



**FAKULTA
ŠTOJNÍ
ČVUT V PRAZE**

Ústav konstruování a částí strojů

Míchačka stavební směsi s přesným
dávkováním

Concrete Mixer with Accurate Dosage
of Water and Chemicals

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2019

Radim PEŠKA

Studijní program: B2342 TEORETICKÝ ZÁKLAD ŠTOJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

Studijní obor: 2301R000 Studijní program je bezoborový

Vedoucí práce: Ing. František Starý

Sem bude vloženo zadání bakalářské práce v tištěné verzi

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci „Míchačka stavební směsi s přesným dávkováním“ vypracoval samostatně se svým nejlepším svědomím a vědomím pod vedením Ing. Františka Starého s použitím uvedených informací a zdrojů.

V Praze dne

Radim Peška

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Františkovi Starému za rady, ochotu a trpělivost, kterou mi projevil během psaní bakalářské práce. Dále děkuji rodičům a kamarádům za podporu během psaní práce i během celého studia.

ANOTAČNÍ LIST

Jméno autora: Radim Peška

Název BP: Míchačka stavební směsi s přesným dávkováním

Anglický název: Concrete Mixer With Accurate Dosage of Water and Chemicals

Rok: 2019

Studijní program: B2342 Teoretický základ strojního inženýrství

Obor studia: 2301R000 Studijní program je bezoborový

Ústav: Ústav konstruování a částí strojů

Vedoucí BP: Ing. František Starý

Bibliografické údaje: počet stran 48

počet obrázků 24

počet tabulek 6

počet příloh 2

Klíčová slova: 3D tisk budov, aditivní technologie ve stavebnictví, cementová malta, beton, počítačem podporované konstruování, stavba

Keywords: 3D print of buildings, additive technology in construction, cement mortar, concrete, computer aided construction, construction

Anotace:

Obsahem práce je přiblížení čtenáři současný stav 3D tisku ve stavebnictví, uvedení základních principů tisku budov a vysvětlení základní terminologie aditivních počítačem podporovaných metod. Praktická část se zabývá návrhem míchačky stavební směsi s přesným dávkováním. V praktické části je navrženo dávkovací zařízení s pohonem. Součástí práce jsou navržené grafy, které mají sloužit obsluze zařízení pro snadné volby podmínek tisku podle zvolených komponent. Práce obsahuje model vypracovaný podle zadání práce a rešerše dostupných dodávaných komponent.

Abstract:

Theme of the thesis is to introduce reader into the current situation of 3D print in construction, explaining basic principles of 3D print of buildings and explanation of basic terminology of additive computer aided methods. Practical part of the thesis is concerning design of a Concrete Mixer with Accurate Dosage of Water and Chemicals. Practical part of the thesis is to design components allowing accurate and continuous dosage of building mixture with fitting engine. Part of the thesis are graphs picturing printing parameters based on chosen parts. Graphs are supposed to serve as guidelines for the manipulation crew of the machine. Thesis contains a model of device based on assignment and research of available used components.

OBSAH

1. Úvod.....	1
2. Teoretická část.....	3
2.1. Úvod do technologie 3D tisku	3
2.2. Příklad konvenční betonové konstrukce.....	4
2.3. Metody 3D tisku budov.....	5
2.3.1. Metoda spojování kameniva.....	5
2.3.2. Metoda vrstvení cementové malty	7
2.3.3. Stroje na 3D tisk metodou vrstvení cementové malty	10
2.3.3.1. Rámové tiskárny	10
2.3.3.2. Tiskárny s pohyblivým ramenem.....	12
2.3.3.3. Pohyblivé tiskárny	12
3. Praktická část	13
3.1. Návrh kupovaných dílů.....	13
3.1.1. Návrh dílů statoru a rotoru.....	13
3.1.1.1. Určení krajních parametrů tisku	14
3.1.2. Návrh frekvenčního měniče.....	15
3.1.3. Návrh elektromotoru	16
3.1.4. Návrh provozních parametrů	17
3.2. Návrh modelu míchačky stavební směsi.....	25
4. Závěr.....	36
Seznam použité literatury.....	37
Seznam obrázků	39
Seznam tabulek.....	41
Seznam příloh	42

1. Úvod

Cílem bakalářské práce je návrh míchačky stavební směsi s přesným dávkováním. Míchačka bude navržena jako součást stroje vyvíjeného ve spolupráci fakult ČVUT. Stavební směsí do míchačky bude speciální druh cementové malty vyvíjené na fakultě stavební. Bakalářská práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část.

V teoretické části bakalářské práce budou rozebrány počátky používání aditivní technologie ve stavebnictví. Aditivní metoda stavby spočívá ve vrstvení materiálu bez úběru. Aditivních technologií se v různých odvětvích průmyslu používá různých druhů. I přes rozdíly v jednotlivých technologiích, jako je třeba tavné nanášení plastu nebo laserové spékání kovů, se aditivním technologiím souhrnně říká technologie 3D tisku. Stroje jsou pak 3D tiskárny. Přes rozdíly představující použití aditivních technologií ve stavebnictví se nachází mnoho podobností s aditivními technologiemi v ostatních průmyslových odvětvích. Aditivní technologie ve stavebnictví se proto dají nazvat 3D tiskem a stroje k účelu určené 3D tiskárny. Teoretická část rozebere počátky 3D tisku ve stavebnictví a přiblíží čtenáři některé z firem zabývajících se 3D tiskem.

V další části teoretické části bude popsán konvenční postup stavby betonových staveb. Konvenční postup konstrukce bude popsán aby čtenáři umožnil lepší náhled na problematiku 3D tiskáren a nastínil důvod, proč je inovace ve stavebnictví ve formě 3D tisku nutným vývojovým krokem. Teoretická část rozebere technologii spojování kameniva. Metoda spojování kameniva bude popsána jako celý konstrukční proces a budou uvedeny příklady a možnosti využití. Další metodou 3D tisku budov bude popsána metoda vytlačování cementových malt. Pro metodu cementových malt budou dále uvedeny stroje využívané pro tisk.

Praktická část bude rozdělena na dvě části. První část praktické části se bude zabývat návrhem pohyblivých rotujících dílů míchačky stavební hmoty. Bude se jednat o návrh míchacího ústrojí, návrh hnacího elektromotoru a dalších příslušných dílů potřebných pro finalizaci návrhu. Pro vyhotovení návrhu bude použita rešerše dodávaných součástí od firem spolupracujících s fakultou strojní ČVUT. Jako míchací ústrojí budou použity díly statoru a rotoru

šnekové omítačky. Součásti budou zvoleny podle provozních parametrů tiskárny ze zadání. Provozní parametry budou uvedeny na začátku praktické části. Podle provozních parametrů budou navrženy součásti statoru a rotoru šnekové omítačky s hnacím elektromotorem, aby bylo možné dosáhnout všech provozních parametrů ze zadání. Výsledné vybrané součásti budou zpracovány do tabulky s příslušnými grafy provozních parametrů.

Druhá část praktické části se bude zabývat návrhem modelu míchačky stavební směsi. V modelu budou použity díly vybrané v první části praktické části. Model bude vytvořen podle parametrů zadání se všemi náležitostmi. Jednotlivé části modelu budou popsány a vysvětleny z hlediska účelu a konstrukčního řešení. Model se bude skládat z kupovaných dílů a dílů vyrobených. Kupované díly budou vybrány z katalogů výrobců na základě rešerše.

2. Teoretická část

2.1. Úvod do technologie 3D tisku

Počátky technologie 3D tisku se datují do 80. let minulého století. V dnešní době se technologie 3D tisku využívá v mnoha medicínských i průmyslových odvětvích. Tisknout lze z mnoha různých materiálů přes plasty, sklo, kov až po cementové směsi, dle zaměření bakalářské práce. Jedná se o aditivní technologii bez úběru materiálu. Proto jsou aditivní technologie velice materiálově úsporné, nevzniká odpad. Teoreticky lze dosáhnout až stoprocentní efektivity spotřeby materiálu. Mnoho stavebních směsí pro 3D tisk může být dokonce tvořeno odpadovým materiálem. Konstrukce budov za použití aditivních technologií se dá považovat za již dlouho očekávanou čtvrtou průmyslovou revoluci ve stavebním průmyslu. [1] Ve většině průmyslových odvětvích je digitalizace výroby běžně využívaným procesem. Ve strojírenství je možné hledat počátky v 50. letech minulého století nástupem číslicově řízených strojů. Během let došlo ke značnému vývoji a posunu počítačem podporovaných technologií. Od původních číslicově řízených NC (numerical controlled) strojů, řízených děrnými štítky po počítačem řízené CNC (computer numerical controlled) stroje. Počítačem řízené obráběcí stroje (CNC) jsou schopny na počítači vytvořený 3D model v CAD (Computer aided design) programu upravené přes patřičný CAM (computer aided manufacturing) program vyrobít bez lidského zásahu. CNC stroje se tak vyznačují svou efektivitou, rychlostí a přesností, které nelze na člověkem ovládaném stroji dosáhnout. Ve stavebnictví se dosud podobná technologie nenacházela. Budovy se dnes již navrhují na počítači a modely jsou vytvářeny elektronicky ve 3D, ale neexistovala technologie, která by dokázala elektronický model přímo přenést do reality světa. [2]

První koncept 3D tisku ve stavebnictví, za použití stavební hmoty ve formě cementové malty, pochází z roku 1997 z USA. Autorem je íránsko-americký vynálezce a profesor Jihokaliifornské univerzity Dr. Behrokh Khoshnevis. [3] Dr. Behrokh Khoshnevis je prezidentem a výkonným ředitelem firmy Contour Crafting Corporation (dále CCC). [4] Firma CCC se zabývá konstrukcí budov za použití 3D modelů ve formě CAD. Firma CCC se na svém kontě pyšní vlastnictvím

více než 100 mezinárodně uznávaných patentů. Princip používaný Dr. Khosnevisem je všeobecně nejpoužívanější, a proto bude v bakalářské práci rozebrán. Funguje na principu, že se budova rozdělí po vodorovných vrstvách na plochy od sebe vzdálené právě výškou tištěné vrstvy. Stroj pak následně jede a nanese právě jednu vrstvu po celé ploše půdorysu. Po dokončení jedné vrstvy se přesune na další, dokud není celá stavba kompletní. [4] Princip je prakticky totožný s principem používaným na plastových 3D tiskárnách. Kvůli této paralele se konstrukce budov aditivní technologií za použití cementové malby dá nazvat 3D tiskem budov a používané stroje 3D tiskárny na budovy. Princip tištění budov je poměrně mladá technologie, ale přesto velice vzrůstá na popularitě. Technologii 3D tisku budov se věnuje mnoho zahraničních firem, mezi největší patří například výše zmíněná americká firma CCC. Do technologie 3D tisku budov jsou vkládány veliké naděje na revolucionalizaci stavebního průmyslu. Konvenční konstrukce budov je obecně časově náročná práce. Prakticky veškerá práce je vykonávána lidmi za použití strojů ve formě jeřábů a dalších zařízení sloužící ke stavbě. Dá se říci, že stavební průmysl za ostatními odvětvími průmyslu zaostává na produktivitě.

2.2. Příklad konvenční betonové konstrukce

Pro přiblížení a vysvětlení inovací přicházející s technologií 3D tisku ve stavebnictví bude ve stručnosti popsána konvenční konstrukce betonové stavby. V příkladu bude uvedena betonová stěna obytného domu. Obytný dům bude postaven z běžného nepředepjatého cementového betonu s ocelovou výztuží. Pro stavbu stěny je potřeba nejprve připravit bednění. Bednění slouží jako forma. Do bednění budou připraveny ocelové tyče. Výztuž je do betonu přidávána kvůli zvýšení pevnosti v tahu. Beton je v tlaku velmi odolný ale v tahu nikoli. Výsledný beton pak bude nazýván železobetonem. Po přípravě dokončení výztuže a bednění bude nalit tekutý beton. Betonů může být celá řada podle požadovaných vlastností. Pro představu stačí standartní cementový beton, směs cementu jako pojiva a kameniva jako plniva. Beton se začne téměř okamžitě v bednění vytvrzovat. Vytvrzování betonu probíhá vykrytalizováním vnitřní struktury. Beton tak získá tvrdost a pevnost. Beton se vytvrzuje až 28 dní, podle podmínek okolí. Po 28 dnech je beton považován za vyzrálý a je možné

na něj dále stavět nebo v případě výroby prefabrikovaných dílů ho převézt na požadované místo. Po postavení všech nosných stěn bude stejným postupem připraveno bednění na podlahu. Do bednění budou vloženy výztuže. Bednění bude zalito betonem. Beton bude následně vytvrzovat. Konstrukce betonových staveb pomocí bednění přímo na místě stavby se nazývá in-site. Druhým způsobem je konstrukce z hotových betonových bloků, následná přeprava a umístění s pomocí jeřábů na místo. Princip tvorby betonových bloků popsany výše je pro obě metody stejný. [5]

2.3. Metody 3D tisku budov

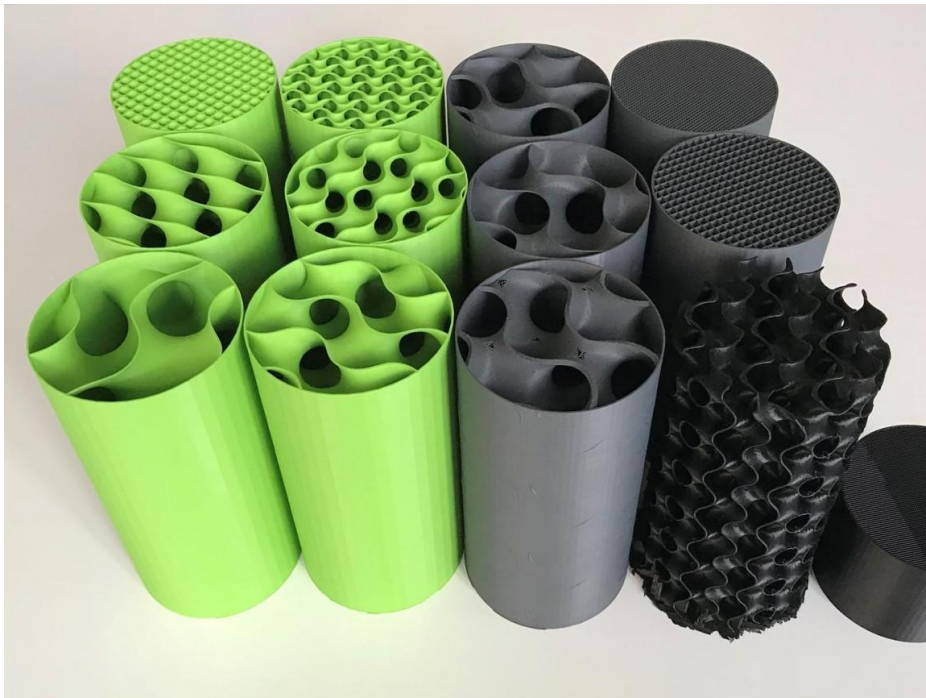
Pro 3D tisk ve stavebnictví existují dvě metody. Metoda vytlačování stavební směsi a metoda spojování kameniva. Nejprve bude stručně popsána metoda spojování kameniva.

2.3.1. Metoda spojování kameniva

Metoda spojování kameniva funguje na podobném principu jako laserové slinování kovového prášku. Jedná se o technologii vynalezenou firmou Voxjet původně navrženou na tvorbu pískových forem na odlévání kovů. [6] Proces tisku velkých struktur principem spojování kameniva se nazývá D-Shape. [7]. Celkový výrobní proces je rozdělen na tři fáze. Jako první je CAD/CAE (computer aided engineering) fáze. Jedná se o proces tvorby 3D modelu v CAD programu s možností použití algoritmizace některých prvků pro získání maximální efektivity pomocí CAE programu. Po dokončení návrhu je model převeden do programu podporovaného tiskárnou. Program model rozřeže po tenkých vodorovných vrstvách a připraví tak model k tisku. Nastává CAM fáze. Tiskárna nanese na plochu tisku tenkou vrstvu kameniva, řádově stovky mikrometrů. [6] Po ploše říznutého modelu je následně nanese pojivo. Po dokončení vrstvy je opět nanese kamenivo a celý proces se opakuje až do dokončení tisku. Poslední fází je fáze dokončovací. Kamenivo nespojené pojivem je odsáto vysavačem. Nevyužitě kamenivo se recykluje a znovu použije na další projekty. Následně začne práce dělníků. Dělníci musí vložit výztuže, pokud jsou požadovány a nebyly vloženy již během tisku, potrubí a elektrické kabely. Stavba se následně omítne a provede se případná další povrchová úprava. Metoda spojování kameniva skýtá téměř neomezené možnosti. Je nutné

dodržovat určitá pravidla jako třeba maximální sklon stěn 45° bez nutnosti dodávání výztuží. [7]

Metoda umožňuje tvorbu struktur navrhnutých algoritmizací za použití umělé inteligence. Jedná se o metodu určenou pro dosažení maximálních pevnostních a jiných požadovaných podmínek při maximální efektivitě využití materiálu. Jako příklad požití metody můžeme vzít například práci Dr. techn. Ing. Jana Podroužka z Fakulty stavební VUT v Brně. Jednalo se o tisk modelů sloupů z kukuřičných plastů. Vnitřní struktura sloupů využívá metodu minimálních geometrických ploch. Výsledné statické vlastnosti sloupů se ukázaly jako velmi slibné. [3] [8]



Obrázek 1.: Vzorok sloupů s vnitřní výplní na principu minimálních ploch, vytištěné z plastu týmem Dr. Ing. Podroužka technologií tavného nanášení, VUT Brno [3]

Další ukázkou možností technologie spojování kameniva je projekt Benjamin Dillenburgera a Michaela Hansmayera. „*Tři metry Arabesková stěna je objekt až zastrašující složitosti vytištěn za čtyři dny ze souboru o velikosti 50 gigabytů. Jedná se o demonstraci neskutečných možností dosažitelných algoritmickým designem a 3D tiskem, ačkoliv svou ohromující komplexitou se jedná i o zkoušku lidského vnímání.*“ [9]



Obrázek 2.: Ukázka arabeskové stěny vzniklé metodou spojováním kameniva [9]

2.3.2. Metoda vrstvení cementové malty

V následující podkapitole bude rozebrán 3D tisk budov na principu vrstvení stavební směsi, nejčastěji cementové malty. Návrhu stroje na vytlačování stavební směsi je věnována praktická část bakalářské práce. Princip spočívá v nanášení stavební hmoty na požadovanou plochy vždy ve výšce právě jedné vrstvy. Po nanesení jedné vrstvy po celé ploše se stroj přesune o jednu vrstvu výš a opět ji nanese po celé požadované ploše. Do konstrukce se po dokončení tisku zakomponují požadované výztuže, elektrické vedení a vodovodní potrubí. Problém nastává v okamžiku tisku podlah pater. Zatímco konvenčně by bylo klasicky připraveno bednění a následně zalito betonem, 3D tiskárny neumožňují tisk vodorovných ploch bez podloží nebo podpor. Tisk stěn je omezen maximálním úhlem 45°. Pro tisk podlahových dílů by bylo nutné

umístit dočasné podpory a po zatuhnutí stavební směsi je odstranit. V případě staveb z předepjatého betonu je potřeba tisknout kolem natažených ocelových lan. Nevýhodou 3D tisku z cementových malt je rovněž viditelnost jednotlivých vrstev. Viditelnost vrstev se dá snížit přidáním hladícího zařízení na tiskovou hlavu, nebo následným přidáním vrstvy omítky pro získání hladké stěny. Viditelnost vrstvy lze rovněž odstranit obráběním například CNC frézku. [3]



Obrázek 3.: Ukázka nanášení vrstev metodou vytlačování cementových malt [19]

Důležitým faktorem je samotná používaná stavební směs. Pro směs je důležité rychlé tuhnutí, aby dokázala unést další nanášené vrstvy a aby nestékala dolů po stěně. Tisknout lze celé plné bloky, nebo pouze skelet sloužící jako ztracené bednění, které se následně vyztuží a zalije monolitickým betonem. Firma WASP předvedla na události „Viaggio a Shamballa“ v italském městě Massa Lombarda konané v roce 2018 koncept domu nazvaný GAIA. Jednalo se o dům postavený metodou 3D tisku postavený z čistě ekologických a místních surovin. Jako stavební hmota byla použita směs tvořená 25 % místní zeminy (40 % bahno, 30 % jíl a 30 % písek), 40 % slámy z nedaleké rýžové farmy, 25 % rýžových slupek, 10 % vápna. Směs byla smíchána, aby bylo dosaženo homogenity. [10]

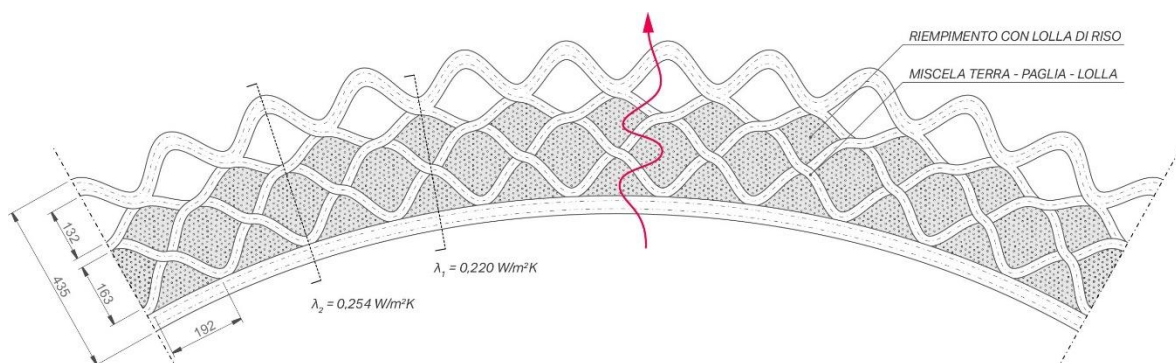
Směsi mohou být přírodní nebo naopak velmi specializované s přidanými látkami podporující tvrdost, pevnost a rychlost tuhnutí. Pro směsi je kromě

rychlosti tuhnutí důležitá také maximální velikost zrna pro hladký průchod tiskovou hlavou.



Obrázek 4.: Ukázka stavebního procesu domu GAIA na expozici "Viaggio a Shamballa" viz výše firmou WASP [10]

Dutiny ve stěně byly následně vyplněny slámou. Do domu byly nainstalovány okna a stavba byla zastřešena dřevěnou střechou. Stavba byla navržena jako ekologické bydlení za minimální náklady na stavební materiál. Konstrukce byla navržena, aby využívala přirozené ventilace vzduchu a uvnitř bylo celoročně mírné klima bez nutnosti vytápění či klimatizace. [10]



Obrázek 5.: Ukázka izolace stěny domu GAIA na expozici "Viaggio a Shamballa" firmou WASP [10]

Dům GAIA je zmíněn právě proto, že firma CCC vyhrála soutěž od NASA pro stavbu příbytků na Měsíci a na Marsu. Jedná se o náročný úkol z mnoha důvodů. Stejně jako dům GAIA by pro stavbu bylo nutné využít materiál dostupný již na místě. Celý proces je nadále komplikován nízkými teplotami a gravitací.

Představa je, že autonomní roboti budou schopni postavit potřebná obydlí na Marsu před přiletem první lidské posádky. [4]



Obrázek 6.: Ukázka modelu měsíčního příbytku navrženého firmou CCC [4]

2.3.3. Stroje na 3D tisk metodou vrstvení cementové malty

Stejně jako je mnoho různých a rozmanitých firem zabývajících se technologií 3D tisku, tak je i mnoho různých strojů. Tiskárny se dají rozdělit do tří kategorií: Rámové tiskárny, tiskárny s pohyblivým ramenem a mobilní tiskárny.

2.3.3.1. Rámové tiskárny

Konstrukcí rámových tiskáren může být opět několik druhů. Konstrukce rámu tiskárny se velmi podobá konstrukci mostového nebo portálového jeřábu. [11] Pro konstrukci je důležité, aby umožňovala pohyb do všech tří os. Pohyb pro horizontální osy je pro mostovou konstrukci zajištěn dvěma protilehlými traverzami a mezi nimi umístěným příčným s posuvnou kočkou. Pohyb příčnicku může být zajištěn buď krokovým motorem nebo pohybovým šroubem pro maximální přesnost pohybu stroje. Pohyb do svislého směru by potom byl zajištěn výsuvnou tiskovou hlavou. Pro portálovou konstrukci jsou na pozemní kolejnici umístěny protilehlé stojny. Mezi stojnami je umístěn příčník ve stálé vertikální poloze v případě vysouvací tiskové hlavy nebo je celým příčníkem posouváno ve svislém směru a tisková hlava je statická. Na příčníku je umístěna pohyblivá kočka s míchačkou na stavební směs a tiskovou hlavou. Pohyb stojen a kočky je opět zajištěn krokovým motorem nebo třeba pohybovým šroubem. Uvedené varianty jsou dvě možné a byly vybrány jako nejhlavnější. Varianty je možné kombinovat v poloportálové variantě, konzolové variantě a další.

Vhodná konstrukce rámové tiskárny záleží na účelu tiskárny. Pro stavbu in-site je nutné vzít v potaz rozměry tiskárny, členitost povrchu a prostor na umístění. Pro nerovný povrch je obtížně umístit kolejnici pro portálovou konstrukci. Pro stavbu v zástavbě řadových domů je rámová konstrukce tiskárny obtížně použitelná kvůli malému prostoru v okolí stavby.



Obrázek 7.: Ukázka rámové konstrukce 3D tiskárny v mostové variantě [3]



Obrázek 8.: Ukázka rámové konstrukce portálové varianty firmy CCC [4]

2.3.3.2. Tiskárny s pohyblivým ramenem

Dalším zástupcem je tiskárna s pohyblivým ramenem. Oproti rámovým tiskárnám mají nižší tuhost, dokážou unést menší zátěž a mají menší přesnost. Rameno může mít až šest stupňů volnosti. Tiskárny jsou obecně menší, skladnější a levnější. Je možné je využít i na místech, kde konstrukce rámové tiskárny není možná. Mezi zástupce lze uvést stroj francouzské firmy Constructions 3D. [20]



Čtyři teleskopická ramena
pro dosažení maximálního
prostoru pro tisk

Hydraulický systém
Maximal, tuhost a
spolehlivost

Housenková dráha
Autonomnost na staveništi

Obrázek 9.: Ukázka stroje s robotickým ramenem firmy Constructions 3D, upraveno autorem [20]

Stroj se skládá ze čtyř teleskopických ramen schopných otáčení a náklonu. Stroj je možno převézt kamionem na místo určení. Pro dopravení na místo jsou nohy stroje složeny a stroj je možno převézt na pásovém podvozku. Na začátku tisku jsou stroji rozloženy nohy a dále je upevněn k zemi. Rameno stroje začne tisknout okolní stěny. Po dokončení tisku se stroj opět složí a připraveným otvorem opustí budovu. Stroj je tak možno použít i na stavbu vnitřních konstrukcí, kde je přístup pouze zevnitř, například na tisk vnitřních stěn betonových tunelů. [3]

2.3.3.3. Pohyblivé tiskárny

Posledním typem strojů jsou pohyblivé mobilní tiskárny. Jedná se o poměrně malé stroje. Stroje mohou být doplněny o pohyblivé rameno. Malé rozměry strojů jsou výhodou právě díky nízké ceně a snadnému přístupu robotů bez nutnosti velikých konstrukcí nebo otvorů pro výjezd ven ze stavby. Princip mobilních robotů bude rovněž využíván v dříve zmíněné autonomní stavbě vesmírných stanic na Marsu a na Měsíci. [3] [4]

3. Praktická část

Praktická část se zabývá návrhem míchačky pro kontinuální lití stavební směsi. Požadované konstrukční parametry jsou následující: Vlastní míchačka se bude skládat ze statoru a rotoru šnekové omítačky umístěných ve vnějším kovovém pouzdře. Přísun stavební směsi do omítačky jde přes nádobu tvaru komolého kužele o objemu 50 litrů zhotovenou z plechu o tloušťce tří milimetrů. Rotor šneku bude poháněn elektromotorem. Z elektromotoru bude přes spojku připojen plochý hřídel, na kterém budou umístěny metličky zajišťující hladký přechod směsi do rotoru šneku. Přes stator šneku bude přivedena hadička průměru třičtvrtě coulu, přes kterou bude do směsi přivedena voda a další potřebné chemikálie.

3.1. Návrh kupovaných dílů

Podle požadovaných parametrů zadání by měla tiskárna dosahovat rychlosti posuvu až 20 cm/s . Pro maximalizaci efektivity konstrukčního procesu je trendem dosáhnout co nejvyšších rychlostí posuvu pro požadované parametry tištěné vrstvy. Schopnost tiskárny vytisknout požadovaný profil lze dosáhnout i při podstatně menší rychlosti posuvu, konkrétně 5 cm/s . Celý stroj i používaná cementová směs jsou prototypy, proto se očekává značný počet nutných korekcí a doladování celého procesu. Při nižší rychlosti posuvu lze přímo otestovat rychlost tuhnutí směsi, schopnost směsi držet tvar, aby se zamezilo rozlévání nebo stékání vrstvy a bylo dosaženo předepsané šířky a výšky. Navrhovaná výška tištěné vrstvy bude dosahovat $2\text{-}3 \text{ cm}$ a šířka se bude pohybovat mezi $4\text{-}6 \text{ cm}$. Kvůli zachování maximální přehlednosti budou všechny použité hodnoty v jednotkách $[\text{dm}]$ pro šířku a výšku tištěné vrstvy, $[\text{dm}/\text{min}]$ pro rychlost posuvu tiskárny, $[\text{l}/\text{min}]$ pro objemový tok stavební směsi a $[\text{otáčky}/\text{min}]$ pro jmenovité otáčky rotoru šneku a pro otáčky převodového motoru. V katalogích výrobců používaných součástí jsou hodnoty rovněž uvedeny v těchto jednotkách.

3.1.1. Návrh dílů statoru a rotoru

Katalog firmy *FILAMOS* [12] nabízí provedení šnekových omítaček jako zvlášť k sobě patřící díly statoru a rotoru. Rotory a statory šnekových omítaček jsou dostupné ve čtyřech provedeních, (pro objemový tok $11 \text{ l}/\text{min}$ při 400

ot./min, 20 l/min při 400 ot./min, 30 l/min při 400 ot./min a 40 l/min při 400 ot./min). Z požadovaných hodnot šířky a výšky vrstvy a rychlosti posuvu stroje lze vypočítat potřebný objemový tok stavební směsi pro tisk. Podle vypočteného objemového toku lze zvolit adekvátní stator a rotor.

3.1.1.1. Určení krajních parametrů tisku

V následující podkapitole budou blíže rozebrány dva krajní případy rychlosti posuvu stroje, konkrétně pro rychlost 30 dm/min a 120 dm/min.

Pro rychlost posuvu 30 dm/min byla zvolena šneková omítačka z katalogu firmy FILAMOS [12], model N13-S. Relevantní parametry z online katalogu výrobce jsou uvedeny v následující tabulce.

Tabulka 1.: Katalogové parametry dílů statoru a rotoru šnekové omítačky firmy FILAMOS [12] model D5 kurz

Označení	N13-S
Výkon (při 400 ot.)	11 l/min
Tlak	15 bar
Zrnitost (max.)	2 mm
Délka pouzdra	210 mm
Vnější průměr pouzdra	50 mm

Ze znalosti objemového toku rotoru při jmenovitých otáčkách lze vypočítat otáčky potřebné k dosažení objemového toku vypočteného z parametrů vrstvy a rychlosti posuvu stroje.

Tabulka 2.: Hodnoty maximálních a minimálních požadovaných otáček rotoru N13-S při minimální rychlosti posuvu zdroje a minimálním a maximálním rozměru tištěné vrstvy

v [dm/min]	s [dm]	h [dm]	\dot{V} [l/min]	n [ot. /min]
30	0,2	0,4	2,4	88
30	0,3	0,6	5,4	197

Stejný postup byl proveden i pro druhý případ krajní rychlosti posuvu stroje, 120 dm/min. Zvolený model omítačky z online katalogu firmy FILAMOS [12] D5 kurz.

Tabulka 3.: Katalogové parametry dílů statoru a rotoru šnekové omítačky firmy FILAMOS [12] model D5 kurz

Označení	D5 kurz
Výkon (při 400 ot.)	40 l/min
Tlak	20 bar
Zrnitost (max.)	4 mm
Délka pouzdra	270 mm
Vnější průměr pouzdra	90 mm

Ze znalosti objemového toku rotoru při jmenovitých otáčkách lze opět vypočítat otáčky potřebné k dosažení objemového toku stavební směsi, vypočteného z parametrů vrstvy a rychlosti posuvu stroje.

Tabulka 4.: Hodnoty maximálních a minimálních požadovaných otáček rotoru D5 kurz při maximální rychlosti posuvu zdroje a minimálním a maximálním rozměru tištěné vrstvy

v [dm/min]	s [dm]	h [dm]	\dot{V} [l/min]	n [ot. /min]
120	0,2	0,4	9,6	96
120	0,3	0,6	21,6	216

Pro dosažení optimálních konstrukčních podmínek bylo rozhodnuto, že pro dosažení různých parametrů tisku, je vhodná záměna dílů statoru a rotoru, nikoliv hnacího elektromotoru. Ze znalosti potřebných otáček pro krajní hodnoty rychlostí posuvu stroje lze navrhnout odpovídající elektromotor. Pro provozuschopnost stroje je nutné dosáhnout variabilních otáček elektromotoru. Změnu výstupních otáček elektromotoru je možné dosáhnout připojením frekvenčního měniče.

3.1.2. Návrh frekvenčního měniče

Elektromotor je standardně provozován při frekvenci elektrické sítě 50 Hz. Frekvenční měnič umožní změnu frekvence sítě v intervalu $\langle 25;70 \rangle$ Hz. Jako možný frekvenční měnič lze použít například model G120C od firmy Siemens, model *Sinamics* v provedení 6SL3210-1KE21-3 3AC380-480 V a jmenovitým výkonu 5,5 kW. [13] Jmenovitý výkon frekvenčního měniče je zvolen vyšší než výkon elektromotoru. Výkon je zvolen vyšší, aby bylo možné podle potřeby přetížít elektromotor.



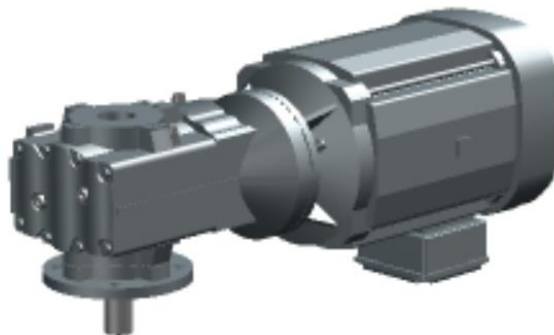
Obrázek 10.: Frekvenční měnič G120C od firmy Siemens, model Sinamics v provedení 6SL3210-1KE21-3 3AC380-480 V [13]

3.1.3. Návrh elektromotoru

Elektromotor byl vybrán z online katalogu firmy *SEW EURODRIVE*. [14] Jedná se o převodový motor, dodávaný s převodovkou. Jako elektromotor byl vybrán čtyř-pólový třífázový asynchronní elektromotor, s jmenovitým výkonem 4 kW. Převodovka byla z konstrukčních důvodů zvolena kuželová, v přírubovém provedení. Jmenovité výstupní otáčky elektromotoru musí být takové, aby při nastavení frekvenčního měniče v intervalu $\langle 25;70 \rangle$ Hz bylo možné dosáhnout výstupních otáček na elektromotoru takových, aby při použití příslušného rotoru šlo tisknout jak při zvolení minimální rychlosti posuvu, šířky a výšky vrstvy, tak i při maximální rychlosti posuvu, šířky a výšky vrstvy.

Tabulka 5.: Katalogové parametry zvoleného převodové elektromotoru od firmy SEW EURODRIVE [14]

KF39DRN112M4/TF		
Charakteristika	Hodnota	Jednotka
Jmenovité otáčky motoru	1464	1/min
Výstupní otáčky	163	1/min
Typ konstrukce	M5A	
Převodový poměr	9	
Výstupní kroutící moment	230	Nm
Výstupní hřídel	30x60	mm
Průměr příruby	160	mm
Výkon motoru	4	kW
Napětí motoru	230/400	V
Frekvence	50	Hz



Obrázek 11.:Převodový elektromotor od firmy SEW EURODRIVE model KF39DRN112M4/TF [14]

3.1.4. Návrh provozních parametrů

Po vybrání vhodného elektromotoru a frekvenčního měniče byly pro krajní otáčky rotoru šnekové omítačky spočítány maximální a minimální dosažitelné objemové toky. Katalog firmy *FILAMOS* [12] nemá v nabídce žádný rotor schopný pokrýt celý interval objemových toků. Pro volbu jednoho elektromotoru s frekvenčním měničem je pro obsažení celého požadovaného

intervalu nutné vybrat několik různých dílů statoru a rotoru šnekové omítačky. Oblasti použitelnosti dílů statoru a rotoru jsou znázorněny v grafu 2. V následující tabulce jsou uvedeny všechny hodnoty uváděné v katalogu firmy FILAMOS [12] stejně jako krajní hodnoty objemových toků při krajních otáčkách.

Tabulka 6.: Katalogové hodnoty všech dílů statorů a rotorů nabízených firmou FILAMOS [12] s doplněnými maximálními a minimálními dosažitelnými hodnotami objemových toků při maximálních a minimálních otáčkách

Označení	D5 kurz	D6-3 TWISTER	D6-2	N13-S
Výkon (při 400 ot.)	40 l/min	30 l/min	20 l/min	11 l/min
Tlak	20 bar	30 bar	15 bar	35 bar
Zrnitost (max.)	4 mm	3 mm	3 mm	2 mm
Délka pouzdra	270 mm	270 mm	200 mm	210 mm
Vnější průměr pouzdra	90 mm	90 mm	90 mm	50 mm
Objemový tok při 81,5 ot./min	2,241	4,075	6,113	8,15
Objemový tok při 228,2 ot./min	6,276	11,41	17,115	22,82

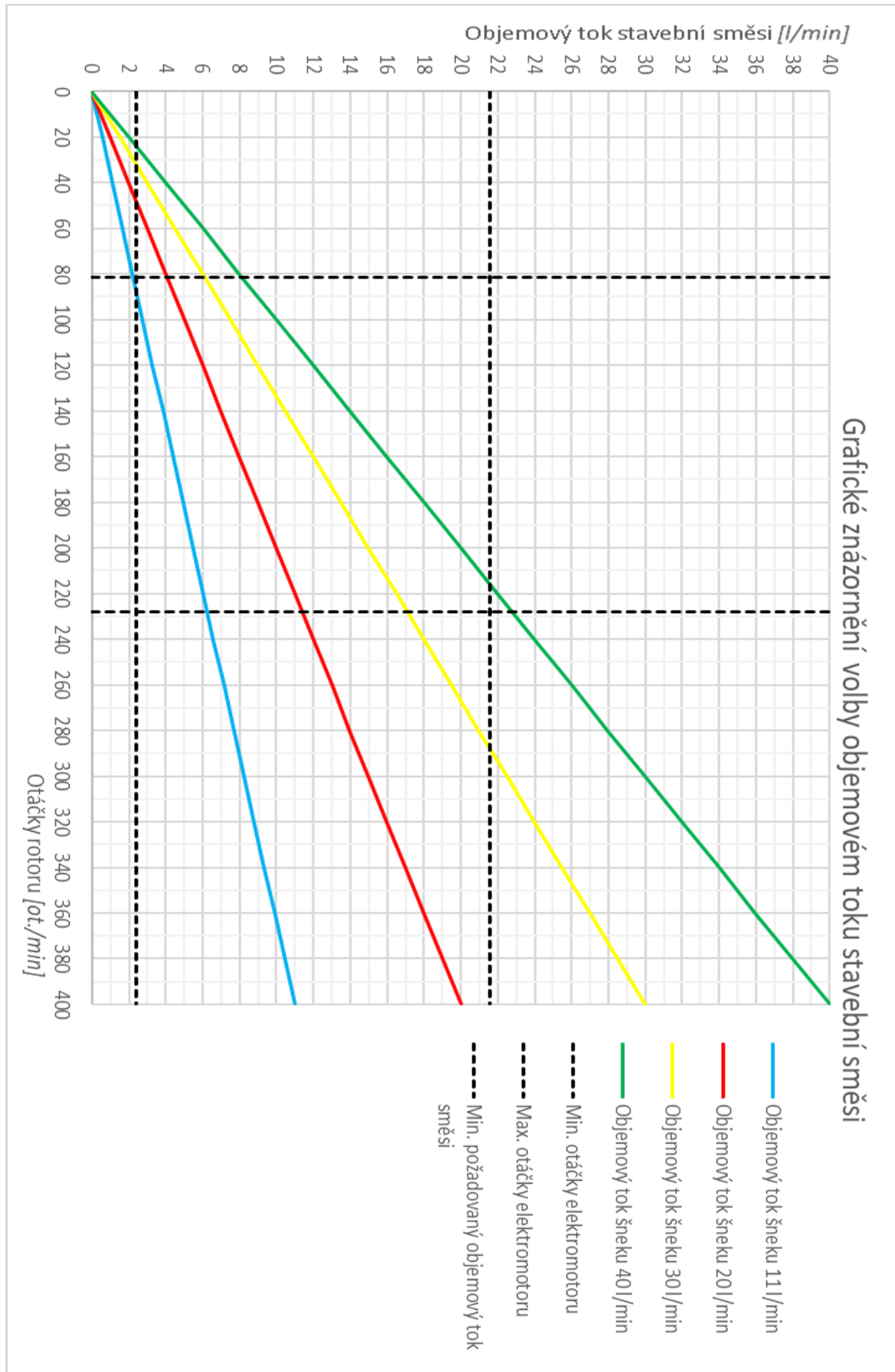
Pro vybraný díl statoru a rotoru, lze při zvolení tloušťky a šířky vrstvy a rychlosti posuvu sestavit rovnici pro výpočet otáček. Otáčky se musí pohybovat v intervalu $n \in (81,5; 228,2)$. Hodnota 81,5 ot./min pro frekvenci na elektromotoru 25 Hz a 228,2 ot./min pro 70 Hz. Závislost otáček na rychlosti posuvu lze znázornit graficky jako přímkou s rovnicí, kde bude rychlost posuvu stroje vystupovat jako parametr x .

$$n = \frac{\text{Jmenovitě otáčky šneku}}{\text{Jmenovitý objemový průtok šneku}} \cdot (\text{požadovaná tloušťka vrstvy} \cdot$$

$$\text{požadovaná výška vrstvy} \cdot \text{rychlost posuvu}(x)) \quad (1)$$

$$n_{Mmin} \leq \frac{\text{Jmenovitě otáčky šneku [1/min]}}{\text{Jmenovitý objemový průtok šneku [l/min]}} \cdot (\text{požadovaná tloušťka vrstvy [dm]} \cdot$$

$$\text{požadovaná výška vrstvy [dm]} \cdot \text{rychlost posuvu [dm/min]}) \leq n_{Mmax} \quad (2)$$



Graf 1.: Graf znázorňující závislost objemového toku směsi na otáčkách rotoru šnekové omítačky [vlastní archiv autora]

Na předchozí straně je umístěn graf 1. Graf představuje znázornění volby statoru a rotoru šnekové míchačky o příslušném objemovém toku při jmenovitých otáčkách podle požadovaného vypočteného objemového toku stavební směsi.

V grafu jsou čtyři různě barevné přímky, znázorňující závislost objemového toku rotoru šnekové míchačky v závislosti na otáčkách.

$$\dot{V} = \frac{\text{Jmenovitý objemový průtok šneku [l/min]}}{\text{Jmenovité otáčky šneku [1/min]}} \cdot \text{otáčky elektromotoru [1/min]} \quad (3)$$

Modrá přímka přísluší součásti statoru a rotoru o jmenovitém objemovém toku 11 l/min při 400 ot./min. Červená přímka přísluší součásti statoru a rotoru o jmenovitém objemovém toku 20 l/min při 400 ot./min. Žlutá přímka přísluší součásti statoru a rotoru o jmenovitém objemovém toku 30 l/min při 400 ot./min. Zelená přímka přísluší součásti statoru a rotoru o jmenovitém objemovém toku 40 l/min při 400 ot./min. V grafu se nacházejí dvě vertikální a dvě horizontální asymptoty. Horizontální asymptoty znázorňují hodnoty objemového toku směsi při volbě minimální šířky a výšky a rychlosti posuvu stroje pro dolní asymptotu a při volbě maximální šířky a výšky a maximální rychlosti posuvu stroje pro horní asymptotu. Vertikální asymptoty mají hodnotu minimálních a maximálních dosažitelných otáček hnacího elektromotoru s připojením frekvenčního měniče.

Volba dílů statoru a rotoru z grafu 1 probíhá následovně: Je potřeba určit požadované rozměry vrstvy a rychlost posuvu stroje a následně vypočítat požadovaný objemový tok stavební směsi.

Příklad:

Šířka vrstvy 5 cm

Výška vrstvy 3 cm

Rychlost posuvu stroje 10 cm/s

Jako první krok je nutné převést jednotky na jednotky používané v grafu.

Šířka vrstvy 0,5 dm

Výška vrstvy 0,3 dm

Rychlost posuvu stroje 60 dm/min

Objemový tok bude spočítán jako součin šířky a výšky vrstvy a rychlosti posuvu stroje.

$$\dot{V} = (\text{šířka vrstvy [dm]} \cdot \text{výška vrstvy [dm]} \cdot \text{rychlost posuvu stroje [dm/min]}) \quad (4)$$

$$\dot{V} = (0,5 \cdot 0,3 \cdot 60) = 9 \text{ l/min} \quad (5)$$

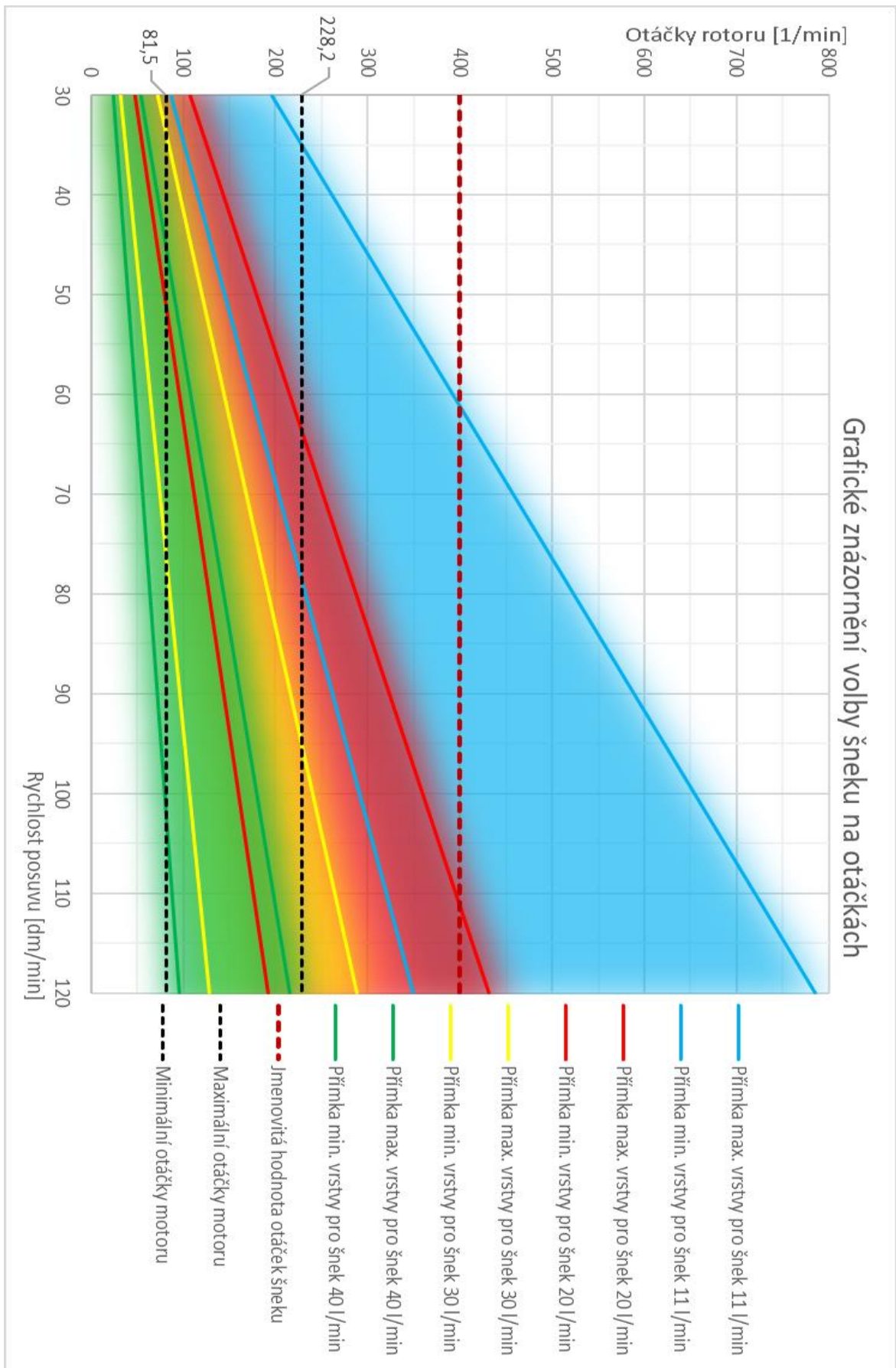
Rotory šnekových omítaček použitelné pro vypočtenou hodnotu objemového toku stavební směsi budou zjištěny vynesáním vypočtené hodnoty objemového toku do grafu. Přímkou protnuté vynesenu vypočtenou hodnotou objemového toku směsi uvnitř obdélníku ohraničeného čtyřmi čárkovanými asymptotami jsou rotory použitelné pro požadované parametry tisku. Snesením hodnoty vypočteného objemového toku směsi v bodě protnutí s přímkou představující objemový tok směsi vytlačitelný rotorem šnekové omítačky v závislosti na otáčkách do osy x je získána hodnota otáček potřebných pro pohon rotoru šnekové omítačky. Celou operaci pro účel maximální přesnosti dávkování je možné vyřešit početně.

$$n \leq \frac{\text{Jmenovité otáčky šneku [1/min]}}{\text{Jmenovitý objemový průtok šneku [l/min]}} \cdot \text{Objemový tok směsi [l/min]} \quad (6)$$

Pro konkrétní příklad objemové toku směsi 9 l/min je možné vybrat rotory o jmenovitých objemových tocích 40 l/min , 30 l/min a 20 l/min . Je možné zvolit například rotor o jmenovitém objemovém toku 20 l/min .

$$n \leq \frac{400}{20} \cdot 9 = 180 \text{ ot./min} \quad (7)$$

Z výpočtu vyplývá, že při použití rotoru šnekové míchačky o jmenovitém objemovém toku 20 l/min při 400 ot./min bude pro vypočtený objemový tok 9 l/min potřeba pohánět rotor šnekové míchačky elektromotorem o otáčkách 180 ot./min .



Graf 2.: Graf znázorňující otáčky rotoru šnekové omítáčky na rychlosti posuvu stroje [vlastní archiv autora]

Na předchozí straně je umístěn graf 2. Graf 2 slouží ke znázornění oblasti využití různých rotorů šnekových omítaček s různými jmenovitými objemovými průtoky. Graf 1 slouží k volbě rotoru šnekové omítačky při zvolení tří parametrů tisku: šířky a výšky vrstvy a rychlosti posuvu stroje. Z grafu a příslušného vzorce lze zjistit požadované otáčky elektromotoru pro pohon rotoru šnekové míchačky. Graf 2 graficky znázorňuje závislost otáček potřebných k pohánění různých rotorů šnekových omítaček o různých jmenovitých objemových tocích při jmenovitých otáčkách. Barevné oblasti v grafu jsou ohraničeny přímkami barvy příslušné oblasti. Přímkami představují závislost otáček elektromotoru při volbě maximální nebo minimální šířky a výšky vrstvy pro proměnnou rychlost posuvu stroje. Za pomoci grafu a příslušných vzorců lze navrhnout rychlost posuvu stroje při zvolené šířce a výšce tištěné vrstvy a rotoru šnekové míchačky.

V grafu se nachází tři horizontální asymptoty. Nejvýše položená asymptota znázorněna červenou čárkovanou čarou vyznačuje jmenovitou hodnotu otáček rotoru šnekové míchačky, při které dosáhne rotor jmenovitého objemového průtoku. Stroj se nedoporučuje používat při otáčkách vyšších než jmenovitých z důvodu zachování co nejdélejší životnosti rotoru a statoru šnekové míchačky. Dalším důvodem je snaha zamezení poškození. Zbylé dvě asymptoty vyznačené černou čárkovanou čarou znázorňují maximální a minimální otáčky elektromotoru modelu *KF57DRN112M4/TF* při připojení frekvenčního měniče *3AC380-480* V pro regulaci frekvence elektrické sítě přicházející do elektromotoru v rozmezí $<25;70>$ Hz. Maximální otáčky elektromotoru při nastavení frekvenčního měniče na hodnotu *70 Hz* činí *228,2 ot./min*. Minimální otáčky elektromotoru při nastavení frekvenčního měniče na hodnotu *25 Hz* činí *81,5 ot./min*. Stroj je navržen na provoz v těchto mezních hodnotách. Při případném zapojení jiného elektromotoru při jiných jmenovitých výstupních otáčkách budou mít asymptoty v grafu jinou hodnotu připadající maximálním a minimálním otáčkám použitého elektromotoru při zapojení frekvenčního měniče.

Graf slouží k návrhu rychlosti posuvu stroje při volbě šířky a výšky tištěné vrstvy a příslušného rotoru a statoru šnekové míchačky.

Příklad:

Šířka vrstvy 5 cm

Výška vrstvy..... 2 cm

Zvolený rotor a stator..... D6-3 Twister 30 l/min při 400 ot./min

Jako první krok je nutné převést jednotky na jednotky používané v grafu.

Šířka vrstvy 0,5 dm

Výška vrstvy..... 0,2 dm

Otáčky potřebné elektromotoru lze spočítat z následujícího vzorce:

$$n = \frac{J_{\text{menovitě otáčky šneku [1/min]}}}{J_{\text{menovitý objemový průtok šneku [l/min]}} \cdot (\text{požadovaná tloušťka vrstvy [dm]} \cdot \text{požadovaná výška vrstvy [dm]} \cdot \text{rychlost posuvu [dm/min]}) \quad (8)$$

V rovnici se vyskytují dvě neznámé, rychlost posuvu stroje a otáčky elektromotoru na pohon rotoru šnekové míchačky. Ze znalosti maximálních a minimálních dosažitelných otáček elektromotoru při zapojení frekvenčního měniče lze spočítat maximální a minimální rychlost posuvu, při kterých bude možné stroj provozovat.

$$n_{Mmin} \leq \frac{J_{\text{menovitě otáčky šneku [1/min]}}}{J_{\text{menovitý objemový průtok šneku [l/min]}} \cdot (\text{požadovaná tloušťka vrstvy [dm]} \cdot \text{požadovaná výška vrstvy [dm]} \cdot \text{rychlost posuvu [dm/min]}) \leq n_{Mmax} \quad (9)$$

Po dosažení zvolených hodnot:

$$81,5 \leq \frac{400}{30} \cdot (0,5 \cdot 0,2 \cdot x) \leq 228,2 \quad (10)$$

Z nerovnice jsou získány dvě krajní hodnoty rychlosti posuvu stroje:

$$v \in \langle 61,125; 171,15 \rangle \quad (11)$$

Maximální navržená rychlost posuvu stroje je 120 dm/min, proto bude interval upraven:

$$v \in \langle 61,125; 120 \rangle \quad (12)$$

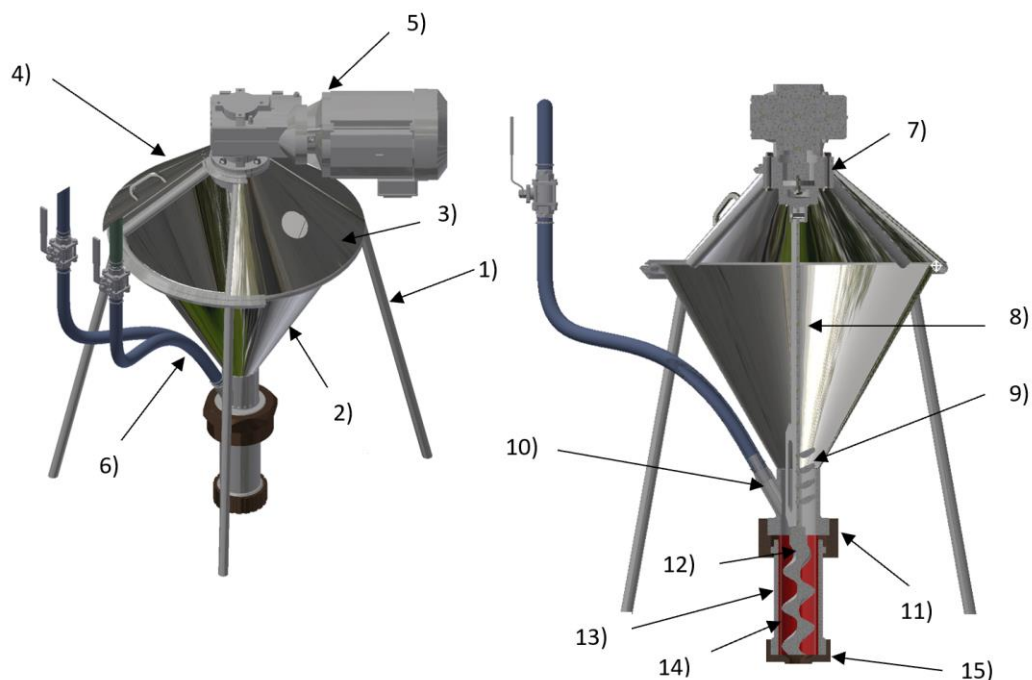
Z vypočteného intervalu bude zvolena rychlost posuvu stroje a hodnota se dosadí do vzorce pro výpočet otáček:

$$n = \frac{400}{30} \cdot (0,5 \cdot 0,2 \cdot 120) = 160 \text{ ot./min} \quad (13)$$

Při zvolené šířce a výšce tištěné vrstvy pro vybraný rotor a stator byla vypočtena rychlost posuvu, při které je možné stroj provozovat. Dále byly také zjištěny otáčky elektromotoru potřebné k dosažení průtoku stavební směsi.

3.2. Návrh modelu míchačky stavební směsi

V první části praktické části bakalářské práce byl rozebrán návrh kupovaných dílů statoru a rotoru šnekové omítačky, hnacího elektromotoru a příslušného frekvenčního měniče. Díly byly vybrány, aby bylo možné dosáhnout parametrů tisku podle zadání. V následující části praktické části bakalářské práce bude rozebrán návrh modelu míchačky stavební směsi. Na následujícím obrázku je znázorněn finální model v pohledu a v řezu. Na obrázku 12 jsou vyznačeny šipky s čísly. Čísla představují jednotlivé části modelu. Díly připadající k číslům jsou vysvětleny v popisku obrázku. Na očíslované díly bude odkazováno v podrobnějším popisu. Pozice dílů na modelu je znázorněna šipkou příslušící vždy k jednomu číslu. Model míchačky stavební směsi je dostupný jako příloha bakalářské práce ve formátu 3D PDF. Pro tvorbu modelu bylo použito programu AUTODESK Inventor 2019.

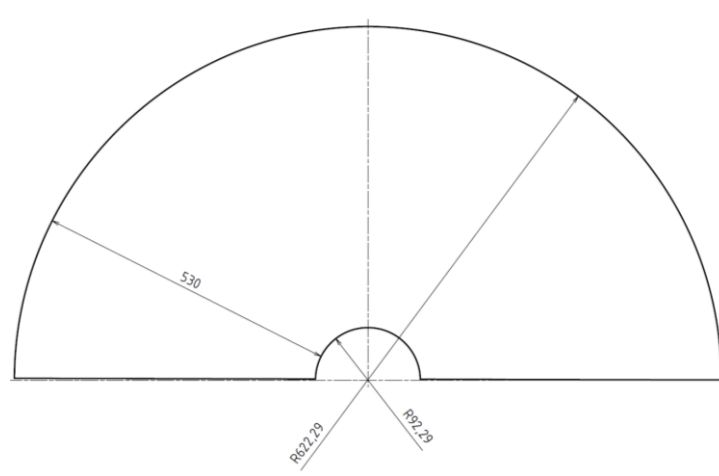


Obrázek 12.: Model míchačky stavební směsi v řezu a v pohledu s vyznačenými polohami součástí 1) nosná konstrukce 2) kuželová nádoba 3) kryt nádoby 4) posuvné víko nádoby 5) elektromotor 6) hadice na vodu a chemikálie 7) spojka elektromotoru 8) plochý hřídel 9) míchací metlička 10) vstupní dýza pro vodu a chemikálie 11) převlečná matice 12) rotor šnekové míchačky 13) ocelové pouzdro 14) stator šnekové míchačky 15) výstupní tryska [vlastní archiv autora]

Maximální výška stroje od místa připojení nosné konstrukce k vozíku je 1200 mm. Maximální výška stroje je zvolena, aby nedošlo ke kolizi s nosnou konstrukcí celého stroje nacházející se nad pohyblivým vozíkem. Model míchačky stavební směsi byl navržen podle zadání bakalářské práce na základně rešerše. Jedná se o část stroje na vrstvení stavební směsi v horizontálních plochách. V návrhu byly použity kupované díly. Vyráběné díly byly navrženy, aby splňovaly požadovaný účel a parametry.

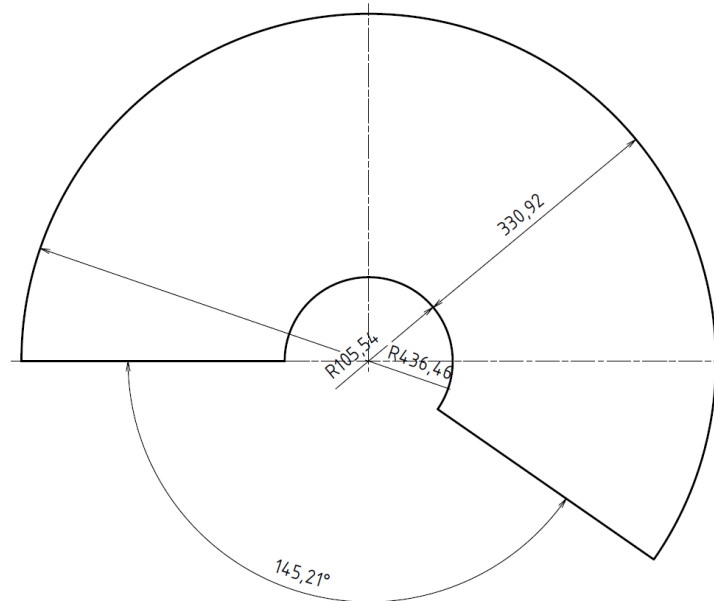
- 1) Nosná konstrukce je tvořena z ocelových trubek o vnějším průměru 26,9 mm a tloušťce stěny 2,6 mm. Materiál pro trubky je nutno zvolit, aby měl zaručenou svařitelnost. Rovněž je nutné navrhnout materiál podle statického namáhání konstrukce vzniklé od ostatních částí míchačky. Na konstrukci mohou rovněž působit i dynamické účinky vzniklé od elektromotoru a dále připojených rotujících částí míchačky. Pevnostní kontrola nosné konstrukce není předmětem bakalářské práce. Kvůli složitosti konstrukce a reakcí na konstrukci působících nelze soustavu spočítat a zkontrolovat analytickými metodami. Kontrolu by bylo možné provést například pomocí metody konečných prvků. Jako možný materiál navrhuje autor například ocel 11 353. Dolní konce trubek jsou rozmístěny do obdélníku o stranách 750 a 900 mm. Rozmístění bylo zvoleno podle připojovacích rozměrů stroje. Trubky vedou vzhůru pod úhlem přibližně 77°. Úhel náklonu nohou je orientační, stejně tak i délka a budou přizpůsobeny podle požadavků na umístění na stroji. Na horním konci trubek jsou spojeny s okruhem o středním průměru 649 mm. Okruh je rovněž tvořen ze stejných trubek. K okruhu jsou dále připojeny další trubky vedoucí vzhůru. Pod úhlem 40° se sbíhají k sobě až k pevné části spojky 7), s níž jsou pevně svařeny.
- 2) Do kuželové nádoby bude skrz víko v krytu 3) přiváděna stavební směs. Kuželová nádoba má objem zhruba 50 l. Vrcholový úhel kuželové nádoby byl zvolen 60° pro získání maximální optimalizace přesunu směsi do mísícího válce a dále do dílů statoru a rotoru 12) a 14). Nádoba je vyrobena z plechu o tloušťce 3 mm. Plech je ohnut a konce jsou

k sobě svařeny. Nádoba je navržena z plechu kvůli lehké hmotnosti, nízké pořizovací ceně a snadné výrobě. Nádobu bude potřeba po opotřebení nebo přílišném zanesení stavební směsí vyměnit, proto je potřeba zvolit levnou a snadnou konstrukční variantu. Jako materiál lze použít například ocelový plech *S235JR* válcovaný za tepla se zaručenou svařitelností. Nádoba je pevně přivařena k obruči nosné konstrukce 1) a v dolní části k míšícímu válci. Na následujícím obrázku je znázorněn rozvin plechu s navrženými rozměry.



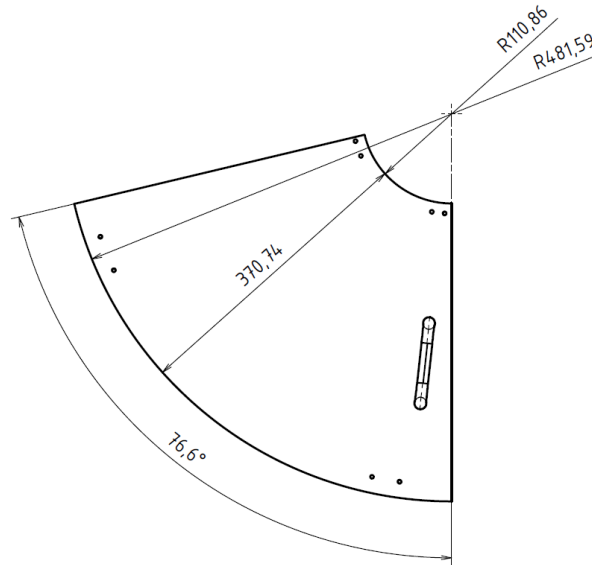
Obrázek 13.: Rozvin plechu nádoby na stavební směs [vlastní archiv autora]

- 3) Kryt nádoby je přichycen bodovými svary k nosné konstrukci 1). Kryt bude stejně jako nádoba vyroben z plechu a bude mít stejně jako nádoba tvar komolého kužele. Jako materiál lze rovněž použít ocelový plech *S235JR* o tloušťce 3 mm. Kryt nádoby je rozdělen do tří dílů. Každý díl bude umístěn mezi trubky nosné konstrukce a bude přichycen bodovými svary po celém obvodu. V jednom ze segmentů krytu je umístěn otvor pro dopravu stavební směsi do nádoby. Velikost otvoru bude zvolena podle průměru hadice na dopravu stavební směsi do kuželové nádoby. Na následujícím obrázku je znázorněn rozvin krytu plechu s navrženými rozměry. Na rozvinu nejsou znázorněny místa stříhu pro jednotlivé segmenty. Stříhání proběhne až po ohnutí plechu do tvaru kužele.



Obrázek 14.: Rozvin plechu pevného krytu nádoby na stavební směs [vlastní archiv autora]

- 4) Pohyblivé víko nádoby slouží k přístupu do vnitřních částí nádoby. Vnitřní část nádoby musí být přístupná kvůli montáži a údržbě. Víko je umístěno v kolejnicích s kolečky. Kolejnice bude umístěna na okruhu nosné konstrukce v dolní části. V horní části bude kolejnice připevněna k pevné části spojky 7). Víko je možné dle potřeby odsunout do polohy otevřeno či zavřeno. Zajištění víka v poloze je umožněno zacvakávací lačkou. Na víku je umístěna rukojeť pro manipulaci. Jako možný materiál víka se nabízí plech S235JR o tloušťce 3 mm stejně jako pro nádobu a pevný kryt.



Obrázek 15.: Rozvin plechu posuvného víka nádoby na stavební směs [vlastní archiv autora]

- 5) Elektromotor byl navržen v první části praktické části bakalářské práce. Jedná se o model firmy *SEW EURODRIVE KF39DRN112M4/TF*. 3D model byl poskytnut přímo výrobcem a byl tak zakomponován do sestavy. [14] Motor je připojen ke spojce 7). Příruba motoru je spojena s pevnou částí spojky. Výstupní hřídel motoru je spojen s rotující částí spojky. Příruba je chycena čtyřmi šrouby o rozteči 160 mm . Rozteč šroubů vychází z rozteče děr na přírubě elektromotoru dodávané výrobcem elektromotoru.

- 6) Hadice pro přívod vody a dalších chemikálií byla zvolena tlaková hadice na vodu, vzduch a chemikálie MP 20 EPDM o vnitřním průměru $\frac{3}{4}$ coulu z online katalogu firmy GUMEX. [15] Hadice byly navrženy bez znalosti skutečných objemů požadované dodávané vody a chemikálií pro směs. Do hadic budou dle potřeby umístěny clony regulující průtok, proto byl jejich průměr zvolen větší, než bude ve skutečnosti nejpravděpodobněji zapotřebí. V modelu jsou pro snadnější představu umístění vnitřních clonek znázorněny ventily. Ventily umožňují omezit nebo zastavit přísun kapalin. Kapaliny je do směsi nutné dodávat až pokud možno nejpozději. Stavební směs používaná v míchačce je předmětem studie na fakultě stavební a skutečné složení a vlastnosti

jsou tajné. Ze znalosti technologie 3D tisku ve stavebnictví, jak je popsáno v teoretické části, je potřeba aby stavební směs vytvrzovala velmi rychle, aby zvládla nést svojí vlastní hmotnost a další vrstvy na ní ležící. Míchačka stavební směsi byla navržena tak, aby umožnila úpravu některých částí stroje podle potřeby a vlastností stavební směsi. Ventily na hadicích byly vybrány od firmy Parker Legris Connectic Low Pressure. [22]



Obrázek 16.: Hadice na vodu a chemikálie od firmy GUMEX [15]

- 7) Pevná část spojky je spojena s přírubou elektromotoru 5) a s nosnou konstrukcí 1). Uvnitř pevné části se nachází rotující část spojky spojená s výstupním hřídelem elektromotoru přes těsné pero. Druhá část spojky slouží k přenosu krouťícího momentu a otáček na plochý hřídel 8). Spojka byla vymodelována podle spojky z katalogu firmy *Knauf*. [16]



Obrázek 17.: Rozebraný model spojky dodávaný firmou Knauf [16]

- 8) Plochý hřídel má průřez 20x5 mm. Hřídel byl zvolen plochý, aby umožňoval kroucení pro lepší záběr ve stavební směsi. Na spodní části hřídele je umístěna míchací metlička 9). Hřídel je spojen s elektromotorem přes spojku.
- 9) Míchací metlička bude kupovanou součástí stroje. Je umístěna na spodním konci plochého hřídele ve válcové části, kde dochází k přísunu kapalin. Stavební směs bude do míchačky přiváděna již hotová a předem namíchaná. Metlička bude sloužit ke smísení stavební směsi s přiváděnými kapalinami. Metlička nebude přímo součástí hřídele. Metlička bude spojena s plochým hřídelem svarem. Po opotřebení metličky bude možné svar rozbrousit a metličku vyměnit. Dolní konec metličky bude muset být upraven, aby umožňoval spojení s rotorem šnekové omítačky. Na dolním konci metličky bude přivařen vnitřní

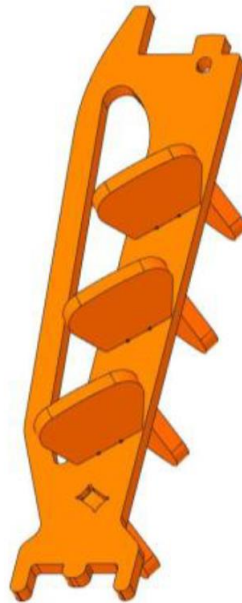
hranol sloužící jako tvarový spoj pro přenos kroutícího momentu. Možné varianty míchací metličky jsou znázorněny na obrázcích níže.



Obrázek 18.: Míchací metlička dodávaná firmou TONSTAV SERVICE [17]



Obrázek 19.: Míchací metlička dodávaná firmou Profi BAUSTOFFE [18]



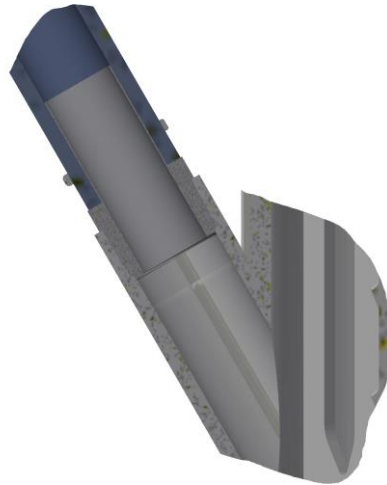
Obrázek 20.: Míchací metlička dodávaná firmou Knauf [16]



Obrázek 21.: Míchací metlička vymodelovaná podle metličky dodávané firmou Knauf s upraveným zakončením na vnitřní hranol [vlastní archiv autora]

10) Hadice na vodu a chemikálie vstupuje v místě, kde je na hřídeli umístěna míchací metlička. Spojovací prvky byly vybrány z katalogu firmy GUMEX [15]. Spojení je možné hadicovou rychlosponou nebo jak

je znázorněno v modelu šroubením s hadicovým trnem a vnějším závitem. Obě metody je potřeba na hadici utěsnit hadicovou sponou.



*Obrázek 22.: Znázornění vstupu hadice na vodu a chemikálie do mísícího válce
[vlastní archiv autora]*

11)Převlečná matice spojuje mísící válec s ocelovým pouzdrém statoru
13). Ocelové pouzdro je v matici nalisováno. O matici je v dolní části opřen stator šnekové míchačky 14).

12)Rotor šnekové míchačky je spojen s plochým hřídelem. Kroutící moment je přenášen přes hranolový spoj. Hranol bude na rotor přivařen a následně broušen. Spoj není axiálně pojištěn. Celá sestava se axiálně jistí sama ve spojce, kde není umožněn svislý pohyb nahoru. V klidovém stavu stroje nemůže rotor vypadnout ze statoru kvůli vespod umístěné trysce 15). Za chodu stroje je rotor tlačěn vzhůru stavební směsí, aby nedošlo k dosedání na trysku a následnému poškození rotoru šnekové omítačky nebo trysky. Míchačka stavební směsi byla navržena, aby umožňovala použití různých součástí statorů a rotorů šnekových omítaček podle požadovaného objemového toku navrženého v první části praktické části. Konkrétní model rotoru šnekové míchačky použit v modelu je D5 kurz od firmy *FILAMOS* [12].

- 13) Ocelové pouzdro slouží jako kryt plastového statoru šnekové omítačky. Ocelové pouzdro není univerzální pro všechny modely statorů a rotorů šnekové omítačky. Různé statory a rotory šnekové omítačky se liší jak vnějším průměrem, tak délkou. Pro použití různých statorů a rotorů bude potřeba použít různá pouzdra. Je nutné, aby vnější průměr a vnější závit zůstaly stejného rozměru pro spojení s převlečnou maticí 11) a tryskou 15) pro snadnou výměnu. Míchačka stavební směsi byla navržena tak, aby ocelové pouzdro statoru byla spolu se statorem a rotorem šnekové omítačky jediná součástka, kterou bude nutné pro různé požadované objemové toky při tisku měnit.
- 14) Stator šnekové omítačky je vyroben z plastu. Jedná se kupovanou součást dodávanou firmou *FILAMOS* [12]. V modelu míchačky stavební směsi je použit model D5 kurz patřící ke stejnojmenné součásti rotoru. Stator se během používání míchačky opotřebovává a je nutné ho měnit. Stator se používáním stroje omílá a dojde ke krácení. Je zapotřebí občas dotahovat trysku 15) aby stator stále dosedal na převlečnou matici 11), aby nedocházelo k úniku stavební směsi a poškození ocelového pouzdra.
- 15) Výstupní tryska je spojena s ocelovým pouzdrem 13) přes závit. Díra umístěná v trysce má průměr 40 mm. V trysce je v místě dosedání ocelového pouzdra umístěn „O“ kroužek sloužící jako těsnění. V trysce je vyrobená drážka pro umístění vyrobená podle tabulkových hodnot. Tryska bude dále spojena s hadicí nebo potrubím vedoucím stavební směs do tiskové hlavy. Model míchačky stavební směsi končí výstupní tryskou a další části nebyly součástí zadání.

4. Závěr

Práce se zabývala návrhem míchačky stavební směsi s přesným dávkováním. V teoretické části práce byl čtenáři přiblížen současný stav konvenčního konstruování a inovací představených možností 3D tisku. Teoretická část pojednávala o možnostech 3D tisku a využívaných technologiích a strojů.

V praktické části byly navrženy součásti rotoru a statoru šnekové omítačky použité v modelu míchačky stavební směsi. Pro pohon rotoru byl zvolen převodový elektromotor s frekvenčním měničem. Frekvenční měnič slouží ke změně výstupních otáček elektromotoru pro dosažení jiných objemových toků rotoru. Pro převodový elektromotor byly vypočteny maximální a minimální dosažitelné otáčky při připojení frekvenčního měniče. Podle maximálních a minimálních otáček byly vypočteny maximální a minimální hodnoty objemových toků dosažitelných díly rotoru a statoru šnekové omítačky. Podle vypočtených hodnot byly sestaveny dva grafy. Graf 1 znázorňuje oblasti použití dílů statorů a rotorů šnekových omítaček podle objemových toků vypočtených z požadovaných parametrů tisku. Ke grafu jsou přiloženy rovnice sloužící pro určení hodnot z grafu. Graf má sloužit jako manuál volby dílu statoru a rotoru šnekové omítačky na základě zvolených parametrů tisku. Graf 2 představuje oblasti použitelnosti dílů statorů a rotorů šnekové omítačky. Graf 2 slouží k demonstraci použitelnosti dílů statoru a rotoru šnekové omítačky při změně parametrů tisku. Graf umožňuje názorně určit, zdali je použitý stator a rotor schopný zvládnout parametry tisku například při zvyšování rychlosti posuvu stroje. Oba grafy mohou sloužit jako jednoduchý manuál pro obsluhu.

Model míchačky stavební směsi byl navržen podle parametrů v zadání na základě rešerše. V modelu byly zakomponovány kupované prvky vybrané z katalogů výrobců doporučených v zadání bakalářské práce. Model byl zhotoven v programu AUTODESK Inventor 2019. Model byl rozdělen na dílčí části. Dílčí části modelu byly popsány. Pro kupované díly byl uveden výrobce. Pro vyrobené díly byly uvedeny parametry určené autorem jako stěžejní a byl popsán konstrukční proces a účel dílu.

Seznam použité literatury

- [1] Ministerstvo průmyslu a obchodu. Koncepce zavádění metody BIM v České republice [online]. Zář 2017 [cit. 2019-06-30]. Dostupné na: <https://www.mpo.cz/assets/cz/stavebnictvi-a-suroviny/bim/2017/10/Koncepce-zavadeni-metody-BIM-v-CR.pdf>
- [2] MÁDL, Jan. *Technologie obrábění*. Vyd. 2., přeprac. Praha: ČVUT, 2007 [cit. 2019-07-20]. ISBN 978-80-01-03752-2.
- [3] KOVAŘÍK, M., SVOBODA, P., ŠTEMBERK, P. Technologie 3D tisku v architektuře a stavebnictví [online]. 3.8.2018 [cit. 2019-04-18]. Dostupné na: <http://www.earch.cz/cs/stavitelstvi/technologie-3d-tisku-v-architekture-stavebnictvi>
- [4] Contour Crafting Corporation [online]. [cit. 2019-07-14]. Dostupné na: <http://contourcrafting.com/>
- [5] TRTÍK, Karel. *Technologie betonu*. Vyd. 2. přeprac. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2009 [cit. 2019-07-31]. ISBN 978-80-01-04408-7.
- [6] Voxeljet [online]. [cit. 2019-07-12]. Dostupné na: <https://www.voxeljet.com/materials/sand/>
- [7] D-shape [online]. [cit. 2019-07-22]. Dostupné na: <https://d-shape.com/the-technology/d-shape-building-process/>
- [8] KRČ, R., PODROUŽEK, J., WENDNER, R. From slender columns to branching structures. Bad Hofgaisten, Rakousko, 26.3.2018 [cit. 2019-07-03]. ISBN 9781138741171
- [9] SCOTT, R. 3D Printed "Arabesque Wall" Features 200 Million Individual Surfaces [online]. 2.9.2015 [cit. 2019-07-22]. Dostupné na: <https://www.archdaily.com/773012/3d-printed-arabesque-wall-features-200-million-individual-surfaces>
- [10] WASP [online]. [cit. 2019-04-22]. Dostupné na: <https://www.3dwasp.com/en/3d-printed-house-gaia/>
- [11] ITECO s.r.o. [online]. [cit. 2019-07-16]. Dostupné na: <https://www.iteco.cz/mostove-jeraby/>
- [12] FILAMOS s.r.o. [online]. [cit. 2019-03-18]. Dostupné na: <https://www.filamos.cz/nahradni-dily/>



- [13] D2Drives [online]. [cit. 2019-03-28]. Dostupné na: <https://www.elektromotory.cz/goods/index/id/1431>
- [14] SEW-EURODRIVE CZ s.r.o. [online]. [cit. 2019-03-22]. Dostupné na: <https://www.sew-eurodrive.cz/domu.html>
- [15] GUMEX, spol. s.r.o. [online]. [cit. 2019-07-12]. Dostupné na: <https://www.gumex.cz/h/mp-20-epdm-hadice-pro-vodu-a-vzduch-00032?Filter=True>
- [16] Knauf [online]. [cit. 2019-07-08]. Dostupné na: <http://www.knauf.cz/>
- [17] TONSTAV-SERVICE s.r.o. [online]. [cit. 2019-07-22]. Dostupné na: <https://www.tonstav-service.cz/hridele-michaci-363>
- [18] Profibaustoffe Austria GmbH [online]. [cit. 2019-07-18]. Dostupné na: <https://www.profibaustoffe.com/cs/omitaci-stroj-r55-400v/>
- [19] Total Kustom [online]. [cit. 2019-07-12]. Dostupné na: <http://www.totalkustom.com/gallery.html>
- [20] Constructions 3D [online]. [cit. 2019-06-28]. Dostupné na: <https://www.constructions-3d.com/>
- [21] ŠVEC, V.: Části a mechanismy strojů. Mechanické převody. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2003.
- [22] Parker Legris Connectic Low Pressure [online]. [cit. 2019-07-12]. Dostupné na: <https://www.traceparts.com/cs/product/parker-legris-connectic-low-pressure-4832-25-34-stainless-steel-ball-valve-3-piece-double-female?CatalogPath=TRACEPARTS%3ATP07006001&Product=10-09032005-029493&PartNumber=4832%2025%2034>

Seznam obrázků

Obrázek 1.: Vzorokly sloupů s vnitřní výplní na principu minimálních ploch, vytištěné z plastu týmem Dr. Ing. Podroužka technologií tavného nanášení, VUT Brno [3]	6
Obrázek 2.: Ukázka arabeskové stěny vzniklé metodou spojováním kameniva [9].....	7
Obrázek 3.: Ukázka nanášení vrstev metodou vytlačování cementových malt [19].....	8
Obrázek 4.: Ukázka stavebního procesu domu GAIA na expozici "Viaggio a Shamballa" firmou WASP [10].....	9
Obrázek 5.: Ukázka izolace stěny domu GAIA na expozici "Viaggio a Shamballa" firmou WASP [10].....	9
Obrázek 6.: Ukázka modelu měsíčního příbytku navrženého firmou CCC [4]..	10
Obrázek 7.: Ukázka rámové konstrukce 3D tiskárny v mostové variantě [3].....	11
Obrázek 8.: Ukázka rámové konstrukce portálové varianty firmy CCC [4]	11
Obrázek 9.: Ukázka stroje s robotickým ramenem firmy constructions 3D, upraveno autorem [20].....	12
Obrázek 10.: Frekvenční měnič G120C od firmy Siemens, model Sinamics v provedení 6SL3210-1KE21-3 3AC380-480 V [13].....	16
Obrázek 11.:Převodový elektromotor od firmy SEW EURODRIVE model KF39DRN112M4/TF [14].....	17
Graf 1.: Graf znázorňující závislost objemového toku směsi na otáčkách rotoru šnekové omítačky [vlastní archiv autora].....	19
Graf 2.: Graf znázorňující otáčky rotoru šnekové omítačky na rychlosti posuvu stroje [vlastní archiv autora]	22
Obrázek 12.: Model míchačky stavební směsi v řezu a v pohledu s vyznačenými polohami součástí 1) nosná konstrukce 2) kuželová nádoba 3) kryt nádoby 4) posuvné víko nádoby 5) elektromotor 6) hadice na vodu a chemikálie 7) spojka elektromotoru 8) plochý hřídel 9) míchací metlička 10) vstupní dýza pro vodu a chemikálie 11) převlečná matice 12) rotor šnekové míchačky 13) ocelové pouzdro 14) stator šnekové míchačky 15) výstupní tryska [vlastní archiv autora].....	25

Obrázek 13.: Rozvin plechu nádoby na stavební směs [vlastní archiv autora].	27
Obrázek 14.: Rozvin plechu pevného krytu nádoby na stavební směs [vlastní archiv autora].....	28
Obrázek 15.: Rozvin plechu posuvného víka nádoby na stavební směs [vlastní archiv autora].....	29
Obrázek 16.: Hadice na vodu a chemikálie od firmy GUMEX [15].....	30
Obrázek 17.: Rozebraný model spojky dodávaný firmou Knauf [16].....	31
Obrázek 18.: Míchací metlička dodávaná firmou TONSTAV SERVICE [17].....	32
Obrázek 19.: Míchací metlička dodávaná firmou Profi BAUSTOFFE [18].....	32
Obrázek 20.: Míchací metlička dodávaná firmou Knauf [16].....	33
Obrázek 21.: Míchací metlička vymodelovaná podle metličky dodávané firmou Knauf s upraveným zakončením na vnitřní hranol [vlastní archiv autora].....	33
Obrázek 22.: Znárodnění vstupu hadice na vodu a chemikálie do mísícího válce [vlastní archiv autora].....	34

Seznam tabulek

Tabulka 1.: Katalogové parametry dílů statoru a rotoru šnekové omítačky firmy FILAMOS [12] model D5 kurz.....	14
Tabulka 2.: Hodnoty maximálních a minimálních požadovaných otáček rotoru N13-S při minimální rychlosti posuvu zdroje a minimálním a maximálním rozměru tištěné vrstvy	14
Tabulka 3.: Katalogové parametry dílů statoru a rotoru šnekové omítačky firmy FILAMOS [12] model D5 kurz.....	15
Tabulka 4.: Hodnoty maximálních a minimálních požadovaných otáček rotoru D5 kurz při maximální rychlosti posuvu zdroje a minimálním a maximálním rozměru tištěné vrstvy	15
Tabulka 5.: Katalogové parametry zvoleného převodové elektromotoru od firmy SEW EURODRIVE [14].....	17
Tabulka 6.: Katalogové hodnoty všech dílů statorů a rotorů nabízených firmou FILAMOS [12] s doplněnými maximálními a minimálními dosažitelnými hodnotami objemových toků při maximálních a minimálních otáčkách.....	18

Seznam příloh

Příloha 1: 3D model míchacího zařízení

Příloha 2: Excel s výpočty vzorci a grafy použitý pro tvorbu první části praktické části