaru ArchiCAD	23
3.2	Práce s programem ArchiCAD	24
4	Popis dostupných technologií Rapid Prototyping.....	30
4.1	Historický vývoj	30
4.2	Princip technologie	30
4.2.1	Postup výroby modelu technologií Rapid Prototyping.....	31
4.3	Přehled jednotlivých technologií	33
4.3.1	Stereolitografie (SLA)	34
4.3.2	Solid Ground Cutting (SGC)	35
4.3.3	Selective Laser Sintering (SLS).....	36
4.3.4	Direct Metal Laser Sintering (DMLS).....	38
4.3.5	Laminated Object Manufacturing (LOM)	39
4.3.6	Fused Deposition Modeling (FDM)	41
4.3.7	Multi Jet Modeling (MJM)	42
5	Výroba objektu metodou Fused Deposition Modeling.....	43
5.1	Kritéria výběru	43
5.2	Původní záměr	43
5.3	Element House.....	44
5.3.1	Preprocessing	45

5.3.2	Processing	48
5.3.3	Postprocessing	49
6	Závěr	51
7	Seznam použité literatury	52

1 Úvod

Cílem modelu v architektuře je reprezentovat myšlenky, návrhy a představy architekta. To může provádět buď v průběhu návrhu, kdy mu model umožňuje ověřit si některé konstrukční a estetické prvky řešení a načerpat nové nápady, nebo lze vytvořit model finálního řešení, který slouží zejména při komunikaci s investorem nebo zadavatelem stavby. Od kvality prezentace architektonických myšlenek při komunikaci se zákazníkem se do značné míry odvíjí i samotný úspěch projektu u zadavatele. Modely mohou posílit také myšlenku konstruktéra prostřednictvím záměru zobrazení. [15]

Při tvorbě projektu dnes používají architekti a projektanti velkou škálu softwaru, který napomáhá při řešení dané problematiky. Je zcela zřejmé, že v technických odvětvích výpočtové a vizualizační softwary již překonaly tzv. „Solowův paradox“ a staly se běžnou součástí každodenní praxe inženýra či architekta a jistě napomohly v tomto odvětví nárůstu produktivity práce i schopnosti řešit složitější a komplexnější problémy. I při použití těchto pokročilých technologií je ale třeba si některé poznatky ověřit na fyzickém modelu. V současnosti se pro výrobu modelu používají metody jako je ruční výroba z konvenčních materiálů (dřevo, papír, drát), CNC obrábění a Rapid Prototyping (RP). [10]

Předmětem této bakalářské práce je popsat možnosti využití technologií RP při tvorbě modelu a vymezit nejvhodnější způsob využití pro tyto technologie v oblasti vizualizace architektonických objektů. Součástí této bakalářské práce bude také samotná konstrukce objektu v programu ArchiCAD a následné vyhotovení modelu pomocí 3D tiskárny uPrint.

2 Současný stav problematiky, metodika výroby

Reálný model hraje stále neodmyslitelnou roli při architektonické tvorbě i přes stále častější použití vizualizačních softwarů. Informace, které jsou získávány prostřednictvím vytvořeného 3D modelu, je možné efektivně použít nejenom pro realizaci projektu, výrobu reálného modelu, ale také pro přesné stanovení nákladů. V neposlední řadě slouží jako prostředek tvorby samotné.

2.1 Pojem vizualizace

Vizualizace znamená zobrazení skutečnosti, která je vnímaná pomocí zrakových receptorů. Hraje roli při přenosu a porozumění předávané informace. Efektivnost vizualizace je zejména způsobena biologickou determinací člověka. Ten totiž absorbuje zrakovým vjemem asi 60% veškerých informací ze svého okolí. Proto je také důležité, jakým způsobem je tato informace předána, aby nedošlo k dezinterpretaci předávané informace. Způsob předání znamená zejména jakou formou má daná vizualizace poskytovat informaci, kdy je možné klást různou váhu na různá kritéria, a také ji podpořit verbální i jinou interpretací. [21]

2.2 Využití modelů v současnosti

V architektuře se v současnosti prosazují stále více modely pouze v elektronické podobě, ale klasický model má u větších projektů stále své opodstatněné místo. Je důležitý jak při hledání nových souvislostí v návrhu, tak i v konečné prezentaci architektonického řešení. Vysvětlení potřeby vytvořit prezentační model a provést jeho vysvětlení je možno chápat takto: *„I ta nejlepší projektová dokumentace je jen částí komunikace, kterou je potřeba vést na cestě k realizaci návrhu. Nelze se obejít bez sekundární komunikace a redukovat proces návrhu a výstavby jen na to, co je možné předem specifikovat. O tom svědčí i fakt, že projekty většinou nehovoří samy, ale vyžadují dodatečný výklad. Rozdíl mezi apriorní reprezentací a výsledkem, tj.*

obydleným prostorem, je ještě zřejmější na konkrétním zážitku určitého prostoru. Nepotřebujeme zvláštní znalosti, abychom si uvědomili, jak prostorová zkušenost vždy výrazně přesahuje to, co bylo předem zamýšleno. Měřítko prostoru, povrchy materiálů, přítomnost a pohyb světla, množství a simultánní přítomnost všeho, co je v prostoru vidět – to vše jsou prvky (fenomény), které nemohou být přímo reprezentovány, a přesto vytvářejí skutečnou podstavu každého konkrétního prostoru.“ [21, s.35]

Je jasné, že každé zjednodušení, třeba i změna měřítka, jistým způsobem mění vnímání každého objektu. Pomocí nových technologií je možno vytvořit model s maximálním stupněm autenticity a s pomocí dobře zvládnuté prezentace pak co nejefektivněji prezentovat záměr projektu.

2.3 Druhy vizualizací v architektuře

Vizualizace v architektuře jsou buď prováděny pouze v elektronické podobě, tzn. zobrazení tvaru objektu v příslušném deskriptivním zobrazení. Nejčastěji je používána axonometrie nebo lineární perspektiva. Tyto zobrazení tvoří výstup z projekčního programu a je možné je vytvořit relativně snadno. Zobrazují však objekt pouze z různých pohledů a není zde dobře zachycena spojitost celku. Druhou variantou je tvorba reálného modelu v příslušném měřítku. Tyto modely jsou náročnější na výrobu a manipulaci. U některých projektů však zastávají stále nenahraditelné místo, jak bylo řečeno v předcházející kapitole.

2.3.1 3D vizualizace v PC programech

Finální podoba digitální vizualizace modelu závisí zejména na tom, v kterém programu byl projekt tvořen. Každý software má totiž svoje specifické zobrazení a možnosti nastavení, které se podílejí na finální podobě modelu. Jsou používány i některé programy, které jsou určeny speciálně pro tato grafická zobrazení. Ty slouží zejména při návrhu úvodních studií a diskusi nad těmito variantami návrhu.

Mezi nejčastěji používané programové opory v oblasti architektury patří program ArchiCAD, Rhinoceros a Photoshop. Každý program má své specifika a stává se opravdu účinným a efektivním nástrojem, pokud se jej uživatel naučí efektivně ovládat.

Výhodou programu ArchiCAD je zejména jeho komplexnost. Slouží nejenom k vizualizaci, ale i k tvorbě výkresové dokumentace a je možné jej propojit a sdílet i s dokumenty vytvořenými jinými programy. Použitelnost pro různé úkoly je tedy značná. Jeho nedostatkem je zejména skutečnost, že vizualizace provedené tímto programem působí umělým dojmem a pro účely prezentace je tedy méně efektivní. Pokud je však výsledek práce exportován do některého grafického editoru např. programu Photoshop, lze vizualizaci různými způsoby upravit, aby výsledek působil co nejvíce autenticky.

Zajímavé možnosti nabízí i program Rhinoceros, který slouží zejména pro vizualizaci, nikoliv pro tvorbu výkresové dokumentace. Poskytuje zajímavé možnosti vizualizace celku i vnitřních prostor, zejména s možností reálného zobrazení, širokého spektra materiálů a také nastavení intenzity a směru osvětlení, což výrazně zvyšuje stupeň autenticity a efektivitu při prezentaci. Na Obr. 1 je zobrazena vizualizace objektu vytvořená programem ArchiCAD. [11]



Obr. 1 3D vizualizace.

2.3.2 3D vizualizace – reálné modely

Jedná se o modely vytvořené z různých konvenčních i nekonvenčních materiálů v reálném prostoru. Mohou buď zobrazovat zcela exaktně navrhovaný objekt, nebo naopak zdůrazňovat určité prvky, které architekt považuje za klíčové nebo jim chce věnovat zvláštní pozornost.

Existují různé druhy modelů v závislosti na jejich použití. Základem je takzvaný koncepční model, který slouží k inspiraci a k ověření základních tezí v návrhu. Ten je nejčastěji tvořen manuálně z konvenčních materiálů jako je lepenka, lipové dřevo, papír, plexisklo, korek nebo plech. Výhodou těchto modelů je možnost zaměřit se na jeden určitý prvek návrhu a ten dále rozvíjet. Místrem rozvíjení inspirace na koncepčních modelech se stal americký architekt Frank Gehry, který využitím nekonvenčních materiálů a nahodilým skládáním tvarů vytváří jedinečné kompozice, které se stanou inspirací pro jeho díla jako je např. Tančící dům v Praze a mnohé další. [23]

Druhým typem modelu je model prezentační, který se používá pro komunikaci se zadavatelem stavby. Ten může být vytvářen také pomocí manuálního skládání materiálů nebo lze použít některou progresivní technologii. Mezi ně patří zejména CNC frézování z materiálu SikaBlock M450 a RP. Tyto druhy modelů jsou výhodné zejména svou přesností a také vysokou mírou automatizace procesů. Důsledkem je, že tvorba těchto modelů je dobrá zejména u velkých projektů, kdy je použito velké měřítko. Přesnost těchto metod zajistí, že i při tomto zmenšení zůstane většina detailů objektu dobře viditelná. [23]

Zvláštním případem jsou modely, ve kterých je spojována metoda frézování materiálu SikaBlock M450 s metodou RP. To je využíváno především u velkých prezentačních modelů, které zobrazují zejména různá urbanistická řešení nebo systém více budov. Takto velké modely mohou sloužit také jako prvotní forma pro odlévání kovových plakét. Využití tohoto typu je možné vidět na Moravském náměstí v Brně, kde byla technologie použita pro vytvoření modelu plastické bronzové mapy Brna

z roku 1645 (Obr. 2). Obdobnou aplikaci je možno vidět také na modelu Kampusu Masarykovy univerzity, kdy model nesloužil pro výrobu odlitku, ale byl přímo použit pro prezentaci (Obr. 3). [12]



Obr. 2 Plaketa Brno v roce 1645.



Obr. 3 Model Kampusu Masarykovy univerzity.

2.4 Architektonický návrh a jeho místo v životním cyklu projektu stavby

Proces zvaný architektura požaduje stále více komplexní přístup. Je do něj zapojováno stále větší množství odborníků z velkého množství oborů. Na výsledný návrh jsou kladeny čím dál více komplexní nároky. Požadavky investora, které je nucen projektant reflektovat, se liší zejména v závislosti na velikosti projektu a zadavateli stavby. Celý proces realizace projektu lze charakterizovat Tab. 1.[1]

Tab. 1 Životní cyklus projektu stavby.

Životní cyklus projektu stavby					
fáze předinvestiční		fáze investiční		fáze provozní	fáze likvidační
iniciování	definování	plánování	realizace	provoz	likvidace

Samotný proces návrhu se odehrává ve fázi definování a plánování projektu, kdy je možný částečný návrat do předchozí fáze, díky objevení nových skutečností a vazeb. Nejdůležitější v předinvestiční fázi je vytvoření představy investora o funkci stavby a dalších požadavcích, které na projekt budou kladeny. Je možné následně provést studii proveditelnosti daného projektu.

Digitální model má stále větší vliv v procesu návrhu, nejenom jako prostředek vytváření dokumentace, ale i jako prostředek tvorby samotné. Další možnost, kterou digitální model nabízí, je ověření materiálové a ekonomické proveditelnosti již během procesu návrhu.[1], [15]

Někdy je však přesnější vyčíslení celkových nákladů spjato s nemalými výdaji ještě v předinvestiční fázi a navazuje na časové plánování projektu a plánování zdrojů. Tyto náklady mohou představovat např. náklady na geologický průzkum, kdy složitější základové podmínky, úroveň hladiny podzemní vody, svažitý charakter místa, mohou rozhodnout o značném prodražení celé stavby. [2]

Stanovení předběžných nákladů je stále u větších projektů a zejména dopravních staveb složitý proces a konečná suma se může značně lišit v závislosti na použité metodě. Způsobů je využíváno hned několik. Rozhodnutí, která metoda bude použita, závisí zejména na typu, rozsahu a složitosti projektu. Pro stanovení předběžných nákladů jsou používány zejména expertní odhady. Ostatní metody jsou použitelné zejména při známé projektové dokumentaci. [4]

2.4.1 Metody pro stanovení nákladů projektu

Základním principem pro stanovení nákladů je znalost aktivit, které jsou nutné pro realizaci projektu a jejich časovou náročnost. Na základě znalosti přímých a nepřímých nákladů na hodinu výkonu určité aktivity je možné určit jejich náklady. Kvalita odhadu nákladů tedy závisí na přesnosti odhadu časové náročnosti, stejně jako na odhadu nákladů za jednotku. Metodami, které se používají pro odhad nákladů, jsou:

- Analogické odhadování.
- Parametrické modelování.
- Odhadování zdola nahoru.
- Užití software.
- Expertní dohady.

Analogické odhadování

Analogické odhadování pracuje na principu využití informací o starších projektech realizovaných společnostmi. Využívá informace typu: veřejné a komerční databáze o cenách, konečné rozpočty dřívějších podobných projektů, veřejné databáze průměrných mezd jednotlivých profesí nebo ceníky stavebních prací. [2], [4]

Parametrické modelování

Parametrické modelování používá matematický model, kde jsou obsaženy známé parametry, které se liší dle typu prováděné činnosti. Parametrem mohou být náklady na hodinu práce přístroje, náklady na m³ betonáže atd. Náklady pomocí této metody

mohou být modelovány regresní analýzou, tedy odhadování budoucích hodnot pomocí znalosti předchozích nebo pomocí tzv. křivky osvojování znalostí (learning curve). Ta pracuje s předpokladem, že je pracovník schopen vykonávat opakující se činnost v kratším časovém intervalu, tedy s menšími náklady. [2], [4]

Odhadování zdola nahoru

Odhadování zdola nahoru používá hierarchickou strukturu prací (WBS), kdy každá položka má určeny své náklady. Proces začíná s nulovými náklady a poté jsou přičítány náklady za každou položku v hierarchii prací. Tento odhad je velmi přesný, protože je utvářen propočet nákladů na každou jednotlivou položku. Nevýhodou se však stává časová náročnost této metody. Může však snížit riziko špatného odhadu nákladů a lze ji použít i pro rozhodování, které práce je dobré realizovat interně nebo externě. [2], [4]

Využití softwaru

Jako další metoda může sloužit použití specializovaného softwaru, který obsahuje ceníky jednotlivých prací a je schopen po stanovení konfigurace vytvořit rozpočet projektu. Dalším použitelným softwarovým produktem může být statistický nebo simulační software, který poslouží zejména pro přesnější stanovení časové náročnosti jednotlivých prací. [2], [4]

Expertní odhady

Pokud je příliš časově náročné ověřovat nákladovou strukturu z jiných zdrojů, využívají se tzv. expertní dohady. To je metoda, kdy je konečná cena odhadována na základě zkušeností a znalostí jednotlivých členů expertního týmu. [2], [4]

Stanovení rezerv a výstupů

Na závěr je nutné do rozpočtu zahrnout i rezervy pro krytí zvýšených nebo nepředvídatelných výdajů. Rezervy se stanovují buď pro některé nákladové položky, nebo se provede procentuální navýšení celkových nákladů. Zvýšené výdaje mohou vznikat zejména kurzovními ztrátami nebo nepředvídatelnými náklady při vzniku nečekaných problémů během realizace. [2], [4]

Použitím některé výše popsané metody se vytváří rozpočet nákladů projektu, který umožní definovat cash flow projektu, případně směrný plán nákladů. Ten popisuje kumulativní průběh nákladů v průběhu doby trvání projektu. Kumulativní průběh nákladů umožní stanovit plán pro čerpání finančních prostředků po dobu projektu. Pokud je vynesena tato závislost do grafu, je obvykle tvaru S-křivky. Je možné tedy předpokládat největší tok prostředků uprostřed časového fondu. [2], [4]

2.4.2 Proces tvorby návrhu

Pokud již architekt disponuje dostatečným množstvím informací o požadavcích investora a také informacemi o místě realizace, může přistoupit k tvorbě samotného návrhu. Zde již ke slovu přichází tvorba modelu, ať už ve formě digitální vizualizace, nebo reálného koncepčního modelu. Tyto modely mohou být vyrobeny pro několik variant návrhu, z nichž investor, případně v jeho zájmu jednající jiná společnost, vybere po diskusi s architektem variantu, která bude dále rozvíjena až do podoby komplexního návrhu. Při projekční činnosti je třeba dodržet také základní principy projektování, kterými jsou:

- Cílovost.
- Reálnost a účelnost.
- Systémový přístup.
- Postupné řešení.
- Systematičnost.
- Efektivnost.

Cílovost – Projektant musí exaktně vědět, co je účelem projektu a čeho má dosáhnout. Cíle by měly být stanoveny od zadavatele písemně.

Reálnost a účelnost – Projekt je třeba navrhnout tak, aby byla možná jeho realizace. Účelnost znamená zejména vytvoření takového stupně projektové dokumentace, který odpovídá významu navrhovaného objektu a splňuje daný účel.

Systémový přístup – Projekt je třeba vidět jako systém, který je definován množinou prvků a vazeb mezi nimi. Systémový přístup znamená zabývat se všemi prvky a jejich vazbami na okolí. Opomenutí některého prvku systému může znamenat snížení efektivnosti projektu.

Postupné řešení – Tato zásada znamená řešit návrh projektu od obecného ke konkrétnímu. Práci na projektu se rozděluje do 4 fází: situace, kompozice, dispozice a realizace. Tyto fáze přesně odpovídají principu postupovat od všeobecného ke konkrétnímu. Situace vyjadřuje soubor podmínek k umístění objektu a k jeho vazbám na okolí. Kompozice řeší systém prvků z hlediska vzájemných vazeb informačních a materiálových toků. Dispozice určuje horizontální a vertikální umístění prvků ve vymezeném prostoru. Výstupem je realizační dokumentace projektu. Realizace zahrnuje schválení, přípravu a vlastní vyhotovení stavby včetně zkušebního provozu.

Systematičnost – Je nutnost použití unifikovaných nebo normalizovaných postupů, podkladů a symbolů, které budou srozumitelné pro všechny, kdo se na daném projektu podílejí. Tento princip následně umožňuje využití vyššího stupně automatizace při projektování.

Efektivnost – Projekt musí být tvořen s požadavkem maximálních efektů při minimálních nárocích na materiál, pracovní síly, energii a finanční prostředky.

Je třeba zdůraznit, že pouze tento proces a žádný jiný vede k architektonické tvorbě na kvalitativně dobré úrovni, která přitom reflektuje potřeby zadavatele projektu. Výsledek je samozřejmě ovlivněn úrovní zkušeností a znalostí architekta a také vkusem investora. Dále je možno tvrdit, že úspora nákladů v projekční fázi nevede k celkové úspoře nákladů. To je způsobeno, zejména nekvalitní dokumentací jednotlivých částí projektu, jako je např. instalace TZB, zdravotní technika nebo protipožární ochrana. Práce spojené s realizací poté nemohou být efektivně poptávány, což vede ke zvýšení celkových nákladů. [6], [23]

Kompletní návrh pak představuje nejenom vizualizaci projektu, ale zejména kompletní projektovou dokumentaci, na které se podílí nejenom architekt, ale také odborníci z jiných oborů jako je navrhování konstrukcí, statika, nebo geotechnika. Projektové práce se skládají z více částí. Mezi nejčastěji prováděné prvky projektových prací patří:

- Geodetické zaměření.
- Geologický a hydrogeologický průzkum.
- Architektonická studie.
- Stavební část.
- Statický výpočet a návrh prvků.
- Požární ochrana.
- Přípojky – plyn, elektro, kanalizace.
- Ústřední vytápění.
- Zdravotní technika.
- Sadové úpravy.
- Výkaz výměr a rozpočet.
- Návrh uspořádání staveniště.
- Autorský a technický dozor.

Vypracování všech částí projektu závisí zejména na jeho velikosti. Pro malé projekty jsou většinou zřídka vypracovány všechny položky projektových prací. Jak již však bylo řečeno, můžou se tyto nedostatky později projevit na zvýšených nákladech při realizaci. Částečnou dokumentací je také omezena možnost kontroly kvality a úplnosti provedených prací. Je tedy nezbytné dobře zvolit úroveň účelnosti projektové dokumentace.

2.4.3 Realizace projektu

Při realizaci projektu je nejdůležitější dodržet časový plán a úspěšnost při řízení kvality projektu. Časový plán může být stanoven pomocí Ganttových diagramů, milníků a síťových grafů.

Ganttův diagram

Slouží ke kalendářnímu plánování a k evidenci plnění prací. Činnosti jsou znázorňovány většinou ve 2 řádcích, kdy úsečkové zobrazení časového úseku znázorňuje na jednom řádku plán a na druhém realitu plnění pracovních činností. Ganttův diagram lze pro potřeby řízení projektů vytvořit i ze síťového diagramu. [4], [6]

Milníky

Milníky znamenají klíčové události v průběhu projektu, které jsou zaznamenávány do kalendářního úsečkového diagramu. Lze je definovat jako události, které musí být snadno ověřitelné a před dalším postupem schváleny. Klíčem pro úspěch tohoto systému je, aby jako jednotlivé milníky byly stanoveny pouze události většího významu, jež mají snadnou ověřitelnost. [4], [6]

Síťové grafy

Jedná se o grafické zobrazení, kde jsou znázorněny jednotlivé činnosti a vazby mezi nimi. Vazby činností jsou s předcházejícími, souběžnými i následnými událostmi. Nejčastěji používaný je graf logického sledu PERT, hranově orientovaný graf ADM a uzlově orientovaný graf PDM. [4], [6]

Řízení kvality projektu

Systém řízení kvality u stavebních projektů je zajišťován nejčastěji dle norem ISO 9000 a ISO 9001. Úroveň kvality projektu charakterizuje, nakolik konečné vyhotovení splňuje stupeň požadavků daných souborem typických znaků. [4], [6]

3 Konstrukce objektu v ArchiCAD aplikaci

Aplikace ArchiCAD je základním programem pro tvorbu architektonických návrhů, který je hojně využíván architektonickými ateliéry. Existuje však tendence používat jiný software, který nevyvolává tak velké pořizovací náklady a poskytuje jednodušší uživatelské rozhraní. I přes tyto snahy ArchiCAD nadále zůstává dominantním prostředkem pro vytváření návrhů.

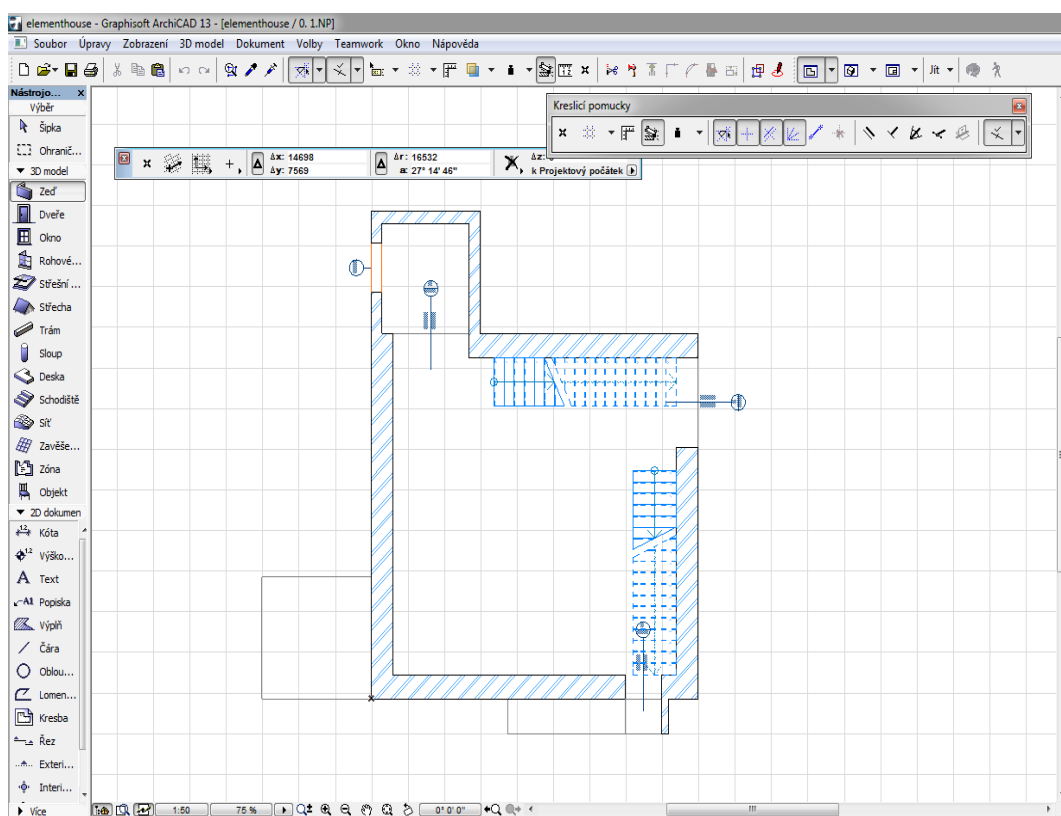
3.1 Charakteristika koncepce softwaru ArchiCAD

Koncept tvorby trojrozměrného modelu se vyvinul z dvojrozměrných programů určených pro kreslení. Tvorba trojrozměrných objektů představuje další stupeň automatizace a skýtá proto řadu výhod. Tento koncept znamená změnu procesu projektování, komunikace s klientem a přináší možnost simulovat chování objektu během výstavby i po dobu jejího života. Vlastnictví 3D modelu přináší také možnost získat další zakázky spojené s touto stavbou, tedy konkurenční výhodu. [11]

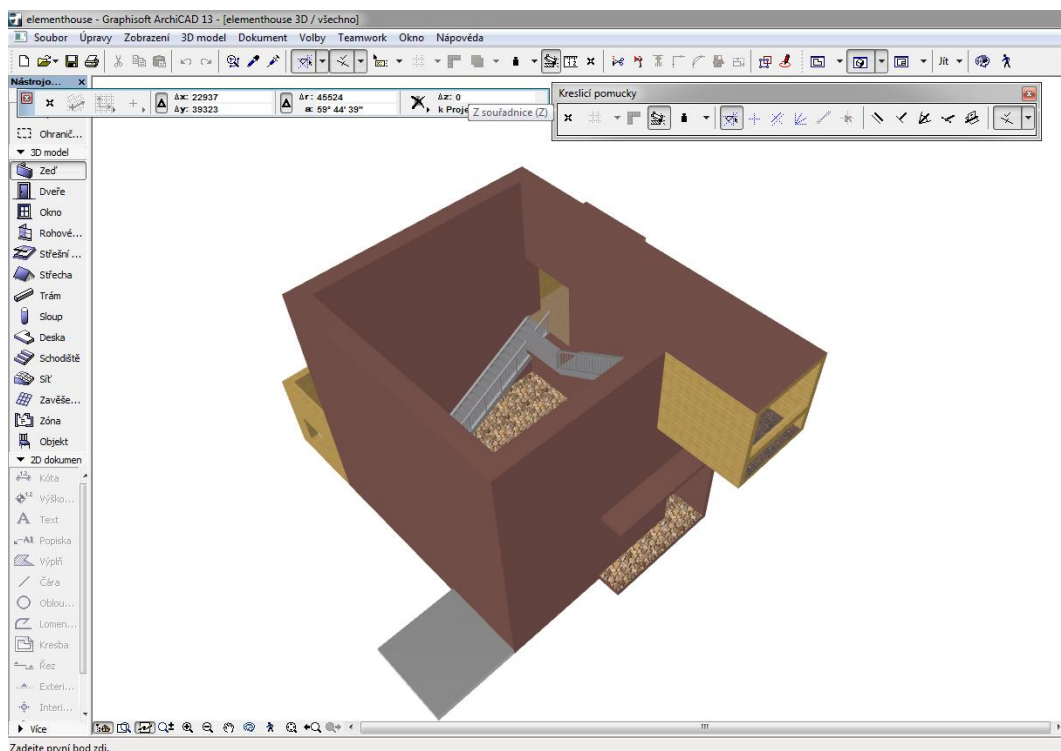
Princip 2D projektování spočívá v umísťování čar, křivek, oblouků a bloků do výkresu. Zrychlení projektování spočívá zejména v možnosti kopírování opakujících se segmentů. Koncept virtuální stavby však přináší odlišný koncept. Objekt je skládán z jednotlivých stavebních prvků: zdí, trámů, desek, střech, schodišť, oken, dveří a dalších objektů. Každému prvku jsou také přiděleny specifické vlastnosti, které je možné použít např. pro analýzu tepelných ztrát, případně pro cenový výpočet. Pokud je vytvořen 3D model objektu lze z něj vygenerovat automaticky řezy, půdorysy jednotlivých podlaží, pohledy, perspektivní pohledy, animace a vizualizace. To výrazně zvyšuje flexibilitu systému. Jednotlivé výstupy, lze také ukládat v různých formátech, s kterými dále pracují ostatní členové týmu podílející se na projektu. ArchiCAD v současnosti používají společnosti všech velikostí, od jednoho až po několik set zaměstnanců. Koncept je možné uplatnit i při specializaci na různé typy projektů – školy, obchodní domy, obytné budovy a jiné. [11]

3.2 Práce s programem ArchiCAD

ArchiCAD se dělí na 3 základní pracovní prostředí, kterými je půdorysné okno, 3D okno a okno řezu. Půdorysné okno je základní konstrukční plocha, kde je prováděna největší část konstrukčních operací. Prostředí půdorysného okna je zobrazeno na Obr. 4. 3D okno je zejména účinný nástroj pro kontrolu provedených konstrukčních operací. Zároveň je i v tomto zobrazení umožněna editace v axonometrickém nebo perspektivním pohledu. Použitím nástroje řez je možné vytvořit neomezené množství oken řezů navrženým objektem. 3D okno dále slouží pro stanovení pohledu pro fotozobrazení a lze se v něm volně pohybovat. Veškeré výstupy je umožněno provádět také z tohoto zobrazení. 3D okno je znázorněno na Obr. 5. [18]



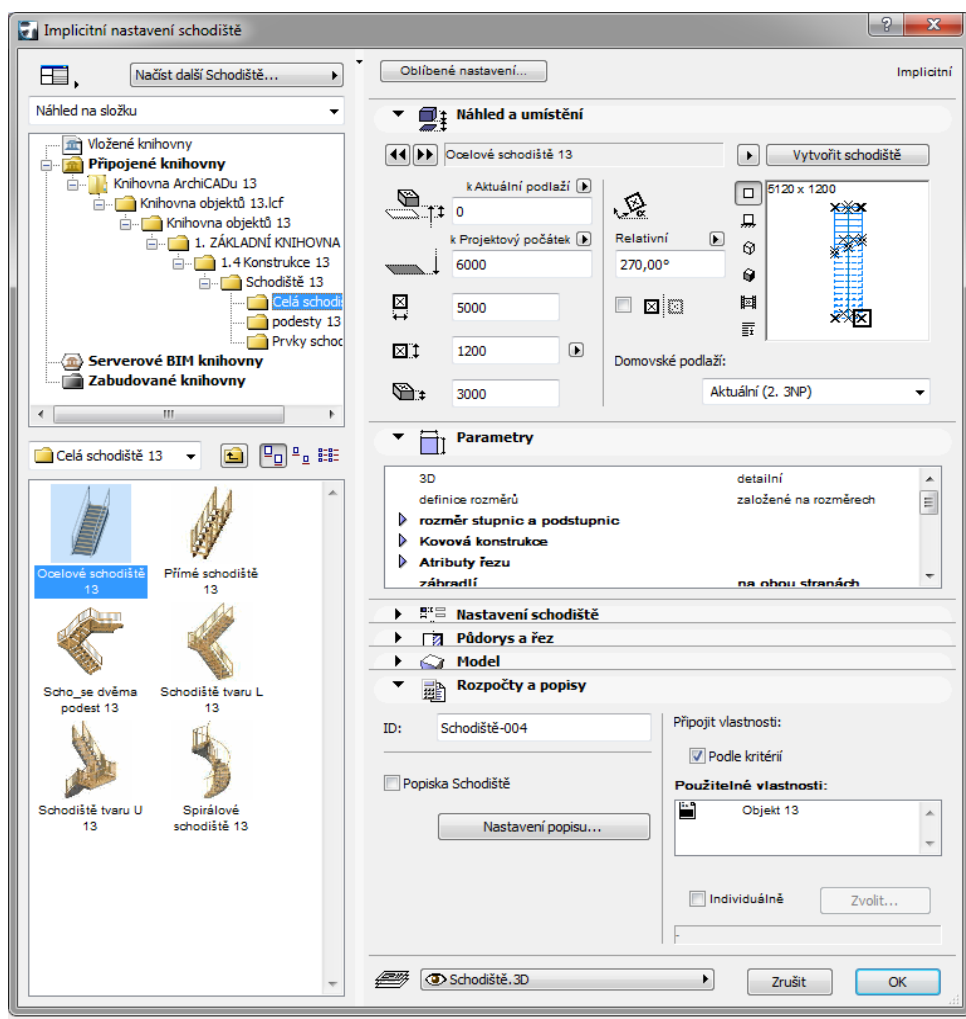
Obr. 4 Půdorysné zobrazení.



Obr. 5 3D okno - perspektivní zobrazení.

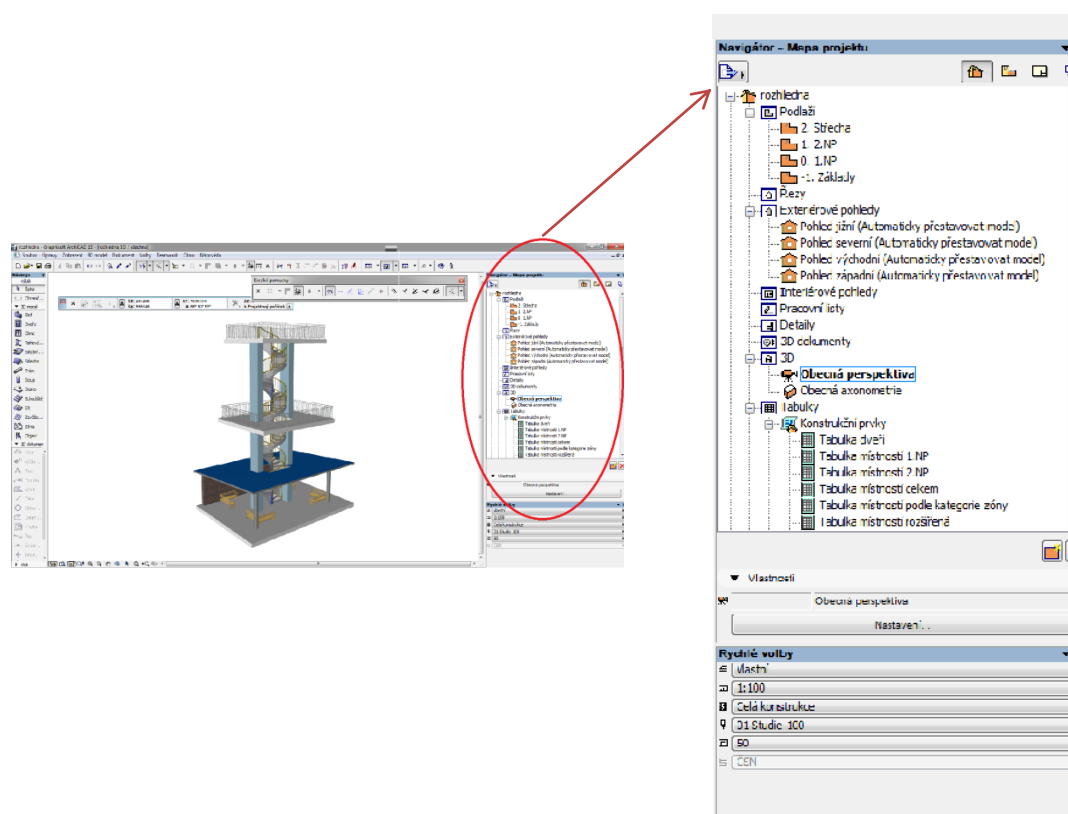
Základem práce v tomto programu je tedy navrhování v půdorysném okně. Jednotlivá podlaží budov mají své vlastní půdorysy, které se přepínají pomocí palety Navigátor. Půdorysné okno je tradiční dvojrozměrné zobrazení, které se chová jako půdorysný výkres a je interaktivně spojeno s řezy a s 3D prostředím. Pro tvorbu a umísťování objektů do půdorysu slouží nástrojová paletka, kde jsou umístěny jak 3D nástroje – objekty, tak i 2D prvky – čára, kružnice, kóta atd. Každý nástroj obsažený v nabídce má své dialogové okno, kde lze nastavit rozměry jednotlivých prvků, ale také vybrat z knihovny konkrétní tvar objektu (dveří, okna, umyvadla, lampy atd.) a materiál, z kterého se skládá. Pokud dostupné prvky zabudované v programu nevyhovují požadavkům, je možné nadefinovat zcela nový prvek, nebo připojit novou knihovnu, které jsou běžně dostupné na internetu. Stejně jako objekty lze vložit nové textury. Těch program obsahuje pouze omezené množství, proto je dobré připojit další. Výsledným efektem je pak realističtější zobrazení objektu. Dostupný tvar lze také měnit dle možností každého prvku. U schodiště lze měnit tvar zábradlí, počet a rozměry stupňů nebo jeho výšku. Možnosti nastavení jsou zachyceny na Obr. 6. Další elementy

obsahují jiné možnosti nastavení. Vkládáním jednotlivých objektů s vhodnými rozměry do půdorysného zobrazení je základním prvkem práce v programu ArchiCAD. [8], [18]



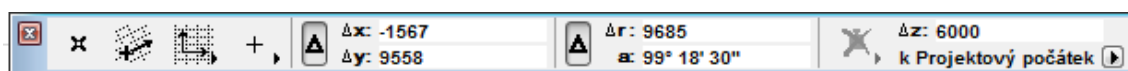
Obr. 6 Nastavení prvku.

Paletka navigátor, kterou lze také použít pro snadnější orientaci a rychlejší přístup k pohledům, řezům a k výkresům detailů, je znázorněna na Obr. 7. Pohledy a řezy určitých sestav jsou prováděny pomocí nastavení jednotlivých vrstev, které přiřadíme jednotlivým prvkům v projektu. Pro každý výkres se ponechá viditelná pouze určitá kombinace vrstev, která je nutná pro patřičné zobrazení. Tyto kombinace je možné definovat, některé již obsahuje program. Pro určitá podlaží vytvořená v ovládacím prvku navigátor lze přiřazovat také sady pohledů. Může být tak např. docíleno toho, že pro střechu jsou vytvářeny jiné druhy výkresů než pro některé z podlaží. Je nutné ale přiřadit všem výkresům měřítko v tabulce Editace pohledů. [8]



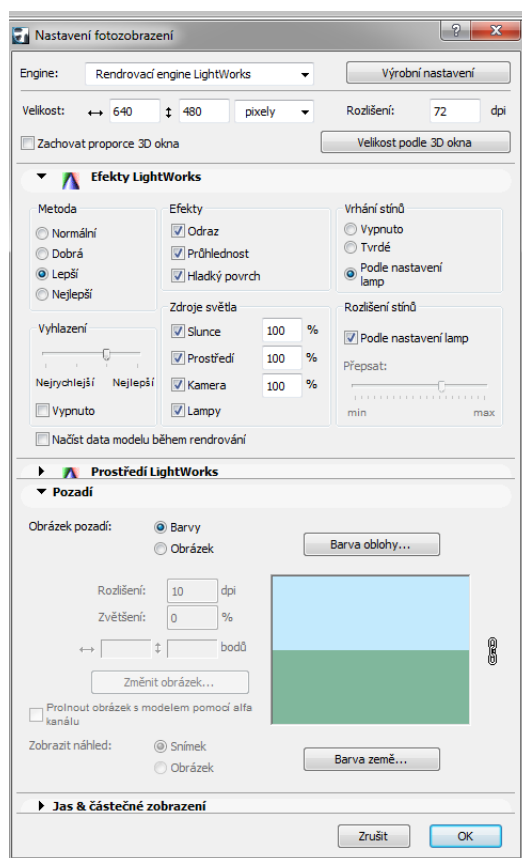
Obr. 7 Paletka navigátor.

Pro další ovládání slouží informační paletka, kde jsou zobrazeny některé parametry právě používaného nástroje. Toto zobrazení se mění v závislosti na používaném nástroji. Souřadnicová paletka podává informaci o přesné pozici kurzoru v kartézských a polárních souřadnicích. Její podoba je vyobrazena na Obr. 8. Umožňuje zadat přesné číselné informace prostřednictvím klávesnice namísto určení pomocí myši. Ve spodním levém rohu projektu je bod, který má všechny souřadnice nulové. Nazývá se projektový počátek a je zobrazen značkou X. Během kreslení lze také zadávat souřadnice v absolutních nebo relativních hodnotách. Absolutní hodnoty udávají souřadnice bodu od projektového počátku. Naopak relativní hodnoty zobrazují pozici kurzoru od projektového počátku do doby, dokud nezačne být kreslen nějaký prvek. Následně zobrazuje souřadnice vzhledem k editačnímu počátku daného prvku. Projektový počátek lze v projektu libovolně stanovit přemístěním bodu X. Je možné také nastavit tzv. editační počátek, který je pouze dočasný a používá se pro jednodušší orientaci při kreslení a zadávání souřadnic v určité části výkresu.[8], [18]



Obr. 8 Souřadnicová paletka.

Po vytvoření požadovaného objektu je možné v 3D zobrazení generovat fotorendrované obrázky pro účely vizualizace. Takto vytvořené obrázky simulují sluneční osvit. Pro vytvoření těchto obrázků je nutné použít nástroj Kamera. Zde se nastavuje příslušný pohled (z určité světové strany). Dalším krokem je definování postavení slunce dle ročního období a času, nastavení barvy oblohy a barvy země. S označeným nástrojem kamera je možné si výsledný efekt prohlédnout ve 3D okně a pohled uložit jako obrázek. Fotozobrazení se nastavuje v ovládacím panelu na Obr. 9. [8]



Obr. 9 Nastavení fotozobrazení.

Protože program pracuje i s formáty *.dwg, je možné půdorys vytvořený ve 2D grafickém editoru, použít pro tvorbu půdorysu a převést do aplikace ArchiCAD. Parametrické zadávání v těchto aplikacích je mnohdy efektnější a rychlejší, než v programu ArchiCAD, lépe je v 2D editorech zpracován i uchopovací režim, proto je základní rozměrová definice rychleji uskutečnitelná v těchto programech. Po vytvoření objektu v půdorysném okně s kontrolou a úpravami ve 3D zobrazení je možné přistoupit k tvorbě výstupů, tedy 2D výkresů nebo vizualizací. Z této aplikace je možné vytvořit celou škálu výstupů. Pro účely digitální vizualizace jsou používány formáty kreseb, jako jsou JPEG, BMP, PSD a PICT. Standartní formát pro projekty programu ArchiCAD jsou označeny *.pln. Jednotlivá půdorysná zobrazení se exportují také do grafických editorů, kde je lze dále upravovat. Další možností výstupu je formát pro jiné programy, kde je možné upravovat výkresovou dokumentaci a zejména vizualizace. Pro program Photoshop se jedná o formát *.psd, dále je možné pracovat ve formátu *.sgi na vizualizacích v programu Rhinoceros. Jeho použití bylo nezbytné pro zpracováváný projekt při dalším převodu na formát *.stl, použitelném pro technologii RP. Ukládání do jednotlivých formátů probíhá standartní formou přes nástroj ukládání, kdy je pouze třeba vybrat požadovaný typ. V opačném případě se soubor uloží jako sálový projekt aplikace ArchiCAD. [8]

4 Popis dostupných technologií Rapid Prototyping

Mezi hlavní metody RP patří 7 základních metod, které se liší zejména použitým materiálem pro výrobu modelu. Hlavním principem je nanášení materiálu ve vrstvách, které mohou mít rozdílnou tloušťku. Vytváření jednotlivých vrstev je generováno pomocí softwaru, který zpracovává data z 3D modelu.

4.1 Historický vývoj

Vývoj rychlého prototypování je spjat se zahájením používání počítačových aplikací v průmyslu. Klesající cena osobních počítačů změnila způsob, jakým byla vykonávána práce ve velkých výrobních provozech. Zvýšení počtu počítačů odstartoval vývoj i v jiných oblastech, které jsou s nimi spojeny, včetně Computer Aided Design aplikací. První předchůdce těchto systému byl vytvořen v roce 1963. Na rozvoj těchto programů navazuje vývoj technologie RP, jejíž prvopočátky se datují do 80. let 20. století. První z metod, která byla vyvinuta, byla stereolitografie. Tu vynalezl Charles Hull a v roce 1986 založil firmu 3D Systems. V dalších letech bylo vyvinuto v rychlém sledu hned několik dalších technologií. V roce 1987 byl vytvořen systém BMP (Ballistic Particile Manufacturing) stejně jako metoda Solid Ground Cutting. O rok později firma Helysis přichází s technologií LOM (Laminated Object Manufacturing). V roce 1990 poté byla vytvořena technologie SLS (Selective Laser Sintering). Ta používá slinování práškových materiálů s použitím laseru. Metoda, která nanáší jednotlivé vrstvy roztaveného termoplastu s názvem FDM (Fused Deposition Modeling), byla vyvinuta v roce 1992. Na podobném principu jako inkoustový tisk pracuje technologie 3DP (Three dimensional printing). Ta se objevila na trhu v roce 1993. V současnosti jsou rozvíjeny všechny tyto technologie zejména s důrazem na automatizaci, přesnost a rychlost výroby. [13]

4.2 Princip technologie

Pro technologii Rapid Prototyping (RP), která slouží pro vytváření fyzických modelů, komponentů a prototypů, je charakteristické, že je materiál nanášen

po vrstvách, nikoliv odebírán jako u běžných typů obrábění. Jednotlivé vrstvy materiálu jsou nanášeny postupně na základě 3D dat. Ty jsou získávány na základě dat z CAD systémů nebo pomocí metody Reverse Engineering (RE).

Základní výhodou této koncepce je možnost vytvářet modely nezávislé na složitosti geometrie a tvaru. Díky digitálnímu stanovení tvaru objektu může být proces výroby snadno automatizován. [20]

4.2.1 Postup výroby modelu technologií Rapid Prototyping

Výroba modelu RP metodou se dělí na preprocessing, processing a postprocessing. Celý proces výroby probíhá dle schématu na Obr. 10.



Obr. 10 Schéma procesu RP. [5]

Preprocessing

Preprocessingem se nazývá veškerá činnost, která je nutná před tím, než je model vytvářen pomocí některé metody RP. Mezi tyto přípravy patří zejména převod do *.stl formátu, rozdělení modelu na jednotlivé řezy, generování podpor a drah nástroje. Než je uskutečněn převod do *.stl formátu, je třeba provést modelaci objektu v některé CAD aplikaci. Tento druh softwaru se používá v současnosti při jakékoliv projekční činnosti. Jsou to programy ArchiCAD, Rhino atd. Osobně jsem zvolil pro tvorbu grafického modelu program ArchiCAD od společnosti Autodesk. Více o tomto programu je uvedeno v kapitole 3. Převod do formátu *.stl znamená převod objemového modelu na model polygonální. Polygonální model je tvořen sítí trojúhelníků. Ty mohou být aproximovány s nastavitelnou přesností. Tato vlastnost je využívána pro optimalizaci sítě dle rozměrů modelu. Čím je model menší, tím více musí být síť hustá, aby byla zajištěna dostatečná přesnost. Dalším úkonem je nastavení modelu tak, aby byl rozdělen do horizontálních řezů, které jsou od sebe v konstantní vzdálenosti. Tloušťka řezu se většinou nastavuje podle přesnosti zařízení, na kterém je daný model realizován. Na závěr fáze preprocessingu jsou vytvářeny podpůrné struktury a vygenerovány dráhy nástroje nanášející materiál. [13], [14]

Processing

V části nazývané processing se jedná o samotnou výrobu součástí. Takřka všechny zařízení pro RP jsou automatizována a není proto potřeba osobní dohled. Čas potřebný pro výrobu součástí je individuální a je přímo úměrný velikosti vyráběného prvku. Rozdíly jsou také mezi různými technologiemi, které budou vysvětleny v kapitole 4. Dalším faktorem pro zvýšení časové náročnosti je tvarová složitost jednotlivých dílů. Časy se nejčastěji pohybují v řádu jednotek až desítek hodin. [13], [14]

Postprocessing

Postprocessing představuje finální úpravy vyhotoveného dílu jako je odstraňování podpor a finální úprava povrchu. Mezi takové úpravy patří pískování, broušení, impregnace atd. U některých metod je nezbytnou součástí konečné vytvrzování v UV komoře. [13], [14]

4.3 Přehled jednotlivých technologií

V současnosti existuje 7 základních komerčně využívaných metod, které jsou používány pro výrobu prvků z CAD systémů. Společné mají, že výroba je spojena s nanášením jednotlivých vrstev materiálu. Mezi základní rozdíly patří použití rozdílných materiálů. Liší se tedy různými fyzikálními principy při tvorbě jednotlivých vrstev. Druh použitého materiálu zásadně ovlivňuje přesnost i podobu konečného produktu. Je to zejména nanášení vrstev taveniny, spékání prášků a spojování speciálních folií. Základní přehled obsahuje Tab. 2. [7], [9]

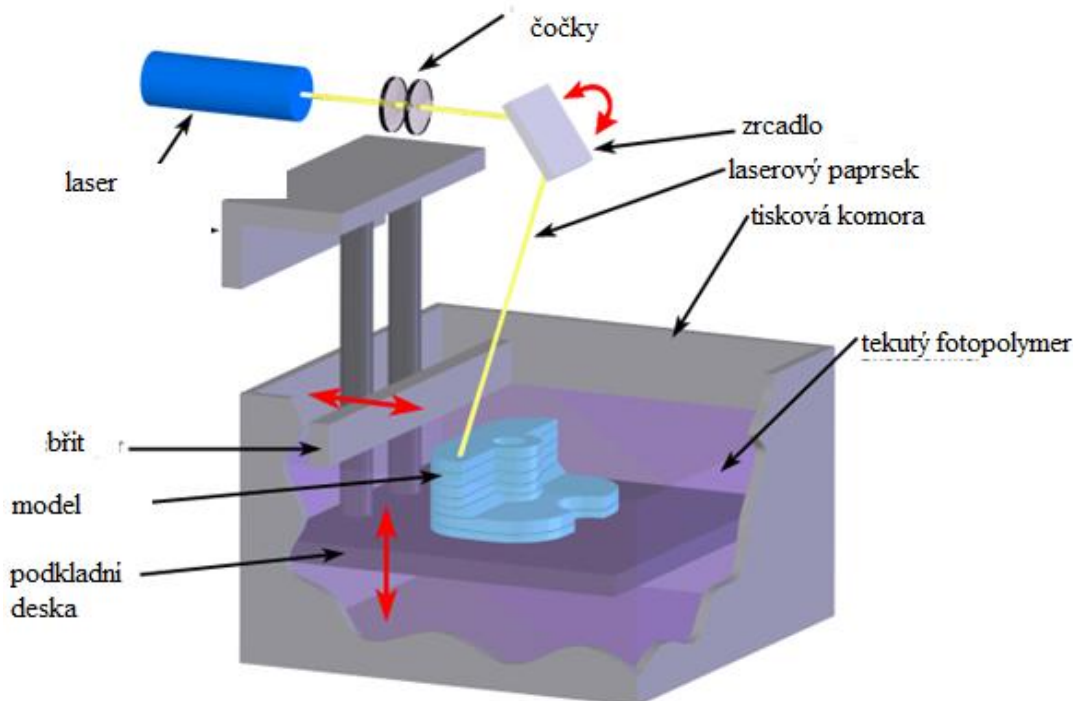
Tab. 2 Přehled základních metod RP. [7]

Technologie rapid prototyping	Zkratka	Metoda na bázi	Použití laseru	Materiál modelu
Stereolitografie	SLA, SL	Fotopolymer	ano	Fotopolymer
Solid Ground Cutting	SGC	Fotopolymer	ano	Fotopolymer, nylon
Selective Laser Sintering	SLS	Práškový materiál	ano	Polyamid, kovové prášky, nylon, vosk
Direct Metal Laser Sintering	DMLS	Práškový materiál	ano	Kovové prášky
Laminated Object Manufacturing	LOM	Tuhý materiál	ne	Papír s jednostranným pojivem
Fused Deposition Modeling	FDM	Tuhý materiál	ano	Vosk, polykarbonát, ABS
Multi Jet Modeling	MJM	Tuhý materiál	ano	Termopolymer, akrylátový fotopolymer

4.3.1 Stereolitografie (SLA)

Stereolitografie byla první vyvinutou metodou RP, kterou vytvořila společnost 3D Systems, Inc. Základním principem je vytvrzování materiálu po vrstvách. Tento princip je společný i pro všechny ostatní vyvinuté metody. V tomto případě je vytvrzována epoxidová, fotopolymerní pryskyřice. Ta je zpevňována pomocí elektromagnetického záření. Většina těchto látek je však vytvrzována pomocí UV záření, kdy jsou monomery spojovány do větších molekul – polymerů. Tento proces je fotochemický a je způsoben indukcí energie, v tomto případě UV zářením.

Systém je tvořen pracovní komorou, řídicí jednotkou a opticko-laserovým systémem. UV laser je pomocí soustavy zrcátek směřován nad nádobku s polymerem. Model je vytvářen na nosné desce, která se pohybuje ve svislém směru. Model vzniká vytvrzováním jednotlivých 2D vrstev o tloušťce 0,05 až 0,15mm. Zarovnávací čepel nově vzniklou vrstvu zarovná přesně na požadovanou tloušťku. Po tomto procesu je provedeno snížení nosné desky právě o tloušťku jedné vrstvy. Poklesem desky je zajištěno ponoření do fotopolymeru, který může být opětovně vytvrzován na požadovaných místech. Po ukončení tisku je součást vyjmuta z podpor a je možné ji omývat, čistit a vytvrzovat, čímž je docílena požadovaná integrita povrchu. Schéma metody je zobrazeno na Obr. 11. [5], [19]



Obr. 11 Stereolitografie. [3]

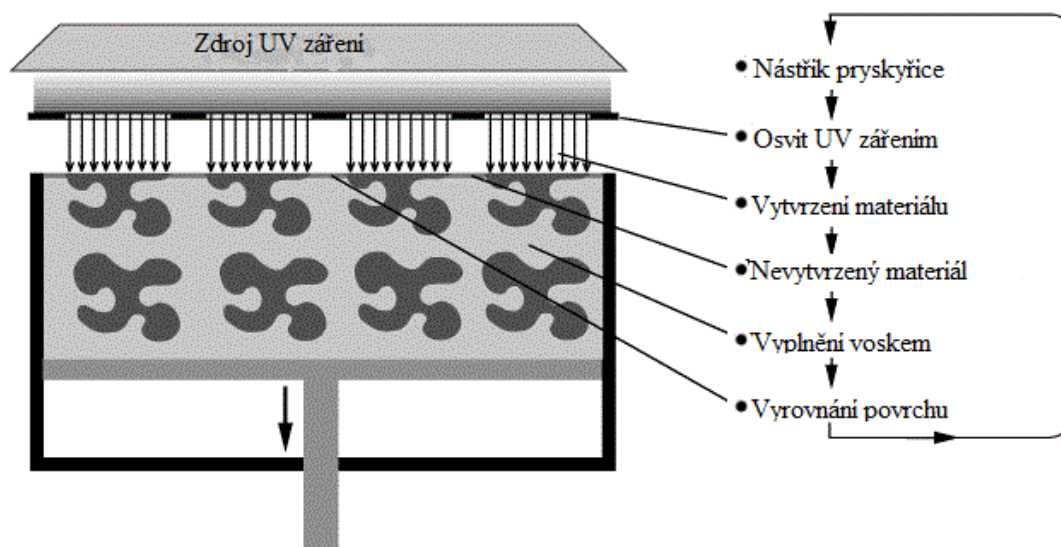
Stereolitografie je nejčastěji používána pro funkční testování, zejména v automobilovém průmyslu. Hlavním limitem je velikost jednotlivých částí a časově náročnější proces tvrzení fotopolymerů. Jedná se o jednu z nejpřesnějších metod, kdy je možné vytvořit drobné části i dosáhnout dobré povrchové drsnosti.

4.3.2 Solid Ground Cutting (SGC)

Stejně jako stereolitografie používá fotopolymerní materiály, ale s tím rozdílem, že každá vrstva je vytvrzena celá najednou. Výroba modelu začíná nanášením speciálního toneru na šablonovou desku. Tento proces je nazýván ionografickým procesem. Na nosnou desku je posléze nanášena fotopolymerní pryskyřice. Krátkodobým působením UV lampy na fotopolymerní pryskyřici je materiál vytvrzen. Poté dojde k odstranění šablony a pryskyřice, která nebyla vytvrzena, je vakuově odsáta. Na místa, která neobsahují vytvrzený materiál, je nanášen roztavený výplňový vosk. Ten tvoří následně podporu pro nanášení další vrstvy. Po opětovném nanášení

vytvrzené vrstvy je vosk odfrézován. Tyto postupy se opakují, dokud nedojde k vytvoření celého modelu. Proces metody znázorňuje Obr. 12. [5], [19]

Mezi dokončovací operace patří následné opětovné vytvrzování a odstraňování přebytečného vosku, který nebyl odstraněn frézováním. To se provádí pomocí roztoku kyseliny citrónové. [19]



Obr. 12 Solid Ground Cutting. [16]

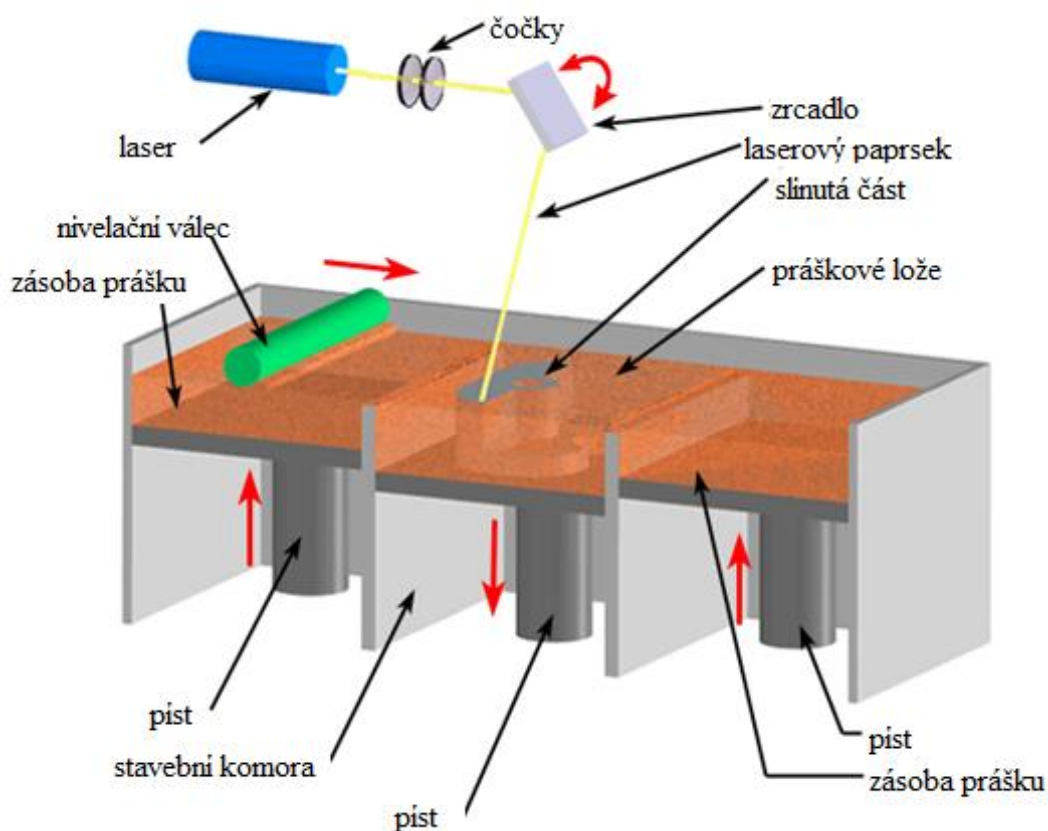
Nejčastější použití této metody je pro ověření designu a funkce, případně pro výrobu chirurgických pomůcek. Výhodou této metody je zejména dobrá stabilita a struktura modelu. Problémem je tvorba voskových usazenin. [19]

4.3.3 Selective Laser Sintering (SLS)

Technologie pracuje na postupném slinování jednotlivých vrstev práškového materiálu. Ten je uložen po celém povrchu stavební komory. Spékání probíhá selektivně pomocí CO₂ laseru, kdy jeho pomocí je prášek nataven na teplotu tání a dojde k jeho spečení. Po ukončení tohoto procesu dochází k nanášení další vrstvy pomocí speciálního válečkového mechanismu. Podporu pro další vrstvy modelu tvoří nespečený materiál. Celý proces se opakuje, dokud není výrobek kompletní. Na hotový produkt se

pak nanese několik dalších vrstev prášku, aby bylo zajištěno rovnoměrné chladnutí. Nespotřebovaný materiál je z 98% opět využitelný. Pro výrobu modelu touto technologií je možno využít větší množství materiálů jako je kov, pryž, plast nebo keramický písek. Schéma metody je znázorněno na Obr. 13.

Postprocessing je nezbytnou součástí procesu výroby. Po vychladnutí a odstranění ze stavební komory je možné povrch brousit, tryskat nebo leštit. Lze jej také obrábět konvenčně jako standartní kovový materiál. Pokud je model z kovu, je možné provést žíhání. [19]



Obr. 13 Selective Laser Sintering. [19]

Technologie se uplatňuje při výrobě nástrojů, prototypových a malosériových forem. Modely vyráběné touto metodou jsou méně náchylné ke zbytkovému napětí následkem dlouhodobého vytvrzování a snadno složitelné z několika dílů. Nevýhodou je zejména energetická náročnost zařízení, dále pak menší přesnost ve srovnání s ostatními metodami. Přesnost je limitována velikostí jednotlivých částic materiálu.

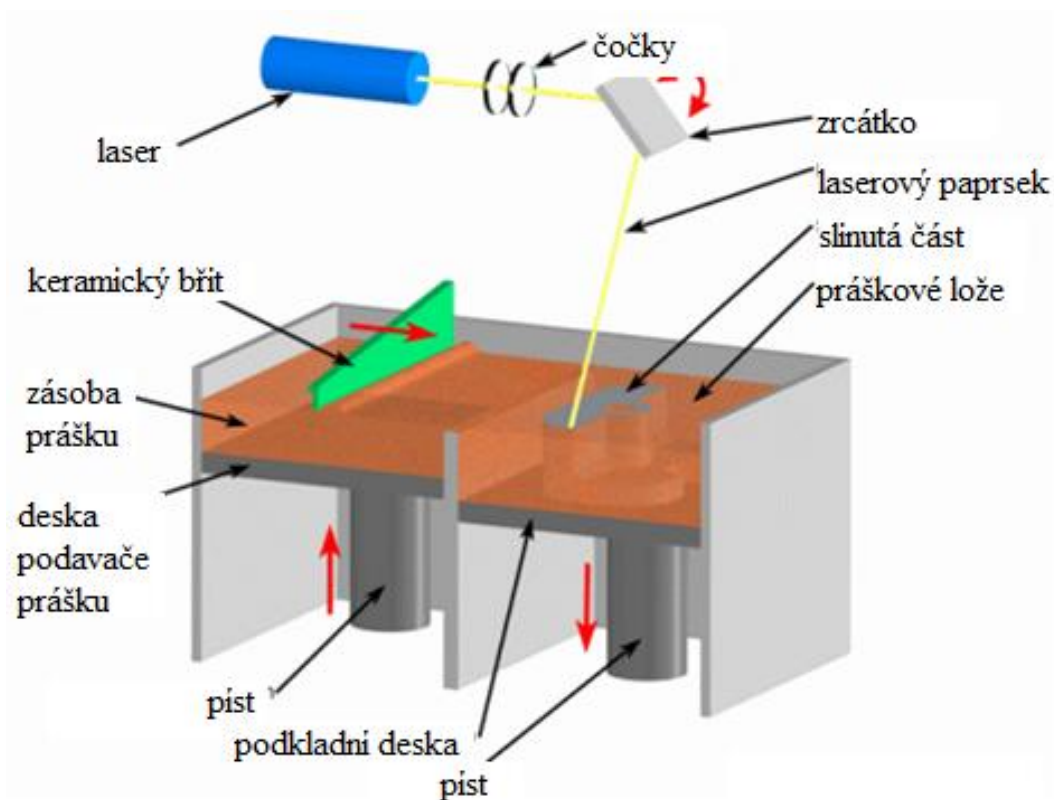
4.3.4 Direct Metal Laser Sintering (DMLS)

DMLS je podobná technologie jako Selectiv Laser Sintering. Podstatou je tavení velmi jemných vrstev kovového prášku laserovým paprskem. V současnosti jsou nejčastěji používány tyto kovové prášky:

- Martenzitická ocel EOS MS 1.
- Slitina bronz-nikl DM 20.
- Nerezová ocel EOS GP1.
- Kobalt Chrom EOS CC MP1.
- Ocel DS 20.

Výrobek je vytvářen na ocelové podkladní desce. Postupně jsou nanášeny jednotlivé vrstvy materiálu ve zvolené tloušťce. Vrstva může být tenká až 20 μm . Analogicky s metodou SLS laserový paprsek svým působením roztaví materiál, který následně tuhne. Roztavením je vrstva napojena k předchozí vrstvě. Další vrstva materiálu je nanášena pomocí keramického břítu. Celý proces se odehrává v ochranné atmosféře, kterou tvoří nejčastěji dusík, aby nedošlo k oxidaci jednotlivých vrstev. V některých případech je ochranná atmosféra tvořena argonem. Teplo je efektivně odváděno pomocí ocelové podkladní desky. Při výrobě je nutné vytvářet podpory. Metoda je zobrazena na Obr. 14.

Po dokončení výrobního procesu je nutné mechanicky odstranit podpory. Dokončovací operace jsou stejně jako u SLS nezbytnou součástí výroby. Je možné provádět také tepelné zpracování a následné konvenční obrábění. Výsledkem jsou velmi odolné, ale zároveň přesné komponenty. [19]



Obr. 14 Direct Metal Laser Sintering. [19]

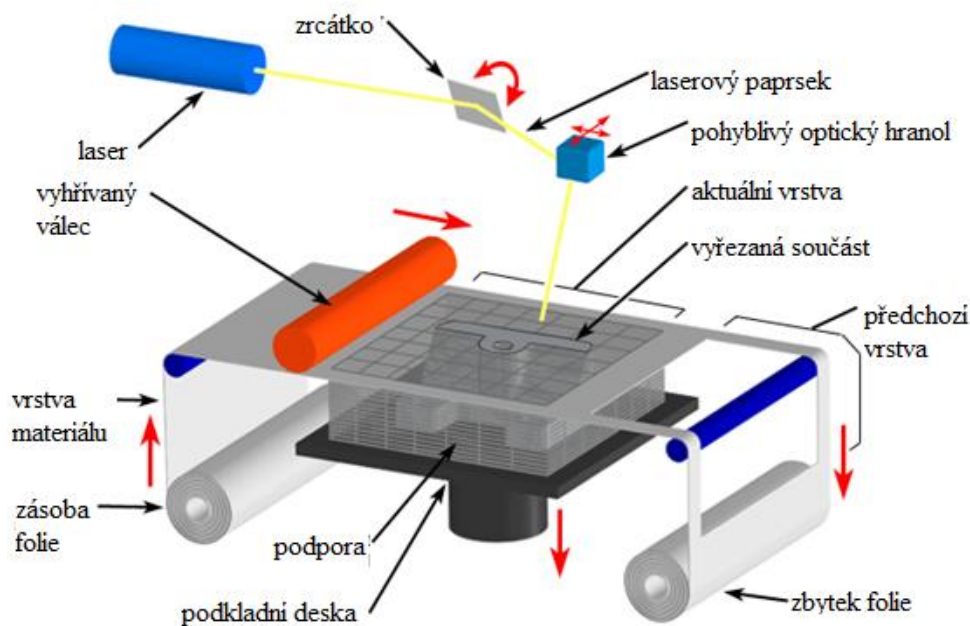
Metoda DMLS je nejčastěji používána pro rychlou výrobu přesných a plně funkčních prototypů. Je možné ji také kombinovat s klasickými výrobními postupy. V tomto případě se DMLS používá pro drobné části větších prvků, které jsou náročné na výrobu a přesnost. Nedostatkem je energetická a prostorová náročnost zařízení. [19]

4.3.5 Laminated Object Manufacturing (LOM)

Technologie tvoření objektu pomocí LOM spočívá ve vrstvení foliových materiálů. Mohou to být jak plasty, tak papír nebo keramika. Folie jsou opatřeny jednostranným adhezním nátěrem, který umožňuje spojovat jednotlivé vrstvy. Materiál je odvíjen z válcového podavače, který je navíjen na druhou stranu pracovní komory. Vrstvy jsou postupně přidávány na základovou desku pomocí zahřátí a stlačením materiálu lisovacím válcem. Účinky CO₂ laseru je do každé vrstvy vyřezán obrys

modelu. Data o tvaru obrysu jsou převzata z *.stl souboru. Zbytek každé vrstvy je rozřezán na hrubší síť, aby bylo usnadněno následné odstranění. Může však tvořit také podporu pro další vrstvy modelu. Schéma metody je znázorněno na Obr. 15.

Po dokončení výroby je materiál podpory mechanicky odstraněn. Modely mohou být povrchově upravovány. Pokud je použit papír, je možné model obrábět. Vlastnosti modelu připomínají dřevěný materiál. [19]

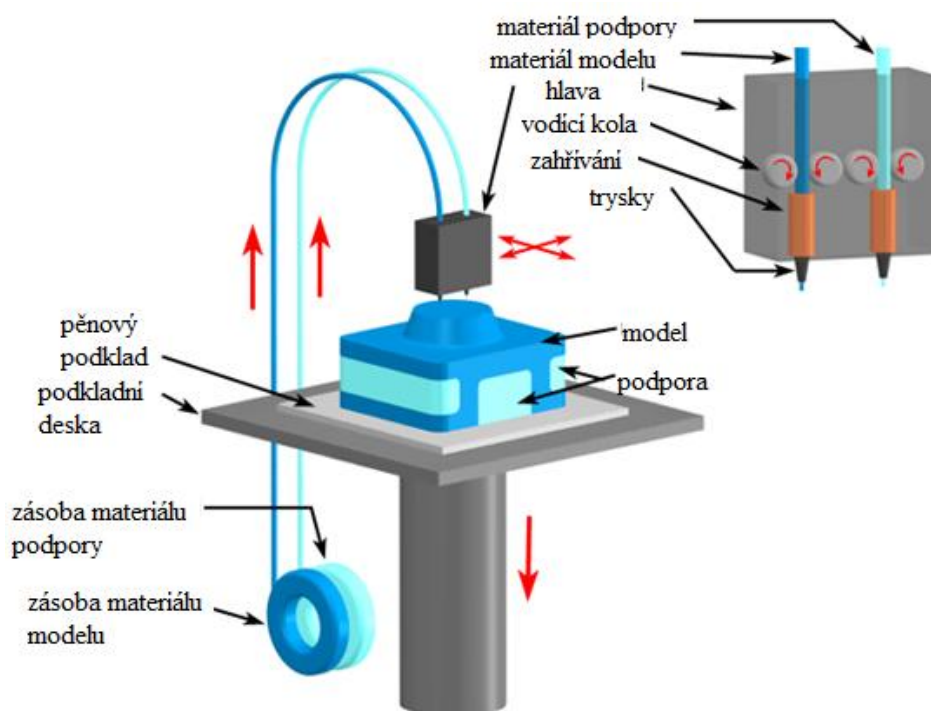


Obr. 15 Laminated Object Manufacturing. [3].

LOM se uplatňuje zejména pro tvorbu vizualizačních modelů díky příjemnému vzhledu materiálu. Široké uplatnění nalézají ve slévárenství – jako jádra pro pískové lití kovů nebo při výrobě vytavitelných modelů. Existují i modifikované metody, kdy je místo laseru používán mechanický nůž. Výhodami této metody je zejména přesnost a rychlost. [5]

4.3.6 Fused Deposition Modeling (FDM)

Metoda FDM pracuje na principu postupného nanášení materiálu. Ten je z vlákna navinutého na cívce vtlačován do vyhřívané trysky, která obsahuje odporové vytápění a udržuje plast těsně nad teplotou tání. Po průchodu tryskou tuhne na určeném místě. Jakmile hlava nanese celou vrstvu, podkladová platforma se sníží a začne nanášení další vrstvy. Technologie FDM používá vosk a zejména širokou škálu plastů jako polyethylen, polyamid, polykarbonát, polypropylen, včetně ABS plastu. Nejsou vyžadovány žádné speciální podmínky. Po dokončení výroby se podpory odstraňují mechanicky, nebo jsou chemicky vyplavovány speciálním roztokem. Výrobky lze dále obrábět i povrchově upravovat. Princip metody je znázorněn na Obr. 16. [19]



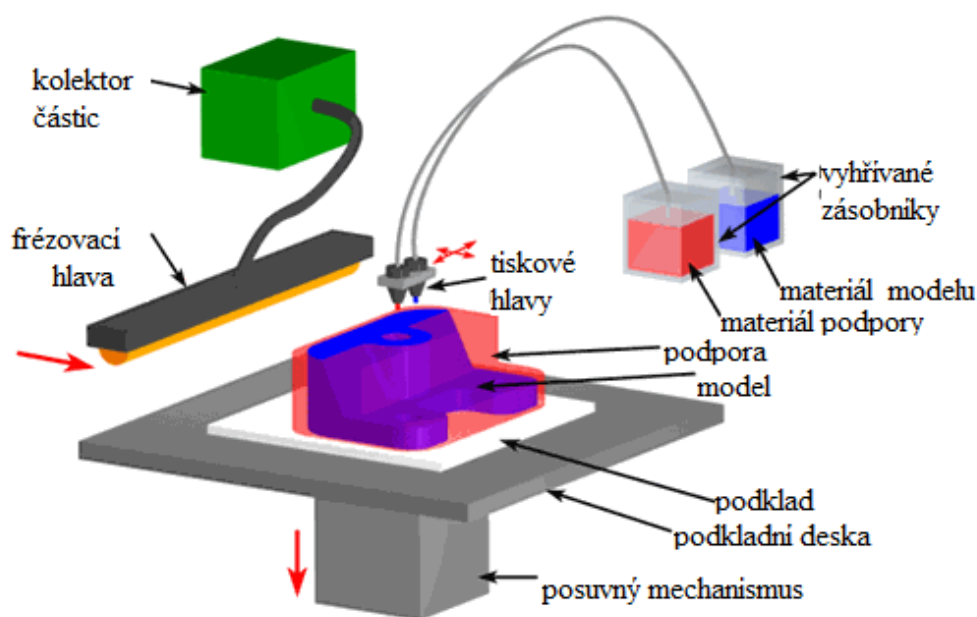
Obr. 16 Fused Deposition Modeling. [19].

FDM se nejčastěji využívá pro výrobu koncepčních a prezentačních modelů. Lze ji použít také jako prototypy pro analýzu návrhu a funkční testování. Díky pevnosti materiálu lze provádět na modelech také zátěžové zkoušky. Možnost využití konvenčních plastů činí tuto metodu velice atraktivní, protože jsou stabilní a odolné

vůči většině prostředí. Povrch modelu však nevykazuje tak dobré vlastnosti jako jiné metody. Důvodem je zejména limit pro velikost průměru trysky. Přesnost je také omezena smršťováním materiálu po dobu chladnutí. [3], [5]

4.3.7 Multi Jet Modeling (MJM)

Tato technologie se velmi podobá metodě FDM. Je využíván opět princip postupného nanášení vrstev termopropylenu s tím rozdílem, že tisková hlava obsahuje 352 trysek. Materiál je v tryskách taven a tuhne ihned po nanesení na podkladní desku. Jednotlivé trysky jsou umístěny vedle sebe na celkové šířce 200 mm. Množství a souřadnice nanášeného materiálu určuje řídicí software. Po vytvoření jedné vrstvy se podkladní deska sníží a postup se opakuje. Schéma metody je zobrazeno na Obr. 17. [9], [19]



Obr. 17 Multi Jet Modeling. [19].

Výhodou velkého počtu trysek je rychlý postup výroby. Mezi nevýhody patří omezená volba materiálu, ale zejména menší přesnost. [3]

5 Výroba objektu metodou Fused Deposition Modeling

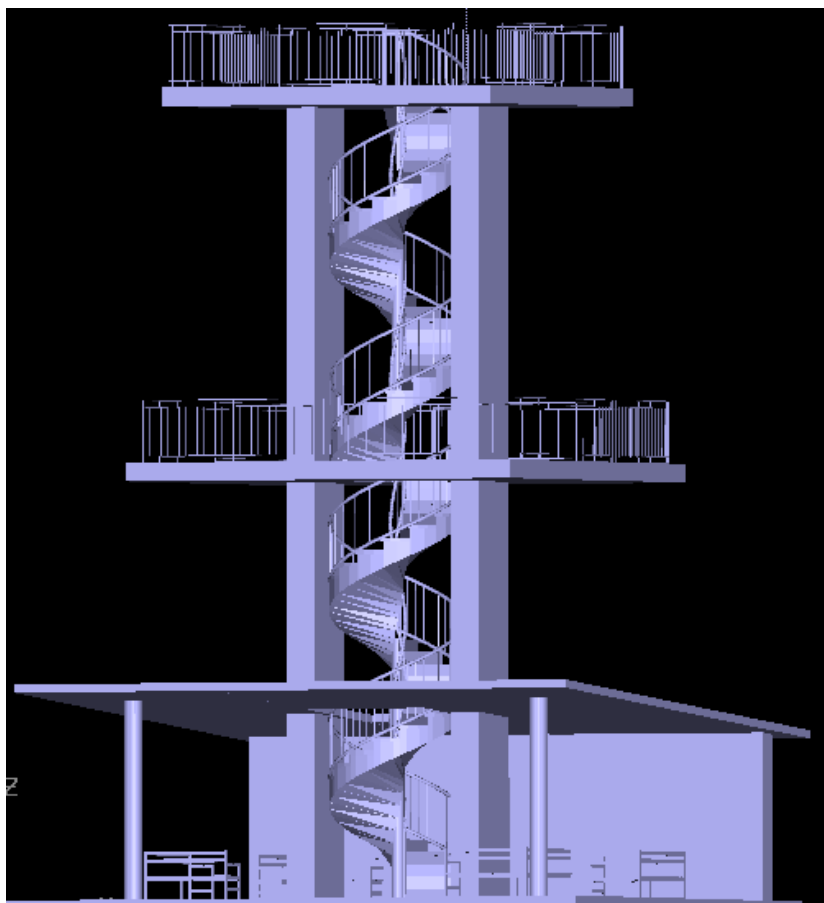
Součástí této bakalářské práce byla také výroba modelu pro účely vizualizace metodou Fused Deposition Modeling. Snahou bylo, aby zvolený objekt co nejvíce postihoval všechny aspekty, kterými je tato technologie charakteristická.

5.1 Kritéria výběru

Při výběru vhodného objektu pro účely vizualizace touto metodou, aby byla zvýrazněna většina vlastností této technologie, bylo třeba přihlédnout k několika hlediskům. Základním záměrem bylo konstruovat objekt, který by byl tvarově různorodý a poukazoval by na aspekty přesnosti této metody. Proto jsem se zaměřil na moderní architekturu, kde je umělecký výraz tvořen zejména tvarem a použitými materiály. Dalším zúžení výběru proběhlo na základě funkce stavby. Pro účely vizualizace byl zvolen objekt rozhledny.

5.2 Původní záměr

Pro první model jsem se nechal inspirovat rozhlednou stojící na hoře Smrk ležící v Jizerských horách. Jedná se o ocelovou konstrukci s dvěma vyhlídkovými plošinami. Na základě této dispozice byl vytvořen 3D model rozhledny také s točitým schodištěm a dvěma betonovými nosnými sloupy, jak je vidět na Obr. 18.



Obr. 18 Původní záměr.

Bohužel se ve fázi přípravy k tisku ukázalo, že model by musel být větší velikosti vzhledem k detailům objektu, kterými bylo zejména zábradlí, které je zastoupeno nejenom na schodišti, ale také na obou vyhlídkových terasách. Pro možnost kvalitního tisku by muselo být zvoleno takové měřítko, při kterém by realizace objektu byla finančně velice nákladná a pro účely prezentace nepříliš vhodná. Bylo tedy nutné pro tyto účely vybrat objekt, který by byl tvarově více konzistentní.

5.3 *Element House*

Pro návrh nového objektu jsem použil rozhlednu s názvem Element House, která patří mezi světové unikáty a je také dílem často publikovaným v přehledech moderní architektury posledních let. Tato rozhledna byla postavena v roce 2006 v Anyang parku v blízkosti jihokorejské metropole Soulu. Stavba leží na vrcholu malého zalesněného

kopce. Hlavním prvkem je velká ocelová krychle, která je potažena měděným plechem. K ní přiléhají v různých úrovních čtyři menší krychle, které symbolizují čtyři živly: voda v suterénu, půda v přízemí, oheň v prvním podlaží a vzduch ve druhém podlaží. Povrch bočních oddílů je tvořen světlým dřevem. Pro základy a suterén byl použit beton. Po praktické stránce má stavba funkci přístřešku pro turisty procházející parkem. [22]

5.3.1 Preprocessing

Pro konstrukci objektu byla rozhledna Element House použita pouze jako inspirace. Celkové rozměry jednotlivých částí byly změněny. Poměr velikostí hlavního traktu vzhledem k vedlejším byl zvolen 1:3. Při konstrukci objektu je nejprve nutné nadefinovat základní nosné konstrukce, které tvoří základní hmotu stavby. Rozměry hlavního traktu byly zvoleny na 9*9*9 m. Pro účely vizualizace jsem použil jako základ stavby základovou desku tloušťky 300mm. Pro vizualizaci bylo použito zobrazení ve výšce prvního nadzemního podlaží z důvodu stability objektu. Dále byly konstruovány boční trakty ve stanoveném poměru tedy 3*3*3 m. Při tvorbě jednotlivých částí je nutné definovat nejenom rozměry, ale také jednotlivým prvkům konstrukce přiřadit materiály, jak bylo popsáno v kapitole 3. Zde se ukázaly nevýhody oproti jiným programovým řešením. Barvy zvolených materiálů, jako byla měď nebo určité typy kamenných obkladů ve 3D zobrazení nepůsobí realistickým dojmem.

V další fázi je nutné přiřadit jednotlivé otvory, doplňkové konstrukce a další detaily stavby. Pro takto specifické účely je nevhodné do otvorů definovat prvky reálných typů. Další možností je umístění těchto prvku do skryté hladiny. Tisk takových to detailů ve zvoleném měřítku nebyl možný. Jednotlivé rozměry by již byly za hranicí technologických možností. Výhodnější je tedy ponechat nespecifikovaný prázdný otvor stanovených rozměrů. Do takových to otvorů lze následně doplnit materiál symbolizující skutečnost – zejména sklo, může zastoupit tenký čirý plast. To však v případě tohoto objektu nebylo třeba.

Po tomto kroku bylo nutné spojit jednotlivé úrovně pomocí schodiště. Největším problémem u tohoto typu stavby bylo nadefinovat optimální typ schodiště. Snahou bylo zvolit takový typ, který by při zvoleném měřítku byl technologicky realizovatelný. Byl tedy nadefinován takový, který obsahuje rozměry s menší štíhlostí samotných stupňů a zejména zábradlí. Následně byla provedena kontrola v programu CatalystEX, zda je navržený typ schodiště technologicky proveditelný. Výsledná vizualizace je zobrazena na Obr. 19. [17]



Obr. 19 Vizualizace Element House.

Po vymodelování celého objektu je možné provést vizualizace ve 3D zobrazení. V dalším kroku bylo nutné provést převedení formátu na formát *.stl. Převod byl proveden za použití programu Rhinoceros, jelikož ArchiCAD přímé uložení ve formátu *.stl neumožňuje.

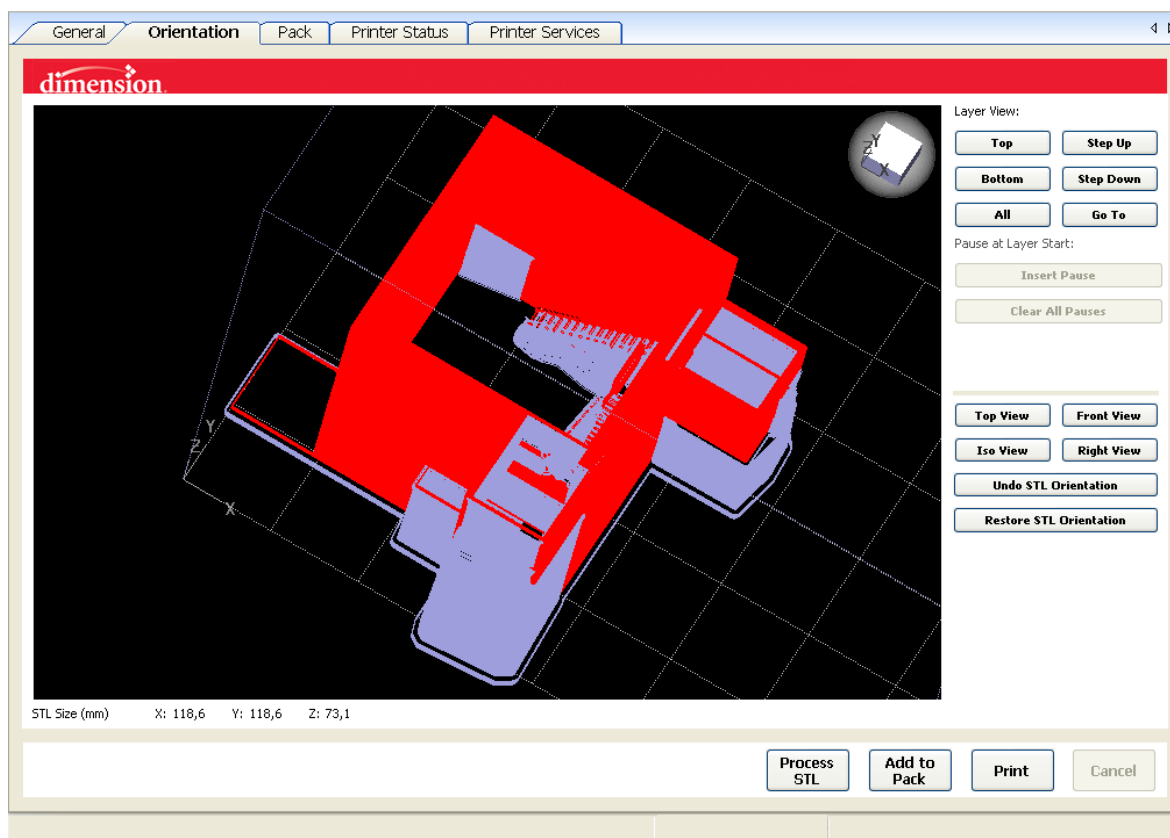
Po vytvoření formátu *.stl bylo třeba model upravit, aby data obsahovala co nejmenší množství chyb, které by mohly způsobit vady v modelu, zejména liniové absence materiálu. Ukázalo se, že množství chyb v datovém souboru je značné.

Důvodem byl zejména vícenásobný převod formátu a také počtem detailů vyskytujících se v oblasti schodiště. Zdrojem chyb jsou zejména překrývající se, převrácené nebo chybějící trojúhelníky v síti popisující tvar objektu – viz. kapitola 4. Chyby byly odstraňovány v programu RP *Mini Magics*. Tyto úpravy znamenají pouze úpravu dat. Pokud by nebyly chyby odstraněny, mohly by v modelu vzniknout plochy, které by nebyly vyplněny materiálem.

Dalším krokem byla příprava tisku, která probíhala v programu CatalystEX. Tato činnost představuje především polohování modelu v pracovním prostoru tiskárny (již ve zvoleném měřítku), určení kvality tisku a generování podpor. Při nastavení polohy pro tisk je možno také určit, která strana má být stranou podkladní. Na tomto určení závisí také množství generovaných podpor. Model po vygenerování podpor v programu CatalystEX je zobrazen na Obr. 20. V tomto případě bylo nejlepší ponechat model v základní poloze, která je shodná s výsledným postavením. V tomto programu je také možno sledovat informace o tisku samotném, jako je množství použitého materiálu a doba výroby. Tisk byl proveden v měřítku 1:75. Čas potřebný pro výrobu byl 9 hodin a 15 minut. Náklady na tisk jsou uvedeny v Tab. 3. Ceny jsou uvedeny včetně DPH.

Tab. 3 Cena tisku.

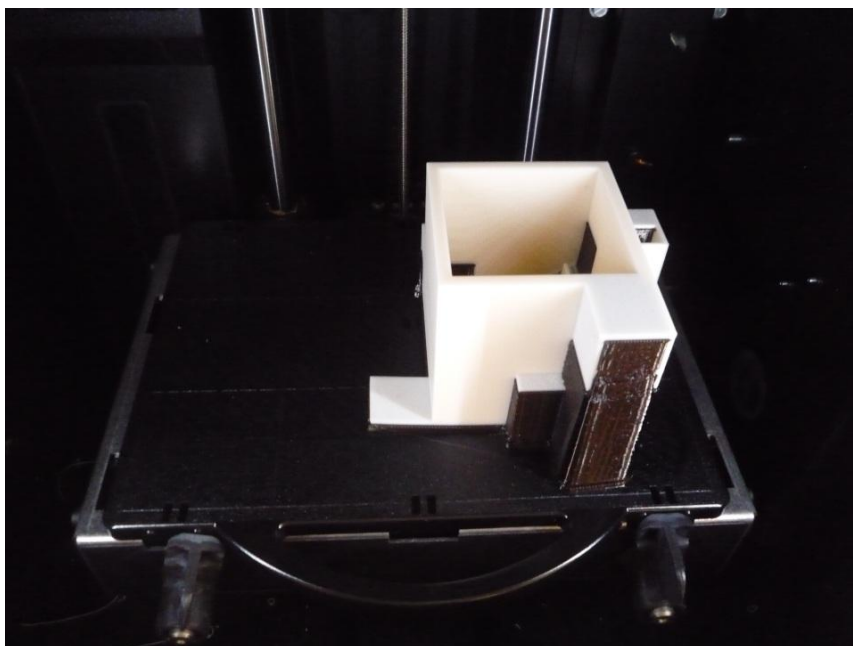
	Model	Podpora	Celkem
Materiál [cm³]	111,4	32,28	143,6
Cena [Kč]	1604,16	464,83	2069



Obr. 20 Generování podpor.

5.3.2 Processing

Výroba probíhala na tiskárně uPrint metodou Fused Deposition Modeling na Ústavu strojírenské technologie Fakulty strojního inženýrství Vysokého učení technického v Brně. Před tiskem samotným musí být komora temperována na provozní teplotu a je prováděna automatická kontrola (kalibrace) podkladní desky, zda je povrch rovný a lze tisk provést. Po těchto procesech je zahájen tisk samotný, kdy jsou nanášeny postupně jednotlivé vrstvy materiálu. Na Obr. 21 je uložení modelu v tiskové komoře po konci tisku.

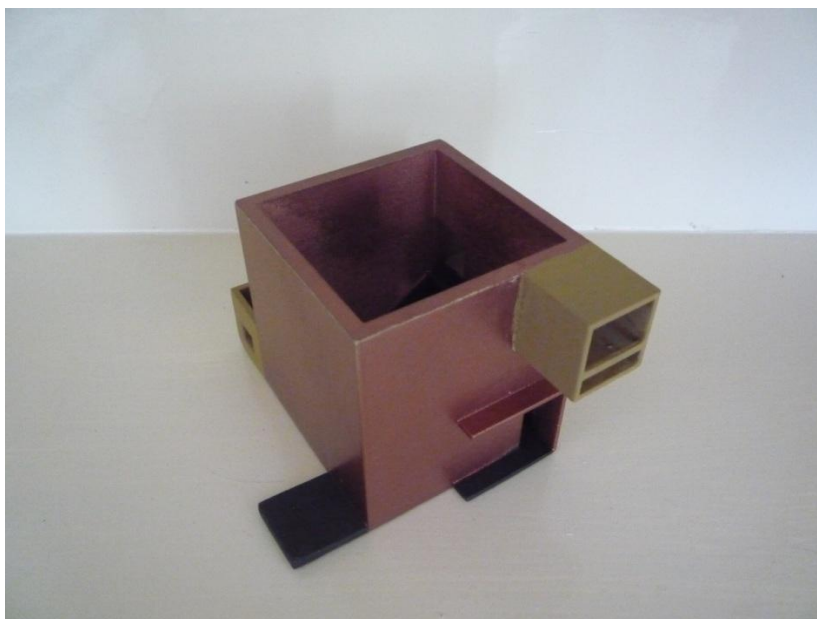


Obr. 21 Model po ukončení tisku v tiskové komoře.

5.3.3 Postprocessing

Po skončení tisku nastává fáze postprocessingu. Model je vyjmut z tiskové komory a odstraněn z podkladní desky. Následně je nutno provést odstranění ostatních podpor. Ty je možné odstraňovat mechanicky nebo rozpouštěním ve speciálním vodném roztoku. Odstraňování podpory v roztoku je urychlováno vložení do ultrazvukové čistící komory, kdy je proces urychlen cirkulací roztoku. Model byl v roztoku ponechán několik hodin, než byl materiál podpory kompletně odstraněn. Nepříjemným zjištěním však bylo, že i přes snahu vytvořit co nejméně subtilní tvar zábradlí schodiště nebylo v modelu zachováno. Pokud by tvořilo důležitou část modelu, bylo by třeba provést tisk ve větších rozměrech, což by mělo výrazný vliv na cenu modelu. Ostatní části byly vytvořeny bez znatelných chyb. Přílišné opotřebení platformy však znamenalo, že nebyla zachována základní podkladná rovina modelu. Tato chyba byla redukována v další fázi postprocessingu. Tou byla úprava a barvení povrchu modelu. Pro redukci křivosti podstavy byl použit tmel, který byl následně broušen. Dále byly nanášeny jednotlivé vrstvy nátěru. Jako základní vrstva byl použit nátěrový tmel, který byl ve formě spreje a byl nanášen v několika vrstvách, aby bylo docíleno rovnoměrného rozložení. Důvodem použití tmelu byla snaha o zmenšení

nerovností na povrchu modelu, které jsou způsobeny použitou technologií. Na takto upravený povrch již bylo možné nanášet vrstvy nátěru v různých barvách reprezentující různé materiály. Měděná barva byla aplikována také formou nástřiku, protože tvoří největší část ploch. Přes základovou barvu byly nanášeny modelářské barvy pro znázornění ostatních materiálů a povrchových úprav. Po těchto úpravách byl model připraven k prezentaci. Finální podoba je zobrazena na Obr. 22.



Obr. 22 Hotový prezentační model.

6 Závěr

Reálný model má stále své nezastupitelné místo v architektuře a to i přesto, že se stále více prosazují 3D vizualizace vytvářené v počítačových aplikacích. Při návrhu velkých budovních komplexů nebo při tvorbě urbanistických řešení však reálný model poskytuje vždy nejlepší pohled na celkové působení koncepce. V nejlepším případě je vhodné pro prezentační účely obě tyto metody aplikovat zároveň. Pro tvorbu reálných modelů se metoda Rapid Prototyping jeví do budoucnosti jako velmi progresivní. Hlavním důvodem pro toto tvrzení je, že v současnosti se většina projektů zpracovává v počítačovém softwaru, který je schopen převodu dat do formátu *.stl.

Výroba modelu pro prezentační účely metodou Fused Deposition Modeling se ukázala jako vhodná. Je však vždy nutné klást důraz na fázi postprocessingu, která je nezbytnou součástí výroby pro modely určené k těmto účelům.

Výhodou technologie Rapid Prototyping je zejména její přesnost, krátký čas výroby a dobré materiálové vlastnosti. Limitujícím faktorem může být velikost stavební komory. Hlavním omezením pro širší použití je ale vyšší cena takto vyrobených modelů. Náklady na výrobu by u menších zakázek představovaly řádově jednotky procent celkové ceny projektu, což by většina investorů nebyla ochotna akceptovat. Proto je využití této metody vhodné zejména u větších projektů, kde tato nákladová položka nehraje významnou roli. U těchto návrhů se naopak může stát model vyrobený metodou Rapid Prototyping důležitým pomocníkem při prezentaci a obhajobě projektu ve výběrovém řízení.

7 Seznam použité literatury

1. ACHTENA, H. *E-architekt.cz* [online]. 2004 [cit. 2011-05-25]. Nová role modelu. Dostupné z WWW: <<http://www.e-architekt.cz/print.php?PIId=599>>.
2. AIGEL, R. *Řízení průběhu zakázky organizací*. Brno, 2007. 84 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta podnikatelská.
3. *Custompartnet.com* [online]. 2009 [cit. 2011-05-18]. Additive Fabrication. Dostupné z WWW: <<http://www.custompartnet.com/wu/additive-fabrication>>.
4. DOLEŽAL, J., LACKO, B., MÁCHAL, P. A kolektiv. *Projektový management podle IMPA*. GRADA vyd. 2009. 512s. ISBN 978-80-247-2848-3
5. DRÁPELA, M. Modul Rapid Prototyping. *Příprava lektorů, konzultantů a učitelů dalšího profesního vzdělávání v oboru digitálního designu*. 2008, 44 s.
6. FRIMLOVÁ P. *Studie průběhu zakázky firmou*. Brno : Vysoké učení technické v Brně, Fakulta podnikatelská, 2007. 74 s.
7. GEBHARD, A. *Rapid Prototyping*, Hanser, 2003. 132 s. ISBN: 1-56990-281-X.
8. HOROVÁ I., CHVÁTALOVÁ Z. *ArchiCAD - Názorný průvodce* COMPUTER PRESS 1. vyd 2008 360 s. ISBN 80-2510-633-0
ISBN: 3-446-21259-0.
9. JACOBSON, D. M., RENNIE, A. E. W., BOCKING C. E. *In Proceedings of the 5th National Conference on Rapid Design, Prototyping, and Manufacture*. Professional Engineering Publishing, 2004, 112 p. ISBN 1860584659.
10. KOVANDA, L. Rozhovor s Robertem Solowem. *Týden* [online]. 2010, 35, [cit. 2010-10-12]. Dostupný z WWW:

<http://www.tyden.cz/rubriky/byznys/rozhovory/pokrok-pohreb-za-pohrbem_183048.html>.

11. MATUŠŮ, M. *Parametrické modelování v moderní architektuře*. CERM 2007. 125 s. ISBN 322-40-333-95.
12. MCAE Systems [online]. 2010 [cit. 2011-01-12]. Plastická bronzová mapa z roku 1645. Dostupné z WWW: <<http://www.mcae.cz/brno-1645>>
13. PÍŠA, Z., KEJDA, P., GÁLOVÁ, D. *Rapid Prototyping in Mechanical Engineering. In Proceedings of the Abstracts 12th International Scientific Conference CO-MA-TECH 2004*. Bratislava: STU, 2004. 160s. ISBN 80-227-2121-2.
14. PÍŠKA, M. a kolektiv. *Speciální technologie obrábění*. CERM 1.vyd. 246 s. 2009. ISBN 978-80-214-4025-8.
15. PLESKAČ, J., SOUKUP, L. *Marketing ve stavebnictví* GRADA, 2001 138 s. ISBN 80-247-0052-2
16. Plynetics.com [online]. 2000 [cit. 2011-05-26]. What is Rapid Prototyping? . Dostupné z WWW: <http://www.plynetics.com/rapid_prototyping.php>.
17. SEDLÁK, J., PÍŠA, Z. *Rapid Prototyping master modelů pomocí CAD/CAM systémů*. In Mezinárodní vědecká konference 2005. Ostrava: VŠB TU Ostrava, Fakulta strojní, 07.09.2005-09.09.2005. 30 s. ISBN: 80-248-0895-1.
18. SIMMONS T. M. *ArchiCAD krok za krokem*. GRAPHISOFT 1. vyd. 2003. 154 s. ISBN 83-7197-590-2.
19. STETZ, K. *Rapid prototyping study* [online]. 2009 [cit. 2011-05-25]. Dostupné z WWW: <<http://kylestetzip.wordpress.com/2009/05/>>.

20. TMS (The Minerals, Metals & Materials Society): *Rapid Prototyping of Materials*. The Minerals, Metals & Materials Society. 2002, 615 p. ISBN 0873395301.
21. VESELÝ, D. *Architektura ve věku rozdělené reprezentace*. ACADEMIA 1. vyd. 2008. 352 s. ISBN 978-80-200-1647-8
22. WELCH, A; LOMHOLT, I. *E-architect.co.uk* [online]. 2010 [cit. 2011-05-25]. Element house Korea: Architecture information. Dostupné z WWW: <http://www.e-architect.co.uk/korea/element_house_anyang.htm>.
23. ZELL, M. *Škola kreslení a modelování pro architekty*. SLOVART 1. vyd. 2009. 144 s. ISBN 978-80-7391-154-6

Seznam použitých zkratk

<u>Zkratka</u>	<u>Význam</u>
2D	Dvoudimenzionální
3D	Trojdimenzionální
ABS	akrylonitril-butadién-styrén
CAD	Computer Aided Design
CNC	Computer Numeric Control
DMLS	Direct Metal Laser Sintering
DPH	Daň z přidané hodnoty
ISO	Mezinárodní organizace pro standardy
LOM	Laminated Object Manufacturing
MJM	Multi Jet Modeling
RE	Reverse Engineering
RP	Rapid Prototyping
SGC	Solid Ground Cutting
SLA	Stereolitography
SLS	Selective Laser Syntering
TZB	Technické zabezpečení budov
UV	Ultrafialové záření
*.dwg	Datový formát pro 2D grafické editory
*.pln	Datový formát pro program ArchiCAD
*.psd	Datový formát pro program Photoshop
*.sgi	Datový formát pro program Rhinoceros
*.stl	Datový formát pro RP technologie

Seznam obrázků

Obr. 1 3D vizualizace.	13
Obr. 2 Plaketa Brno v roce 1645.....	15
Obr. 3 Model Kampusu Masarykovy univerzity.	15
Obr. 4 Půdorysné zobrazení.....	24

Obr. 5 3D okno - perspektivní zobrazení.....	25
Obr. 6 Nastavení prvku.....	26
Obr. 7 Paletka navigátor.	27
Obr. 8 Souřadnicová paletka.....	28
Obr. 9 Nastavení fotozobrazení.	28
Obr. 10 Schéma procesu RP. [5].....	31
Obr. 11 Stereolitografie. [3].....	35
Obr. 12 Solid Ground Cutting. [16].....	36
Obr. 13 Selective Laser Sintering. [19]	37
Obr. 14 Direct Metal Laser Sintering. [19].....	39
Obr. 15 Laminated Object Manufacturing. [3].	40
Obr. 16 Fused Deposition Modeling. [19].	41
Obr. 17 Multi Jet Modeling. [19].....	42
Obr. 18 Původní záměr.	44
Obr. 19 Vizualizace Element House.....	46
Obr. 20 Generování podpor.	48
Obr. 21 Model po ukončení tisku v tiskové komoře.....	49
Obr. 22 Hotový prezentační model.....	50

Seznam tabulek

Tab. 1 Životní cyklus projektu stavby.	16
Tab. 2 Přehled základních metod RP.....	33
Tab. 3 Cena tisku.	47