

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta strojní

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



3D tisk v architektuře

Bakalářská práce

Studijní program: B2301 – Strojní inženýrství
Studijní obor: 2301R000 – Strojní inženýrství

Autor práce: **Maksym Borysenko**
Vedoucí práce: Ing. Petr Zelený, Ph.D.



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Maksym Borysenko**
Osobní číslo: **S17000380**
Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Strojní inženýrství**
Název tématu: **3D tisk v architektuře**
Zadávací katedra: **Katedra výrobních systémů a automatizace**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Hlavním cílem této práce je provést rešerši stávajícího stavu uplatnění 3D tisku v oblasti výroby budov či stavebních prvků budov. Dále vypracovat technologii a provést návrh zařízení pro 3D tisk budov.

Doporučené metody pro vypracování:

1. Seznámit se s technologií 3D tisku a zařízeními v laboratořích katedry.
2. Provést analýzu současného stavu využívání 3D tisku pro stavbu budov.
3. Provést studii stavu výzkumu v této oblasti.
4. Na základě analýzy a studie navrhnout vhodnou technologii.
5. Vytvořit koncept zařízení pro realizaci v laboratořích katedry.

Rozsah grafických prací: dle potřeby
Rozsah pracovní zprávy: 40 stran textu včetně příloh
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická
Seznam odborné literatury:

- [1] NOORANI, R.: Rapid Prototyping: principles and applications. John Wiley and Sons, 2006, ISBN 0-471-73001-7
- [2] JACOBS, P. F.: Stereolithography and other RP and M technologies: from rapid prototyping to rapid tooling. ASME Press, 1996, ISBN 0-87263-467-1
- [3] GIBSON, I. - ROSEN, D. W. - STUCKER, B.: Additive Manufacturing Technologies: Rapid Prototyping to Direct Digital Manufacturing. Springer, 2010, ISBN 978-1-4419-1119-3

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Petr Zelený, Ph.D.
Katedra výrobních systémů a automatizace

Konzultant bakalářské práce: Ing. Petr Keller, Ph.D.
Katedra výrobních systémů a automatizace

Datum zadání bakalářské práce: 1. března 2018

Termín odevzdání bakalářské práce: 1. září 2019

prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld
děkan



Ing. Petr Zelený, Ph.D.
vedoucí katedry

V Liberci dne 1. března 2018

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum:

Podpis:

Anotace

3D tisk je technologie, s jejíž pomocí se prostřednictvím specifického zařízení vytvářejí trojrozměrné objekty z vhodného materiálu. Tisk po vrstvách je řízen ovládací elektronikou na základě programové předlohy. Cílem bakalářské práce je provést rešerši stávajícího stavu uplatnění 3D tisku v oblasti výroby budov či stavebních prvků budov, vypracovat technologii a provést návrh zařízení pro 3D tisk budov. V práci budou představeny technologie 3D tisku, přehled dostupného softwaru a hardwaru, použitelných materiálů a návrh vhodné technologie 3D tisku.

Klíčová slova:

3D tisk, technologie, bakalářská práce, tisk budov.

Abstrakt

3D printing is a technology which by using a specific devices produce three dimensional objects from a suitable material. Print by layers is controlled by the control electronics based on the original data. The aim of the thesis is to investigate the current state of application of 3D printing in the field of production of buildings or building elements, to develop technology and to design equipment for 3D printing of buildings. In the thesis will be present 3D print technology, an overview of available software and hardware, usable materials, design of suitable 3D printing technology.

Key words:

3D print, technology, bachelor thesis, buildings print.

Poděkování

Děkuji Ing. Petru Zelenému, Ph.D. za pomoc při vedení bakalářské práce. Mé poděkování patří též Ing. Andrijovi Shynkarenkovi za spolupráci při získávání údajů pro výzkumnou část práce.

Obsah

Prohlášení	3
Anotace.....	4
Abstrakt	4
Obsah.....	7
Seznám obrázků	9
Seznám tabulek	10
1. Úvod	11
1.1 Cíle bakalářské práce.....	12
1.2 Východiska	12
2. Teoretická část.....	13
2.1. Historie 3D tisku.....	13
2.2. Technologie 3D tisku.....	13
2.2.1. Vytlačování materiál. (Material Extrusion).	13
Fused Deposition Modelling	13
2.2.1.1. <i>Dimension sst 768</i>	14
2.2.2. Nanášení tryskáním (Material Jetting)	16
PolyJet	16
2.2.3. Tryskání pojiva (Binder Jetting)	16
ColorJet Printing	16
2.2.4. Laminace plátů (Sheet lamination)	17

Laminated Object Manufacturing	17
2.2.5. Fotopolymerace (Vat Photo - polymerization).....	18
Stereolitografie	18
2.2.6. Spékání práškové vrstvy (Powder Bed Fusion)	19
Selective Laser Sintering.....	19
2.2.7. Přímé energetické nanášení (Directed Energy Deposition)	20
Laser Engineered Net Shaping	20
2.3. Typy 3D tisku budov.	21
2.4. TOP-6 3D tisku ve stavebnictví.....	24
2.4.1. WinSun, Čína	24
2.4.2. Apis Cor, Rusko	25
2.4.3. ProTo R 3Dp a RC 3Dp, CyBe Additive Industries, Nizozemsko	26
2.4.4. Batiprint3D, Francie	29
2.4.5. DCP, MIT, USA	32
2.4.6. BetAbram P1, P2 a P3, Slovinsko.....	33
3. Praktická část.....	36
3.1 Koncept zařízení pro realizace v laboratořích katedry	36
4 Shrnutí	44
5 Závěr.....	46
6 Seznám použitých zdrojů	47

Seznám obrázků

Obrázek 1. Fused Deposition Modeling [1]	14
Obrázek 2. Prodigy [3]	15
Obrázek 3. Dimension sst 768 [3]	15
Obrázek 4. PolyJet [16]	16
Obrázek 5. ColorJet Printing [16]	17
Obrázek 6. Laminated Object Manufacturing [16]	18
Obrázek 7. Stereolitografie [16]	19
Obrázek 8. Selective Laser Sintering [16]	20
Obrázek 9. Laser Engineered Net Shaping [16]	21
Obrázek 10. Konstrukce 3D tiskárny přímého tisku [24]	22
Obrázek 11. Konstrukce 3D tiskárny Cazza [17]	22
Obrázek 12. Konstrukce 3D tiskárny CNC [18]	23
Obrázek 13. WinSun, Čína [13]	24
Obrázek 14. Apis Cor, Rusko [19]	25
Obrázek 15. CyBe Additive Industries, Nizozemsko [14]	27
Obrázek 16. Budova v Dubaji [14]	29
Obrázek 17. Batiprint3D, Francie [15]	29
Obrázek 18. Stavba domu v Nantes, 2017 [15]	30
Obrázek 19. Tisk pěnou [15]	31
Obrázek 20. Stavba prorotypového domů [15]	31
Obrázek 21. Stavba prorotypového domů [15]	32

Obrázek 22. DCP, MIT, USA [21].....	33
Obrázek 23. BetAbram P1, P2 a P3, Slovinsko [22].....	34
Obrázek 24. Návrh uhlového robotu pro 3D tisk	36
Obrázek 25. Robot s extruderem na hlavě	37
Obrázek 26. Pracovní plocha stroje.....	38
Obrázek 27. Výtah s hydraulickým pohonem	39
Obrázek 28. Podvozek s pásy.....	40
Obrázek 29. Extrudér	40
Obrázek 30. Tisk otvorů.....	41
Obrázek 31. Řízení robota.....	41
Obrázek 32. Směšovací systém	42
Obrázek 33. Čerpadlo.....	43

Seznám tabulek

Tabulka 1. Porovnání 3D tiskáren.....	35
Tabulka 2. Specifikace robota	45

1. Úvod

3D tisk je aditivní způsob výroby součástí, který se v posledních letech rychle rozvíjí. Spočívá v postupném nanášení materiálu na tiskovou podložku a tvorbě výsledné součásti vrstvu po vrstvě. Vývoj nových metod aditivní technologie sebou přináší i nové možnosti výroby a také možnost použít jiné materiály. Běžnými materiály pro 3D tisk jsou polymery a kovy v různých podobách. Méně používané jsou kompozitní materiály, které ale mohou díky synergickému účinku jednotlivých fází kompozitu nabídnout vlastnosti jinak nedosažitelné. Kompozitní materiály jsou nejčastěji tvořeny dvěma fázemi, matricí a výztuží. Účelem matrice v kompozitu je přenos zatížení na výztuž a ochrana kompozitu proti vnějším vlivům. Kompozitní materiály jsou výhodné hlavně díky nízké hmotnosti i při dosažení dobré pevnosti. Používají se v letectví, kosmonautice nebo závodních automobilech. Oblast 3D tisku kompozitních součástí je zastoupena především tiskem kompozitů s krátkými vyztužujícími vlákny.

Lidstvo má obrovské příležitosti, které pomohou lidem provést průlom v úplně odlišných segmentech života od medicíny a dokončování průzkumu vesmíru. Bakalářská práce se zaměří především na 3D tisk domů. Hlavními výhodami 3D stavitelství jsou rychlost (vývojáři odhadují, že kompletní dům by mohl být postaven za méně než 20 hodin), nízká cena a také energetická nenáročnost nové stavby, neboť zeď postavená z betonové směsi nebude potřebovat další tepelnou izolaci. Technologie výroby trojrozměrných objektů formou tisku spočívá na principu lepení vhodného materiálu ve vrstvách, nanášeného tiskovou hlavicí. Proces je řízen počítačem na základě 3D modelu. Tato technologie si postupně prošlapává cestu v mnoha odvětvích od strojního průmyslu, přes medicínu až po gastronomii. [2].

V teoretické části bakalářské práce budou představeny technologie a typy 3D tisku.

V praktické části budou provedeny analýzy současného stavu využívání 3D tisku pro stavbu budov a studii stavu výzkumu v této oblasti. Na základě analýzy a studie bude představen návrh vhodné technologie a vytvořen koncept zařízení pro realizace v laboratořích katedry.

1.1 Cíle bakalářské práce

Cílem bakalářské práce je provést rešerši stávajícího stavu uplatnění 3D tisku v oblasti výroby budov či stavebních prvků budov, vypracovat technologii a provést návrh zařízení pro 3D tisk budov. V práci budou představeny technologie 3D tisku, přehled dostupného softwaru a hardwaru, použitelných materiálů a návrh vhodné technologie 3D tisku. V rámci bakalářské práce bude provedena analýza současného stavu využívání 3d tisku pro stavebnictví a studii stavu výzkumu v této oblasti. Na základě analýzy bude vytvořen koncept zařízení pro realizaci v laboratořích katedry.

1.2 Východiska

Mým cílem je zpracovat technologii 3D tisku v laboratořích katedry se zaměřením na využití v oblasti stavebnictví. 3D tisk je jedna z nejkomentovanějších 3D technologií posledních let. Mimo využití v technickém, zdravotnickém a designovém průmyslu nachází také uplatnění pro stavbu domů. Můj výzkum se zaměří především na 3D tisk obytných nebo skladových prostor, zemědělských skladů, farem a domů obecně. Představte si dům, který by byl postaven během dne bez velkých nákladů, nebo most přes řeku v nedostatečně rozvinuté části zeměkoule, ať už je to nepřípustný luxus nebo silo pro skladování zrna, vodní stanici nebo celou kolonii mimo naši planetu. V tuto chvíli existuje všechno (kromě kolonií na jiných planetách), které fungují. Neexistuje však žádný zlatý prvek, každá technologie má své vlastní plusy a minusy, a nebylo nalezeno optimální řešení. Nebo technologie sama o sobě bude drahá nebo materiály pro ni, nebo ne prospěšné provozní podmínky.

2. Teoretická část

2.1. Historie 3D tisku

3D tisk rozhodně není technologie stará desítky let. Její historie se začala psát až ve druhé polovině 20. století, konkrétně v roce 1986, kdy si Charles Hull nechal patentovat technologii stereolitografie. Jedná se o metodu, která se používá k vytváření objektů pomocí postupného vytvrzování polymerů. Využívá se při tom různých vlnových délek - nejčastěji však UV záření. Stereolitografie spočívá v trojrozměrném laserovém tisku s využitím UV laseru a tekutého fotopolymeru.

Na konci 90. let Hull vytvořil první zařízení pro širokou veřejnost, které dokázalo tisknout ve 3D formátu. Jednalo se o stereolitografický aparát SLA-1, který představoval formu 3D tiskárny, byť se jako 3D tiskárna v té době ještě neoznačoval. Modely SLA z tehdejší doby se však staly základem pro rozvoj současných 3D tiskáren nebo také CNC strojů. První model, který byl nabídnut veřejnosti, nesl označení SLA-250 a model StereoLithography Apparatus SLA-1 si dnes můžete prohlédnout ve Fordově muzeu v Dearborn v Michiganu. [1].

2.2. Technologie 3D tisku

Norma ISO/ASTM 52900:2015 rozděluje aditivní výrobu do 7 výrobních procesů. [4].

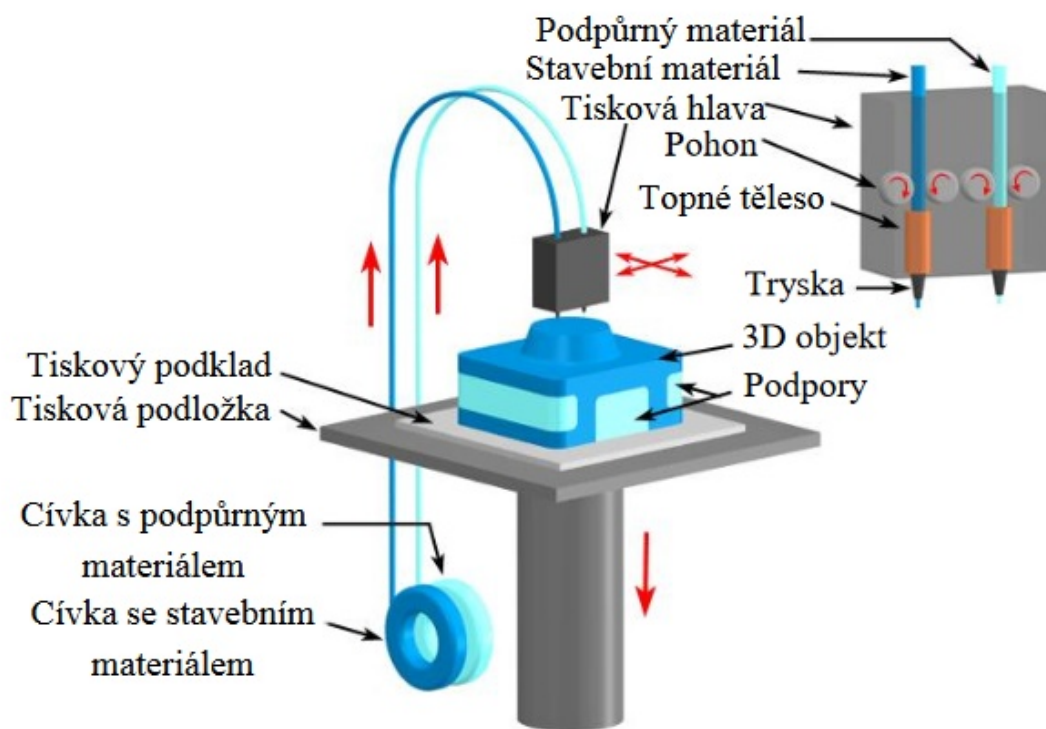
2.2.1. Vytlačování materiál. (Material Extrusion).

Fused Deposition Modelling

Technologie, kterou má patentována firma Stratasys od roku 1992. V dnešní době se jedná o nejrozšířenější metodu 3D tisku, kterou si oblíbila velká komunita lidí z celého světa díky dnes už velmi rozšířeným levným tiskárnám a projektu RepRap. Projekt s cílem vyrobit výrobní stroj (3D tiskárnu), který je sestaven ze součástek vyrobených na jiném stroji projektu RepRap. Jedná se o replikaci součástí pro vytvoření dalších strojů. Projekt se zasloužil o rozšíření 3D tiskáren mezi širokou veřejnost díky cenově dostupným řešením. Kvůli patentovanému názvu technologie je pro stejnou technologii používáno označení Fused Filament Fabrication. [5,12].

Princip této technologie je znázorněn na Obr. 1 a spočívá v tavení materiálu. Vstupní materiál je filament (vlákno v nekonečné délce namotané na cívce), který je dodáván do tiskové hlavy, kde je ohříván nad teplotu tání. Poté je vytlačován tryskou, která nanáší taveninu na tiskovou podložku. Na tiskové podložce materiál chladne. Tisková hlava se pohybuje v ose X a Y a nanáší materiál na určené místo. Takto je nanесena jedna vrstva, podložka klesne o výšku vrstvy a tisková hlava nanáší další vrstvu až je vrstva po vrstvě

vytvořen celý model. Způsobů uspořádání a pohybů tiskové hlavy a podložky je několik. Často je užíváno dvou různých materiálů, jeden je stavební a druhý podpůrný. Podpůrný materiál je používán pro tisk podpor a po tisku je mechanicky nebo chemicky odstraněn. Materiálem pro tuto technologii jsou termoplasty [16].



Obrázek 1. Fused Deposition Modeling [1]

Výhody této technologie spočívají ve velkém množství materiálů, které lze pro tisk použít. Při tisku vzniká minimum odpadu, případný podpůrný materiál lze odstranit vodou apod. Výhodou je také velký tiskový objem. Nevýhodou je špatná kvalita výsledného povrchu, která je dána minimální výškou vrstvy. Ta se pohybuje okolo 0,1 mm. Výsledná přesnost výtisku je ovlivněna velikostí trysky a výškou vrstvy.

Na katedře Technické Univerzity využíváme technologii Rapid Prototyping (3D tisk) již od roku 2001 a v roce 2008 proběhla inovace zařízení. Jedná se o stroj firmy Stratasys Dimension sst 768, který je určen pro rychlou výrobu modelů a prototypů metodou FDM.

2.2.1.1. *Dimension sst 768*

Zařízení pro rychlou výrobu pevných funkčních ABS modelů metodou FDM. Maximální rozměry modelů jsou 203 x 203 x 305 mm. Modely větších velikostí než je pracovní prostor zařízení lze rozdělit na více dílů a ty následně slepit. [3].



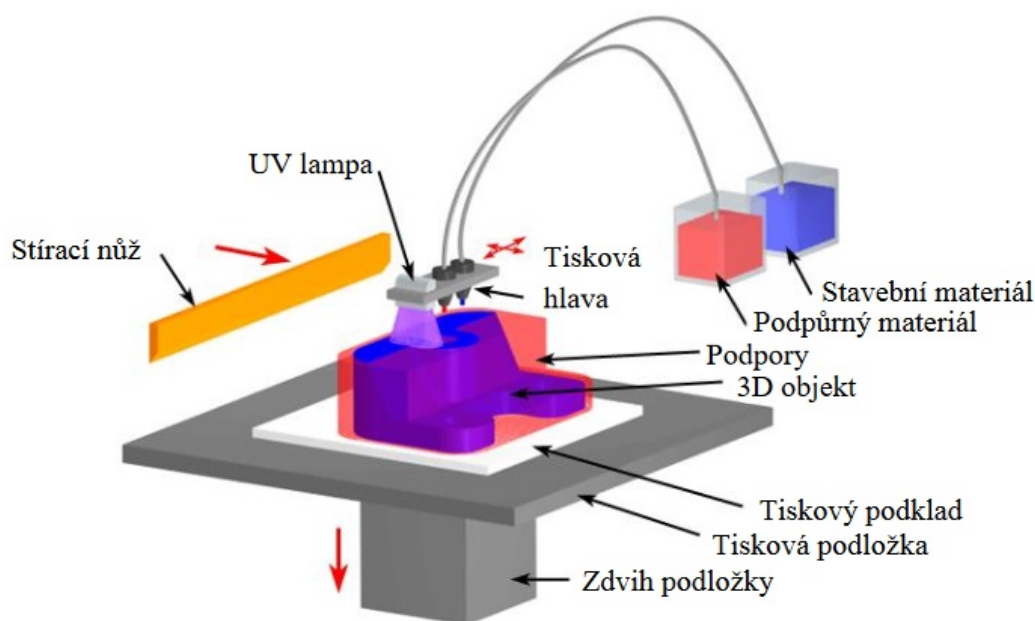
Obrázek 2. Prodigy [3]



Obrázek 3. Dimension sst 768 [3]

2.2.2. Nanášení tryskáním (Material Jetting)

PolyJet



Obrázek 4. PolyJet [16]

3D tisk technologií PolyJet je velice podobný klasické inkoustové tiskárně na papír. Tiskárna obsahuje dva materiály (stavební a podpurný materiál, viz Obr. 4). Materiál je nanášen na tiskový podklad pomocí tiskové hlavy, která obsahuje velké množství trysek, a tak může nanášet větší šířku materiálu najednou. Trysky nanášejí malé kapky materiálu a ihned po nanesení je materiál vytvrzen UV lampou. Materiálem tiskárny je fotopolymér, podpurný materiál je odstranitelný mechanicky nebo vodou.

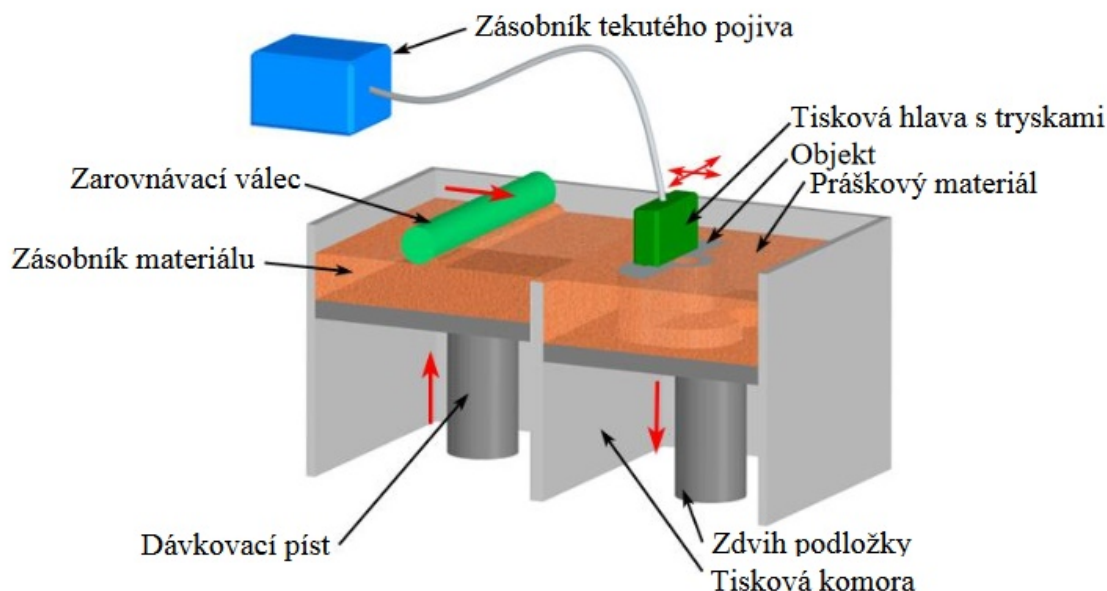
Technologie PolyJet poskytuje vysokou kvalitu vytištěných součástí. Výška vrstvy může být až 0,014 mm (Stratasys J750), což má za následek dobrou finální kvalitu povrchu. Technologie je rychlejší než stereolitografie, protože najednou je nanášena širší vrstva materiálu podle šířky tiskové hlavy. K dispozici je velký výběr materiálů a jejich barev. Jistou nevýhodou této technologie je odstraňování podpor, které musí být odstraněny tlakem vody. [5,6,16].

2.2.3. Tryskání pojiva (Binder Jetting)

ColorJet Printing

Technologie aditivní výroby, která nanáší tiskovou hlavou pojivo a tím spojuje práškový materiál (Obr. 5). Pojivo má čtyři barvy CMYK pro dosažení barevného spektra.

Jakmile je tisk hotový, nespojený prášek je vysán a může být použitý pro další tisk. Podle účelu je možné výsledný model ponechat bez následných úprav nebo povrchově upravit pro dosažení delší životnosti barevných odstínů. Používaným práškovým materiálem je VisiJet PXL.



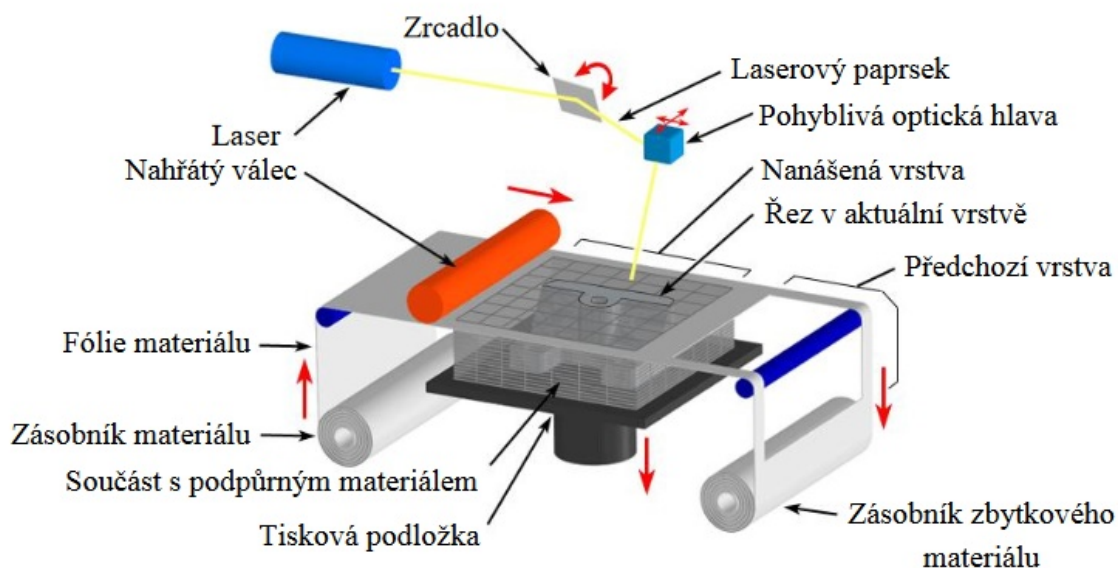
Obrázek 5. ColorJet Printing [16]

Výhodou metody je rychlý tisk, protože tisková hlava nanáší širokou vrstvu pojiva. Vrstva vznikne během několika sekund. Metodu je možné použít v širokém odvětví průmyslu pro návrh produktů a díky barevnému výslednému objektu je snazší posoudit výsledný dojem. Nevyužitý materiál je možné znovu použít. Na druhou stranu výsledné objekty nemají velkou pevnost a povrch objektu je často nedostačující a potřebuje následný postprocessing (fáze úpravy modelu, která následuje po výrobě) [5,7,16].

2.2.4. Laminace plátů (Sheet lamination)

Laminated Object Manufacturing

Materiálem pro tuto technologii je jakýkoliv typ tenké fólie, nejčastěji používaná je fólie papírová (může být ale použita i tenká kovová nebo plastová fólie). Fólie má z jedné strany nanesenou tenkou vrstvu lepidla, které je aktivováno teplem. Samotný tisk začíná navinutím nové vrstvy materiálu na tiskovou podložku, následně je nahřátým válcem aktivováno lepidlo. Tím je vrstva fólie spojena s tiskovou podložkou. Pak je CO₂ laserem vyřezán do fólie obrys součásti a tím je jedna vrstva hotová. Bod řezu je řízen pomocí pohyblivé optické hlavy (viz Obr. 6).



Obrázek 6. Laminated Object Manufacturing [16]

Proces pokračuje přetažením nové vrstvy fólie, válcem je fólie přilepena k předchozí vrstvě a laserem je vyřezána nová vrstva. Materiál, který bude po tisku odstraněn, je laserem nařezán na menší části. Tento proces nevyžaduje zvláštní podpory, protože podpory zajišťuje zbytkový materiál. Po tisku se zbytkový materiál mechanicky odstraní a součást je hotova.

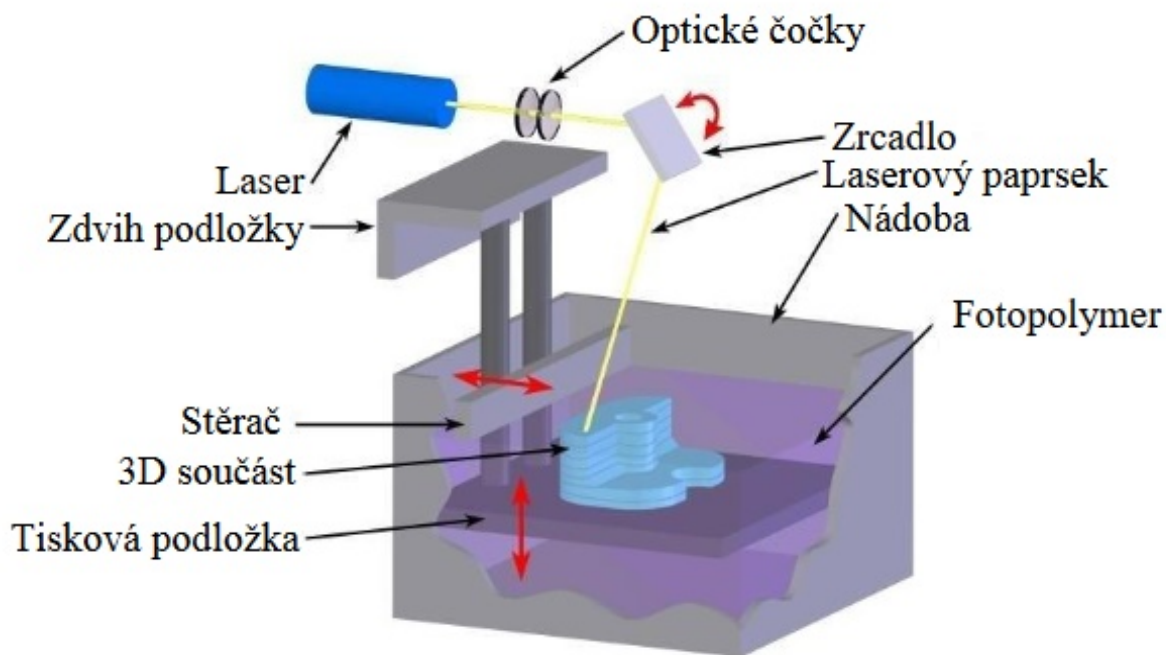
Výhody tisku spočívají v možnosti použití nejrůznějšího materiálu, který je vyroben ve formě tenké fólie a lze řezat laserem. Další výhodou je rychlý čas tisku a vysoká přesnost dána přesností polohování laseru. Nevýhodou metody je špatná tvorba tenkých stěn a časově náročné odstranění zbytkového materiálu. [5, 8,16].

2.2.5. Fotopolymerace (Vat Photo - polymerization)

Stereolitografie

Stereolitografie je nejstarší metoda 3D tisku. První tiskárna této technologie byla prodávána už v roce 1988. Technologii vlastní společnost 3D Systems. Proces této metody začíná naplněním nádoby tekutým fotopolymerem (viz Obr. 7).

Následně je tisková podložka vysunuta pod povrch hladiny fotopolymeru o vzdálenost výšky první vrstvy. Ovládáním zrcadla je postupně ozářena jedna vrstva. Jakmile je celá vrstva ozářena, posune se tisková podložka o výšku vrstvy dolů směrem do nádoby tak, aby vytvrzený povrch zalil tekutý fotopolymer. Následně je ozařována další vrstva. Takto se pokračuje, až je vyroben celý objekt. Pro některé objekty je potřeba tisknout podpory, které jsou po tisku mechanicky odstraněny.



Obrázek 7. Stereolitografie [16]

Výhody této metody spočívají v dobré přesnosti tisku. Díky malému průměru laserového paprsku můžeme dosáhnout větších detailů a tisknout malé objekty. Výsledná kvalita povrchu je dobrá, protože výška vrstvy může být až 0,03 mm. Nevýhodou této metody je nutnost podpor pro složitější objekty, postprocessing pro odstranění nechtěného materiálu a někdy je zapotřebí objekt dodatečně vytvrdit pro lepší soudržnost. Jedná se o časově náročnější metodu [9,16].

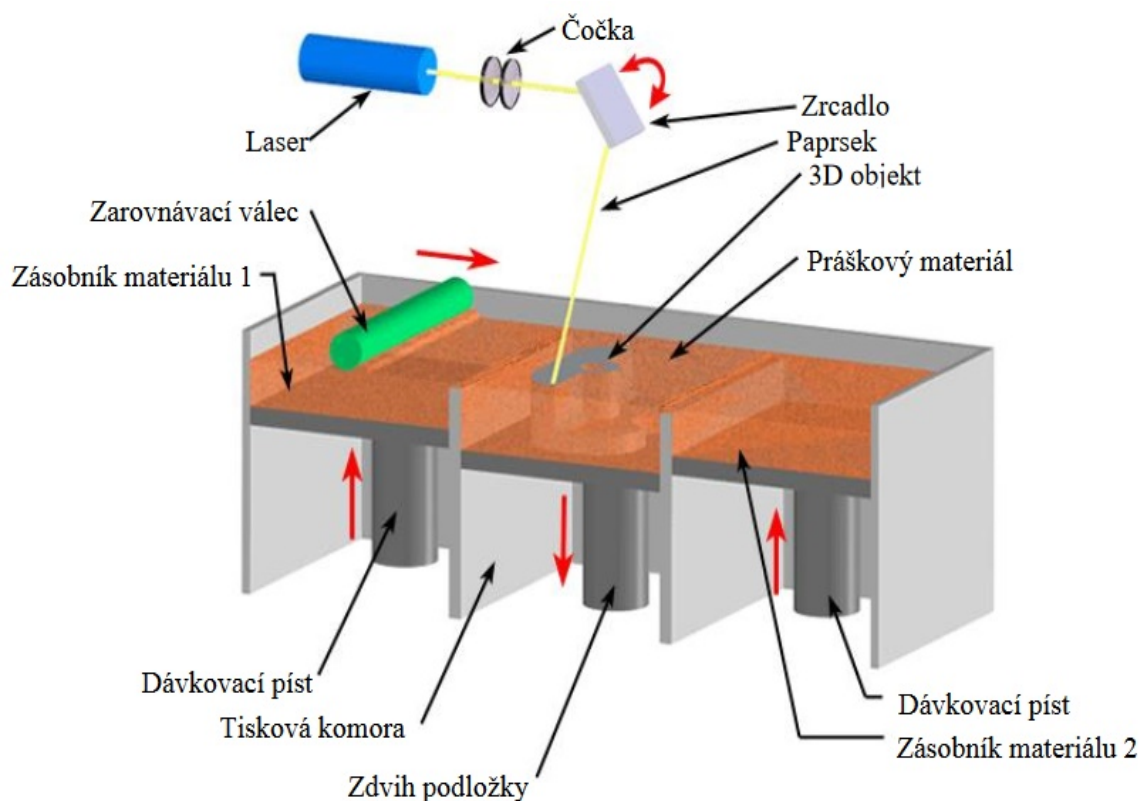
2.2.6. Spékání práškové vrstvy (Powder Bed Fusion)

Selective Laser Sintering

Technologie SLS je jednou z nejstarších metod 3D tisku. Dnes tuto technologii vlastní společnost 3D Systems, nicméně na velmi podobném principu existují také tiskárny jiných firem. Práškový materiál může být polymerový nebo kovový.

Stavebním materiálem je polymerní prášek nebo kovový prášek s povrchovou úpravou. Působením laserového paprsku je nataven povrch prášku. Při výrobě nedochází k úplnému tavení a tím je zamezeno stékání materiálu mimo požadovanou plochu. Polohování paprsku zajistí spečení celé vrstvy výsledného objektu. Zarovnávací válec následně nahrne tenkou vrstvu nového prášku do tiskové komory a další vrstva může být spékána. Schéma metody je na Obr. 8.

Touto metodou je možné vytvářet funkční modely díky široké nabídce materiálů, které lze použít (nylon, polykarbonát, kov, keramika, atd.). Technologie nepotřebuje podpůrný materiál, protože tím je samotný nenatavený stavební materiál.



Obrázek 8. Selective Laser Sintering [16]

Nevýhodou jsou větší zástavbové rozměry tiskárny kvůli zásobníkům materiálu a vyšší spotřeba energie. Výsledný povrch objektu má horší kvalitu závislou na velikosti částic prášku [10,16].

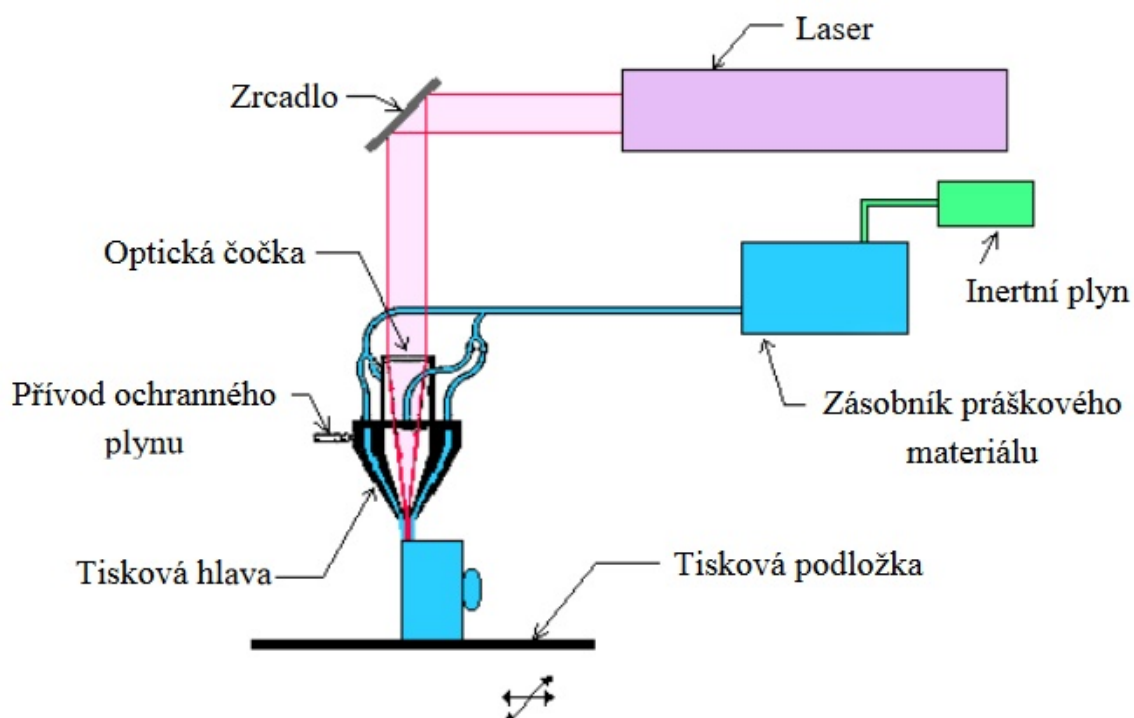
2.2.7. Přímé energetické nanášení (Directed Energy Deposition)

Laser Engineered Net Shaping

Technologie LENS využívá pevný Nd-YAG laser s výkonem přibližně 750 až 1000 W pro tavení prášku. Laserový paprsek je ostřen do místa tisku. Inertním plynem je dopravován kovový prášek a pomocí trysek je směřován do ostřeného laserového paprsku, kde je následně taven a nanášen na předchozí vrstvu. Celá tisková komora je hermeticky uzavřena, aby bylo zabráněno oxidaci nataveného materiálu.

Metoda je používána pro nanášení kovu v hybridních obráběcích strojích a může být také použita pro opravy součástí. Výhodou technologie je široké spektrum kovových

materiálů ve formě prášku, lepší materiálové vlastnosti v porovnání s odlitkem a materiálová úspora díky nulovému odpadnímu materiálu. Nevýhodou metody je nižší přesnost a horší kvalita povrchu [5,11, 16].



Obrázek 9. Laser Engineered Net Shaping [16]

2.3. Typy 3D tisku budov.

Z celého seznamu 3D tisku existujících zařízení, můžeme zařízení rozdělit na 3 typy:

1) Přímý tisk

Nevýhody:

- čas instalace
- omezení v oblasti budovy

Výhody:

- rychlost tisku
- nepřetržité dodávky materiálu



Obrázek 10. Konstrukce 3D tiskárny přímého tisku [24]

2) Robotika

Kolem zastavěného prostoru jde robotický stroj, který tvoří tisk.

Nevýhody:

- rychlost tisku
- nestabilní dodávka materiálu
- Riziko poškození robota

Výhody:

- mobilita
- práce v nestandardních podmínkách



Obrázek 11. Konstrukce 3D tiskárny Cazza [17]

Robotická 3D tiskárna Cazza je schopná budovat komerční budovy, domy, vily a další jedinečné struktury. Roboti kombinují rozsáhlý trojrozměrný tisk s tradičními metodami konstrukce, jejichž cílem je urychlit stavbu, a zároveň jsou šetrnější k životnímu prostředí a hospodárnější.

"Možnosti 3D tisku se stále ještě zkoumají a je to neuvěřitelně vzrušující podílet se na této technologii. Věříme, že architektura je největším slibem, pokud jde o efektivitu a schopnosti. Chceme revoluci ve stavebnictví pomocí destruktivních technologií, čímž budeme bezpečnější, rychlejší, ekonomičtější a šetrnější k životnímu prostředí." Toto je citace tvůrce tohoto stroje a chtěl bych dodat, že tento přístup je nezbytný pro průlom v jakékoliv zajímavé oblasti [17].

3) CNC (Computer numerical control)

Stroje naprogramované pro konkrétní akce (kladení cihel, instalace pilot a tkd.).

Nevýhody:

- programován pro konkrétní akci

Výhody:

- automatizovaný proces, který snižuje náklady



Obrázek 12. Konstrukce 3D tiskárny CNC [18]

Nechtěl bych tuto technologii odkazovat na konkrétní 3D tisk, ale na proces automatizace výroby. Jako řešení stavebního problému by to šetřilo peníze a čas na stavbu. Tento robot pracuje o 500% rychleji než lidé (viz Obrázek 12). Podle zprávy Zero Hedge se 3000 cihel sníží na cenu 3,8 centů za jednu cihlu. Momentálně je v USA minimální mzda 13 eur za hodinu, tento robot umožní pro firmy získat 7x levnější výkon, než lidská síla.

Programování CNC obráběcích strojů je perspektivní a žádaná oblast, na níž se v současné době klade velký důraz v průmyslové praxi. Pomocí CNC strojů ve spojení se systémy CAD/CAM lze dosáhnout vysoké kvality a přesnosti vyráběných dílů. Katedra zajišťuje výuku a školení programování moderních CNC strojů firem Mazak a Emco (5osé obráběcí centrum, soustruh, frézka). [18].

2.4. TOP-6 3D tisku ve stavebnictví

V současné době existují TOP-6 3D tiskárny.

2.4.1. WinSun, Čína

První místo v seznamu je přímo společností Shanghai WinSun Shanghai Design Engineering Co. Čínská 3D tiskárna WinSun je pevná konstrukce - 150 metrů dlouhá, 10 metrů široká a více než 6 metrů vysoká. WinSun dokáže vytisknout budovu až 6 metrů během několika hodin. Pro tisk budov používá tiskárna WinSun směs stavebního odpadu, včetně skla, oceli a cementu.[13].



Obrázek 13. WinSun, Čína [13]

Prvních deset budov firma vytiskla v roce 2014. Každý z nich stojí o něco více než 3425 eur. Postupně se zlepšila technologie a společnost vyrobila pro výstavu v průmyslovém parku v čínské provincii Jiangsu několik různých budov, z nichž nejvyšší měla pět pater. Cena těchto domů začínala na 114 140 eurech. Během výstavy a po ní společnost obdržela několik stovek objednávek, a to i od egyptské vlády.

Výstavba budov pomocí systému WinSun je o 50% levnější než klasické stavební metody, úspora materiálu činí 60%, úspora práce - 80%.

Objednávky tiskáren WinSun nyní pocházejí z různých zemí - pouze Saúdská Arábie zakoupí 100 tiskáren s plány vytisknout 1,5 milionu domácností. Existují dohody se Spojenými Arabskými Emiráty. V roce 2016 zde byla postavena budova z prvků vytištěných v Číně na tiskárně WinSun.

2.4.2. Apis Cor, Rusko

V prosinci 2016 ve městě Stupino byl realizován společný projekt americké společnosti Apis Cor a šesti ruských firem. Pomocí 3D tiskárny vyvinuté společností Apis Cor byl vytištěn dům. Tisk samonosných stěn a příček budov trvá 24 hodin. Po dokončení tisku je tiskárna odstraněna jeřábovým manipulátorem. Rozloha budovy činí 38 metrů čtverečních, tiskne se přídatnou technologií, vrstvou po vrstvě. Za zmínku stojí, že poprvé v ruské stavební praxi byl dům vytištěn jako celek a nebyl sestaven z tištěných panelů.



Obrázek 14. Apis Cor, Rusko [19]

Pro demonstraci flexibilních schopností zařízení byla vybrána poměrně komplikovaná forma domu a stavba byla provedena v nejchladnější době roku. Tiskařské vybavení odolává mrazu až do -35 stupňů, ale použití betonové směsi pro tisk je možné pouze při teplotách nejméně +5 stupňů Celsia, takže konstrukce byla provedena pod plachtou, pod kterou byl udržován požadovaný teplotní režim.

Tiskárna je navržena jako miniaturní věžový jeřáb, je schopna tisknout jak uvnitř, tak uvnitř budovy. Malá velikost tiskárny umožňuje vyhnout se problémům s přepravou, nevyžaduje dlouhou přípravu na práci. Jednou z funkcí je vestavěný automatický vyrovnávací systém podél horizontu a stabilizační systém.

Náklady na výstavbu tištěného domu "na klíč" činily 9000 eur nebo asi 240 eur za metr čtvereční. Pokud by byl tvar budovy obdélníkový, cena za metr by klesla na 196 eur.

Inženýr-vývojař vybavení, generální ředitel a zakladatel Apis Cor je rodák z Ruska, Nikita Dmitrievich Chen-Yun-Tai.

Výhody 3D tiskárny Apis Cor [19]:

- Automatický systém míchání a napájení.
- Instalace tiskárny trvá 30 minut. Předběžná příprava místa není nutná. Produkce je bezproblémová, na staveništi nejsou odpadky.
- Volný výběr tloušťky a konfigurace stěny.
- Dům udržuje teplotu lépe kvůli vzduchovým mezerám ve stěnách.
- V důsledku speciálních přísad do betonové směsi není dům ovlivněn povětrnostními podmínkami.
- Náklady na dům jsou nižší než náklady na jeho analog, vytvořený z betonu tradičními technologiemi.
- Stěny mohou být dodatečně izolovány vhodnými materiály.

Specifikace:

- Vlastní software
- Pro ovládání práce a dodávky materiálu se vyžaduje 2 osoby
- Zóna tisku - 132 metrů čtverečních
- Materiál pro tisk – beton nebo geopolymer
- Rozměry tiskárny jsou $4 \times 1,6 \times 1,5$ m
- Hmotnost - 2 t
- Spotřeba energie - 8 kWh
- Maximální výška zvedání z jednoho místa - 3100 mm
- Produktivita - 100 m² plochy za den
- Pracovní rychlost pojezdu - 1-10 m / min
- Rychlost bez zatížení X / Y - 20.000 mm / min
- Přesnost polohování - $\pm 0,5$ mm
- Přesnost přesunu - 0,1-0,2 mm
- Pohon v ose X / Y / Z - Servopohon
- Lineární vodítka pro osy X / Y - Precizní profil
- Přesnost osy Z je 0,1-0,2 mm
- Automatická horizontální stabilizace - vysoce přesný inklinometr 0,0001 stupňů
- Reverzní spínače - bez kontaktů na všech osách
- Sledování místa tisku v prostoru - gyroskop a laserový dálkoměr
- Stabilizace prostoru - PID regulátor

2.4.3. ProTo R 3Dp a RC 3Dp, CyBe Additive Industries, Nizozemsko

"Stavebnictví je jedním z hlavních spotřebitelů zdrojů a producentů oxidu uhličitého ve světě. Snažíme se změnit konstrukční paradigma a věříme, že 3D tisk bude hrát důležitou roli při vytváření ekologičtějších a efektivnějších budov. Aditivační technologie nám umožňují

snížit úroveň produkovaného odpadu a použité materiály lze recyklovat na konci životního cyklu, "říká konzultantka Arup Guillermo Carra. [14].

V Nizozemsku byl vyvinut 3D manipulátor pro konstrukci tiskárny ProTo R 3Dp. Umí vytvářet různé návrhy libovolného tvaru ze speciálního betonu. Vývojáři - společnost CyBe Additive Industries.



Obrázek 15. CyBe Additive Industries, Nizozemsko [14]

Prototyp zařízení má rozměry 3,15 mm je schopen vytlačovat cement rychlostí 200 mm/s. Průměr tiskové hlavy je 30 mm, tloušťka každé vrstvy cementu je 30 mm. K zařízení lze připojit několik vytlačovacích hlav a pak lze zvýšit rychlost tisku na 4000 mm/s. V současnosti se vyvíjí vývoj napájecího mechanismu, který může snížit tloušťku vrstvy na 5 mm.

Vývojáři argumentují, že s R 3Dp se může snížit pracovní a stavební odpad. Kromě toho bude čas strávený na stavbě budovy snížena na 80% díky kombinaci návrhu, vývoje a výroby v jediném systému.

Zajímavostí není ani tak samotná 3D tiskárna, jako spíš materiál používaný pro tisk - konkrétní řešení CyBe MORTAR, vyvinuté také společností CyBe Additive Industries ve spolupráci se svým partnerem. Složení betonového řešení je uchováno v tajnosti, ale zástupci

společnosti tvrdí, že to ztvdne během několika minut. Tato funkce umožňuje výrazně zrychlit proces zvedání stěn. Podle vývojářů se při použití tohoto betonu vrací do atmosféry o 32% méně oxidu uhličitého ve srovnání s běžným betonem, což činí materiál šetrnější k životnímu prostředí. Navíc je beton CyBe plně recyklovatelný.

Pomocí R 3Dp je možné vytvořit bednění, stěny, podlahy a mnoho dalšího. Nyní společnost vyvíjí mobilní verzi 3D-tiskárny - RC 3Dp na prolézacím stroji. Vývojáři předpokládají, že s touto úpravou bude možné mimo jiné tisknout vysoké stěny (až 4,5 m) a tlakové kanalizační potrubí.

Specifikace:

- Software CyBe ARTISAN, CyBe CHYSEL
- Materiálový pěstební materiál CyBe
- Rozsah je 2750 mm
- Rychlost tisku - 200 mm / s
- Spotřeba betonu je přibližně 1,5 kg / m / 40 mm.
- Počet náprav - 6
- Sít' - Místní sít'
- Certifikáty - certifikát CE
- Služba - kompletní servis a podpora vzdělávání. Vzdálená pomoc
- Pro ovládání práce a dodávky materiálu se vyžaduje 2 osoby
- Napájení: Elektřina, 380V [20].

Co je zahrnuto:

- Hardware manipulátor
- Systém směšovacího čerpadla
- Řídící jednotka s rozhraním

V Nizozemsku pomocí řešení CyBe Construction plánují vybudovat malé komplexní konferenční centrum s rozlohou 90 metrů čtverečních.

Řada evropských podniků spojila své síly s realizací demonstračního projektu 3D tisku obytného domu, který byl načasován na výstavě Milan Salon Internazionale Del Mobile. Stěny jsou postaveny pomocí originální mobilní 3D tiskárny vyvinuté holandskou společností CyBe.

V létě 2017 roku CyBe úspěšně dokončil další projekt - výrobu 3D tiskových bloků pro montáž pilotní budovy v Dubaji o rozloze 168 m2. [14].



Obrázek 16. Budova v Dubaji [14]

2.4.4. Batiprint3D, Francie

Univerzita v Nantes ve spolupráci s Nantes Digital Sciences Laboratory (LS2N) vyvíjí projekt pro tiskárny na 3D tiskárně známou jako Yhnova.



Obrázek 17. Batiprint3D, Francie [15]

Projekt využívá metodu vyvinutou univerzitou - Batiprint3D - 3D tisk "zevnitř". Jedna stěna z polyuretanu se střídá s druhou stěnou a poté se mezi ně nalije beton.

Výsledný návrh je inverzní verzí tradiční stěny. Projekt Yhnova je výstavbou pěti pokojového společenského bydlení s obloukovitými stěnami a zaoblenými rohy, navrženými architektonickou firmou TICA. Podle vývojářů zkrátí Batiprint3D stavební dobu, zlepší tepelnou izolaci a sníží náklady na výstavbu. Budova je plně certifikována.

Rotační rameno Batiprint3D dokáže tisknout struktury vysoké až 7 metrů a plocha plánovaného domu je 95 m². Stavba domu v Nantes začala v září 2017.



Obrázek 18. Stavba domu v Nantes, 2017 [15]

Během října 2017 v 3D stavebnictví se dozvědělo několik zajímavých nových projektů, mezi kterými je možné zmínit tiskový dům za 3400 eur od uvedení do provozu nový příběh a „první evropský 3D-tištěný domů“, který byl předložen v Miláně inženýrskou společností Arup. Nyní v blízkosti města Nantes (Francie) byl dům otevřen, jehož stěny byly také vytvořeny pomocí 3D tiskárny. [15].

3D tisk se používá nejen pro vytváření plastových modelů, ale i pro průmyslové účely. Například pomocí již vtištěných leteckých motorů a plány na spuštění raket, a nedávno čínský výrobce uvedl, že se chystá vstoupit na masový trh tištěnými elektrickými 8500 eur. Kromě toho je možné částečně nebo úplně vytisknout domy na 3D tiskárně, a někteří budovy byly již vytvořeny jako experiment. Již existují společnosti nabízející výstavbu těchto domů v průmyslovém měřítku.



Obrázek 19. Tisk pěnou [15]

Typicky takové tiskárny používají beton nebo maltu a okamžitě tisknou z nich pevný základ budovy ve formě pevné nebo dvojité stěny.[15].



Obrázek 20. Stavba prorotypového domů [15]

Stavba prototypového domu byla zahájena v září roku 2017. Pro jeho vybudování inženýři používali na mobilní platformě průmyslového robota. Jedná se o velký manipulátor, na jehož konci je upevněn extrudér pro montáž pěny. Během práce robot aplikoval pěnu podle 3D modelu budovy, do které byla pěna vložena. Po zhotovení byly stěny zpevněny dřevěnými stropy a byly instalovány střechy a vloženy rámy dveří a oken.

V důsledku této stavby inženýři vytvořili koncem března letošního roku pětipokojový jednopatrový dům o rozloze 95 metrů čtverečních. Předpokládá se, že v červenci 2018, budou jako součást programu pro sociální bydlení, vybráni obyvatelé, pro tento nový dům. [15].



Obrázek 21. Stavba prorotypového domu [15]

Specifikace:

- Velikost tiskárny (sestavená): 1,5m * 2m * 1m
- Hlasitost tisku: NA3
- Rychlost tisku: 0,2 m / s4
- Tloušťka vrstvy: 50 mm
- Přesnost (odhad): Robotický pohyb: 1 mm; Včetně hmotného systému: několik centimetrů
- Hlava pro nanášení: Jedna tryska, vytlačování pod tlakem
- Struktura: Robotická ruka
- Pohyb: Kola, stopy a osy rotace
- Tvar svobody: 2.5
- Hmotnost: Není k dispozici
- Spotřeba energie: Není k dispozici
- Požadovaný personál: Jedna osoba [20].

2.4.5. DCP, MIT, USA

Výzkumníci z Massachusetts Institute of Technology (MIT) se snažili prokázat, že jejich prototyp mobilní Digital Construction Platform (DCP) pracuje efektivně. Postavili stěnu o výšce 15 metrů a průměru 3,6 metrů. Stěna byla zpevněna pomocí montážní pěny po dobu 13 hodin.

DCP je velký hydraulický jeřáb s pásovým podvozkem. Jeřáb má čtyři stupně volnosti. Na jeho konci je manipulátor se šesti stupni volnosti, který může být volitelně nahrazen řadou různých nástrojů, termoplastického extrudéru, svařovacího stroje, nebo hadicí. Podle vývojářů může DCP pracovat s betonem, ledem, půdou a polyuretanovou pěnou. 36750 kilogramový systém pracuje díky solárním panelům.



Obrázek 22. DCP, MIT, USA [21]

Podle vývojářů je toto zařízení DCP ideální pro všechny stavební projekty. Vývojový tým tvrdí, že lis může také použít řadu biologických materiálů - jako je např. seno. Také lze používat polyuretanovou pěnu, půdu, led, beton. DCP však ještě není připraven pracovat na skutečných staveništích. Tým chce vybavit svůj systém fotobuňkou, která zvýší bezpečnost používání systému.[21].

2.4.6. BetAbram P1, P2 a P3, Slovinsko

Slovinská společnost BetAbram vyvíjí 3D tiskárny pro výstavbu od roku 2012. V současné době je produktová řada omezena na tři modely - P1, P2 a P3. Tyto 3D tiskárny jsou schopné postavit velmi vysoké budovy, protože jakmile stroj dosáhne 2 metry výšky, může být snadno posunut nahoru na vyšší úroveň pomocí speciálního systému kolejnic. To znamená, že výška stavby není závislá na ose Z. Pokud se jedná o osy X a Y, může tiskárna P3 tisknout budovy o rozměrech 4x3 metry (12 metrů čtverečních), P2 je schopna 12x6 metrů (72 metrů čtverečních) a největší, P1 je schopna 16x9 metrů (144 metrů čtverečních).



Obrázek 23. BetAbram P1, P2 a P3, Slovinsko [22]

Model P3:

- Rozměry - 6 x 3 x 2,5 m
- Hmotnost - 250 kg
- Spotřeba energie - 3 kW

Model P2:

- Rozměry - 12 x 6 x 2,5 m
- Hmotnost - 400 kg
- Spotřeba energie - 4 kW

Model P1:

- Rozměry - 18 x 9 x 2,5 m
- Hmotnost - 520 kg
- Spotřeba energie - 4 kW

Cena modelu P3 bude přibližně 12 000 EUR, P2 bude prodávat přibližně 20 000 EUR, zatímco model P1 bude prodán za cenu 32 000 EUR. Proces výroby jedné tiskárny trvá asi dva měsíce.

Tyto tiskárny by mohly snadno změnit způsob, jakým jsou domovy postaveny nejen ve Slovinsku, ale po celém světě. Představte si, že takové stroje byly zřízeny ve třetích zemích, aby mohly vytisknout malé domy ve velkém měřítku. To by mohlo výrazně zvýšit kvalitu života těch, kteří v současné době žijí v méně než ideálních podmínkách [22].

Tabulka 1. Porovnání 3D tiskáren

Název	Rozměry	Hmotnost	Spotřeba energie	Materiál pro tisk	Produktivita
WinSun, Čína	150m x 10m x 6m	Není k dispozici	Není k dispozici	směs stavebního odpadu, sklo, ocel a cement	vytištění stavby v přepravitelných segmentech a její následné sestavení - dům během jednoho dne
Apis Cor, Rusko	4m x 1,6m x 1,5m	2,0 t	8 kW	beton nebo geopolymer	100 m2 plochy za den
ProTo R 3Dp a RC 3Dp, CyBe Additive Industries, Nizozemsko	prototyp zařízení má rozměry 3,15 mm	Není k dispozici	380 V	speciální beton CyBe MORTAR	200 mm/s
Batiprint3D, Francie	1,5m x 2m x 1m	Není k dispozici	Není k dispozici	polyuretan, beton	0,2 m / s4
DCP, MIT, USA	kruhová výška stěny 3,6 metrů a průměr 15 metrů.	36,7 t	Není k dispozici	biologické materiály (seno), pěna	zpevnění stěny z rychloupínací montážní pěny po dobu 13 hodin.
BetAbram P1, P2, P3, Slovinsko	Model: 18 x 9 x 2,5 m 12 x 6 x 2,5 m 6 x 3 x 2,5 m	520 kg 400 kg 250 kg	5 kW 4 kW 3 kW	betonová směs	10 jednopatrových domů za 24 hod

3. Praktická část

Po studiu všech výše uvedených technologií jsem musel své znalosti aplikovat v praxi a nabídnout vlastní verzi zařízení pro tisk 3D budov. Ze všech projektů, které jsem představil, se mi nejvíce zamlouvalo francouzské zařízení, ale chyběla mu manévrovatelnost. Dalším krokem bude tvorba konceptu pro výrobu zařízení na katedře.

3.1 Koncept zařízení pro realizace v laboratořích katedry

Základem pro mou práci bude sloužit robot KUKA. Pro cíle této práce, budeme muset robota modernizovat tím, že mu přidáme na hlavici extrudér, bude to vynikající řešení pro realizaci našeho konceptu.

Specifikace robota:

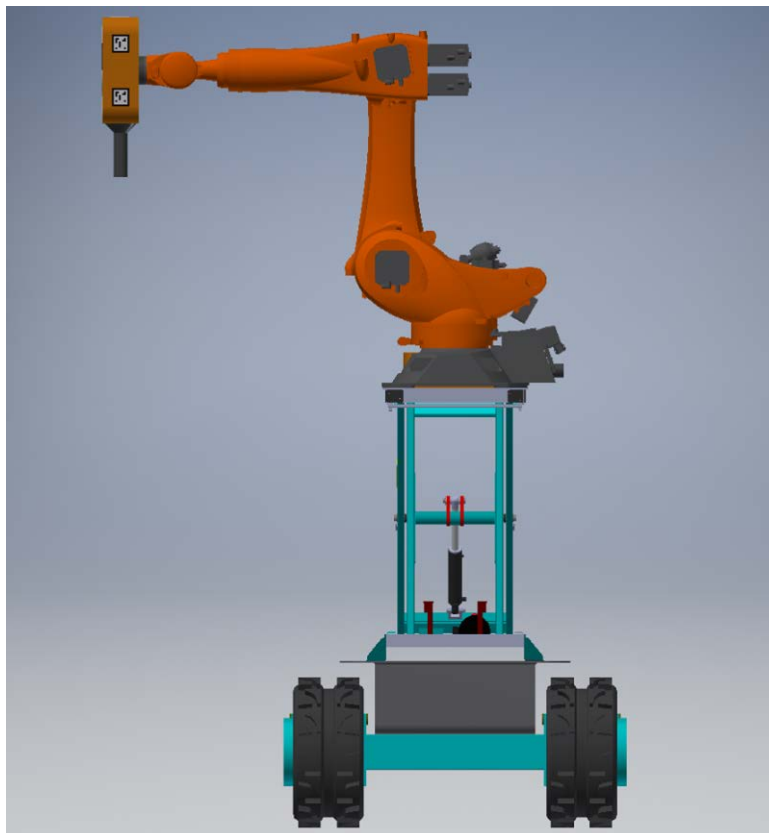
Osy: 6

Užitečné zatížení: 210.00kg

H-dosah: 2700.00mm

Opakovatelnost: $\pm 0,1200$ mm

Robotová hmotnost: 1267.00kg



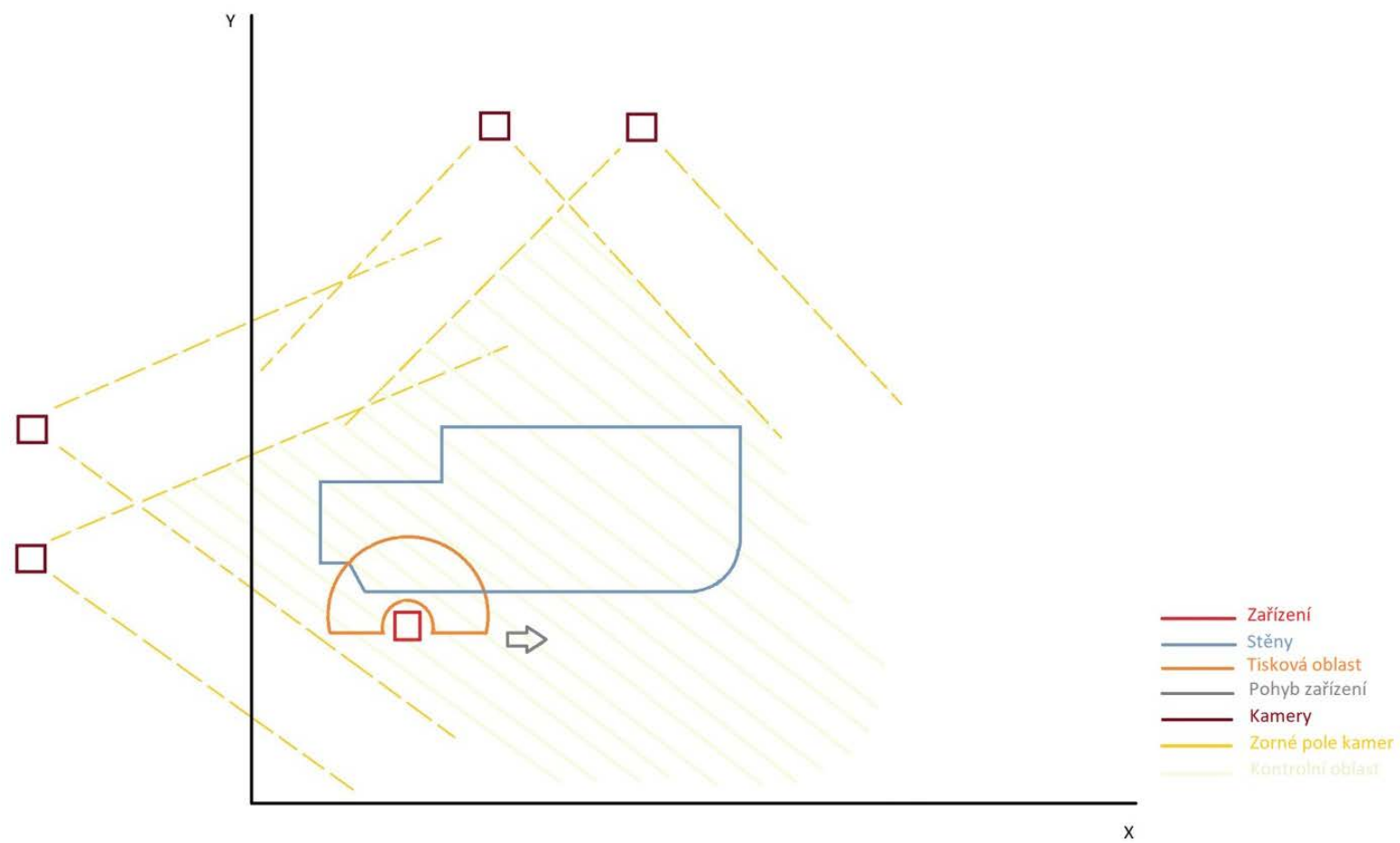
Obrázek 24. Návrh uhlového robota pro 3D tisk

Pro pohyb zařízení v tiskací oblasti budeme používat technologii Visual tracking [23] na každé ose X a Y stavební plochy budou instalovány dvě kamery, které budou číst QR kód z hlavy zařízení, což pomůže robotovi pochopit, kde je, ke zvýšení přesnosti a odstranění chyb. Na hlavě zařízení je instalován také laserový snímač, který dokáže číst pozice hlavy robota podél os XYZ.



Obrázek 25. Robot s extruderem na hlavě

Pohyb robota se uskuteční v kontrolované oblasti a může se snadno pohybovat v pracovním prostoru.



Obrázek 26. Pracovní plocha stroje

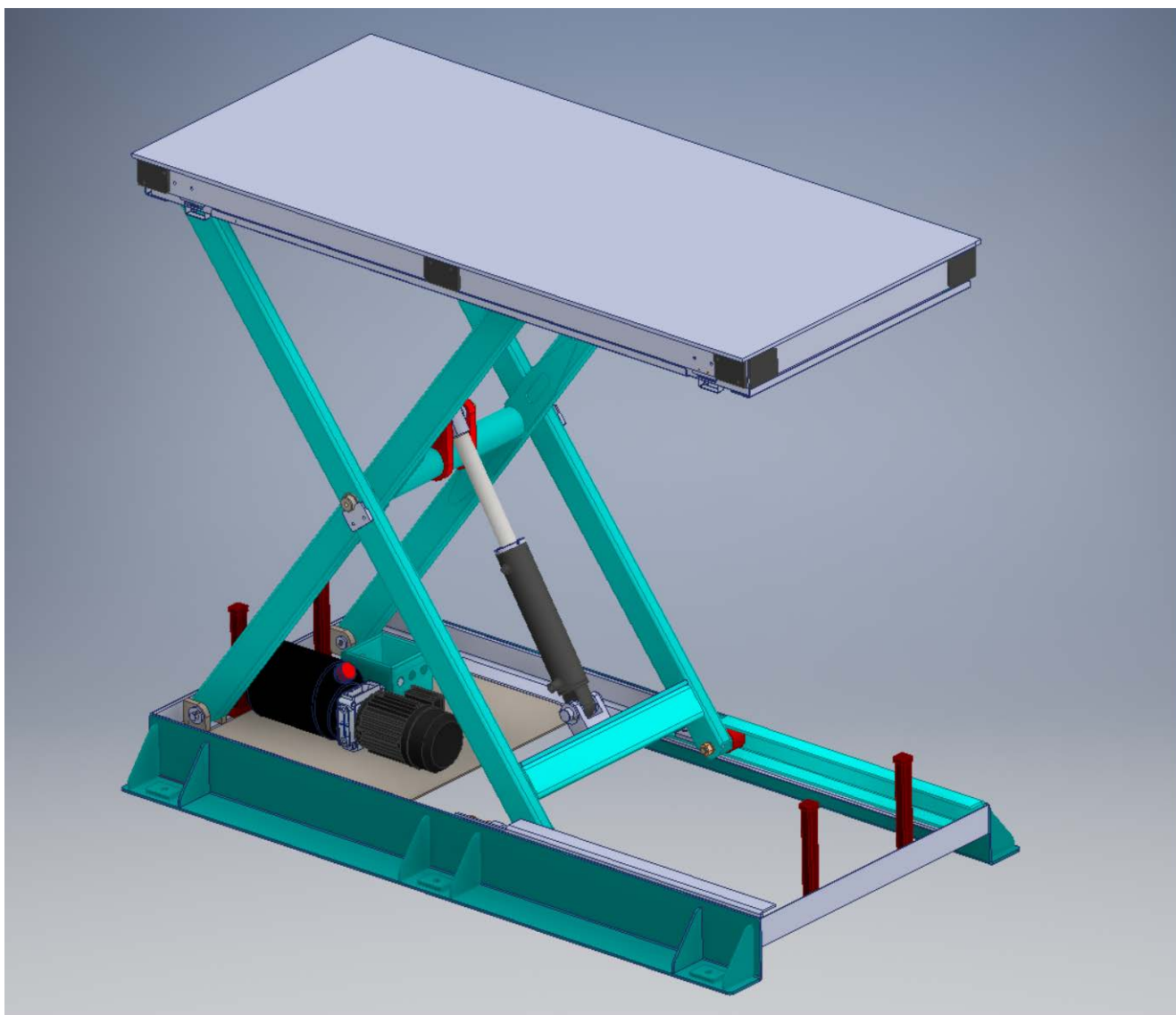
Pohyb robota podle osy Z je prováděn pomocí výtahu s hydraulickým pohonem. Díky pohonu je snadno ovladatelný. Avšak výtah má nepřesnosti, které kompenzujeme robotem KUKA.

Nosnost: 3000 kg

Výška zdvihu: 1000 mm

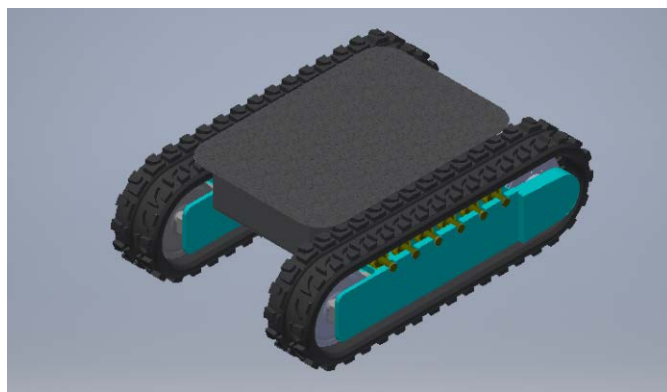
Minimální výška: 110 mm

Hmotnost: 450 kg



Obrázek 27. Výtah s hydraulickým pohonem

Robot bude pracovat na určitých oblastech, na kterých bude nanášet vrstvy materiálu s přechodem z jednoho místa na jiné pomocí podvozku s pásy.



Obrázek 28. Podvozek s pásy

Provozní hmotnost: 4t

Celkové rozměry, mm:

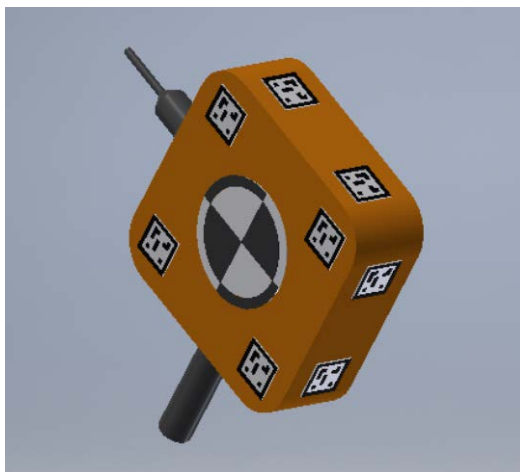
- délka 2500

- šířka 2000

- výška 800

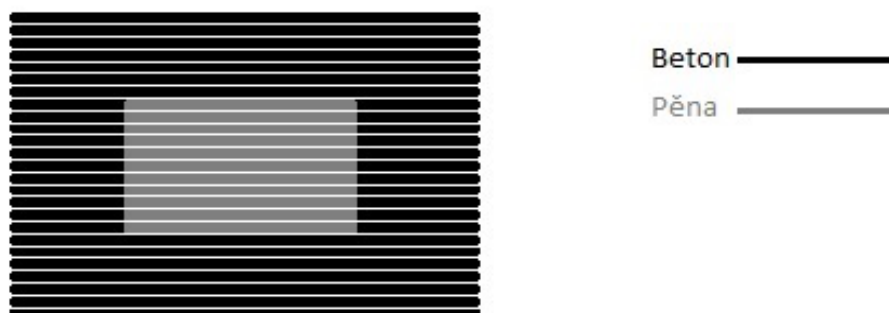
Přípustné povolené zatížení: 2,5t

Podvozek s pásy nám při práci pomáhá na nerovných površích a viskózní půdě. Materiál bude podáván ve vrstvách. Robotovu hlavu vybavíme extrudérem, který přivádí 2 druhy materiálu: primární (beton) a pomocný (pěna), extrudér se bude otáčet o 90 stupňů. Směs betonu je přiváděna do extruderu, dokud není naplněna, k tomu, abychom věděli, že je naplněna nám slouží speciální snímač, kterým můžeme měřit hmotnost směsi v extruderu. Vzhledem k tomu, že čerpadlo nedodává směs rovnoměrně, bylo rozhodnuto vybavit extruder vyrovnávací nádrží, která je naplněna čerpadlem. Plnění extruderu neovlivňuje kontinuitu tisku. Nádrž je uložena na robotu, který pěnu poté dodá do extruderu. Pěna je dávkovaná regulovaným ventilem, který je řízen počítačem.



Obrázek 29. Extrudér

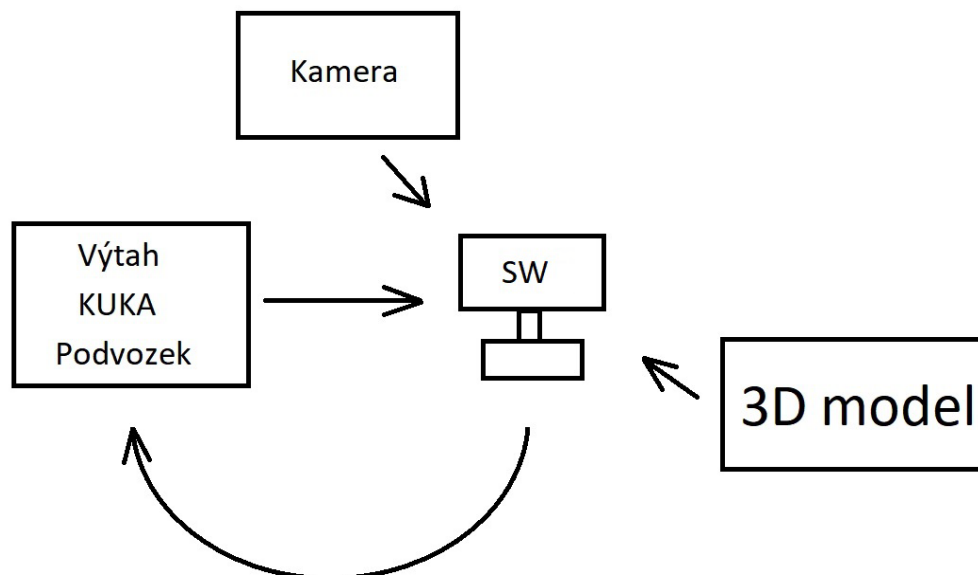
Tím můžeme vyřešit technologický problém při tisku okenních a dveřních otvorů. Pro dosažení požadovaného výsledku budeme otvor tisknout po vrstvách pomocí pěny a betonu. Poté, co odstraníme pěnu, získáme okno, nebo dveře.



Obrázek 30. Tisk otvorů

Tisk se bude provádět ve 2 řadách betonu a bude se naplňovat pěnou, čímž se budeme moci vyhnout problémům s další izolací konstrukce. Místo horizontální výztuže, můžeme mezi těmito dvěma stěnami použít cik-cakový tisk.

Robot KUKA, výtah a podvozek budou vzájemně spolupracovat pomocí softwaru. Kamerami jsou posílány souřadnice stroje do softwaru. Do programu bude nahrán 3D model budovy, náš software z modelu vygeneruje G-code a odešle příkazy do našeho stroje.



Obrázek 31. Řízení robota

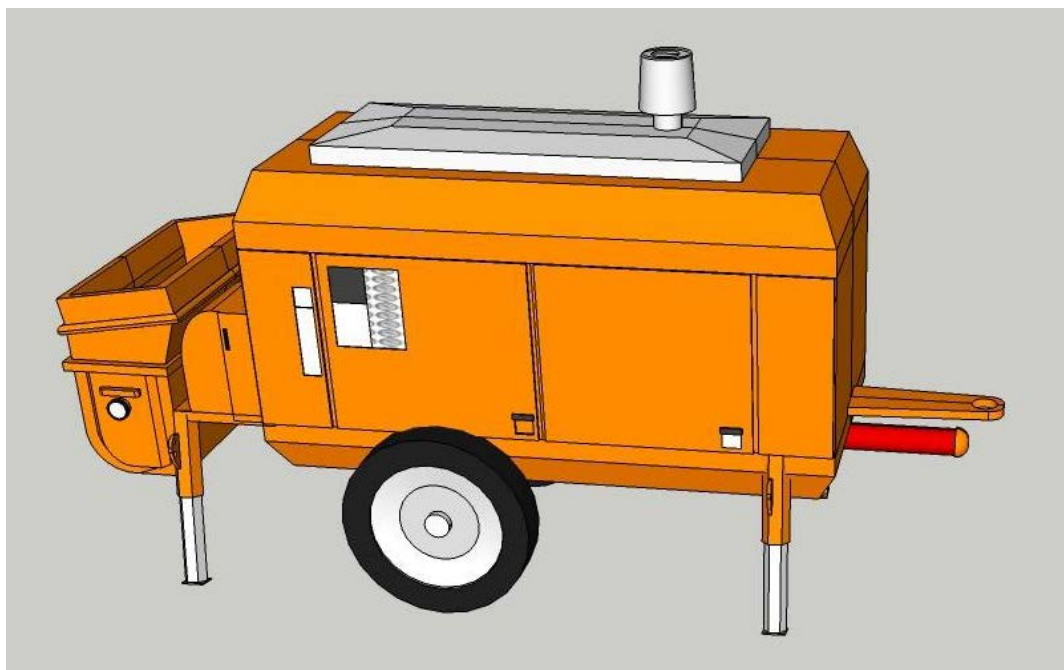
Budeme používat automatický směšovací systém, který přijímá suchou směs, která se mísí s vodou a dalšími součástmi.



Obrázek 32. Směšovací systém

Výroba: 50-65 m³ / h
Počet míchaných tváří: 8
Počet mazacích nožů: 4
Hmotnost: 3,5 t
Příkon: 37 kW

Koncept přívodu směsi je následující: dávkujeme suchou směs do směšovacího systému, po níž se hotová směs betonu pomocí čerpadla dávkuje v určitých částech do nádrže extruderu, která je umístěna na konci robota. Poté se beton vytlačuje ze zásobníku pomocí mechanismu v extruderu.



Obrázek 33. Čerpadlo

Podání:

Objem (m³ / hod.): 70

Tlak (bar): 68

Betonárna

Průměr (mm): 125

Čerpací jednotka

Zdvih pístu (mm): 1400

Výroba střechy v této fázi bude muset být provedena tradičním způsobem.

4 Shrnutí

Po provedení výzkumu v oblasti 3D tisku budov je jasné vidět, že většina výrobců na trhu používá robotické rameno, které se modernizuje pro své vlastní účely. Téměř všechny firmy obětují mobilitu zařízení, zdá se mi, že to je chyba a nebyl vyřešen problém až do konce. Můj koncept kombinuje řadu nejlepších technologických řešení pro další použití v průmyslové výstavbě za podmínek nízkých nákladů. Je také realizován technologický problém tisku dveřních a okenních otvorů. Jediným slabým bodem je tisk střechy, protože optimálnější a levnější způsob, než klasická instalace, ještě nevznikl. Na základě analýzy trhu předpokládaná cena zařízení bez směšovacího systému a čerpadla je 7000 EUR.

Tabulka 2. Specifikace robota

Robot	Osy: 6 Užitečné zatížení: 210.00kg H-dosah: 2700.00mm Opakovatelnost: $\pm 0,1200$ mm Hmotnost robota: 1267.00kg
Výtah	Nosnost: 3000 kg Výška zdvihu: 1000 mm Minimální výška: 110 mm Hmotnost: 450 kg
Podvozek s pásy	Provozní hmotnost: 4t Celkové rozměry, mm: - délka 2500 - šířka 2000 - výška 800 Přípustné užitečné zatížení: 2,5t
Směšovací systém	Výroba: 50-65 m³ / h Počet míchaných tváří: 8 Počet mazacích nožů: 4Hmotnost: 3,5 t Příkon: 37 kW
Čerpadlo	Podání: Objem (m³ / hod.): 70 Tlak (bar): 68 Betonárna Průměr (mm): 125 Čerpací jednotka Zdvih pístu (mm): 1400

5 Závěr

Cílem mé práce bylo vytvořit koncepční zařízení pro 3D tisk budov a architektonických objektů. V úvodu práce byla věnována pozornost historii technologií 3D tisku a vývoji moderním metodám. Pomocí normy ISO můžeme rozdělit výrobu na 7 skupin. V rešeršní části vidíme společnosti, které provádějí průmyslový 3D tisk budov. V současné době na trhu působí 6 vůdců: Čína, Rusko, Nizozemsko, Francie, USA a Slovinsko. Poté, co jsme se seznámili s těmito výrobci zařízení pro 3D tisk, bylo možné poukázat na všechny výhody a nevýhody, které používají v jejich modelech.

V praktické části byla navržena koncepce zařízení, která kombinuje na základě své analýzy nejlepší technologie pro tisk 3D domů. Jako základ tiskařského zařízení jsem zvolil robotické rameno KUKA, na které byl instalován extrudér, do kterého budou dodávány materiály pro tisk, základní beton a pomocná pěna. Rameno jsme položili na výtah s hydraulickým pohonem pro pohyb robota podél osy Z. Pro mobilitu zařízení byl použit podvozek s pásy. Pomocí technologie Visual tracking můžeme pohybovat se strojem v prostoru. Pro vzájemné ovlivňování všech součástí zařízení byl použit software. V softwaru budeme moci načíst 3D model budovy, po něm program zpracuje CAD soubor a vydá příkazy pro naše zařízení. K výrobě směsi byl použit automatický směšovací systém, směs bude přiváděna čerpadlem, které dodá beton do extrudéru stroje a pěna se bude podávat z nádrže.

Možným pokračováním práce je výroba prototypu, který pomůže identifikovat všechny nedostatky a nevýhody návrhu. Dalším bodem je vybrat software, který bychom mohli použít. Je také nutné uvažovat o zavedení tisku střechy.

6 Seznám použitých zdrojů

1. *Wikipedia* [online] 2018. [cit.28-5-2018]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/3D_tisk
2. Stavba - TZB-info. *Stavba - TZB-info* [online]. Copyright © cpauschert [cit. 07.06.2018]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/11123-3d-tisk-a-jeho-vyuziti-ve-stavebnictvi>
3. Technologie Rapid Prototyping FDM | Katedra výrobních systémů a automatizace. Technická Univerzita v Liberci. *Úvod | Katedra výrobních systémů a automatizace* [online]. Dostupné z: <http://www.ksa.tul.cz/pro-firmy/technologie-rapid-prototyping-fdm>
4. *ISO/ASTM 52900:2015.Additive manufacturing - General principles - Terminology*. 2015.
5. CHUA, Chee Kai a Kah Fai LEONG. *3D PRINTING AND ADDITIVE MANUFACTURING: Principles And Applications*. 5.ed. of Rapid Prototyping. Singapore: World Scientific Publishing, 2017. ISBN 978 – 981 – 3146 – 76 - 1.
6. *Manufacturing Cost Estimation: Jetted Photopolymer* [online]. 2018 [cit. 2018-05-25]. Dostupné z: <http://www.custompartnet.com/wu/jetted-photopolymer>.
7. *Manufacturing Cost Estimation: Three Dimensional Printing (3DP)* [online]. 2018 [cit. 2018-05-25]. Dostupné z: <http://www.custompartnet.com/wu/3d-printing>.
8. *Manufacturing Cost Estimation: Laminated Object Manufacturing (LOM)* [online]. 2018 [cit. 2018-05-25]. Dostupné z: <http://www.custompartnet.com/wu/laminated-object-manufacturing>.
9. *Manufacturing Cost Estimation: Stereolithography (SLA)* [online]. 2018 [cit. 2018-05-25]. Dostupné z: <http://www.custompartnet.com/wu/stereolithography>.
10. *Manufacturing Cost Estimation: Selective Laser Sintering (SLS)* [online]. 2018 [cit. 2018-05-25]. Dostupné z: <http://www.custompartnet.com/wu/selective-laser-sintering>.
11. *ADINA -Finite Element Analysis Software: Schematic of the Laser Engineered Net Shaping (LENS®) process* [online]. 2018 [cit. 2018-05-25]. Dostupné z: <http://www.adina.com/newsgH68.shtml>.
12. *Manufacturing Cost Estimation: Fused Deposition Modeling (FDM)* [online]. 2018 [cit. 2018-05-25]. Dostupné z: <http://www.custompartnet.com/wu/fused-deposition-modeling>
13. Bydlení idnes.cz | Architektura [online]. Dostupné z: https://bydleni.idnes.cz/dum-z-3d-tiskarny-0kj-/architektura.aspx?c=A150310_133511_architektura_web

14. *Сообщество владельцев 3D-принтеров — 3DToday — описание 3D-принтеров, отзывы о 3D-принтерах, характеристики, фотографии и описания, распечатанные 3D-модели и многое другое* [online]. Copyright © 2013 [cit. 07.06.2018]. Dostupné z: <http://3dtoday.ru/blogs/news3dtoday/the-company-cyber-prints-on-a-3d-printer-is-a-residential-building-for-/>
15. 3D-строительство дома с помощью монтажной пены: - *ЭкоТехника. Альтернативные источники энергии, новые технологии, транспорт будущего, устойчивое развитие, экология человека и природы, зеленое строительство и дизайн - ЭкоТехника* [online]. Copyright © 2015 [cit. 07.06.2018]. Dostupné z: <https://ecotechnica.com.ua/arkhitektura/3271-3d-stroitelstvo-doma-s-pomoshchyu-montazhnoj-peny-frantsuzskij-opyt-video.html>
16. *Vysoké učení technické v Brně | Fakulta strojního inženýrství | Ústav Výrobních Strojů, Systémů A Robotiky | Diplomová práce.* [online]. Dostupné z: https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/66693/Diplomova_prace_komplet.pdf?sequence=-1
17. *Cazza Construction Technologies Introduces 3D Printing Construction Robots and Sees High Demand | 3DPrint.com | The Voice of 3D Printing / Additive Manufacturing. 3DPrint.com | The Voice of 3D Printing / Additive Manufacturing | The Voice of 3D Printing / Additive Manufacturing* [online]. Copyright © 2018. 3DR Holdings, LLC, All Rights Reserved. [cit. 07.06.2018]. Dostupné z: <https://3dprint.com/189228/cazza-3d-print-construction-robots/>
18. *Programování a výroba na CNC strojích | KVS. Úvodní stránka | KVS* [online]. Copyright © 2011 Katedra výrobních systémů, FS TUL [cit. 07.06.2018]. Dostupné z: <http://www.kvs.tul.cz/cnc>
19. *3D-принтер | Apis Cor. We print buildings.* [online]. Dostupné z: <http://apis-cor.com/3d-printer>
20. *University of Nantes | Batiprint3D | Batiprint3d Project Report.* [online]. Dostupné z: <http://www.3dprintetbyggeri.dk/pdf/bes%C3%B8gsrapporter/Batiprint3D.pdf>
21. *3-D printing offers new approach to making buildings | MIT News. MIT News | Massachusetts Institute of Technology* [online]. Dostupné z: <http://news.mit.edu/2017/3-d-printing-buildings-0426>
22. *3D Print Your Next House – BetAbram Plans to Sell 3D House Printers for 12,000€ This Summer | 3DPrint.com | The Voice of 3D Printing / Additive Manufacturing. 3DPrint.com | The Voice of 3D Printing / Additive Manufacturing | The Voice of 3D Printing / Additive Manufacturing* [online]. Copyright © 2018. 3DR Holdings, LLC, All Rights Reserved. [cit. 07.06.2018]. Dostupné z: <https://3dprint.com/4392/3d-house-printer-betabram/>
23. *Visual Tracking and Control of a...* (PDF Download Available). *ResearchGate | Share and discover research* [online]. Copyright © ResearchGate [cit. 07.06.2018]. Dostupné

z: https://www.researchgate.net/publication/228962857_Visual_Tracking_and_Control_of_a_Quadcopter_Using_a_Stereo_Camera_System_and_Inertial_Sensors

24. Desarrollan una impresora 3D para hacer casas en un día - Ciencia y Educación - Taringa!. *Taringa!* - *Inteligencia colectiva* [online]. Dostupné z: <https://www.taringa.net/posts/ciencia-educacion/17502234/Desarrollan-una-impresora-3D-para-hacer-casas-en-un-dia.html>