

Česká zemědělská univerzita v Praze

Provozně ekonomická fakulta

Katedra Informačních technologií



Bakalářská práce

Systemy pro hromadnou správu 3D tiskáren

Štěpán Růžek

©2019 ČZU v Praze

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Štěpán Růžek

Informatika

Název práce

Systémy pro hromadnou správu 3D tiskáren

Název anglicky

Bulk 3D printer management

Cíle práce

Hlavním cílem práce je zhodnotit řešení systémů pro hromadné uložení tiskáren a softwaru pro hromadnou správu více 3D tiskáren najednou.

Vedlejší cíle práce jsou:

- charakterizovat technologie 3D tisku,
- zhodnocení systémů pro hromadnou správu 3D tisku
- návrh optimalizace zakázkové výroby na 3D tiskárnách.

Metodika

Teoretická část bakalářské práce se bude zakládat na analýze a rešerši odborných zdrojů.

V praktické části práce budou na základě poznatků zjištěných v teoretické části zhodnoceny vybrané systémy pro hromadnou správu 3D tisku. Dále budou navrženy optimalizační opatření pro systémy určené pro zakázkovou výrobu na 3D tiskárnách.

Na základě syntézy teoretických a praktických poznatků budou zpracovány závěry bakalářské práce

Doporučený rozsah práce

35 stran

Klíčová slova

3D tisk, správa 3D tiskáren, 3D tiskárna, 3D print, Management 3D printers

Doporučené zdroje informací

Gibson, I; Rosen, D. W; Stucker, B, Additive manufacturing technologies: 3D printing, rapid prototyping, and direct digital manufacturing, 9781493921126, 1493921126

Kloski, Liza Wallach; Kloski, Nick, Getting started with 3D printing: a hands-on guide to the hardware, software, and services behind the new manufacturing revolution, 9781680450200, 1680450204

Kloski, Liza Wallach; Kloski, Nick; Goner, Jakub, Začínáme s 3D tiskem, 9788025148761

PackMerger: A 3D Print Volume Optimizer Computer Graphics Forum, 09/2014, Ročník 33, Číslo 6, ISSN:0167-7055

Trendy řízení výroby: sociální platformy, pokročilé plánování a 3D tisk Vitásková, Monika, ISSN:1210-616X

3D printing : technology, applications, and selection, Noorani, Rafiq, ISBN:978-1-4987-8375-0

Předběžný termín obhajoby

2018/19 LS – PEF

Vedoucí práce

Ing. Michal Stočes, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra informačních technologií

Elektronicky schváleno dne 15. 10. 2018

Ing. Jiří Vaněk, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 19. 10. 2018

Ing. Martin Pelikán, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 04. 03. 2019

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma "Systémy pro hromadnou správu 3D tiskáren" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce Ing. Michala Stočese Ph.D. a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci, a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne _____

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu práce Ing. Michalu Stočesi Ph.D. a firmě Makerslab zastoupené Adamem Jechem za poskytnuté informace a spolupráci.

Systemy pro hromadnou správu 3D tiskáren

Abstrakt

Práce se v teoretické části zabývá popisem jednotlivých technologií pro výrobu trojrozměrného objektu za pomoci technologie 3D tisku. Dalším tématem bylo nalezení důvodů, proč je 3D tisk v dnešní době tak oblíben. Z práce vyplynuly jednotlivé systémy pro hromadnou správu 3D tiskáren dostupné na trhu a jejich vlastnosti, které byly zhodnoceny. Na základě porovnání byl navrhnout jeden systém, který by splňoval všechny požadavky od odborníka z praxe. Byly navrženy veškeré funkcionality a hardwarová architektura. V závěru práce je nastíněn možný vývoj technologie 3D tisku a systémů pro hromadnou správu 3D tiskáren.

Klíčová slova: 3D tisk, správa 3D tiskáren, 3D tiskárna, FDM tisk, 3D server, hromadná správa 3D tiskáren.

Bulk 3D printer management

Abstract

In theoretical part of document, I describe technologies for making 3D real object with using additive form. This document find ideal princip how to produce in multiple 3D printers. Compare systems for controls multiple 3D printers in 3D printing farms. Describe which systems are ready to use in market. And describe the best system for serial production at 3D printing factory.

Keywords: 3D print, 3D printer, 3D farm, 3D print server

Obsah

1 Úvod.....	10
2 Cíl práce a metodika	11
2.1 Cíl práce	11
2.2 Metodika	11
3 Teoretická východiska	12
3.1 Technologie 3D tisku	12
3.1.1 Technologie výroby metodou SLA/DLP	12
3.1.2 Technologie výroby metodou SLS	12
3.1.3 Technologie výroby metodou FDM	13
3.2 Souřadnicové systémy.....	13
3.3 Materiály využívané v 3D tiskárnách	15
3.3.1 Materiál v SLA/DLP.....	15
3.3.2 Materiál v SLS	15
3.3.3 Materiál v FDM	15
3.4 Využití výtisků	17
3.5 Zneužití výtisků.....	17
3.6 Ekonomika tisku v zakázkové výrobě.....	17
3.7 Monitoring.....	18
4 Vlastní práce	19
4.1 Kvalita	19
4.2 Velikost tiskové plochy.....	20
4.3 Typ výtlačné hlavy	20
4.4 Pohyb obsluhy	21
4.5 Používaný Software	21
4.5.1 Slicer – nářezový program.....	21
4.5.2 Systémy pro hromadnou správu 3D tiskáren	22
4.6 Typy připojení systému k tiskárně	22
4.6.1 Pomocí USB	22
4.6.2 Pomocí sítě a USB	23
4.7 Zhodnocení dostupných řešení na trhu	24
4.8 Porovnání časů	25
4.9 Porovnání fyzické vytíženosti	27
4.10 Návrh vlastního tiskového řešení	28
5 Výsledky a diskuse	29
5.1 Stávající řešení na trhu	29

5.1.1	OctoPrint.....	30
5.1.2	AstroPrint.....	30
5.1.3	Repetier Server	30
5.1.4	Prusa Research farm systém	31
5.1.5	3D Farm	31
5.1.6	PrinterOS	32
6	Závěr.....	33
7	Bibliografie	34
8	Přílohy.....	36

1 Úvod

Technologie 3D tisku je v dnešní době často zmiňován jako technologie budoucnosti. Zajímavé je, že 3D tisk se poprvé objevil již v roce 1992, kdy firma 3D Systems vyrobila 1. tiskárnu, která používala metodu výroby SLA. (allthat3d.com, 2018)

V dnešní době je technologie 3D tisku silně popularizována díky svým vlastnostem.

3D tisk je levný a snadný způsob, jak vytvořit komplexní 3D objekt. Díky tomu roste procento uživatelů, kteří vlastní zařízení na výrobu 3D objektu v domácnostech nebo ve firmách. Mnoho firem se snaží proniknout na trh se službou nabízející 3D tisk na zakázku a další služby spojené s 3D tiskem. Každá technologie má své klady ale i zápory. Už dnes dokáže technologie 3D tisku zlepšit lidský život, ale dokáže lidský život i zachránit. Díky hojnému použití v medicíně.

Díky vlastnostem výroby na 3D tiskárnách se často používá technologie 3D tisku pro sériovou výrobu. Pro splnění požadavků sériové výroby vznikají uskupení většího množství 3D tiskáren, které je nutno ovládat a kontrolovat. Proto se do výroby mohou nasadit systémy pro hromadnou správu 3D tiskáren, které jsou tématem této práce.

2 Cíl práce a metodika

2.1 Cíl práce

Hlavním cílem práce je zhodnotit řešení systémů pro hromadné uložení tiskáren a softwaru pro hromadnou správu více 3D tiskáren najednou.

Hlavní cíl se skládá z vedlejších cílů.

Vedlejší cíle práce jsou:

- charakterizovat technologie 3D tisku,
- zhodnocení systémů pro hromadnou správu 3D tisku,
- návrh optimalizace zakázkové výroby na 3D tiskárnách.

2.2 Metodika

Teoretická část bakalářské práce se bude zakládat na analýze a řešení odborných zdrojů. V praktické části práce budou na základě poznatků zjištěných v teoretické části zhodnoceny vybrané systémy pro hromadnou správu 3D tisku. Dále budou navrženy optimalizační opatření pro systémy určené pro zakázkovou výrobu na 3D tiskárnách.

Na základě syntézy teoretických a praktických poznatků budou zpracovány závěry bakalářské práce. Testování proběhlo v rámci 3D tiskové farmy firmy Makerslab pod vedením Adama Jecha.

3 Teoretická východiska

3.1 Technologie 3D tisku

3D tisk je aditivní výrobní proces, který umožňuje vytvořit fyzický trojrozměrný objekt přidáváním materiálů vrstvu po vrstvě. (3DHUBS.cz, 2018)

V současnosti jsou známy a používají se v praxi tři různé principy výroby 3D tištěného objektu. Každá tato metoda využívá jiné materiály a má jiné využití v praxi. Mezi technologie patří: SLA/DLP (Stereolitografie) SLS (Selective Laser Sintering), FDM (Fused Deposition Modeling).

3.1.1 Technologie výroby metodou SLA/DLP

SLA neboli stereolitografie (Varotsis, 2015) je jedna ze tří technologií umožňující výrobu trojrozměrného objektu. Tato technologie využívá reakce materiálu (polymeru) na záření o různých vlnových délkách, pokud je materiál osvětlen, v daném místě vytvrdne. Tiskárna se skládá z nádoby, kde se nachází kapalný materiál a zespodu tiskové plochy je umístěna soustava pohyblivých zrcátek. Tato soustava navede laserový paprsek na tiskovou plochu a vysvítí podle programu jednotlivé body na podložce v každé vrstvě, kde vzniká vytvrdnutím objekt. Nevýhodou SLA technologie je vysoká pořizovací cena stroje. Obrovskou výhodou je detail, který tiskárna je schopná vytvořit a široká paleta materiálů.

DLP je metoda, která vychází z technologie SLA. Jediný rozdíl je, že v DLP se k vytvrzování používá zcela běžný DLP projektor, namísto laseru.

3.1.2 Technologie výroby metodou SLS

SLS v překladu selektivní spékání laserem prozrazuje mnohé. Lze se setkat i s pojmem slintrování. Technologie slintrování byla vyvinuta v 80. letech na Texaské univerzitě v Austinu. Zde byla založena 1. firma prodávající tiskárny. Poté byli koupeny konkurentem firmou 3D systems. (3dtisk.cz, 2017) Výrobek zde vzniká spékáním vrstev práškového materiálu v ploše řezu podle digitálního modelu. Nevýhodou u této tiskárny je, že zde vzniká obrovské množství odpadního materiálu.

3.1.3 Technologie výroby metodou FDM

Technologie výroby metodou FDM je v současné době nejrozšířenější a nejdostupnější. Jedná se o metodu, která napodobuje vykreslování tvarů tavnou pistolí. (Makerslab.cz, 2018) Rozdíl od tavné pistole je, že tiskárna se pohybuje mechanicky a je tedy mnohem přesnější. Na tiskové hlavě je umístěna kovová tryska, kterou je vytlačován materiál na podložku na které vzniká objekt vrstvu po vrstvě.

V zásadě se jedná o továrnu na pracovním stole. (Kloski,2017, s.19). Na trhu můžeme nalézt různé tiskárny využívající FDM technologie výroby, které se liší mechanikou pohybu. Nejčastěji se používá Kartézský systém. Další variantou je tzv. Delta systém. Vzácně je možné najít systémy Polar a Scara. (Futlab.cz, 2017)

RepRap

RepRap je první projekt zabývající se open-source 3D tiskárnou využívající technologie FDM. U zrodu tohoto projektu stál doktor Adrianm Bowyer v roce 2005 na University of Bath ve Velké Británii. Nyní je projekt v rukou komunity, stovek vývojářů a desítek tisíc uživatelů.(Průša, 2018) Českým průkopníkem, který přivedl RepRap do ČR je pan Josef Průša, který v roce 2009 začal navrhovat svůj design 3D tiskárny jako koníček při studiu. Poté svůj design rozšířil do celého světa. K roku 2018 je Prusa Research největší český startup v ČR zabývající se 3D tiskem s obratem několika milionu ročně. Firma Prusa Research vyrobila a odeslala již přes 90 000 tiskáren do celého světa.(Průša, 2018).Cílem projektu je poskytnout veškerý software, stavební plány a hardware široké veřejnosti. K tomu napomáhá fakt, že každá RepRap 3D tiskárna může vyrobit plastové díly na stavbu další tiskárny tzn. zreplikovat se.

3.2 Souřadnicové systémy

Právě u FDM tiskáren můžeme nalézt stroje používající různé souřadnicové systémy a různé principy pohybu tiskové hlavy v jednotlivých osách. Můžeme nalézt Kartézský systém, Delta systém, Polar a Scara.

Kartézský systém

Tento systém je tradiční rozložení, které známe z laserových a inkoustových tiskáren. Systém má 3 pohyblivé osy X,Y a Z. Na ose Y je umístěna tisková podložka a tisková hlava se pohybuje na osách X a Z. (Makerslab.cz, 2018)

Mezi výhody patří jednoduché sestavení a kalibrace. Nevýhodou je nižší možná rychlost výroby. I přes tuto nevýhodu, je Kartézský systém stále nejoblíbenější a nejrozšířenější na celém světě.

Delta systém

Tento systém přenáší pohyb pomocí 3 ramen, která jsou spojena dohromady a uprostřed těchto ramen je tisková hlava. Na rozdíl od Kartézského systému, kde se tisková plocha pohybuje, tak u Delta systému je podložka statická a veškerý pohyb v osách X,Y,Z je reprezentován rameny s tiskovou hlavou.

Velkou výhodou tohoto systému je rychlost tisku a možnost vyrobit vyšší objekty. Hlavní nevýhodou je poměrně složitá mechanická konstrukce na stavbu a kalibraci stroje. (Makerslab.cz, 2018)

Polar systém

Tento systém je spíše rarita a jedná se o vzácnost, kterou téměř nenajdeme na trhu a v praxi. Polar systém je postaven na principu, kde pohyb osy Y je reprezentován kruhovou podložkou, která se otáčí kolem své osy a zároveň se podložka pohybuje i v ose X. Tudíž podložka vykonává rotační pohyb a zároveň lineární pohyb.

Tento princip je ideální pro případy výroby kruhových předmětů, jako jsou např. vázy. Nevýhodou je téměř absence programů pro vygenerování pohybu hlavy a nemožnost výroby složitějších čtvercových objektů. (Futlab.cz, 2017)

Scara systém

Tento systém k pohybu tiskové hlavy používá dvě robotická ramena nebo jedno rameno se dvěma klouby. Velkou výhodou tohoto řešení je jednoduchá konstrukce pro sestavení a kalibraci. Nevýhodou je, že tento princip pohybu hlavy je pomalejší v porovnání s ostatními systémy. (Makerslab.cz, 2018)

3.3 Materiály využívané v 3D tiskárnách

V 3D tiskárnách se používají několik druhů materiálů v různých formách. Každý materiál má své specifické vlastnosti a jeho použití se odvíjí podle použité technologie. Nejčastěji se díky dostupnosti technologie a nízké ceně materiálu můžeme setkat s materiálem pro FDM tiskárny.

3.3.1 Materiál v SLA/DLP

Materiál pro SLA tisk je v podobě kapalného fotopolymery. Tyto fotopolymery se dají rozdělit do 5 kategorií. Standartní pryskyřice, Konstrukční pryskyřice, Šperkařské pryskyřice, Dentální pryskyřice, Keramické pryskyřice (Futur3D.cz,2018)

3.3.2 Materiál v SLS

V SLS tiskárnách se mohou používat různě materiály nejen plast. Můžete laserem zapékat kromě plastů, také kovový prášek, písek, dokonce i keramický prach. (Materiálpro3D.cz, 2018)

3.3.3 Materiál v FDM

V technologii FDM se používají tzv. filamenty. Jedná se o kotouče navinuté plastové struny o průměru 1,75mm ale i staršího rozměru průměru 3mm. Struny se vyrábějí z drceného plastové prášku. Nejčastěji se používají plasty označené ABS, PLA a PETG.

PLA (polylactic acid – kyselina polyléčná)

PLA je biologicky plně odbouratelný materiál, vyráběný z kukuřičného nebo bramborového škrobu či z cukrové třtiny. Je stále více průmyslově využíván. Je rozpustný v hydroxidu sodném.

Je nejuniverzálnějším materiálem pro technologii tisku FDM, vhodným i pro tisk velkých předmětů. Vedle ABS je nejpoužívanějším materiálem pro 3D tisk metodou extruze termoplastu. Mezi jeho vlastnosti patří: pružnost, tvrdost. (Materialpro3D.cz,2018) Teplota extrudéru se pohybuje mezi: 210 – 220 °C a teplota podložky by měla být mezi 50 – 55 °C

ABS (Akrylonitril-butadien-styren)

ABS je amorfní termoplastický průmyslový kopolymer, je vhodný pro výrobu funkčních vzorků, výrobu nástrojů i pro výrobu věcí pro běžné použití. Není vhodný pro objekty, které budou dlouhodobě vystaveny povětrnostním vlivům a vysokým výkyvům teplot. (Materialpro3D.cz,2018)

Velkou nevýhodou ABS materiálu je náchylnost na poškození tisku – zkroucení, odlepení od podložky při nárazovém ochlazení, které může způsobit např. otevření okna.

Teplota extrudéru se pohybuje mezi 220 – 275 °C a teplota podložky mezi 100 – 130 °C

PET (poly-etylén-tereftalát)

Jak zkratka napovídá, tak tento materiál je známý díky PET lahvím. Jedná se o termoplastický polyester. Ve svém původním stavu PET vlákno je bezbarvý a křišťálově čistý materiál. Ale když se zahřeje nebo ochladí, změní svou transparentnost. Je poměrně tvrdý a odolný proti otřesům, takže je ideální pro lehké předměty.

PETG je na rozdíl od jiných materiálů více odolný vůči kyselinám a rozpouštědlům, vysokým i nízkým teplotám. Je možné tepelně tvarovat z něj vytištěný předmět

teplota extrudéru: 210 – 235 °C, teplota podložky: 45 – 60 °C
(Materialpro3D.cz,2018)

3.4 Využití výtisků

Odvětvích kde se 3D tisk je mnoho. Nejčastěji se využívá na prototypování ale také v sériové výrobě. V medicíně 3D tisk hojně zastoupen jako edukační nástroj lékařů, kde si mohou vyzkoušet složité zákroky ale také se využívají v protetice. (Jan Lipšanský, 2019) „Industry 4.0“, či v ČR také „Průmysl 4.0“.

Pod těmito výrazy se skrývá celoevropská iniciativa manažerů a vládních činitelů, kteří se snaží rozpochybovat poptávku po nových moderních technologiích a snaze se pomocí těchto technologií rozvinout míru a urychlit zapojení robotizace a nasazení plně automatických řídicích systémů (Vojíček, 2016) .3D tisk je tedy ideální technologie, která se může řadit do Industry 4.0.

3.5 Zneužití výtisků

Je třeba se také zaměřit na problematiku ošetření autorských práv.

Na tisková data (modely) se vztahuje také autorský zákon o díle. Nejčastěji jsou pod licencí „Creative commons“ (Kloski, 2017, s.110)

V dnešní době je 3D tisk mimo jiné často zmiňován ve spojitosti s výrobou zbraní. Jelikož se k výrobě využívá nejčastěji plast, existuje tady možnost, že taková zbraň by mohla být pronesena přes bezpečnostní kontroly na letištích a použita na palubě letadla při ohrožení lidského života nebo majetku. (Schneider, 2019)

3.6 Ekonomika tisku v zakázkové výrobě

Díky vlastnosti částečné sebereplikace, kterou mají všechny tiskárny spadající pod projekt RepRap a díky dostupnosti velké části neplastových dílů se pořizovací náklady na další tiskárny snižují. Největší náklady jsou na první tiskárnu. Na další tiskárny mohou být náklady znatelně nižší.

Na základě literární rešerše a informací získaných z praxe byli určeny dva modely (model A, model B) pro ocenění zakázkové výroby na 3D tiskárnách.

Model A:

V modelu A tvoří část celkové ceny na ceně za materiál. Množství zpracovaného materiálu umí spočítat a zobrazit mnoho slicerů. U některých lze přímo nastavit cenu za 1m materiálu a slicer rovnou spočítá celkovou cenu materiálu. (Community.Ultimaker.com, 2019)

Nejčastěji jeden metr.

Model B:

Model B naopak vůbec neřeší cenu za materiál a staví na ceně za dobu využití tiskárny. Nejčastěji za hodinu činnosti stroje.

K oběma modelům se poté připočítávají další položky tvořící finální cenu, které si výrobce stanoví. Těmito položkami může být např. barvení, lepení, poštovné, cena za energie.

3.7 Monitoring

Díky náchylnosti některých materiálů a také kvůli zápachu a hluku dochází v praxi velmi často k uzavření tiskárny tak, aby nedocházelo k zásahu vnějších vlivů na tisk. (Makerslab, 2019)

Do těchto boxů se umisťují různá zařízení určená pro vzdálený monitoring. Značná část 3D tiskových serverů právě proto mají implementovanou možnost zobrazovat živě záběry pomocí webové kamery. (Kelly, 2018) Pro zajištění vhodných podmínek uvnitř boxu se často instalují teploměry a měřiče vlhkosti.

Dalším způsobem, jak monitorovat tiskárnu, je sledování napájení pomocí chytrých zásuvek, lze zamezit tak i možnému poškození tiskárny. Dalším připojitelným zařízením, které může zabránit poškození je nainstalovaný automatický hasící přístroj.

4 Vlastní práce

U 3D tisku je nutné zajistit, aby výroba konkrétního objektu nebyla možná pomocí jiných technologií výroby. Od toho se pak odvíjí např. výběr tiskárny či materiálů. Na základě vlastních zkušeností a literární rešerše byly určeny následující vlastnosti, které mají vliv na finální čas výroby. Těmito vlastnosti jsou:

- Kvalita výroby.
- Typ výtlačné hlavy.
- Orientace výrobku na stroji.

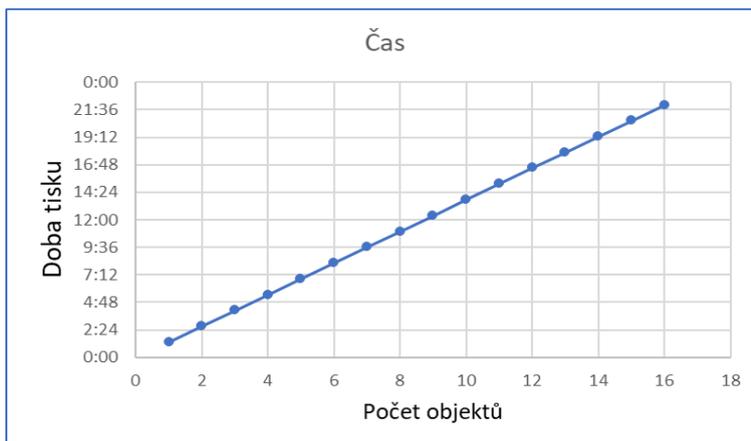
4.1 Kvalita

U běžného tisku na kancelářských tiskárnách nám kvalitu určuje rozlišení. U 3D tisku se kvalita určuje komplexněji, protože při přípravě modelu pro tisk je možné nastavit mnohem více parametrů ovlivňujících kvalitu výtisku. Záleží tedy pak, co od daného výtisku očekáváme za vlastnosti.

Parametry, které mohou ovlivnit vlastnosti výtisku jsou:

- Procentuální hodnota hustoty vnitřní výplně objektu (Infill).
- Tvar hustoty vnitřní výplně.
- Počet jednotlivých stěn po krajích objektu (Perimetry).
- Pozice a orientace objektu na tiskové ploše.

Každá z těchto položek může ovlivnit kvalitu tisku a zároveň i dobu výroby. Je nutné najít



kompromis mezi kvalitou a dobou výroby.

(Data získány z programu Slic3r v základním profilu na tiskárnu Průša I3 Mk2.)

Graf 1 Porovnání časů výroby a počtu výrobků

Graf 1 ukazuje, jak se mění čas v závislosti na počtu stejných výtisků na jedné tiskárně. Jako ukázkový model byla použita krychle o délce strany 40mm a hustota vnitřní výplně je nastavena na 20 procent. Z naměřených dat je patrné, že tzv. přejezdy nemají žádný vliv na délku výroby. Přejezd je fáze výroby, kdy tisková hlava přejíždí mezi jednotlivými výtisky na podložce a nepřidává materiál.

4.2 Velikost tiskové plochy

Větší tisková plocha umožňuje výrobu velkých výtisků, ale jak ukazuje Graf 1 s větším počtem výtisků nebo s velikostí jednoho výtisku roste doba výroby. Proto pokud to výtisk umožňuje, je lepší velký výtisk rozdělit na menší části a vytisknout zvlášť na více tiskárnách a poté jednotlivé díly pospojovat např. šrouby či lepidlem. Při dodržování výše uvedeného schématu výroby je mnohem snazší a rychlejší odhalit případné chyby na výsledném výrobku. Doba výtisku jednoho dílu na více strojích, bude vždy nižší, než doba tisku celého výrobku na jedné tiskárně.

4.3 Typ výtlačné hlavy

Typ mechanického podavače materiálu je jedním z mnoha aspektů, kteří mají vliv na celkovou dobu výroby. Rozlišujeme tři typy podávacího mechanismu: Bowden, Direct, a kombinace Bowden-Direct.

Nejčastěji se využívá Direct extruder. Direct extruder má umístěn podávací motor přímo na pohyblivých osách tiskárny. Zatímco Bowden extruder má motor s podávacím mechanismem mimo osy stroje uložen na rámu tiskárny a filament je veden teflonovou hadičkou od zásobníku podavačem přes trubičku přímo do trysky. Díky tomu že je motor umístěn mimo osy, je váha os nižší a můžeme tak dosáhnout větších rychlostí posunu na osách X, Y. Bohužel díky tomu, že je materiál veden na delší vzdálenost, tak máme horší kontrolu nad materiálem a některé materiály hlavně flexibilní se nedají vůbec použít. Na některých strojích už můžeme nalézt kombinaci obojího. Tento systém má umístěn jeden motor mimo osy na rámu a jeden přímo na ose, dochází k podávání materiálu na obou místech a materiál je tak mnohem lépe vedený, díky tomu navíc stroj umožňuje výrobu i z flexibilních materiálů.

4.4 Pohyb obsluhy

Obsluha musí před každým zahájením výroby provést fáze přípravy tiskárny: Tyto fáze jsou predehřev tiskové hlavy a podložky, nahrání tiskových dat do tiskárny, vybrání tiskových dat v tiskárně, fyzická kontrola průběhu výroby. Z důvodu velké hlasitosti tiskáren a zápachu, který se vytváří vlivem použité technologie je obsluha a její terminál umístěna často mimo výrobní místnost.

Běžně se pro přenos tiskových dat používají SD karty. Obsluha absolvuje cestu k tiskárně pro SD kartu a zároveň nastaví predehřev, vrátí se na své stanoviště, kde nahraje tisková data SD kartu a vrátí se k tiskárně, kde po vložení média vybere tiskovou úlohu a zahájí výrobu. Po tuto dobu nemůže provádět jiné úkony a je závislá na rychlosti predehřevu, na který může čekat i několik minut. Při větším počtu tiskáren se výkonnost obsluhy výrazně snižuje a obsluha se nemůže věnovat jiné náplni práce.

4.5 Používaný Software

4.5.1 Slicer – nářezový program

Nejdůležitější program, který dokáže ovlivnit výrobní proces je slicer(nářezový program). Jedná se o aplikaci, generující soubor *gcode*, který tvoří trasu po které pojede vytlačná hlava. V této aplikaci se nastavují veškeré parametry tiskárny, Jako teploty, rychlosti pohybu, chlazení, množství vytlačovaného materiálu. Tyto programy mohou vyvíjet vlastní samotní výrobci. Obecně platí, že všechny slicery se dají použít univerzálně na všech tiskárnách. Mezi nejpoužívanější v praxi se řadí: Simplify3D, Slic3r PE, KisSlicer, Cura. Mnohé z nich jsou vydávány pod volnou licenci a jsou integrované přímo v tiskových server.

```
G90
M83
M106 S0
M140 S55
M190 S55
M104 S215 T0
M109 S215 T0
G28 W ; home all without mesh bed level
G80 ; mesh bed leveling
M201 X1000 Y1000
G1 Y-3.0 F1000.0 ; go outside print area
G1 X60.0 E9.0 F1000.0 ; intro line
G1 X100.0 E12.5 F1000.0 ; intro line
G1 E-0.8000 F1800
G1 Z0.200 F1000
; layer 1, Z = 0.2
T0
; tool H0.200 W0.428
; skirt
G1 X107.083 Y88.516 F4800
G1 E0.8000 F540
G1 X107.087 Y88.512 E0.0002 F1096
G1 X107.561 Y87.956 E0.0260
```

Obrázek 1 Ukázka gcode kódu, autor

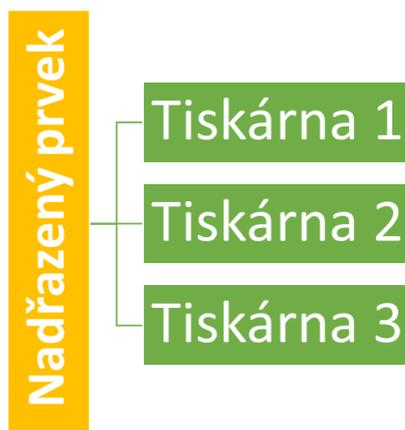
4.5.2 Systémy pro hromadnou správu 3D tiskáren

Nejprve je důležité si specifikovat co to je systém pro hromadnou správu 3D tiskáren. Systém pro hromadnou správu je takový systém, který umožňuje přípravu, správu tiskových dat, umí ovládat stroje a vzdáleně sledovat stav jednoho nebo více strojů. Usnadňuje uživateli interakci se strojem a zpřístupňuje mu některé další funkce pro zjednodušení práce. Jedná se o 3D tiskový server. V praxi můžeme nalézt řešení pro jednu tiskárnu a také systémy koncipované pro správu více tiskáren. Uskupení více tiskáren ve výrobě se označuje v praxi jako 3D tisková farma.

4.6 Typy připojení systému k tiskárně

4.6.1 Pomocí USB

Systém Repetier Server se neskládá z nadřazeného prvku a prvku na tiskárně. Systém využívá pro rozpoznání jednotlivých tiskáren COM(sériové) porty. Z toho vyplývá, že při zvyšování počtu strojů postačí pouze připojit další stroje do systému. Není zapotřebí zakoupit další prvek.

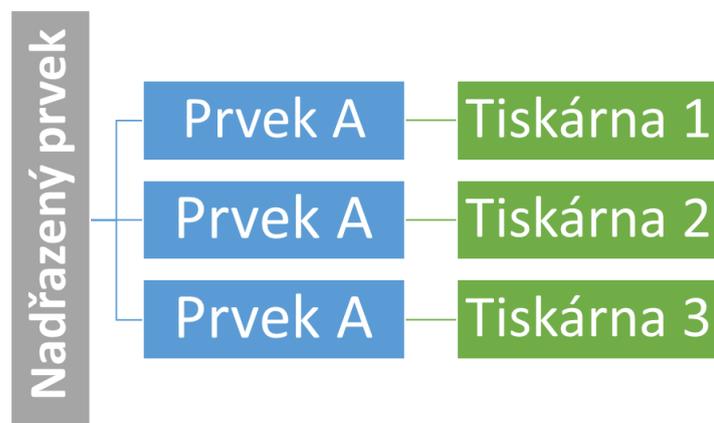


Obrázek 2 Zapojení pomocí rozhraní USB, autor

4.6.2 Pomocí sítě a USB

Systemy OctoPrint, AstroPrint a PrinterOS používá k připojení model nadřazeného prvku. Praxi to znamená, pro připojení jedné tiskárny je zapotřebí jeden prvek snímající stav tiskárny a prvek nadřazený, který tyto informace sbírá a posílá pokyny. Z tohoto plyne, že při zvětšování počtu strojů, roste i počet prvků připojených k nadřazenému.

Prvek A je zařízení, na kterém je spuštěna instance jednoho ze serverů. Tento prvek sbírá informace o tiskárně, na které je připojen a zasílá data do nadřazeného prvku. Nejčastěji se v praxi používají malé počítače o velikosti kreditní karty zvané Raspberry Pi.



Obrázek 3 Zapojení pomocí rozhraní USB/sítě, autor

4.7 Zhodnocení dostupných řešení na trhu

Systémy v tabulce 1.1 byly vyhledány a zvoleny, díky jejich použitelnosti v praxi. Parametry určené pro porovnání byly zvoleny na základě zkušeností odborníků z praxe a byli ohodnoceni na základě zkušeností odborníka z praxe na stupnici od 1 do 10 bodů.

Parametry pro porovnání jsou:

- *Cena licence.*
- *Kamera.* Parametr určující zda-li systém umožňuje odesílat prostřednictvím sítě záběry určené pro vzdálený monitoring.
- *Cloud.* Ukládání tiskových úloh na Cloud –Typ uložiště, na které systém umožňuje ukládat tiskové úlohy. Velikost poskytnutého prostoru v Gb(gigabyte) na cloudovém uložišti.
- *Náhledy.* Zda tiskový server v databázi tiskových úloh – gcodů vytváří náhledy(rendery) jednotlivých uložených tiskových úloh určených pro snazší orientaci a urychlení doby práce obsluhy.
- *Slicer* značí, zda dané tiskové řešení má zabudovaný vlastní program pro slicování 3D modelů.
- *Počet tiskáren,* které systém může mít připojených, monitorovat a ovládat.
- *UI(user interface)* je subjektivní zhodnocení příjemnosti uživatelského rozhraní posouzený odborníkem z praxe. V rozmezí 1 – 10. Kde 1 je nejméně příjemné a 10 nejlépe působící.

Systém	Cena licence(Kč)	Kamera	Cloud (GB)	Náhledy	Slicer	Počet tiskáren ks	UI
OctoPrint	0	ANO	0	NE	ANO	1	3
AstroPrint Basic	0	ANO	2	ANO	ANO	2	5
AstroPrint Pro	2712	ANO	50	ANO	ANO	10	5
PrinterOS Free	0	ANO	*	ANO	ANO	Unlimited	9
PrinterOS Premium	4536	ANO	*	ANO	ANO	Unlimited	9
Repetier Server Free	0	NE	*	NE	ANO	Unlimited	7
Repetier Server Pro	2057	ANO	*	ANO	ANO	Unlimited	7
	MIN	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX

Tabulka 1.1 Porovnání systémů, údaje k Prosinci 2018, autor

Velká část systémů jsou nejčastěji zdarma. V tabulce 1.1. jsou ceny uvedeny za rok. Poskytovatelé systémů AstroPrint a Printer OS poskytují placenou verzi za měsíční poplatek. Systém Repetier server je placen jednorázově za pět licencí. Placené verze poskytují rozšíření základních možností a přidává některé rozšiřující funkce. U některých systému nebylo možno dohledat přesný údaj o velikosti cloudového uložení.

Systém	Cena (Kč)	Kamera	Cloud (Gb)	Náhledy	Slicer	Počet tiskáren ks	UI
OctoPrint	10	10	0	1	10	1	3
AstroPrint Basic	10	10	2	10	10	2	5
AstroPrint Pro	5	10	10	10	10	10	5
PrinterOS Free	10	10	*	10	10	100**	9
PrinterOS Premium	1	10	*	10	10	100**	9
Repetier Server Free	10	1	*	1	10	100**	7
Repetier Server Pro	8	10	*	10	10	100**	7
	MIN	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX

Tabulka 2 Porovnání systémů formou bodovací, autor

*Konkrétní hodnota nenalezena

** Přesný počet nenalezen, nebo neomezený počet

4.8 Porovnání časů

Na základě zjištěných parametrů byl vybrán tiskový server *AstroPrint*. Byla změřena doba obsluhy a výroby. Testovacím objektem byla série 5 krychlí o velikosti 40x40mm bez horní plné stěny. Tištěny vždy zvlášť jednotlivě. Byli použity dvě metody nahrání dat do tiskárny. Přenos pomocí SD karty a pomocí 3D tiskové serveru AstroPrint.

Doba obsluhy zahrnuje následující úkony při použití SD karty:

Spuštění softwaru Simplify3D. Nastavení infillu, počtu perimetrů a import 3D modelu ve formátu STL. Poté přesun ke stroji pro SD kartu a spuštění přehřevu tiskárny Průša I3 Mk2 na PLA(hlava 215C podložka 55C). Návrat k terminálu s SD kartou, vygenerování strojových instrukcí s následným uložením na SD kartu.

Vyjmutí SD karty a následný přesun k tiskárně. Po vložení SD karty do tiskárny byla vybrána tisková data. Fyzická kontrola byla provedena do chvíle než tiskárna zahájila tisk vnitřní výplně kostičky v první vrstvě. Následně přesun zpět k terminálu, kde bylo měření ukončeno.

Doba výroby zahrnuje dobu od zahájení automatické kalibrace až po zaparkování hlavy. Tato fáze se aplikuje pře každým zahájením samotné výroby. Součástí výrobního procesu je také tzv. loop. Loop je proces kdy, tisková hlava na podložce obkrouží kolem prostoru určeného pro výtisk a vytlačí část materiálu. Tento proces je aplikován z důvodu vyčištění zbytků předešlého materiálu. Doba výroby je počítaná až do ukončení výtisku a zaparkování tiskové hlavy na koncové spínače.

SD karta					
Výtisk č.	Doba výroby	Doba obsluhy	Infill	perimetry	váha
1	49min	3min 50s	5%	2	11g
2	58min	3min 22s	10%	2	15g
3	1h 12min	3min 42s	15%	2	18g
4	1h 25min	3min 25s	20%	2	21g
5	1h 39min	3min 47s	25%	2	24g

Tabulka 3 Čas výroby za pomoci přenosu přes SD karty

Doba obsluhy zahrnuje následující úkony při použití tiskového serveru: Spuštění softwaru Simplify3D. Nastavení infillu, počtu perimetrů a import 3D modelu ve formátu STL. Otevření tiskového serveru, spuštění předehřevu tiskárny Průša I3 Mk2 na PLA(hlava 215C podložka 55C). Vygenerování strojových instrukcí s následným uložením na tiskový server.

Po nahrání dat byla vybrána tisková data. Kontrola výtisku byla provedena pomocí webové kamery připojené do serveru do chvíle než tiskárna zahájila tisk vnitřní výplně kostičky v první vrstvě. Následně uzavření webového okna systému a ukončení měření.

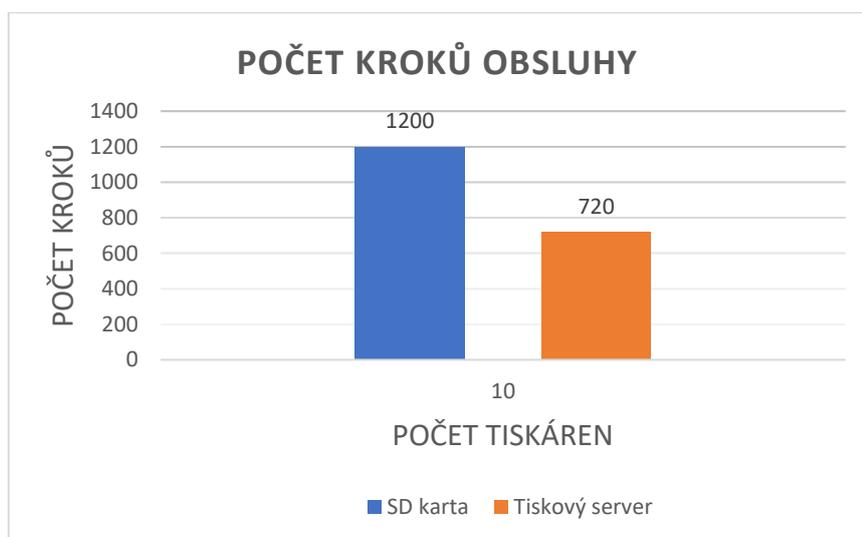
AstroPrint					
Výtisk č.	Doba výroby	Doba obsluhy	Infill	perimetry	váha
1	50min	3min 38s	5%	2	11g
2	58min	4min 7s	10%	2	15g
3	1h 12min	3min 29s	15%	2	18g
4	1h 26min	3min 24s	20%	2	21g
5	1h39min	3min 18s	25%	2	24g

Tabulka 4 Čas výroby za pomoci 3D tiskového serveru

Na základě měření došlo k porovnání hodnot při použití 3D tiskové serveru s hodnotami naměřenými při obsluze a výrobě při použití přenášení tiskových dat SD kartou. Při porovnání hodnot ve sloupci *doba výroby* a *doba obsluhy* vyplývá že použitý systém na hromadnou správu 3D tiskáren nemá vliv na dobu výroby a obsluhy tiskárny. Avšak při použití na jedné tiskárně pomocí systému pro hromadnou správu 3D tiskáren čekala obsluha až tiskárna provede povinné fáze přípravy, které se nadají urychlit. Naopak při použití SD karty čekala tiskárna připravená na obsluhu než nahraje tiskovou úlohu.

4.9 Porovnání fyzické vytíženosti

V rámci 3D tiskové farmy firmy Makerslab jsem provedl měření pro získání hodnoty počtu kroků, které by obsluha musela udělat, aby zahájila výrobu na všech deseti tiskárnách. Použil jsem hodnotu průměrného počtu kroků. Kdy jeden krok měří 1m. Měření zahrnuje standardní postup při použití SD karet, plus u obou případů se počítalo i s dvěma fyzickými kontrolami a po ukončení výroby také s výměnou pracovní podložky.



Graf 2 Fyzické zatížení obsluhy na 10 tiskáren, autor

Díky systému nedochází ke zbytečnému pohybu obsluhy, a tudíž obsluha není přetěžována, nedochází k chybám obsluhy způsobených vlivem fyzické únavy. Například chybnému výběru tiskové úlohy či nesprávnému sundání hotového výtisku z tiskové podložky a poškození tisku. Také šance, že se obsluha zraní při přesunu od pracovního terminálu do místnosti k 3D tiskové farmě je nižší. Nehrozí pád ze schodů, zakopnutí a dalším zraněním.

4.10 Návrh vlastního tiskového řešení

System bude vycházet ze systémů Repetier Server Pro a AstroPrint Pro. System by měl být určený pro větší množství tiskáren tvořící 3D tiskovou farmu. Hardwarové připojení bude používat model připojení přes USB a rozpoznávání tiskáren pomocí COM portů. Nebude zapotřebí mít u každé tiskárny připojené zařízení posílající informace nadřazenému prvku. Pro usnadnění monitorování systém umožní připojit webkamery a také by měl obsahovat možnost připojení a zobrazení stavu tiskáren na mobilním zařízení. Např. chytrého telefonu nebo tabletu.

Navíc by součástí systému bylo zařízení v podobě pojízdné automatické robotické ruky, která by měnila tiskové podložky po skončení výroby za čisté. Tuto ruku by byla schopna přes stejný systém kontrolovat i ovládat fyzická obsluha.

5 Výsledky a diskuse

Pomocí měření bylo zjištěno, že nasazení systému pro hromadnou správu 3D tiskáren tvořících tzv 3D farmu nemá vliv na celkový čas obsluhy a výroby. Zároveň bylo zjištěno, že při zapojení systému pro hromadnou správu 3D tiskáren se snižuje pravděpodobnost, že obsluha při zadávání výroby udělá chybu pod vlivem fyzické únavy. Bylo změřeno, že při nasazení tiskového serveru ušetří obsluha v modelovém případě 300m chůze navíc. Také byly porovnány jednotlivé vlastnosti systémů a byly vyhodnoceny odborníkem z praxe. Veškeré testované systémy mají méně či více tendenci usnadňovat stávající přípravný proces výroby.

Po porovnání funkcionalit šesti systémů pro hromadnou správu 3D tiskáren bylo navrženo ideální tiskové řešení, které si z jednoho systému přebírá hardwarovou architekturu(Repetier-Server) a z druhého(AstroPrint) uživatelské rozhraní a veškeré softwarové funkce. Navíc byla navržena součást systému v podobě pohyblivé robotické ruky, která bude vyhodnocovat stav jednotlivých 3D tiskáren a u ukončených tiskových úloh bude měnit tiskové plochy. Všechny zkoumané systémy automatizovali výrobní proces a minimalizovali počet zásahů člověka do výrobního procesu.

5.1 Stávající řešení na trhu

Na trhu existují systémy pro monitorování a řízení výroby na 3D tiskárnách. Jeden systém si sama vyvinula a používá firma Prusa Research s.r.o na své farmě určené na výroby dílů na další 3D tiskárny. Dalším systémem je tiskové řešení označované pod názvem 3D Farm, který postavila firma Makerslab a využívá ho pro svůj zakázkový 3D tisk při malosériové výrobě. Také můžeme najít na trhu řešení jednotlivých zahraničních výrobců 3D tiskáren, které ale jsou často nedostupné a jsou určeny pouze pro potřeby vlastní továrny. Také tyto systémy neumožňují zapojení do systému jiné stroje než stroje od jednoho výrobce.

5.1.1 **OctoPrint**

Je open Source řešení aplikace 3D tiskového serveru umožňující připojení k 3D tiskárně, vzdáleně jí nahrávat tiskové úlohy, ovládat a sledovat proces výroby. Je na bázi client/server a přistupuje se k němu přes webové rozhraní. Díky němu je možné přistupovat k tiskárně z lokální sítě ale i přes síť internet. Tato aplikace umožňuje také připojení web kamery a možnost sledovat průběh výroby přes kameru.

5.1.2 **AstroPrint**

Nabízí komplexní řešení. Jedna z částí je *AstroPrint*. Tato část je aplikační software umožňující vzdálenou správu 3D tiskárny. Má stejné vlastnosti jako Octoprint. Navíc má mnohem pohodlnější uživatelské prostředí. Další výhodou tohoto řešení je, že má možnost nahrávat data i do cloudu. Do balíčku od AstroPrintu spadá také *AstroPrint desktop*. V *AstroPrint desktop* nalezneme integrovaný slicer a funkce rychlého nahrání do lokálního či cloudového úložiště.

5.1.3 **Repetier Server**

Repetier je firmware určený pro 3D tiskárny. Základy pochází z firmwaru Sprinter. Je určený pro arduino kompatibilní desky. Tento firmware spadá pod licenci GPL(GNU General Public License). *Repetier server* je aplikační software, umožňující vytvoření 3D tiskové serveru fungující na bázi client/server za pomoci webové prohlížeče. *Repetier Server* umožňuje sledovat vzdáleně připojené tiskárny. Nahrávání tiskových dat na lokální uložení a umí vytvořit grafické náhledy z tiskových modelů, což usnadňuje orientaci ve větším počtu tiskových úloh. Nevýhodou je, že každá tiskárna musí mít připojený samostatný počítač, čímž roste počet potřebných zařízení. Také zde není možnost cloudového uložení tiskových dat. Každá tiskárna má své vlastní lokální nesdílené uložení. Mezi funkcemi již standartně můžeme nalézt připojení webkamery a nahrávání video záznamu z výroby. Systém umožňuje připojit tiskárny pomocí COM portu. Pro používání více tiskáren stačí pouze jedno zařízení pracující jako server. Není zapotřebí mít zařízení pro každou tiskárnu.

5.1.4 Prusa Research farm systém

Bohužel výrobce nesdělil informace. A ponechal si informace jako vlastní know how firmy.



Obrázek 4 3D farma, Josef Prusa

5.1.5 3D Farm

Tento systém funguje tak, že každá jednotlivá tiskárna musí mít připojena k řídicí jednotce, která ovládá veškerou mechaniku tiskárny a další zařízení, na kterém běží instance tiskové serveru *OctoPrint*. Každá tato instance u tiskárny odesílá informace do nadřazeného prvku, který zobrazuje informace jako stav tiskárny, průběh tisku, dobu do ukončení tiskové úlohy. Tento systém umožňuje také hromadně ovládat předehřev tiskáren, nahrávat tiskové úlohy ale také spouštět a zastavovat výrobní proces.

Velkou nevýhodou je nutnost mít u každé tiskárny samostatný počítač s operačním systémem a na něm nainstalovanou instancí *OctoPrintu*. Výhodou je, že se obsluha nemusí přesouvat tak často mezi terminálem a výrobním prostorem. Obsluha pouze řeší fázi vizuální kontroly průběhu výroby. Což umožní, aby se obsluha mohla věnovat přípravě dalších tiskových úloh, popř. jiné činnosti s výrobou spojenou. Toto řešení obsahuje kromě softwarové stránky také hardwarové uložení samotných tiskáren a materiálu. Tento systém se velice snadno může a levně změnit na uzavřený tepelný systém a umožnit snadnější tisk materiálu ABS a dalších.

5.1.6 PrinterOS

Jedná se o systém určený nejen pro optimalizaci výroby, ale také umožňuje samotný prodej výrobků vyrobených na 3D tiskárnách. Základní verze, která je zdarma, umožňuje uživateli používat základní funkce. V základní verzi je uživateli k dispozici nahrání tiskových dat, vzdálené monitorování průběhu tisku. V další verzi, která je již zpoplatněna může uživatel nalézt pokročilé vlastnosti. Sdílení tiskových dat mezi uživateli, sdílení tiskáren a udělování práv k jednotlivým strojům, vytváření tiskových front. Tento systém má k dispozici i další verze pod názvy *Education* a *Enterprise*. Nejvyšší verze obsahuje již funkce pro nejen monitorování a zadávání výroby, ale dokáže i vyexportovat měsíční reporty výroby.

6 Závěr

Studiem dostupných literárních zdrojů byla zjištěna existence tří rozdílných technologií 3D tisku, využívající různé principy výroby 3D objektu. Nejčastěji se používá FDM technologie díky nižší pořizovací ceně, a i nižší ceně výroby. Technologie FDM se rozděluje i podle použitého mechanické řešení pohybu jednotlivých os.

Systémů pro hromadnou správu 3D tiskáren můžeme nalézt již na trhu mnoho. Většina řešení využívá cloud uložení tiskových úloh a přenášení video obrazu určeného pro vzdálený monitoring. Při porovnání jednotlivých systémů bylo zjištěno, že systémy využívají dvě schémata hardwarového zapojení. Kde výhodnější a snadnější pro správu se jeví systém, který je tvořen pouze jedním prvkem, ke kterému jsou zapojeny všechny tiskárny. Na rozdíl od druhého schématu, kde je zapotřebí mít u každého stroje vlastní prvek posílající data nadřazenému prvku.

Hlavní výhodou systému pro hromadnou správu 3D tiskáren je automatizace procesů. Díky těmto systémům se minimalizuje počet zásahů člověka do výrobního procesu. A vyplývá tedy že, systémy pro hromadnou správu jsou prvním krokem předtím, než člověk ve výrobě zcela nahradí stroj. Ideální systém výroby bude takový výrobní proces, do kterého nebude v žádné fázi vstupovat lidský faktor.

3D tisk je technologie budoucnosti, která se již objevila dnes, I když je tato technologie teprve na začátku svého technologického vývoje. Vytvořila již základ pro to, být součástí Industry 4.0 a vytváření objektů na míru. Do budoucnosti lze očekávat, rozšíření této technologie nejen do výrobní, ale i do dalších oblastí např. zdravotnictví. Budoucnost není v nákupech již zhotovených výrobků ale v nákupu výrobních dat a v samotné výrobě koncovým zákazníkem.

7 Bibliografie

- 3D Hubs. *What is 3D printing?* [Online] [Citace: 29. 08 2018.] <https://www.3dhubs.com/what-is-3d-printing>.
- 3D printer OS. *Solutions*. [Online] [Citace: 30. 01 2019.] <https://www.3dprinterOS.com/>.
- 3D tiskárny: Kompletní průvodce. *Futblab*. [Online] [Citace: 29. 8 2018.] <https://futlab.cc/vyber-3d-tiskarny/>.
- 3Dwiser. *Formlabs Form2*. [Online] [Citace: 4. duben 2018.] <https://3dwiser.com/3d-tiskarny/sla-dlp/formlabs-form-2/>.
- All3DP. *All3DP*. [Online] [Citace: 30. 8 2018.] <https://all3dp.com/know-your-fdm-3d-printers-cartesian-delta-polar-and-scara/>.
- AstroPrint. *Astroprint Solutions*. [Online] [Citace: 30. 01 2019.] <https://www.astroprint.com/solutions>.
- Futur3D. *Futur3D*. [Online] [Citace: 4. duben 2018.] <https://www.futur3d.net/produkty/dwarf3>.
- 2018.** How to calculate printing costs. *Ultimaker Community of 3D Printing Experts*. [Online] 23. 6 2018. [Citace: 9. 2 2019.] <https://community.ultimaker.com/topic/23475-how-to-calculate-printing-costs/>.
- Josef prusa. *josef prusa*. [Online] [Citace: 3. duben 2018.] <https://josefprusa.cz/co-je-reprap/>.
- Kloski. 2017.** *Začínáme s 3D tiskem*. 2017. 9788025148761.
- Lipšanský, Jan.** 3D tisk se začíná stále více uplatňovat v lékařství. *CAD*. [Online] [Citace: 9. 2 2019.] <https://www.cad.cz/component/content/article/3738.html>.
- Makerslab Typy 3D tiskáren. *Makerslab*. [Online] [Citace: 29. 8 2018.] <https://makerslab.cz/typy-3d-tiskaren/>.
- materialpro3d. *materialpro3d*. [Online] [Citace: 03. Duben 2018.] <https://www.materialpro3d.cz/materialovy-slovník/pla/>.
- materialpro3d. *materialpro3d*. [Online] [Citace: 3. duben 2018.] <https://www.materialpro3d.cz/materialovy-slovník/pet-g/>.
- OctoPrint. *OctoPrint*. [Online] [Citace: 30. 01 2019.] <https://octoprint.org/>.
- Oibox. *Makerslab.cz*. [Online] [Citace: 11. 2 2019.] <https://makerslab.cz/oibox/>.
- Prusa, Josef.** Novinky z Prusa Research: MMU 2.0, nový extruder pro MK3 a zkoumání nekonzistentní extruze. *Josef Prusa*. [Online] [Citace: 13. 08 2018.] https://josefprusa.cz/aktualni-informace-z-prusa-research-mm-2-0-novy-extruder-pro-mk3-a-zkoumani-nekonzistentni-extruze/?utm_source=Novinky+v+3D+tisku&utm_campaign=8adb60ecfb-summer-2018-cz&utm_medium=email&utm_term=0_49e8b31493-8adb60ecfb-109730465.
- 2018.** real time monitoring and control of my 3D printer. *geekdad*. [Online] 5. 6 2018. <https://geekdad.com/2018/06/real-time-monitoring-and-control-of-my-3d-printer/>.
- Research, Prusa.** Prusa Research. *Prusa Research*. [Online] Prusa Research. [Citace: 3. Duben 2048.] <https://www.prusa3d.cz/original-prusa-i3-mk3/>.
- Schneider, Matěj. 2018.** 3D tiskem si teď může střelnou zbraň opatřit každý. Jsou ale k něčemu? *Český rozhlas*. [Online] 19. 7 2018. [Citace: 9. 2 2019.] <https://wave.rozhlas.cz/3d-tiskem-si-ted-muze-strelnou-zbran-opatrit-kazdy-jsou-ale-k-necemu-7568375>.

SLS, SLA, SLM, MLS technologie. *Materiál pro 3D*. [Online]
<https://www.materialpro3d.cz/materialovy-slovník/slm-technologie/>.
Stereolitografie. *Wikipedia*. [Online] [Citace: 7. 8 2018.]
<https://cs.wikipedia.org/wiki/Stereolitografie>.
Varotsis, Alkaios Bournias. Introduction to SLA 3D Printing. *3Dhubs.com*. [Online]
[Citace: 14. 02 2019.] <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/introduction-sla-3d-printing#what>.
Versions. *Repetier Server*. [Online] [Citace: 30. 01 2019.] <https://www.repetier-server.com/>.
Vojáček, Antonín. 2016. automatizace.hw.cz. *Industry 4.0*. [Online] 19. 3 2016.
[Citace: 13. 11 2018.] <https://automatizace.hw.cz/mimochodem/co-je-se-skryva-pod-vyrazy-industry-40-prumysl-40.html>.

8 Přílohy

Příloha I. - HW specifikace

Seznam obrázků

Obrázek 2 Ukázka GCODE kódu, autor	21
Obrázek 3 Zapojení pomocí rozhraní USB, autor	22
Obrázek 4 Zapojení pomocí rozhraní USB/sítě, autor	23
Obrázek 5 3D farma, Josef Prusa.....	31

Seznam tabulek

Tabulka 1.1 Porovnání systémů, údaje k Prosinci 2018, autor	24
Tabulka 2 Porovnání systémů formou bodovací, autor	25
Tabulka 3 Čas výroby za pomoci přenosu přes SD karty	26
Tabulka 4 Čas výroby za pomoci 3D tiskového serveru	26

Seznam použitých zkratk

Zkratka	Anglicky	Česky
SLA	Stereolithography	Stereolitografie
SLS	Selective Laser Sintering	Selektivní spékání laserem
FDM	Fused Deposition Modeling	
Reprap	Replicating rapid prototyper	Replikace rychlého prototypu

Příloha I.

HW specifikace strojů:

PC:

CPU AMD FX6300

GPU MSI SEA HAWK GTX 1070 8Gb

RAM HyperX 4x4Gb

Tiskárna:

Original Prusa I3 Mk2

Simplifly3D