

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ

FAKULTA STAVEBNÍ

Katedra technologie staveb



DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Technologický postup pro robotické
nanášení zdící malty**

Bc. Ondřej Vampola

2019

Vedoucí diplomové práce: Ing. Vjačeslav Usmanov, Ph.D

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předkládanou diplomovou práci vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

V Praze dne

.....

Bc. Ondřej Vampola

Poděkování

Chtěl bych hlavně poděkovat Ing. Vjačeslavu Usmanovi, Ph.D. za vedení mé diplomové práce, cenné rady a odborný dohled. Poděkování patří i projektu TH04010329 - Autonomní robotický stavební systém (TAČR), díky kterému mohla vzniknout tato práce.

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Vampola Jméno: Ondřej Osobní číslo: 438495

Zadávací katedra: K122 - Katedra technologie staveb

Studijní program: (N3807) Stavební inženýrství

Studijní obor: (3607T045) Příprava, realizace a provoz staveb

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Technologický postup pro robotické nanášení zdíci malty

Název diplomové práce anglicky: Technological procedure for robotic application of masonry mortar

Pokyny pro vypracování:

- Rešerše současného stavu standardního nanášení zdíci malty a robotické technologie
- Návrh technologického postupu
- Návrh konzistence a typu maltových směsí
- Praktické ukázky nanášení maltových směsí naprogramovaným robotem
- Vyhodnocení a porovnání klasických a robotických metod nanášení zdíci malty

Seznam doporučené literatury:

JARSKÝ, Č., MUSIL, F., SVOBODA, P.: Příprava a realizace staveb (Technologie staveb II), CERM, Brno 2003, ISBN 80-7204-282-3.

KRL – Kuka Robotic Language - Reference Guide. Release 4.1. 135 pages. KUKA Roboter GmbH

HORSKÝ, Antonín a kolektiv: Podklad pro provádění Porotherm. [online]. © Wienerberger s.r.o., září 2017.

Dostupné na: <<https://www.wienerberger.cz/dokumenty-ke-stazeni.html>>

Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Vjačeslav Usmanov, Ph.D.

Datum zadání diplomové práce: 25. 09. 2019 Termín odevzdání diplomové práce: 05. 01. 2020

Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

Anotace

Diplomová práce je zaměřena na vývoj robotické technologie nanášení zdící malty. S ohledem na danou problematiku byl nejprve prozkoumán současný stav problematiky a pak navrhnout technologický postup včetně obecného návrhu zařízení pro aplikaci a přípravu lepící směsi. Následně byly pomocí softwaru pro robotické zdění provedeny praktické zkoušky nanášení zdící malty na pórobetonové tvárnice naprogramovaným robotem. Na závěr bylo provedeno vyhodnocení robotické technologie a porovnání s běžnými metodami nanášení zdící malty.

Klíčová slova

Robot, autonomní, zdící malta, technologický postup, pórobeton, tvárnice

Annotation

The thesis is focused on the development of robotic technologies by application of masonry mortar. Considering the problematics, the current state of the problematics was examined, and then the technological procedure was proposed, including the general design of the device for application and preparation of the adhesive mixture. Subsequently, by the help of the robotic masonry software, the practical examination of the application of masonry mortar on aerated concrete blocks by a programmed robot was made. Finally, the assessment of the robotic technology and the comparison with the ordinary methods of the masonry mortar were accomplished.

Key words

Robot, autonomous, masonry mortar, technological process, aerated concrete, blocks

Obsah

1	Úvod	10
2	Současné technologie nanášení lepících směsí	12
2.1	Malty pro celoplošnou tenkou spáru	12
2.2	Malty pro tenkou spáru	15
2.3	Tenkovrstvé lepidlo – PU pěna	17
2.4	Klasická zdící malta	19
2.5	Předem připravená zdící malta pro tenkou spáru - SIDI	21
2.6	Výhody tenkovrstvého lepení broušených cihelných tvárnic	23
3	Současné robotické zdící systémy	25
3.1	Zdící robot SAM100	25
3.1.1	Konstrukční řešení	25
3.1.2	Princip fungování	26
3.2	Stavební robot Hadrian X	27
3.2.1	Konstrukční řešení	27
3.2.2	Princip fungování	28
3.3	Robot pro pokládku cihel BRONCO	30
3.3.1	Konstrukční řešení	30
3.3.2	Princip fungování	30
4	Autonomní robotický stavební systém	31
5	Technologický postup nanášení lepící směsi – malty	34
5.1	Vývojový diagram nanášení lepící směsi – VD1	35
5.2	Vývojový diagram vstupujících prvků – VD2	37
5.2.1	Suchá maltová směs	39
5.2.2	Zásobník	42
5.2.3	Voda	46

5.2.4	Míchací zařízení	47
5.2.5	Čerpadlo	48
5.2.6	Hadice	48
5.2.7	BIM model objektu	49
5.2.8	Export IFC souboru	51
5.2.9	Konvertor	52
5.2.10	Průmyslový zdící robot	53
5.2.11	Koncový nanášeč lepící směsi – greifer nanášeč malty	62
6	Matematické modelování procesů	64
7	Maltové směsi pro robotický nanášeč	66
7.1	Malta pro robotické namáčení tvárnice	66
7.2	Malta pro robotický nanášeč malty	67
7.3	Výběr vhodné lepící směsi softwarem pro robotické zdění	67
8	Zkoušky nanášení malty robotickou technologií	69
8.1	Zkouška 1 – robotický nanášeč malty	69
8.1.1	Průběh zkoušky	70
8.1.2	Vyhodnocení zkoušky a robotického nanášeče	71
8.2	Zkouška 2 – robotické nanášení PUR pěny	72
8.2.1	Průběh zkoušky	72
8.2.2	Vyhodnocení zkoušky	73
8.3	Zkouška 3 – robotické nanášení malty namáčením	74
8.3.1	Průběh zkoušky	74
8.3.2	Vyhodnocení zkoušky	75
9	Vyhodnocení a porovnání technologie	76
9.1	Tabulka vícekritériálního hodnocení	76
9.2	Kritéria	77

9.3	Vyhodnocení	79
10	Závěr	80
11	Bibliografie	82
12	Seznam tabulek	87
13	Seznam obrázků	87
14	Seznam příloh	90

Slovník pojmů

Robot - stroj pracující s určitou mírou samostatnosti,

Greifer – koncové manipulační zařízení robota

Tepelný most - místo v konstrukci, kde uniká větší množství tepla než v ostatních místech konstrukce

Tepelné ztráta - okamžitá hodnota tepelné energie, která z domu uniká prostupem tepla konstrukce

Laser - optický zdroj elektromagnetického záření

Ultrazvuk - akustické vlnění, jehož frekvenci lidské ucho neslyší

BIM – informační model budovy, který slouží pro tvorbu a správu objektu

IFC – otevřený datový formát pro výměnu informací

Vývojový diagram - slouží ke grafickému znázornění jednotlivých kroků procesu nebo pracovního postupu

Servomotor – motor, u kterého lze nastavit přesné natočení osy

Konvertor – převodník mezi jednotlivými formáty

Software – program sloužící pro používání počítače

1 Úvod

V posledních letech jsou robotická zařízení všude kolem nás. Hlavně v odvětví automobilovém či elektrotechnickém průmyslu jsou roboti nedílnou součástí výroby. Dnes můžeme také nalézt robotického pomocníka v téměř každé domácnosti. S postupem času, jak se začíná robotizace stále více rozvíjet a rozšiřovat nachází si cestu i do dalších oborů, kde by si jejich nasazení před několika lety představil jen málo kdo.

Dalším oborem, ve kterém se snaží robotizace prosadit je v posledních letech i stavební průmysl. A není se co divit, vždyť stavebnictví se v posledních letech poměrně daří a meziročně stále roste. Dle dat uvedených Českým statistickým úřadem (ČSÚ) byla v prvním čtvrtletí roku 2019 zahájena výstavba 9 566 bytů, oproti tomu v předešlých třech letech tento údaj dosahoval hodnot 5 164, 6 525 a 7 618. Stavebnictví je navíc průmyslovým odvětvím s velkou mírou úrazovosti, což dokládají údaje Státního úřadu inspekce práce (SÚIP) z roku 2018, kdy bylo 35 % závažných pracovních úrazů zařazeno dle místa úrazu do skupiny s názvem Budovy, stavební konstrukce a povrchy. V neposlední řadě se stavebnictví vyznačuje, také větší mírou kazovosti nebo nedostatkem pracovních sil. Současně s nízkou nezaměstnaností všechny tyto aspekty nahrávají do karet právě robotizaci stavebních procesů. Proto se v současné době mnoho firem a výzkumných institucí zabývá právě vývojem robotických technologií, které by mohly stavebnictví zefektivnit, udělat bezpečnější, levnější, kvalitnější a v neposlední řadě ekologičtější.

Diplomová práce je zaměřena na projekt vývoje funkčního prototypu autonomního robotického stavebního systému na Fakultě stavební ČVUT TH04010329 – TAČR (<http://www.robostav.cz/robostav-projekt-tacr-2019>). Projekt je ve fázi prvních praktických zkoušek a stále je kolem jednotlivých zařízení systému a pracovních postupů spousta otázek.

Jednou z mnoha nezodpovězených otázek robotického pracoviště je právě samotná technologie systému přípravy a nanášení lepící směsi na tvárnice pomocí speciálního nanášeče, kterým se zabývá praktická část této diplomové práce. Jelikož robotické zdící pracoviště nedisponuje všemi

technickými zařízeními pro automatickou přípravu a přepravu maltové směsi k nanášeči, je jedním z cílů této diplomové práce navrhnout doporučená zařízení, s kterými by se zdící robot stal více samostatným. Nejdříve je však nutné navrhnout technologický postup dle vývojového diagramu pro robotické nanášení lepící směsi robotickým nanášečem. Následně bude technologie vyzkoušena během praktických zkoušek a v samotném závěru bude provedeno vyhodnocení a porovnání zkoušek.

2 Současné technologie nanášení lepících směsí

V současné době existuje několik technologií, jak aplikovat lepící směs na zdící systém. Výrobci zdících systémů a malt pomocí technologií docílili zmenšení tloušťky nanesené vrstvy malty, což vede nejenom k úspoře materiálu, ale i k eliminaci tepelných mostů v místě ložných spár a tím ke snížení celkových tepelných ztrát prostupem tepla Q_c [w] budovy. Dnešní technologie zdění se rozdělují na dva hlavní materiály. Na zdící malty a tenkovrstvá lepidla neboli zdící pěny. Oba tyto zdící materiály jsou určeny pro konkrétní typy zdících prvků a různé způsoby aplikace, avšak existují i univerzální směsi, které lze aplikovat na více materiálů a různými způsoby.

2.1 Malty pro celoplošnou tenkou spáru

Zdící malty nanesené celoplošně jsou určeny pro aplikaci na broušené cihly. Celoplošně nanesená malta umožňuje alespoň minimální vyrovnání výškových nerovností broušených cihel, což např. lepení na tenkovrstvé lepidlo neboli PUR pěnu neumožňuje. Zdivo vyzdéné na celoplošnou maltu vykazuje až o 30 % vyšší pevnost v tlaku (viz technický list - Statické tabulky zdiva HELUZ [1]) oproti jiným způsobům uvedených níže.

1) Zpracování

Do vhodné a čisté nádoby nalejeme potřebné množství vody a plynulým mícháním pomocí pomaluběžného mísidla nebo bubnové míchačky se přimíchá suchá maltová směs, až se vytvoří jednolitá hladká směs bez hrudek. Směs můžeme nechat 5 minut zrát a následně znovu promíchat.

2) Nanášecí zařízení

Malta pro celoplošnou spáru se klade pomocí speciálního nanášecího maltového válce zobrazeného na obrázku 1. Válce se standardně dodávají v šířkách 50; 44; 38; 30 a 25 cm. Nicméně lze pomocí hradítka v nanášecím válci upravit šířku a použít válec tak i na menší tloušťky zdiva. Tento typ malty lze nanášet i pomocí klasické zubové lžice nebo hladítka, nicméně takto lze maltu aplikovat pouze na plné tvárnice (např. pórobetonové) nebo na duté tvárnice vyplněné polystyrenem.



Obr. 1: Nanášecí válec pro celoplošnou maltu [33]

3) Způsob nanášení

Při prvním způsobu nanášení pomocí maltovacího válce se čerstvá malta nejprve nadávkuje do zásobníku. Poté musíme nastavit výtokovou šterbinu do optimální polohy pro správně nanesenou tloušťku vrstvy malty. Optimální tloušťka nanesené malty je okolo 3 mm a výsledná tloušťka spáry je 1 mm. Naplněný a nastavený válec vedeme kupředu po ložné spáře zdiva, pomocí vodících koleček. Tímto rovnoměrným a plynulým pohybem se malta nanáší na zdivo. Podklad pro nanášení musí být vždy čistý, zbaven prachu a nečistot. Při vedení válce musíme zvolit takovou rychlost, aby vytékající malta pokrývala celou ložnou spáru. Do takto nanesené tenké vrstvy malty, která se nepropadá do dutin, můžeme umístit další řadu tvárnic. Uložení tvárnic by mělo být do 5 minut od nanesené malty. Na obrázcích 2 a 3 vidíme aplikaci malty pomocí nanášecího válce a výslednou ložnou spáru určenou ke kladení další řady tvárnic.



Obr. 2: Aplikace malty pomocí nanášecího válce [34]



Obr. 3: Výsledná ložná spára [35]

U druhého způsobu nanášení pomocí zubového hladítka se malta natahuje podle typu tvárnic buď pouze na vodorovnou ložnou spáru nebo i na svislou spáru. Do nanesené malty pokládáme další řadu tvárnic a jejich polohu upravujeme poklepáním gumovou paličkou, tak aby vznikly spáry stejné tloušťky 1–3 mm. Polohu tvárnic upravujeme maximálně po dobu 5 min. Princip nanášení malty zubovou lžící a hladítkem vidíme na následujících obrázcích 5 a 4. Hlavní nevýhodou toho způsobu je větší pracnost a vyšší spotřeba malty.



Obr. 5: Nanášení zubovou lžící [4]



Obr. 4: Nanášení zubovým hladítkem [4]

4) Shrnutí technologie

Hlavními výhodami aplikace malty pro celoplošnou spáru jsou nejlepší pevnostní parametry celkového zdiva, delší korekční čas, během kterého je možné tvárnice upravovat a snadné nanášení malty. Jedná se však o dražší způsob zdění. Jakousi nevýhodou může být i fakt, že se vytvoří dokonale rovná vrstva, tudíž s touto maltou nelze vyrovnávat nerovnosti vzniklé při zdění. [2] [3] [4] [5] [6]

2.2 Malty pro tenkou spáru

Zdící malty pro tenkou spáru se nanášejí pouze na žebra dutých keramických tvárnic. Tímto způsobem nanášení se ušetří množství malty, nicméně takto spojené tvárnice vykazují nižší pevnost v tlaku oproti celoplošnému spojení. Malty pro tenkou spáru můžeme nanášet dvěma způsoby. Nanášení pomocí nanášecího maltového válce nebo namáčení cihel. Malty pro tenkou spáru nelze aplikovat na tvárnice, které mají dutiny vyplněné polystyrénem (např. Heluz FAMILY 2in1).

1) Zpracování

Zpracování malty pro tenkou spáru je stejné jako pro celoplošnou maltu. Do čisté nádoby se opět odměří potřebné množství vody a za stálého a plynulého míchání pomocí pomaluběžného mísidla (bubnové míchačky) se přidává suchá maltová směs. Míchá se, dokud nevznikne poddajná hladká hmota bez hrudek a s optimální konzistencí.

2) Nanášecí zařízení

Pro nanášení se používá nanášecí maltový válec pro tenkou spáru, který se běžně dodává v šířkách 50; 44; 38; 30 a 25 cm. Na obrázku 6 můžeme vidět příklad nanášecího válce. Nicméně lze maltu nanášet i bez válce pouze namáčením viz následující kapitola 3).



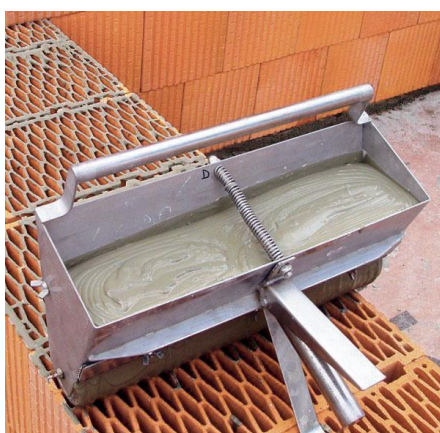
Obr. 6: Nanášecí válec pro maltu pro tenkou spáru

[32]

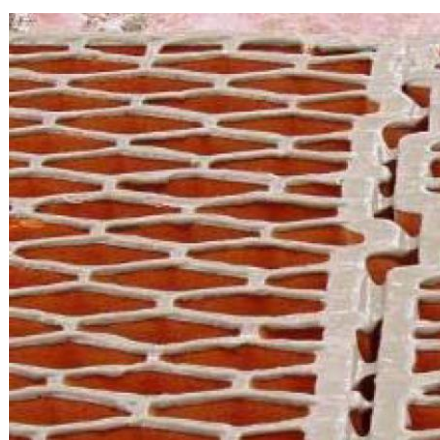
3) Způsob nanášení

Jak už bylo zmíněno výše, existují opět dva způsoby nanášení. Při použití nanášecího válce se tenkovrstvá malta dávkuje do zásobníku, který je

součástí válce. Ze zásobníku se malta rovnoměrně dostává při pohybu válce na ložnou plochu tvárnic. Před zahájením práce je zapotřebí nastavit výtokovou štěrbinu do optimální polohy pro správnou tloušťku nanesené malty. Tloušťka čerstvé malty by měla být okolo 3 mm a výsledná tloušťka spáry je 1 mm. Do nanesené tenké vrstvy malty, které ulpívá pouze na žebrech tvárnic a současně nepropadáva žádné množství malty do dutin, se pokládá další řada tvárnic. Další řada tvárnic musí být položena nejpozději do 10 minut od nanesení malty optimálně však do 3 minut. Na následujících obrázcích 7 a 8 můžeme vidět princip nanášení a výsledný povrch po nanesení malty.



Obr. 7: Princip nanášení malty na žebra pomocí válce [31]



Obr. 8: Výsledný povrch po nanesení malty [2]

Při druhém způsobu nanesení malty se tvárnice namáčí do předem připravené malty. Spodní ložná část tvárnice se ponoří do malty, do hloubky maximálně 5 mm. Princip namáčení a správně namočenou tvárnici můžeme vidět na obrázku 9 a 10. Takto namočená tvárnice se ihned usadí na požadované místo ve zdivu. Dodatečné posouvání tvárnic po usazení je zakázáno. Výhodou tohoto způsobu nanášení je to, že ho můžeme použít na libovolné rozměry tvárnic, protože nejsme limitováni rozměry nanášecího válce.



Obr. 9: Princip namáčení tvárnice [2]



Obr. 10: Namočená spodní ložná část tvárnice [2]

4) Shrnutí technologie

Hlavní výhodou aplikace malty pro tenkou spáru spočívá v rychlém a snadném zdění a zároveň se jedná o jeden z nejlevnějších způsobů zdění. Avšak nevýhodami jsou hlavně krátký korekční čas a, jak už bylo zmíněno výše, tvárnice nelze po nanesení lepidla a uložení na pozici posouvat. A stejnou nevýhodou jako při aplikaci celoplošné malty je dokonalá rovná vrstva nanesené malty, která zamezuje výškovou korekci tvárnic. [2] [3] [6] [7]

2.3 Tenkovrstvé lepidlo – PU pěna

Tenkovrstvé lepidlo neboli lepicí PU pěna se používá pro všechny typy dutých keramických tvárnic i těch, které jsou vyplněny buď vatou nebo polystyrenem. Zdivo lepené pěnou dosahuje nejnižších hodnot pevnosti zdiva v tlaku. PU pěna je na stavbu dodávána v dózách standardně o objemu 750 ml.

1) Zpracování

Zdící PU pěna v dóze je již hotová a ihned připravená k aplikaci na tvárnice. Před použitím pěnu pouze důkladně protřepeme. Není tedy nutné mít pro přípravu lepicí směsi jakékoliv další náčiní.

2) Nanášecí zařízení

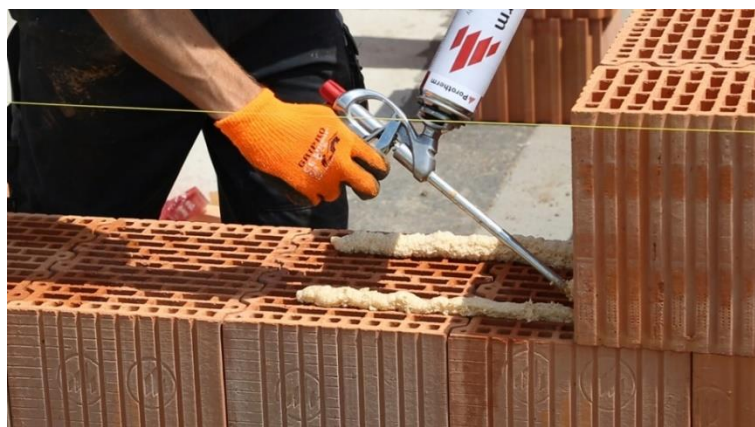
Pro nanášecí zdící PU pěny se používá aplikační pistole viz obrázek 11 nebo lze pěnu aplikovat pomocí aplikační trubičky, která na rozdíl od aplikační pistole je součástí každé dózy. Typ nanášecího zařízení závisí na typu uzávěru dózy s PU pěnou. Existují dózy pistolové, které jsou určeny pro aplikaci pistolí a dózy trubičkové pro aplikaci trubičkou.



Obr. 11: Aplikační pistole na PU pěnu [36]

3) Způsob nanášení

Protřepanou dózu s pěnou buď našroubujeme na adaptér aplikační pistole nebo nasadíme na dózu aplikační trubičku. U aplikační pistole si ještě můžeme nastavit dávkovací množství pomocí regulačního šroubu. Před nanášením pěny si tvárnice důkladně očistíme, abychom zbavili povrch prachu a dalších nečistot. Poté můžeme začít nanášet pěnu. Pěna se aplikuje na tvárnice přibližně 5 cm od lícové strany v tzv. housenkách o průměru cca 3 cm. Standardně se aplikují 2 housenky PU pěny pro tvárnice tloušťky nad 175 mm a jedna housenka pro tloušťky tvárnic do 175 mm. Princip nanášení PU pěny je vidět na obrázku 12. Uložení tvárnic je nutné provést do 3 minut po nanesení PU pěny.



Obr. 12: Princip zdění na PU pěnu [10]

4) Shrnutí technologie

Mezi hlavní výhody při zdění na PU pěnu patří úspora času, protože v dóze je již hotová směs připravena k aplikaci. Tudiž odpadá čas strávený mícháním a dávkováním lepicí směsi např. do maltovacího vozíku. S tím je spojená i další výhoda, že nepotřebujeme další zbytečné náčiní při aplikaci a přípravě pěny. Není potřeba elektrická energie ani voda. Pěna se také snadno aplikuje a dobře izoluje, takže se sní nechají vyplnit i různá místa a dutiny vzniklé u dořezů apod. Pěnu je možné snadno přepravovat a skladovat. Zdění na pěnu má mnoho svých nesporných výhod, nicméně má i své nevýhody. Hlavními nevýhodami tedy jsou například malá pevnost zdiva v tlaku vyzděného na pěnu, proto se nedoporučuje zdít na pěnu více podlažní objekty. Pěna neumožňuje jakékoliv vyrovnání vzniklých nerovností v ložné spáře a nelze ji aplikovat při silném větru. [8] [9] [10]

2.4 Klasická zdící malta

Klasická zdící malta je určená pro zdění z nebroušených tvárnic a jedná se tak o poměrně starší a méně využívanou metodu. Pro tento typ zdění se používá klasická vápenocementová malta nebo malta tepelněizolační, z důvodu vyšší tloušťky ložné spáry. Tepelně izolační malty obsahují podpůrné zrno, díky kterému je zamezeno sesedání malty a současně je v maltě obsažen perlit pro eliminaci tepelných mostů v ložné spáře. Častou chybou pak bývá nedodržení doporučené tloušťky nanesené vrstvy malty a tím pak vznikají odchylky od výškového modulu tvárnic, což má za následek např. nízkou celkovou výšku vyzděné stěny. Zdivo vyzděné na klasickou zdící maltu dosahuje vyšší pevnosti zdiva v tlaku než zdivo lepené PU pěnou. Ve srovnání s tenkovrstvými maltami dosahuje zdivo podobné hodnoty pevnosti v tlaku za předpokladu dodržení doporučené tloušťky malty.

1) Zpracování

Zpracování klasické zdící malty je podobné jako u tenkovrstvých malt, které jsou také dodávány jako suché směsi v pytlích. Suchá maltová směs se smíchá s doporučeným množstvím vody, standardně, v bubnové míchačce. Nechá se použít i kontinuální míchačka pro stálý příjem čerstvé malty.

2) Nanášecí zařízení

Pro nanášení malty lze použít běžnou zednickou lžici nebo maltovací přípravek, který můžete vidět na obrázku 13. Jedná se o truhlík, díky kterému docílíme rovnoměrnějšího nanesení čerstvé malty na tvárnice.



Obr. 13: Maltovací truhlík [3]

3) Způsob nanášení

Pokud pomineme nanášení malty klasickou zednickou lžící a zvolíme způsob nanášení maltovacím truhlíkem, tak si nejprve naneseme připravenou čerstvou maltu na ložnou spáru do nasazeného truhlíku na tvárnících. Dbáme na rovnoměrné nanesení malty po celé šířce tvárníc v dostatečné tloušťce. Výsledná tloušťka ložné spáry by měla být minimálně 6 mm a maximálně 15 mm s ohledem na dodržení výškového modulu 250 mm. Malta musí mít při nanášení optimální konzistenci tak, aby nestékala dovnitř do dutin tvárníc. Pokud máme připravenou a nanesenou maltu, pohybem truhlíku po ložné spáře maltu rovnoměrně nanese na tvárnice. Do takto nanesené vrstvy malty můžeme skládat další řadu tvárníc. Způsob nanášení klasické zdící malty můžeme vidět na obrázcích 14 a 15 níže.



Obr. 14: Nanášení klasické zdící malty do truhlíku [7] Obr. 15: Způsob nanášení malty [7]

4) Shrnutí technologie

I když je tento typ malt pro klasické zdění z nebroušených tvárníc již zastaralý a mnozí je zatracují z důvodu vyšší spotřeby materiálu v důsledku vyšší tloušťky spáry, delší doby při nanášení nebo tepelných mostů místě ložných spár. Stále má své příznivce, protože se jedná o dobře známou, a tudíž osvědčenou metodu, u které nevznikají pochybnosti s pevností, životností nebo odolností při požáru jako například u PU pěny. [7] [3]

2.5 Předem připravená zdící malta pro tenkou spáru - SIDI

Firma HELUZ v letošním roce představila novou maltu pro tenkovrstvé zdění z broušených tvárnic HELUZ pro vnitřní i vnější nosné stěny a příčky. Jedná se o silikátově-disperzní maltu s pojivem na bázi vodního skla bez cementu, která je již z výroby připravená a namíchaná. Malta bude dodávána v plastových kbelících podobně jako např. malířská barva. Tato malta byla letos poprvé testována a ověřena rozsáhlými zkouškami. Na trhu by se měla malta objevit na jaře roku 2020, tedy na začátku nové stavební sezóny.

1) Zpracování

Maltu SIDI stačí před aplikací pouze lehce promíchat a poté je připravena k nanášení na tvárnice. Není tedy nutné do malty přidávat další látky a čímkoliv jí ředit. Po použití stačí kbelík s maltou uzavřít víkem a může být použita opakovaně i další dny.

2) Nanášecí zařízení

Jediné, co bude potřeba pro nanášení malty SIDI je aplikační strukturovaný systémový váleček, který je podobný jako váleček malířský, který by měl pro aplikaci stačit také. Není tedy nutné žádné další speciální zařízení, jak míchací, tak aplikační. Aplikační váleček HELUZ spolu s balením malty SIDI a tvárnicí HELUZ FAMILY 2in1 vyplněnou polystyrénem je vidět na následujícím obrázku 16.



Obr. 16: HELUZ SIDI – tvárnice, aplikační váleček a kbelík [11]

3) Způsob nanášení

Jak již bylo zmíněno více, nanášení se provádí systémovým válečkem, kterým se malta nanáší rovnoměrně do kříže, aby malta pokryla celou ložnou plochu tvárnic, tak jak můžeme vidět na obrázku 17 a 18. Malta by neměla stékat do otvorů a po okraji tvárnic. Množství nanesené malty lze upravit otřením o plastovou mřížku. Po aplikaci malty lze další tvárnice uložit a vyrovnat do 15 minut. Zdít touto technologií lze při teplotách od 1 °C. K celkovému vytvrzení a spojení tvárnic dojde během 7 dnů za běžných klimatických podmínek.



Obr. 17: SIDI – nanášení malty do kříže [11]



Obr. 18: SIDI – výsledná ložná spára [11]

4) Shrnutí technologie

Jedná se o novou a moderní technologii zdění, která v praxi ještě není plně odzkoušená, i tak lze říci, že má malta SIDI několik nesporných výhod. A pokud budou splněny slibované výsledné vlastnosti zdiva vyzděného na tuto maltu, mohlo by se jednat o jednu z nejlepších a nejoblíbenějších zdících technologií pro tenkovrstvé zdění broušených tvárnic HELUZ na trhu. Mezi hlavní výhody bude patřit snadná a rychlá aplikace bez nutnosti žádného speciálního zařízení a předešlých zkušeností s aplikací. Cihly se nemusí před aplikací vlhčit a lze zdít při teplotách od 1 °C. Zabrání se zbytečnému znečištění na stavbě. Bude snadné přerušit a opět obnovit zdění. A dojde také k úspoře materiálu, elektrické energie a vody na staveništi. [11] [12] [13]

2.6 Výhody tenkovrstvého lepení broušených cihelných tvárnic

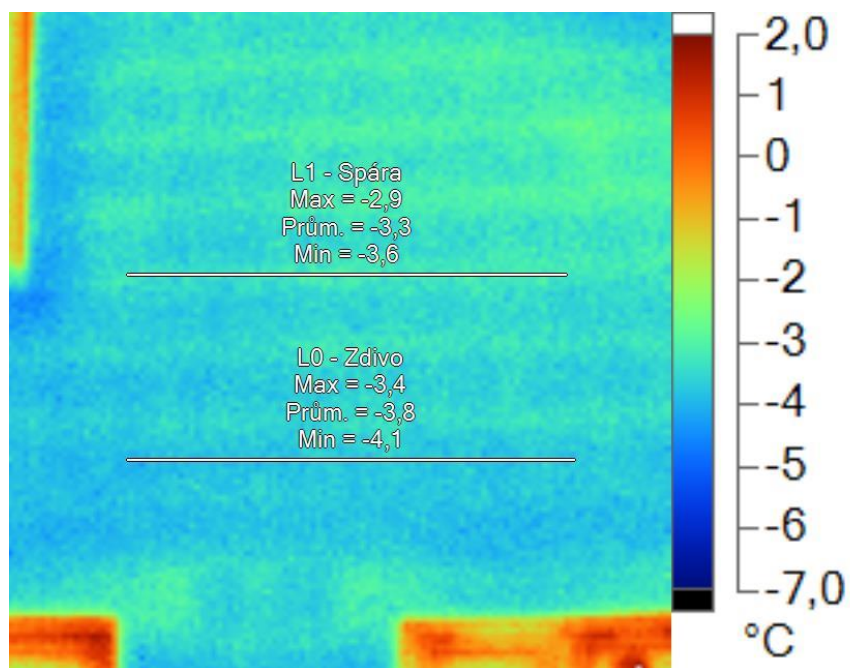
Zdění z broušených cihelných tvárnic patří mezi moderní stavební technologie, které má mnoho výhod oproti zdění z běžných nebroušených tvárnic bez ohledu na použití malty pro tenkou spáru nebo tenkovrstvého lepidla. Tyto výhody jsou docíleny především díky nižším tloušťkám ložných spár a přesných rozměrů broušených tvárnic.

Hlavními výhodami jsou:

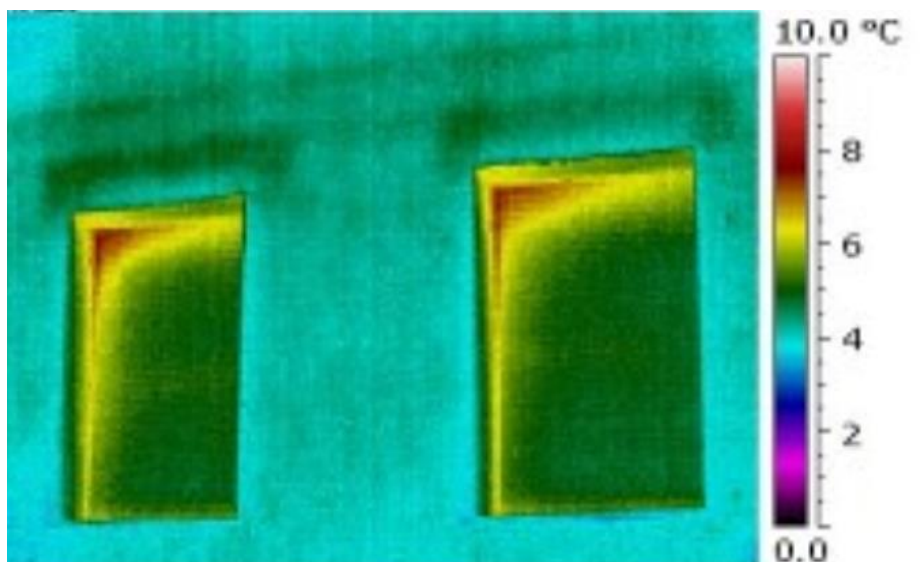
- Jednodušší a rychlejší zdění
- Rovný podklad pro další technologie (omítky, fasáda atd.)
- Minimalizace rozměrových odchylek
- Snížení technologické vlhkosti při zdění (menší množství malty, které nenasytí tvárnici vodou jako u zdění z nebroušených tvárnic)
- Menší tloušťka ložné spáry
- Úspora materiálu
- Některé způsoby nanášení zvládnou i méně zruční a zkušení pracovníci
- Levnější a jednodušší technologické vybavení pro zdění (nejsou zapotřebí např. velká síla pro skladování a míchací zařízení)
- Eliminace tepelných mostů v místě ložné spáry a tím zlepšení tepelněizolačních vlastností celé obálky budovy (viz následující odstavce)

Jednou z hlavních výhod tenkovrstvého lepení broušených tvárnic je snížení tepelných mostů, které je docíleno menší tloušťkou ložné spáry, ve které při zdění z nebroušených tvárnic vznikají tepelné mosty. V důsledku větších tepelných mostů nevznikají jenom větší tepelné ztráty, ale díky kondenzaci vodních par se mohou vytvořit i plísně. Na obrázcích níže můžeme vidět porovnání dvou staveb. Na termografickém obrázku 19 je objekt postaven z nebroušených tvárnic s tloušťkou ložných spár cca 10 – 15 mm. Z obrázku jsou patrné tepelné mosty v místě ložných spár, které mají přibližně o 0,5 °C vyšší průměrnou povrchovou teplotu, oproti místu jednotlivých řad tvárnic. Oproti tomu na dalším termografickém snímku 20 je stavba vyžděná z broušených tvárnic lepených tenkovrstvým lepidlem s celkovou tloušťkou

spáry cca 1 mm. Vidíme, že stěna působí jednoduše a ložné spáry nejsou barevně odlišeny od celkové plochy stěny mezi okny, až na místa uložení překladů a věnce. Díky tomu můžeme říci, že v místě ložných spár nevznikly u této stavby tepelné mosty. [2] [14]



Obr. 19: Termografický snímek – objekt z nebroušených tvárnic [autor]



Obr. 20: Termografický snímek – objekt z broušených tvárnic [14]

3 Současné robotické zdící systémy

I když jdou nové technologie stále rychleji kupředu a v mnoha odvětví průmyslu jsou robotická zařízení již běžnou součástí provozu, v klasickém stavebnictví jde spíše o první pokusy aplikovat moderní robotické technologie do výroby. Výjimkou jsou například dálkově ovládaná robotická zařízení, například pro inženýrské stavby, sbíjecí zařízení nebo drony pro zaměřování staveb. Nicméně již dnes existují první poloautonomní zdící robotické zařízení, které ke své činnosti, ale stále potřebují lidskou práci.

3.1 Zdící robot SAM100

SAM100 je poloautomatizovaný zdící robot určený pro zdění velkých stěn z cihel od americké společnosti Construction Robotics. Tento robot nebyl navržen za účelem nahradit stavební dělníky, ale aby snížil náročnost práce, snížil riziko nebezpečí a zefektivnil zdění. Člověk musí robota kontrolovat, nastavovat, dočišťovat vyzděné cihly a spáry, provádět kontrolu kvality a doplňovat cihly do zásobníku. SAM je schopen vyzdít až 3000 cihel denně, oproti tomu člověk přibližně 500 cihel za den. Jedná se asi o nejvyspělejší robotický zdící systém, který byl již několikrát úspěšně použit v praxi.

3.1.1 Konstrukční řešení

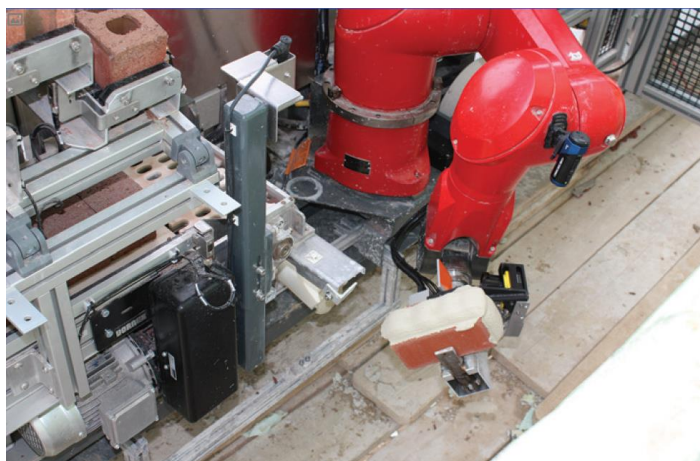
Robot se skládá z několika částí: kompaktního hlavního modulu (viz obrázek 21), který obsahuje systém pro podávání materiálu (cihel a malty), robotické ruky pro manipulaci s cihlami, bezpečnostních systémů, které v případě nebezpečí zastaví robota, plošiny pro horizontální pohyb po kolejnicích, zvedací plošiny pro vertikální pohyb a řídicího softwaru, do kterého se nahraje kladečský plán.



Obr. 21: SAM100 – hlavní zdící modul [37]

3.1.2 Princip fungování

Nejprve se na stavbě sestaví plošina s kolejnicemi, na které je umístěn hlavní modul. Na této plošině se robot pohybuje vodorovně a je schopen vyzdít několik řad cihel, poté se musí celá plošina s robotem zvednout, aby robot mohl zdít další řady. Před samotným zděním se musí nejprve na pásový dopravník ručně naskládat cihly a do dávkovacího zařízení doplnit maltu. Cihly jsou pak dopravovány k robotické ruce, která si je postupně odebírá. Poté je cihla přemístěna k dávkovacímu zařízení malty, kde je malta nanesena na 2 strany (viz obrázek 22). Následně robot umístí přesně cihlu na místo pomocí laserového snímače (viz obrázek 23). Takto robot skládá jednu cihlu za druhou ve vodorovném směru. Za robotem jde dělník, který odstraňuje přebytečnou maltu, začišťuje spáry, dozdvívá rohy a otvory a kontroluje výslednou kvalitu zdi. [15] [16] [17] [18]



Obr. 22: SAM100 – nanesení malty [18]



Obr. 23: SAM100 – umístění cihly [15]

3.2 Stavební robot Hadrian X

Australská robotická společnost Fastbrick Robotics už v roce 2015 představila prototyp zdícího robota Hadrian 105. Ten během testů úspěšně prokázal své schopnosti, a tak dostal další vývoj „zelenou“. Do vývoje robota investovala i firma Caterpillar (CAT), která podpořila vývoj několika desítkami miliónů. Díky tomu mohl vzniknout nový revoluční model Hadrian X, který by měl dokázat vyzdít rodinný dům za pouhých pár dní. Dle výrobce totiž umí Hadrian X vyzdít až 1000 cihel během jedné hodiny. Systém byl již vyzkoušen při prvních testech, kdy byl vyzděn běžný rodinný dům (viz obrázek 24). Prodej stavebního robota zatím nebyl spuštěn, ale jeho cena by se měla pohybovat okolo 2 miliónů australských dolarů, což je přibližně 31 mil. Kč.



Obr. 24: Hadrian X – vyzděný RD [39]

3.2.1 Konstrukční řešení

Stavební robot Hadrian X je zabudován do nákladního auta. Konstrukce je vyrobena z oceli, hliníku a uhlíkových kompozitních vláken. Robot je řízen sítí počítačů, kamer, servomotorů a laserových senzorů pro sledování polohy. Díky tuhé konstrukci ramene z kvalitních materiálů a systémem dynamické stabilizace (DST), dokáže Hadrian X dosáhnout

ramenem do vzdálenosti 30 metrů (viz obrázek 25), bez ohledu na okolní podmínky (např. vítr) a maximálně přesně umístit cihly na požadované místo.



Obr. 25: Hadrian X - vyložení 30 metrů [38]

3.2.2 Princip fungování

Hadrian X pro svou práci potřebuje nejprve vytvořit 3D model objektu, dle kterého se vypočítá spotřeba materiálu. Celý model je pak nahrán do počítače robota, podle kterého se pak řídí a je tak schopen plně automatizovaně objekt vyzdít sám. Hadrian X však potřebuje před začátkem a během zdění doplňovat palety s cihlami do zásobníku umístěného přímo v nákladním autě s robotem (viz obrázek 26). Uvnitř auta si pak dle potřeby cihly ořeže a dle potřeby zkrátí. Díky tomu se snižuje hlučnost a prašnost na staveništi.



Obr. 26: Hadrian X – doplnění palety s cihlami [21]

Připravené cihly poté putují po výložníku umístěného na rameni ke koncové hlavě (viz obrázek 28), kde je na ně aplikováno lepidlo na bázi polyuretanu. Toto lepidlo vykazuje vyšší pevnost, lepší tepelněizolační vlastnosti až o 70 % a rychlejší schnutí oproti běžně používaným materiálům. Po aplikaci lepidla jsou cihly pomocí laserového naváděcího systému a systému DST umístěny na požadované místo s přesností $\pm 0,5$ mm (viz obrázek 27). Hadrian X používá pro zdění speciální zdící bloky optimalizované přímo pro robota. Tyto zdící bloky mohou mít rozměr až 500 x 250 x 250 mm a vážit 22 kg. Během zdění se primárně pohybuje pouze rameno s výložníkem, jen v případě velkých staveb se bude pohybovat i celé nákladní auto s robotickým systémem. [19] [20] [21] [18]



Obr. 28: Hadrian X – koncová hlava a výložník [39]



Obr. 27 Hadrian X – umístění cihly na požadované místo [39]

3.3 Robot pro pokládku cihel BRONCO

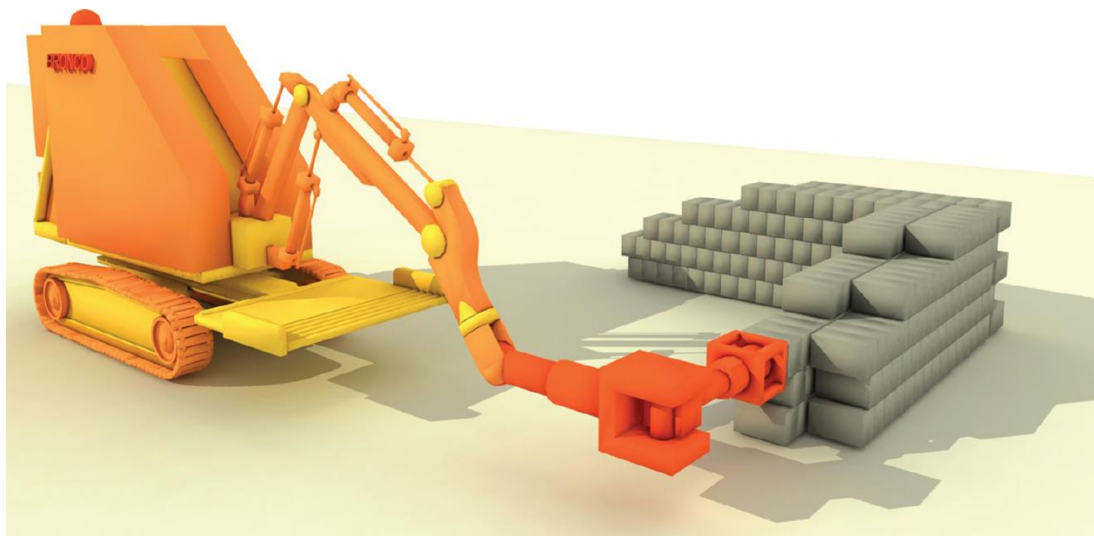
Ústav technologie řízení strojů a výrobních systémů na univerzitě ve Stuttgartu vyvíjí robota BRONCO pro automatickou pokládku cihel. Robot by se měl umět sám pohybovat po stavbě díky pásovému podvozku a měl by být schopen sám zdít za dohledu lidského pracovníka nebo na dálku ovládan. Nicméně je robot zatím ve fázi vývoje a zatím nebyl reálně vyzkoušen.

3.3.1 Konstrukční řešení

Robotický systém BRONCO se skládá z pásové mobilní základny, manipulátoru 7-DOF připojeného k základně, koncového zařízení určeného k uchopení cihel a multifunkční technologické jednotky, také připojené mobilní základně. Koncové zařízení je vybaveno vakuovým sacím systémem a bezpečnostními senzory pro měření vzdálenosti a náklonu.

3.3.2 Princip fungování

Robot nejprve vezme cihlu ze standardní palety a umístí ji na multifunkční technologickou jednotku. Tam se cihla v prvním kroku změří, následně se na ní nanese malta, a nakonec se cihla vystředí a předá předem definovaným způsobem robotovi. Zatímco při přemísťování cihel z palety na technologickou jednotku jsou cihly uchopovány ze shora, při umísťování cihly na konečnou pozici ve stěně jsou cihly uchopeny z boku (viz obrázek 29) pro přesné umístění, vyrovnání a lepší fixaci. Cihly jsou skládány dle vygenerovaného kladečského plánu z CAD výkresů. [18]



Obr. 29: BRONCO – zdící robot [18]

4 Autonomní robotický stavební systém

Praktická část této diplomové práce vznikla na základě grantu CZ.02.1.01/0.0/0.0/16_017/0002625 Inovovaná laboratorní a zkušební infrastruktura pro doktorský studijní program Pozemní stavby (ČVUT v Praze, Fakulta stavební). Díky tomuto grantu došlo k vybavení laboratoře pro robotizaci stavebních procesů. Laboratoř nyní disponuje robotickým zdícím systémem, který je schopen plně automaticky skládat jednotlivé tvárnice, řezat tvárnice do potřebných délek a nanášet lepicí směs. Detailní popis celého robotického pracoviště a jednotlivých prvků a zařízení je součástí kapitoly 5.2.10 na stránce 53. Na tomto robotickém pracovišti jsou provedeny veškeré praktické ukázky obsažené v této diplomové práci. Pracoviště můžeme vidět na následujících snímcích 30 a 31.



Obr. 30: Robotické zdící pracoviště [40]



Obr. 31: Průmyslový zdící robot [41]

Pro zrychlení a optimalizaci celého procesu robotického zdění včetně projektování vznikl projekt autonomního robotického stavebního systému (<http://www.robostav.cz/robostav-projekt-tacr-2019>), jehož hlavním cílem je vyvinout speciální software s konvertorem 3D modelu objektu z prostředí BIM do formátu IFC 4.0 pro průmyslového robota. Software bude schopen vypočítat pro daný objekt potřebné množství zdícího materiálu, počet dořezaných tvárnic, optimálně rozvrhnout zdící prvky, navrhnout vazby a napojení příček, nejvýhodnější polohu umístění robotické pracovní ruky atd.

Software umožňuje vložit nový model objektu ve formátu IFC, který je následně konvertován do formátu potřebného pro zdíciho robota. Pro správnou funkčnost konvertoru se musí dodržovat pravidla pro export 3D BIM modelu do formátu IFC, proto je součástí softwaru i příručka pro SW robotického zdění. Následně je potřeba zvolit parametry zdíciho modelu, jako je typ zdíciho robota, šablona výkresu IFC, nosný systém (zdící systém), nenosný systém, lepicí směs a krok iterace (přesnost nalezení optimální pozice robota pro výpočet optimálního dosahu a stanovisek). Formulář pro vložení modelu vidíme na následujícím obrázku 32 přímo ze SW pro robotické zdění. Na následující stránce je zobrazeno hlavní okno SW viz obrázek 33.

TH04010329 - Autonomní robotický stavební systém (TAČR - Technologická agentura České republiky)
 Identifikační číslo výstupu/výsledku: TH04010329-V10
 Název výstupu/výsledku: SW pro robotické zdění
 Druh výstupu/výsledku: R - Software

Nový model:

Obecné údaje modelu

Název objektu:

Adresa objektu:

Developerská firma:

Zodpovědná osoba:

Poznámka:

Autor:

Parametry stavby

Objem zdíva: m³

Plocha objektu: m²

Doba výstavby: - hod

Celkové náklady: tis. Kč

Parametry modelu

Robot:

IFC:

Nosný systém:

Nenosný systém:

Lepicí směs:

Krok iterace: mm

Nahrát IFC soubor na server (*.ifc): Soubor nevybrán
 nebo použít úkazkový soubor IFC (viz. obrázek):

Pozn.: Pro správnou funkčnost konvertoru se musejí respektovat pravidla exportu modelu do formátu IFC. Podrobně viz [Manuál ke stažení: Příručka SW "Robotické zdění" ve formátu PDF](#)

[Příručka](#) - [Hlavní stránka](#) - [IFC nastavení](#) - [Parametry robotů](#) - [Zdící systém](#) - [Lepicí směsi](#)

Obr. 32: SW pro robotické zdění – vložení nového modelu [23]

Modely:

+ Vložit nový model

ID	Název Adresa	Osoba Developer	Objem zdíva Plocha objektu	Náklady Doba	Robot IFC Nosný systém Nenosný systém Malta	Poznámka	Datum Autor
1	Zkušební vzorek stavebního objektu Tiskařská 10/257, 108 00 PRAHA 10 - Malešice	Ing. Pavel Šafrata DEKPROJEKT s.r.o. / CVUT v Praze, FSV. K122	0 m ³ 100 m ²	0 tis. Kč 0 dny	KUKA Agilus KR10 R1100 sixx IFC 4.0 / Vykres na vnitřní osu / Standardní šablona 3 Porotherm 44 Profi / keramická / tl. 440 / v. 250 Porotherm 8 Profi / příčkovka / tl.80 / v.250 / d.500 Zdíci malta pro tenké spáry - NANÁŠENÍ CELOPLOŠNĚ VOZIKEM / M10	Zkušební objekt: velikost 10m x 10m Nosné zdívo: 440 Příčky: 80 Okna + Dveře	17.11.2019 Ing. Vjačeslav Usmanov, Ph.D.

- Zobrazit model
- Editovat model
- Vymazat model
- Přiložit soubor
- Vypočítat model

[Příručka](#) · [Hlavní stránka](#) · [IFC nastavení](#) · [Parametry robotů](#) · [Zdíci systém](#) · [Lepicí směsi](#)



Tento projekt je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci Programu EPSILON.

www.tacr.cz

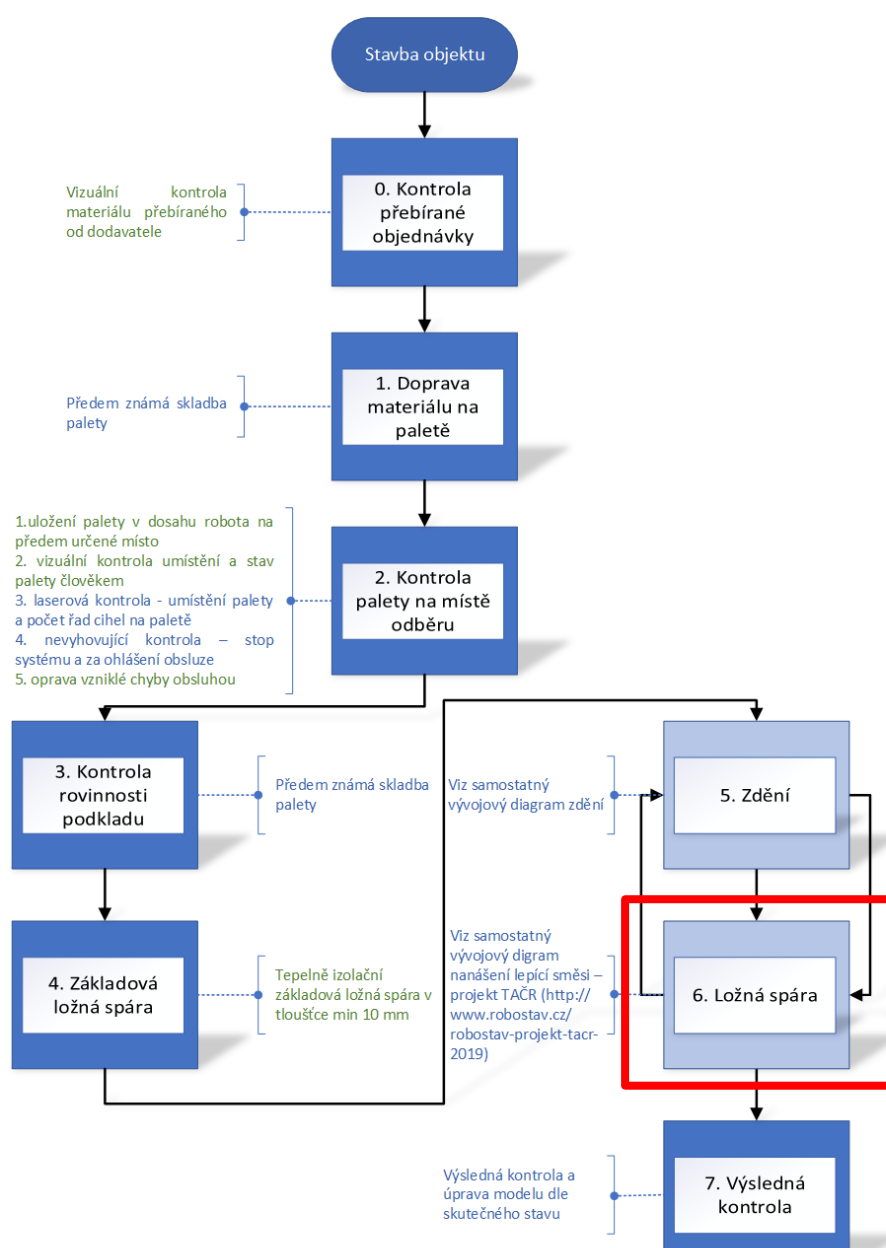
Výzkum užitečný pro společnost.

Obr. 33: SW pro robotické zdění – hlavní okno SW [23]

Jedním z mnoha problémových faktorů autonomního robotického pracoviště je i samotný systém přípravy lepicí směsi a nanášení lepicí směsi na tvárnice pomocí speciálního nanášeče, kterým se zabývá praktická část této diplomové práce. [22] [23]

5 Technologický postup nanášení lepící směsi – malty

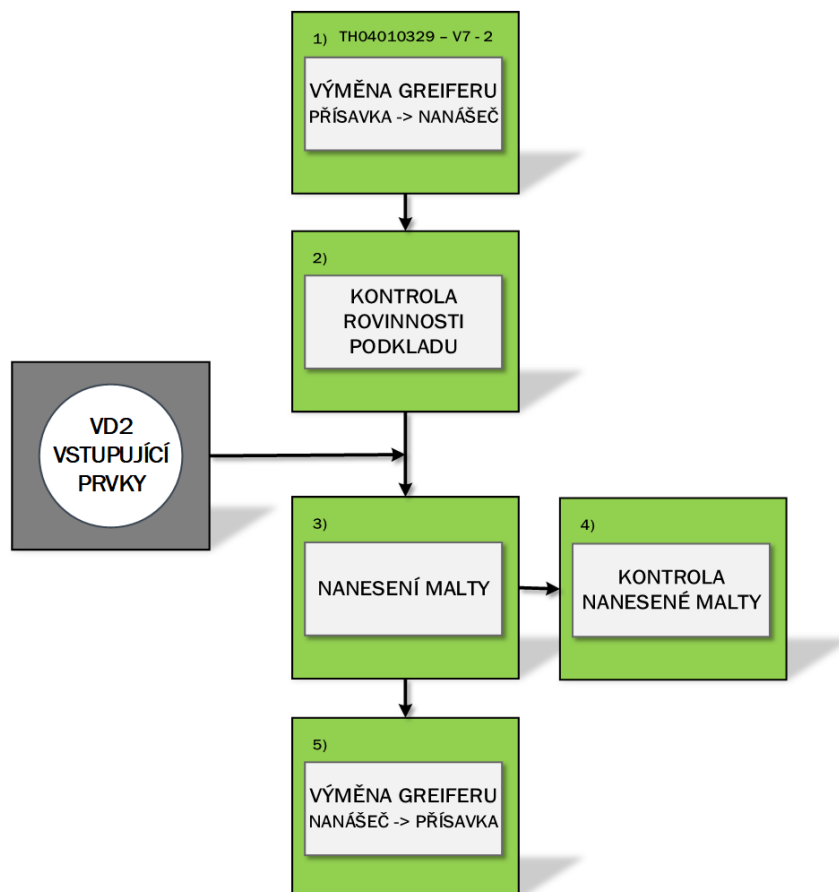
Technologický postup nanášení lepící směsi vyplývá z vývojového diagramu celého robotického zdění viz obrázek 34. Nanášení lepící směsi je na diagramu zobrazeno pod bodem 6. Ložná spára je zvýrazněna červeně. Jednotlivé kroky technologického postupu nanášení lepící směsi jsou popsány v bodech vývojových diagramů. Prvním vývojovým diagramem je diagram VD1 nanášení lepící směsi, který je popsán na následující kapitole 5.1. Dalším vývojovým diagramem je diagram VD2 vstupujících prvků viz kapitola 5.2, jehož součástí je popis jednotlivých prvků zařízení pro nanášení malty.



Obr. 34: Vývojový diagram robotického zdění [<http://www.robostav.cz/> - B482 - Laboratoř pro robotizaci stavebních procesů - 22]

5.1 Vývojový diagram nanášení lepicí směsi – VD1

Vývojový diagram nanášení lepicí směsi je součástí hlavního vývojové diagramu celého robotického systému zdění. Diagram s jednotlivými kroky je znázorněn na obrázku 35. Dílčí kroky diagramu jsou popsány níže.



Obr. 35: Vývojový diagram robotického nanášení malty [autor]

1) Výměna greiferu (přísavka -> nanášeč)

Prvním krokem před samotným nanášením lepicí směsi je výměna greifru. Robot provede výměnu přísavky (viz obr. 59), kterou odloží do dokovací stanice a následně si přichytne pomocí rychlovýměny nanášeč (viz obr. 64).

2) Kontrola rovinnosti podkladu

Robot pomocí laserového senzoru pro měření vzdálenosti (viz obrázek 37) a ultrazvukového senzoru (viz obrázek 36), umístěné na konstrukci nanášeče malty, zkontroluje rovinnosti podkladu pro nanesení vrstvy malty. Robot vždy zkontroluje celou jednu řadu vyzděných tvárnic.

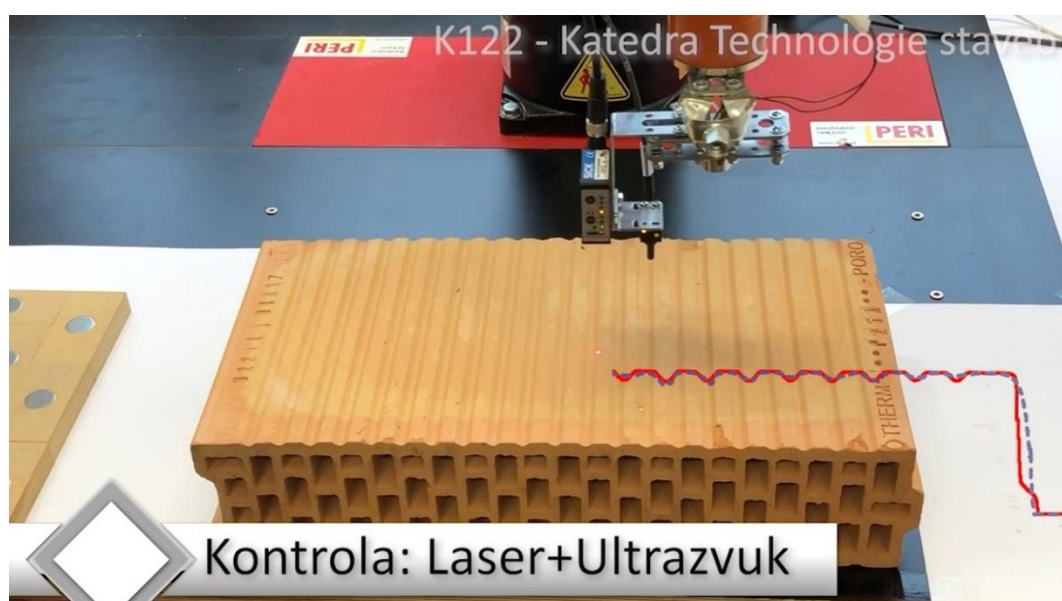
Jedná-li se o první kontrolu před zděním, kontroluje robot rovinnost zakládací vrstvy malty. Princip kontroly s výslednými křivkami měření je vidět na dalším obrázku 38 z videa. V případě nalezení chyby v nanesené vrstvě, robot zašle chybovou hlášku do ovládacího zařízení a zastaví provoz.



Obr. 37: Laserový senzor pro měření vzdálenosti [autor]



Obr. 36: Ultrazvukový senzor pro měření rovinnosti [autor]



Obr. 38: Princip kontroly rovinnosti podkladu laserovým a ultrazvukovým senzorem
<http://www.robostav.cz/> - B482 - Laboratoř pro robotizaci stavebních procesů - 22]

3) Nanesení malty

Nanesení malty probíhá pomocí speciálního nanášeče, který vytlačuje předem připravenou maltu. Malta se aplikuje na naskládané broušené tvárnice. Detailní popis nanášení malty a popis nanášecího zařízení je součástí kapitoly 5.2.11. na stránce 62.

4) Kontrola nanesené malty

Při nanášení malty na tvárnice, robot ihned kontroluje vrstvu nanesené malty za nanášečem. Kontrola opět probíhá pomocí laserového a ultrazvukového senzoru, kterým robot vyhodnocuje dostatečnou rovinnost, přesnost a tloušťku nanesené vrstvy.

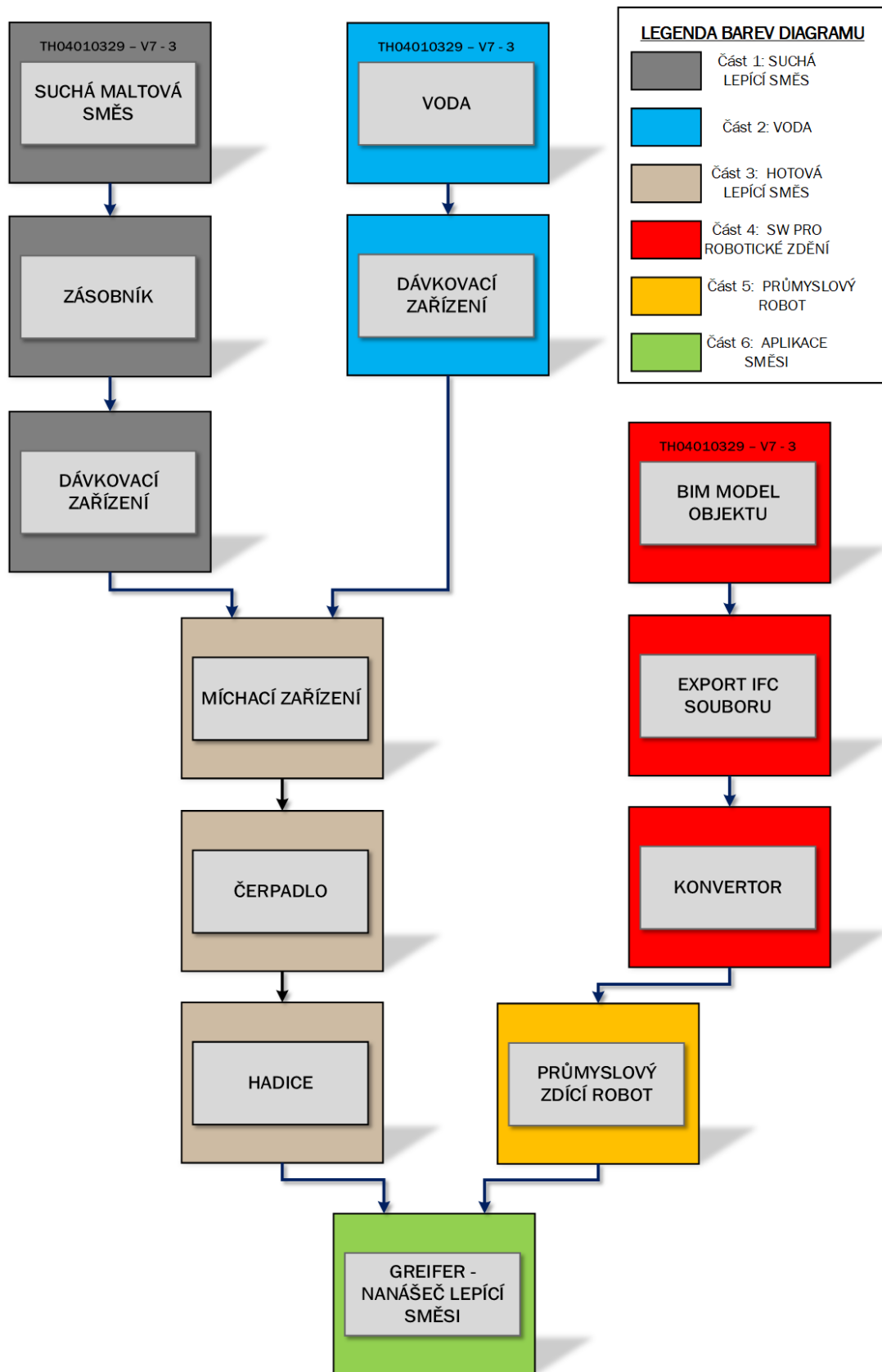
5) Výměna greiferu (nanášeč -> přísavka)

Po aplikaci malty a kontroly nanesené vrstvy dojde znovu k výměně greiferu, tentokrát robot vymění nanášeč za přísavku.

Po výměně robot pokračuje ve skládání dalších tvárnice a následně se vývojový diagram VD1 opakuje.

5.2 Vývojový diagram vstupujících prvků – VD2

Do vývojového diagramu nanášení malty vstupuje druhý vývojový diagram VD2 vstupních prvků. Vývojový diagram vstupujících prvků do technologického postupu nanášení lepicí směsi je rozdělen do jednotlivých větví dle barev označených na obrázku 39. Na začátku vstupují potřebné suroviny, suchá maltová směs a voda. Maltová směs se naplní do zásobníku, ze kterého se pomocí dávkovacího zařízení nadávkuje do míchacího zařízení. Stejně tak voda, která se přes svoje dávkovací zařízení napustí do míchacího zařízení a společně s maltovou směsí se promíchá. Následně se namíchaná čerstvá maltová směs čerpadlem dopravuje hadicí až ke koncovému nanášeči lepicí směsi. Do vývojového diagramu vstupuje i software pro robotické zdění, kde na začátku stojí 3D BIM model objektu. Ten je z 3D softwaru (Graphisoft ArchiCAD, Autodesk Revit) exportován jako IFC soubor, který je pomocí speciálního konvertoru přenesen do průmyslového zdícího robota. Robot poté díky nahranému modelu a koncovému nanášeči lepicí směsi dokáže aplikovat maltu na tvárnice. Jednotlivé prvky a zařízení vývojového diagramu jsou podrobněji popsány v samostatných kapitolách níže pod následujícím obrázkem 39.




Obr. 39: Vývojový diagram vstupujících prvků do technologického postupu nanášení lepičí směsi – malty [autor]

5.2.1 Suchá maltová směs

Suchá maltová směs je složená z anorganických pojiv (např. cement, vápenný hydrát), plniv (např. přírodní kamenivo, písek kopaný – omítkový, expandovaný perlit) a hygienicky nezávadných chemických přísad (pro zpracovatelnosti a užitečných vlastností malty).

V rámci praktické části diplomové práce byla vytvořena databáze šablon lepicích směsí pro SW pro robotické zdění viz obrázek 40. Tato databáze obsahuje několik druhů směsí od různých výrobců a postupem času bude databáze dále doplňována. Na hlavní stránce jsou zobrazeny nejdůležitější parametry, jako je druh, určení, výrobce, pevnost a obsah balení dané směsi. V databázi si lze jednotlivé směsi prohlédnout, editovat nebo vymazat.

TH04010329 - Autonomní robotický stavební systém (TAČR - Technologická agentura České republiky)
 Identifikační číslo výstupu/výsledku: TH04010329-V10
 Název výstupu/výsledku: SW pro robotické zdění
 Druh výstupu/výsledku: R - Software



Parametry Lepicí směsi: Šablony:
 + Vložit novou Šablonu Lepicí směsi

ID	Oblíbená	Aktivní	Název Popis	Druh Spára	Výrobce	Pevnost v tlaku	Balení	Poznámka
4		Aktivní	KNAUF UNI Zdící malta / M10 / zrno max 4 mm	Zdící malta - Univerzální Nebroušené cihly (spára 10-25 mm)	KNAUF	10 MPa	30 kg	-Malta pro zdění všech obvyklých druhů zdiva, cihel, tvárnice, vhodná pro vyzdívku nosného zdiva s pevností v tlaku do 10 MPa. Malta není vhodná pro zdění přesných sádrových, plynosilikátových tvárnice a lícových cihel. -Doporučená tloušťka nanesené vrstvy: 10 - 25 mm (pro cihelné bloky cca 12 mm) -Odkaz na výrobce: https://www.knauf.cz
5		Aktivní	YTONG Zdící malta pro tenké spáry / M5 / zrno max 0,63 mm	Zdící malta - Pórobetonové tvárnice Broušené cihly (spára 1-3 mm)	YTONG	5 MPa	17 kg	-Malta je určena k tenkovrstvému zdění přesných pórobetonových tvárnice Ytong. Je určena pro vnitřní i venkovní použití. -Doporučená tloušťka nanesené vrstvy: 1-3 mm -Odkaz na výrobce: https://www.ytong.cz

Obr. 40: SW pro robotické zdění – šablony lepicích směsí [autor]

Další parametry a informace potřebné pro vhodný výběr se zobrazí po kliknutí na políčko – Prohlédnout. Následně se zobrazí podrobnější seznam informací o dané směsi viz obrázek 41. Jsou zde navíc uvedeny údaje jako minimální a maximální teplota pro použití, množství záměsové vody pro přípravu, vydatnost balení, objemové hmotnosti, doba zpracovatelnosti čerstvé namíchané směsi a také poznámky, ve kterých je obsažen jednoduchý popis dané směsi včetně doporučené tloušťky nanesené vrstvy a odkazu na webové stránky výrobce. V databázi se též nachází pracovní postupy a technické listy výrobců. U každé směsi lze nastavit, zda se bude zobrazovat mezi oblíbenými šablonami, popřípadě můžeme šablonu označit jako aktivní nebo neaktivní.

TH04010329 - Autonomní robotický stavební systém (TAČR - Technologická agentura České republiky)
 Identifikační číslo výstupu/výsledku: TH04010329-V10
 Název výstupu/výsledku: SW pro robotické zdění
 Druh výstupu/výsledku: R - Software






Šablona Lepicí směsi:

ID šablony Lepicí směsi:	4
Oblíbená šablona:	Ne
Aktivní šablona Lepicí směsi:	Aktivní
Druh Lepicí směsi:	Zdící malta - Univerzální
Rozdělení dle zdícího systému:	Nebroušené cihly (spára 10-25 mm)
Název šablony Lepicí směsi:	KNAUF UNI
Popis šablony Lepicí směsi:	Zdící malta / M10 / zrno max 4 mm
Poznámka:	-Malta pro zdění všech obvyklých druhů zdíva, cihel, tvárnic, vhodná pro vyzdívkou nosného zdíva s pevností v tlaku do 10 MPa. Malta není vhodná pro zdění přesných sádrových, plynosilikátových tvárnic a lícových cihel. -Doporučená tloušťka nanesené vrstvy: 10 - 25 mm (pro cihelné bloky cca 12 mm) -Odkaz na výrobce: https://www.knauf.cz
Výrobce:	KNAUF
Pevnost v tlaku:	10 MPa
Teplota Min:	5 stupňů
Teplota Max:	25 stupňů
Množství vody:	0.14 litr/kg
Hmotnost balení:	30 kg
Vydatnost balení:	15 litrů
Objemová hmotnost čerstvé směsi:	2100 kg/m ³
Objemová hmotnost zatvrdlé směsi:	0 kg/m ³
Objemová hmotnost sypané směsi:	1720 kg/m ³
Zrnitost (max):	4 mm
Doba zpracovatelnosti:	60 min

[Zpět](#)

Příložené k šabloně soubory nebo odkazy URL:

+ Přiložit nový soubor k šabloně

ID	Název Popis	Druh	Velikost	Datum
37	Technický list + pracovní postup	pdf	166 kb	16.10.2019

Příručka · Hlavní stránka · IFC nastavení · Parametry robotů · Zdící systém · Lepicí směsi

Obr. 41: SW pro robotické zdění – informace uvedené v šabloně lepicí směsi [autor]

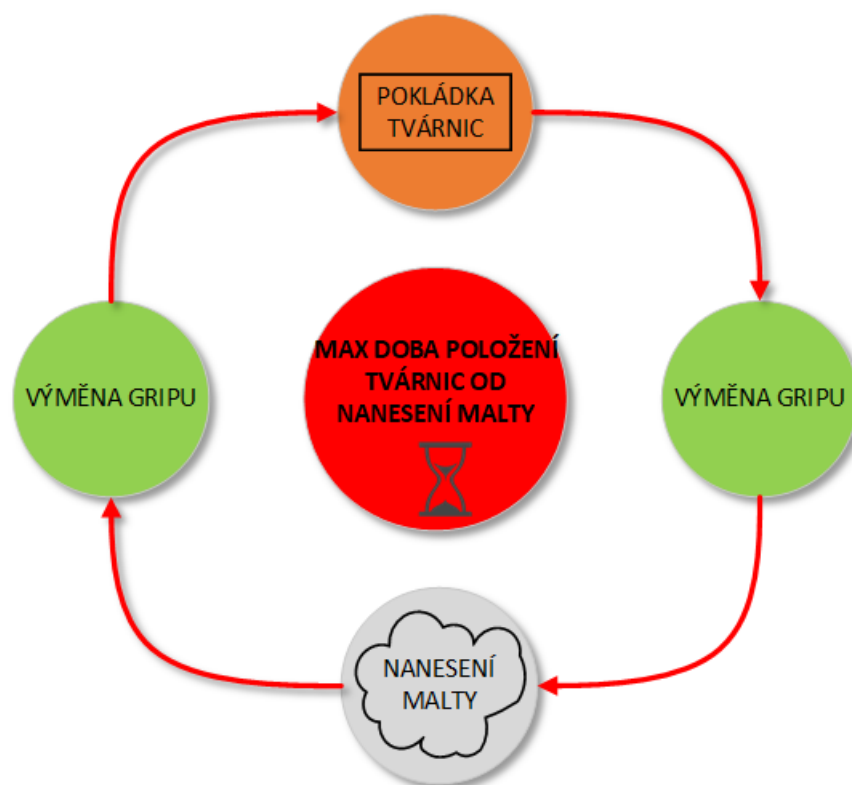
Pro představu o konkrétních hodnotách, které jsou obsaženy v databázi u jednotlivých šablon je níže uvedena tabulka 1. Ta obsahuje nejčastější průměrné hodnoty daných parametrů, které uvádějí výrobci. Všechny tyto hodnoty ovlivňují výběr lepicí směsi pro daný zdící systém zvolený pro výstavbu objektu. Nicméně ne úplně každý výrobce uvádí všechny tyto parametry, a tak by mohl být výběr správné směsi pro někoho obtížný. Proto se v 1. kroku zvolí zdící systém a lepicí směs bude buď vybraná automaticky nebo budou doporučeny jen některé směsi pro námi zvolený systém, tak aby se předešlo chybnému výběru.

Tab. 1: Nejčastěji uváděné parametry lepicích směsí [autor]

Pevnost v tlaku	5 – 10 Mpa
Objemová hmotnost čerstvé směsi	cca 2000 kg/m ³
Objemová hmotnost zatvrdlé směsi	cca 1500 – 1700 kg/m ³
Objemová hmotnost sypné směsi	cca 1000 – 1700 kg/m ³
Zrnitost (max. velikost zrna)	0,5 – 4 mm
Doba zpracovatelnosti	1 – 4 h
Množství záměsové vody	0,2 – 0,5 l/kg
Doporučená tloušťka nanesené vrstvy	1 – 3 mm pro tenkovrstvé malty 10 – 20 mm pro běžné malty
Hmotnost balení	17 – 25 kg
Vydatnost balení	0,6 – 1 l/kg

5.2.2 Zásobník

Volba vhodného zásobníku na suchou maltovou směs vychází z jednoduchého výpočtového modelu pro potřebné množství směsi během idealizovaného nepřetržitého 14denního provozu. Schéma výpočtového modelu je znázorněno na obrázku 42. Hlavním rozhodujícím údajem pro výpočet je doba, během které je nutné položení tvárnice po nanesení malty (dále jen doba zpracovatelnosti). Ta ovlivňuje množství tvárnice, které lze v jednom cyklu poskládat na zvolené místo a následně na ně nanést lepicí směs. Do výpočtu tak vstupuje doba pokládky jedné tvárnice, doba nanášení malty a výměna koncového zařízení neboli gripu (přísavkový manipulátor / aplikátor lepicí směsi).



Obr. 42: Schéma výpočtového modelu [autor]

Postup výpočtu

a) Počet tvárnice

Ve výpočtovém modelu jsou uvažovány jednotlivé pracovní cykly. Jeden cyklus představuje množství tvárnice, které jsme schopni robotem vyzdít

během doby zpracovatelnosti, kterou udává výrobce. Standardně se tato doba pohybuje od 5 do 15 min, dle typu malty, nanesené tloušťce a klimatických podmínkách během aplikace. Ve výpočtu jsou použity největší běžně dodávané tvárnice o rozměru 247x500x249 mm. Nejdříve si určíme celkovou dobu výměny gripů T_g [s] v jednoho cyklu C [-], která se vypočítá ze vztahu (1):

$$T_g = t_3 + t_4 \quad [s] \quad (1)$$

kde je:

t_3 čas výměny gripu (manipulátor / aplikátor), [s];

t_4 čas výměny gripu (aplikátor / manipulátor), [s].

Následně lze z celkové doby zpracovatelnosti T_z [s] určit celkový počet kusů tvárnic X_t [kus], které jsme schopni vyzdít během této doby. Výpočet se provede dle následující rovnice (2):

$$t_1 * X_t + t_2 * X_t + T_g \leq T_z \quad [kus] \quad (2)$$

kde je:

t_1 čas pokládky jedné tvárnice, [s];

t_2 čas nanášení lepicí směsi na jednu tvárnici, [s];

X_t počet tvárnic, [kus];

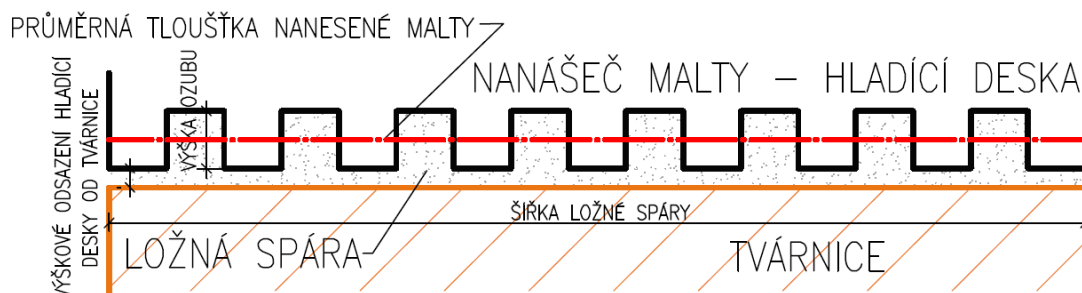
T_g celková doba jednoho cyklu, [s];

T_z maximální doba zpracovatelnosti lepicí směsi, [s].

b) Množství lepicí směsi – malty

Výpočet pro určení množství čerstvé malty potřebné k lepení tvárnic během jednoho cyklu vyplývá ze šířky, délky nanesené vrstvy malty (ložné spáry) a tloušťky nanesené vrstvy. Tyto hodnoty závisí především ve zvolené technologii zdění a použitém robotickém zařízení pro nanášení. V našem případě se jedná o speciální robotický nanášec malty, který je popsán v kapitole 5.2.11 na straně 62. Nanášec aplikovanou maltu stahuje hladicí deskou s ozuby, proto výpočet množství malty bude kromě šířky a délky ložné spáry záviset především na výšce ozubu a výškové odsazení hladicí desky od tvárnice. Odsazení hladicí desky je z důvodu předejití možným kolizím při

různé výšce tvárnic. Pro lepší představu o výsledné podobě nanesené malty je níže uveden obrázek 43.



Obr. 43: Schéma ložné spáry [autor]

Pro výpočet množství malty si nejdříve určíme průměrnou tloušťku nanesené vrstvy malty, abychom zjednodušili další výpočet. Průměrná tloušťka D [mm] se vypočítá ze vztahu (3):

$$D = (d_1 + (d_1 + d_2))/2 \quad [\text{mm}] \quad (3)$$

kde je:

d_1 výškové odsazení hladicí desky od tvárnice, [mm];

d_2 výška ozubu hladicí desky, [mm].

V dalším kroku, dle rovnice (4), vypočítáme pomocí počtu tvárnic X_t [kus] a skladebné délky tvárnice celkovou délku ložné spáry L [mm], kterou budeme nanášet během jednoho cyklu C [-]:

$$L = X_t * l_t \quad [\text{mm}] \quad (4)$$

kde je:

X_t počet tvárnic, [kus];

l_t skladebná délka tvárnice, [mm].

Nakonec vypočítáme celkové množství čerstvé malty V_m [mm³] aplikované v cyklu C [-], dle následující vztahu (5):

$$V_m = (L * s_t * D) \quad [\text{mm}^3] \quad (5)$$

kde je:

L délka ložné spáry, [mm];

s_t šířka tvárnice, [mm].

D průměrná tloušťka nanesené malty, [mm]

Výpočet – pro robotický zdící systém ČVUT

Doba, za kterou průmyslový robot provede jednu výměnu gripů (přísavkový manipulátor / nanášecí směsi) je odhadována na 300 s. Z toho plyne, že celková doba výměny gripů T_g [s] v jednoho cyklu C [-] je pak dle vztahu (1):

$$T_g = t_3 + t_4 = 300 + 300 = 600 \text{ [s]}$$

Při výpočtu celkového počtu tvárnic X_t [kus], který lze vyzdít během doby zpracovatelnosti je uvažováno, že čas pokládky jedné tvárnice je 60 s. Dále se předpokládá, že doba nanášení lepící směsi na jednu tvárnici zabere 15 s. Pokud budeme počítat s ideálními podmínkami při aplikaci malty, můžeme dobu zpracovatelnosti brát 15 min, tedy 900 s. Počet tvárnic X_t bude pak po dosazení hodnot do rovnice (2):

$$t_1 * X_t + t_2 * X_t + T_g \leq T_z$$

$$60 * X_t + 15 * X_t + 600 \leq 900$$

$$75 * X_t \leq 300$$

$$X_t \leq 4$$

Z výsledné hodnoty můžeme říci, že v jednom cyklu C [-] jsme schopni během 15 min vyzdít čtyři tvárnice.

Následně můžeme vypočítat množství malty V_m [mm³]. V našem případě je robotický systém nastaven na výškové odsazení hladicí desky nanášecí od tvárnic o 2 mm a výška ozubu je 6 mm. Průměrná tloušťka nanesené malty D [mm] bude rovna dle vztahu (3):

$$D = \frac{(d_1 + (d_1 + d_2))}{2} = \frac{(2 + (2 + 6))}{2} = 5 \text{ [mm]}$$

Pokud budeme uvažovat skladebnou délku tvárnic l_t rovnou 250 mm a celkový počet vyzděných tvárnic X_t roven 4 bude délka ložné spáry L [mm], kterou budeme nanášet během jednoho cyklu C [-] rovna dle vztahu (4):

$$L = X_t * l_t = 4 * 250 = 1000 \text{ [mm]}$$

Tvárnice v našem případě mají šířku s_t rovnu 500 mm. Pokud budeme uvažovat, že nanášecí bude upraven na stejnou šířku jako je šířka tvárnic bude celkového množství čerstvé malty V_m [mm³] aplikované v cyklu C [-] rovno dle následujícího vztahu (5):

$$V_m = (L * s_t * D) = 1000 * 500 * 5 = 2500000 \text{ [mm}^3\text{]}$$

Z výsledné hodnoty je patrné, že na jeden cyklus C [-], během kterého za 15 minut vyzdíme 4 tvárnice, spotřebujeme 0,0025 m³ čerstvé malty. Tudíž během idealizovaného nepřetržitého 14denního provozu bude spotřebováno přibližně 8,4 m³ čerstvé malty (bez započtení ztrát).

Pomocí objemových hmotností čerstvé (cca 2000 kg/m³) a suché malty (1500 kg/m³) dostaneme potřebné množství suché maltové směsi, a tedy velikost sila 11,2 m³. Z toho plyne, že pro 14denní nepřetržitý provoz bude potřeba silo o standardním objemu minimálně 12,5 m³ (Např. silo Cemix 12,5 m³ pro volně loženou směs).

5.2.3 Voda

Záměsová voda, která slouží k hydrataci a zpracovatelnosti suché směsi. Voda je napojena přímo z vodovodního řadu. Kritéria a požadavky pro záměsovou vodu používanou pro přípravu betonových a maltových směsí jsou uvedeny v ČSN EN 1008 - Záměsová voda do betonu.

Tato voda musí být čistá, bez chemických přísad a škodlivých příměsí, které by mohly nepříznivě ovlivnit hydrataci směsi. Můžeme použít vodu, která byla označena za pitnou, nikoli však vodu minerální. Měla by mít optimálně teplotu v rozmezí 20–25 °C.

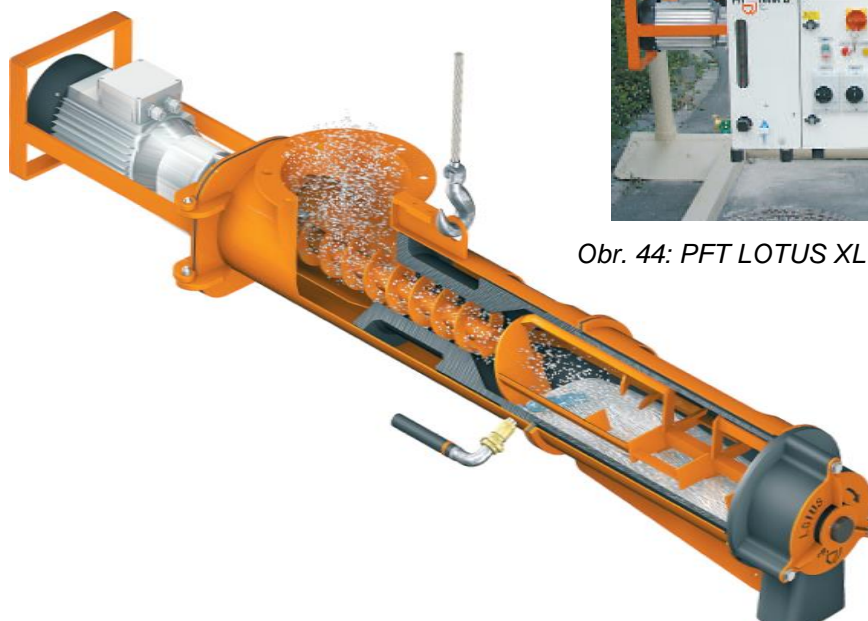
Pokud máme pochybnost o kvalitě vody, existuje několik zkoušek pro hodnocení kvality vody, které jsou uvedeny v ČSN EN 1008. Těmi základními jsou zkoušky informativní. Během těchto zkoušek se hodnotí vzhled, zápach, zkouška kyselosti nebo zkouška na obsah organických látek a siriých sloučenin. [24] [23]

5.2.4 Míchací zařízení

Jako míchací zařízení je navržena horizontální kontinuální míchačka např. PFT LOTUS XL. Tato míchačka obsahuje i zařízení pro dávkování suché maltové směsi a záměsové vody, proto tato zařízení nejsou obsažena v samostatných kapitolách, tak jak je tomu u ostatních bodů vývojové diagramu VD2. Míchačka umožňuje, díky dávkovací a míchací hřídeli uvnitř zařízení, kontinuálně a plně automaticky míchat veškeré suché maltové směsi s maximální zrnitostí 8 mm. Zařízení PFT LOTUS XL je připojeno přímo na zásobník (silo). Seshora se dávkuje maltová směs a z boku do míchací komory je čerpána přes dávkovací zařízení voda. Dávkování je možné nastavit pomocí řídicí jednotky (viz obrázek 44), která obsahuje integrovanou vodní armaturu. Řez zařízením je zobrazen na obrázku číslo 45 níže.



Obr. 44: PFT LOTUS XL – řídicí jednotka [25]



Obr. 45: PFT LOTUS XL – řez zařízením [25]

Svým maximálním míchacím výkonem standartně okolo 45 l/min několikanásobně převyšuje míchačka potřebu malty pro robotické zařízení. Z ekonomického a praktického hlediska by stačila menší zařízení, nicméně tento návrh počítá s vývojem technologie a zrychlení celého procesu zdění, a tím se zvětší nároky na míchací a dávkovací zařízení. Avšak v současnosti by pro první praktické zkoušky stačila zařízení s menšími výkony. [25]

5.2.5 Čerpadlo

Je navrženo univerzální dopravní čerpadlo, které je schopno čerpat čerstvou maltovou směs se zrnitostí do 5 mm. Např. čerpadlo PFT SWING L, které lze zapojit společně s kontinuální míchačkou PFT LOTUS XL a vytvořit tak dávkovací, míchací a čerpací sestavu pro maltovou směs (viz ilustrační obrázek 46). Dopravní čerpadlo lze umístit pod všechny druhy kontinuálních míchaček. Čerstvá namíchaná malta se dávkuje do nádoby na čerpadle a následně je pomocí šnekového čerpadla dopravována hadicí ke koncovému nanášeci malty.



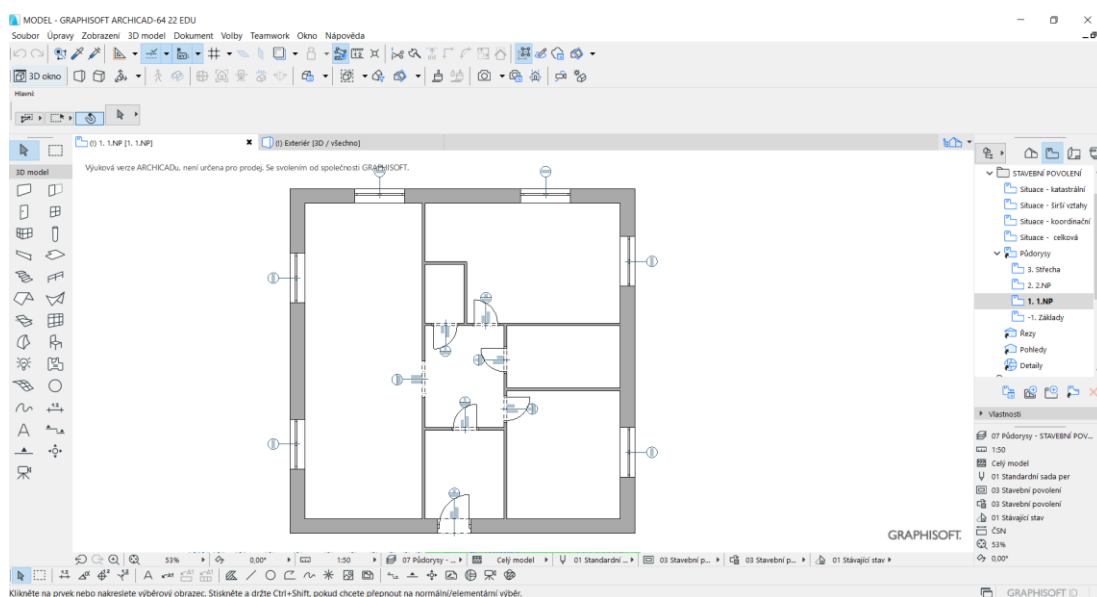
Obr. 46: Sestava míchacího zařízení PFT LOTUS a dopravního zařízení PFT SWING [42]

5.2.6 Hadice

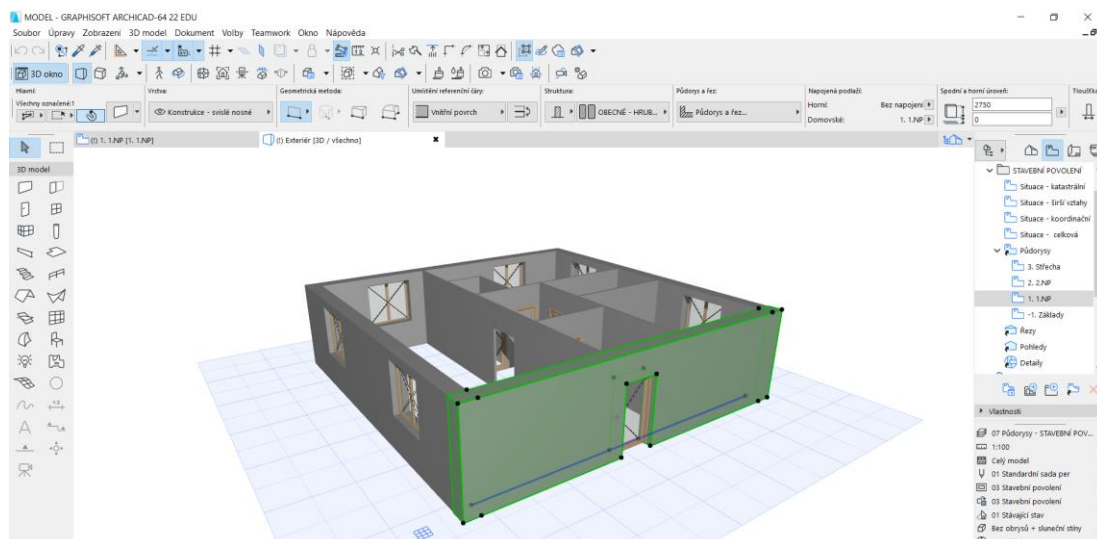
Koncový nanášec malty bude připojen k dopravnímu zařízení pomocí tlakové hadice určené pro čerpání betonových a maltových směsí. Hadice by měla mít minimální délku 10 m s vnitřním průměrem 40 mm a možností napojení další hadice za sebe, pro dosažení většího dosahu. Duše hadice má být hladká a odolná vůči abrazivním mediím, aby umožňovala plynulý pohyb směsi. Hadice musí dovolovat ohyb o průměru alespoň 400 mm pro dostatečnou pohyblivost.

5.2.7 BIM model objektu

Pro první testy funkčnosti systému byl vytvořen zkušební 3D BIM model objektu v CAD softwaru Graphisoft ArchiCAD 22. Tento software umožňuje paralelní vytváření modelu ve 3D a 2D (viz obrázky modelu 47 a 48). Model objektu má jednoduchou dispozici o půdorysných rozměrech 10,38 x 10,38 m. Obvodové stěny jsou navrženy tl. 440 mm a vnitřní nenosné příčky tl. 80 mm. Okenní otvory mají rozměry 1500 x 1500 mm a dveřní vchodový otvor je 1000 x 2000 mm. Vnitřní dveřní otvory jsou 800 x 2000 mm a jeden otvor 1100 x 2000 mm.

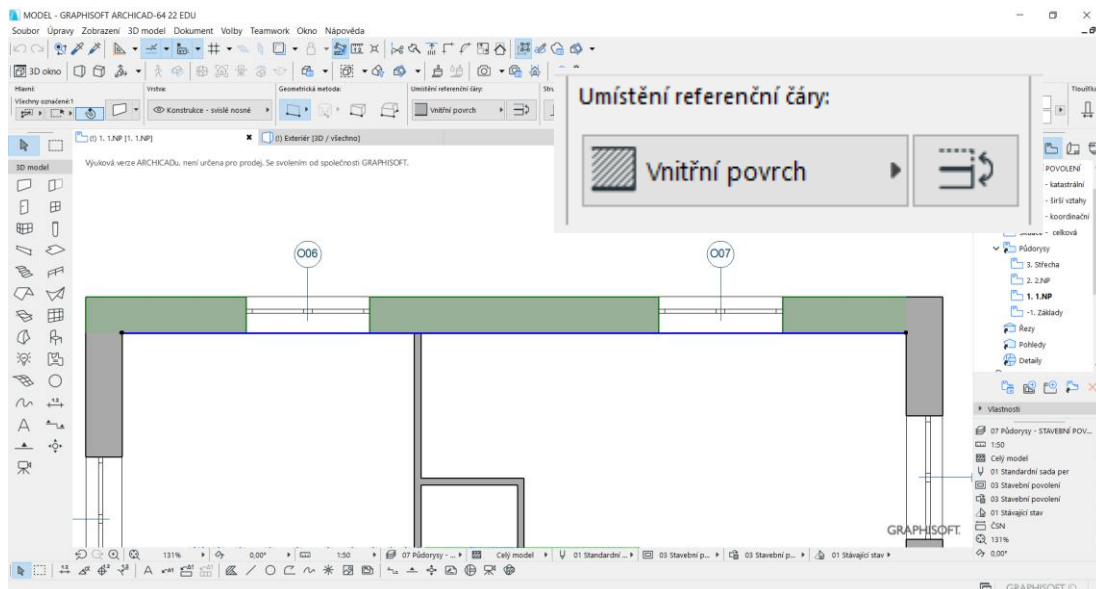


Obr. 47: Zkušební 3D BIM model objektu (ArchiCAD) – 2D půdorysné zobrazení [autor]

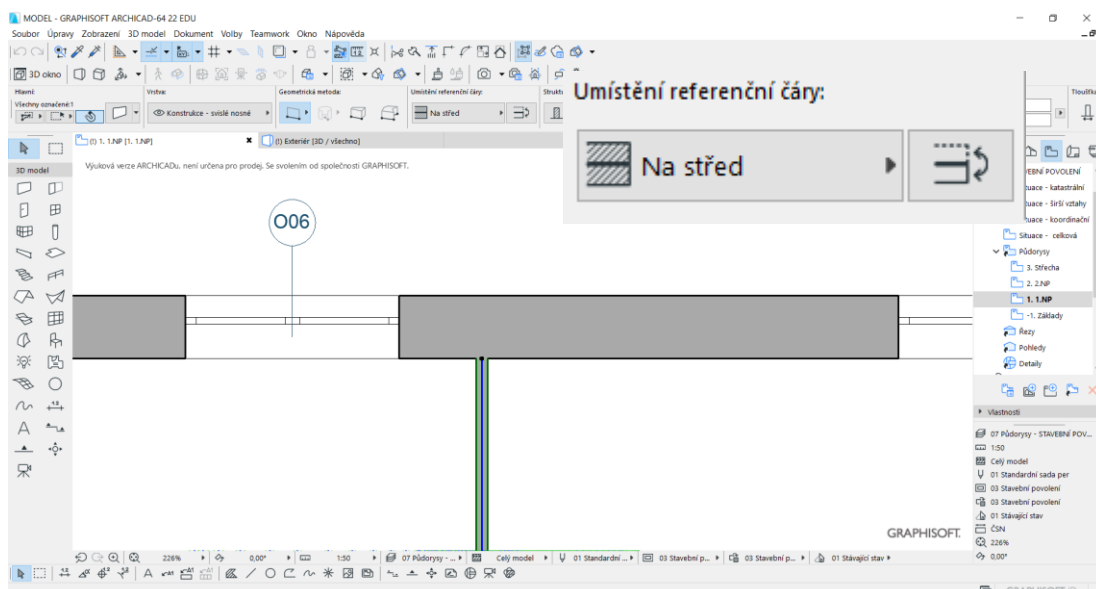


Obr. 48: Zkušební 3D BIM model objektu (ArchiCAD) – 3D zobrazení [autor]

Obvodové stěny jsou vytvořeny pomocí referenční čáry umístěné na vnitřní hranu povrchu (viz obrázek 49) a vnitřní nenosné stěny na střed (viz obrázek 50). Takto musí být vytvořeny všechny stěny modelu, z důvodu stejného převodu do formátu IFC. Pokud by byly stěny kresleny různými způsoby, nemusel by konvertor správně převést model a systém by nefungoval.



Obr. 49: Zkušební 3D BIM model objektu (ArchiCAD) – obvodové stěny [autor]



Obr. 50: Zkušební 3D BIM model objektu (ArchiCAD) – vnitřní nenosné stěny [autor]

5.2.8 Export IFC souboru

Vytvořený zkušební 3D BIM model objektu se exportuje z ArchiCAD ve formátu IFC. Jedná se o otevřený univerzální formát, který slouží k výměně a sdílení dat mezi BIM prostředím různých softwarů. IFC soubor obsahuje důležité popisné informace objektu, která jsou doplněna o grafická data. Díky tomu jsme schopni uložit veškerá potřebná data o objektu pro robotický zdící systém ve formě malého textového souboru velikosti několika málo kB. Nicméně každý software používá svoje vlastní mechanismy pro parametrizaci a vytváření 3D modelu, a tak se některé požadované informace nemusejí správně nebo dokonce vůbec převést. Převedený model nebo jeho jednotlivé prvky mohou pak vypadat a chovat se jinak než ve svém původním zdrojovém softwaru. Proto je důležité dodržovat předem stanovené zásady, jak při projektování, tak při exportu IFC souboru. Jak již bylo zmíněno v předešlé kapitole 5.2.7, pro správný převod, je zapotřebí dodržet jednotný systém kreslení stěn objektu pomocí referenčních čar. Standartně existují tři způsoby kreslení (vnitřní povrch, vnější povrch, na střed), pro které byly vytvořeny v SW pro robotické zdění jednotlivé šablony viz obrázek 51. [26]

TH04010329 - Autonomní robotický stavební systém (TAČR -
Technologická agentura České republiky)
Identifikační číslo výstupu/výsledku: TH04010329-V10
Název výstupu/výsledku: SW pro robotické zdění
Druh výstupu/výsledku: R - Software



Parametry IFC: Šablony:
+ Vložit novou šablonu IFC

ID	Oblíbená	Název	Druh	Popis	Aktivní	Poznámka
1	Ano	Standardní šablona 1	IFC 4.0 / Výkres na středovou osu	IFC 4.0 / Výkres na středovou čaru / Standardní šablona 1	Aktivní	Zkušební šablona IFC pro konverter kladečského zdícho plánu. Autor: Usmanov. Datum: 03.10.19  Prohlednout  Editovat  Vymazat
3		Standardní šablona 2	IFC 4.0 / Výkres na vnější osu	IFC 4.0 / Výkres na vnější osu / Standardní šablona 2	Aktivní	Zkušební šablona IFC pro konverter kladečského zdícho plánu. Autor: Usmanov. Datum: 04.10.19  Prohlednout  Editovat  Vymazat
4		Standardní šablona 3	IFC 4.0 / Výkres na vnitřní osu	IFC 4.0 / Výkres na vnitřní osu / Standardní šablona 3	Aktivní	Zkušební šablona IFC pro konverter kladečského zdícho plánu. Autor: Usmanov. Datum: 04.10.19  Prohlednout  Editovat  Vymazat

Příručka · Hlavní stránka · IFC nastavení · Parametry robotů · Zdící systém · Lepicí směsi
v.2.13.4 (27.11.2019)

Obr. 51: SW pro robotické zdění – IFC šablony [23]

5.2.9 Konvertor

Pro převod IFC souboru do BREP modelu (způsob vykreslení objektů na základě hraničních bodů) slouží speciální konvertor v softwaru pro robotické zdění. Ten v několika krocích algoritmu převede potřebné informace ze souboru IFC a vytvoří podle nich objekt, který obsahuje parametry pro robotický zdící systém. Nejdříve jsou v IFC nalezeny (transformovány) objekty stěn, okenních a dveřních otvorů. V dalším kroku SW rozdělí objekt na jednotlivé vrstvy (šáry). Poté se vytvoří vynášecí osy, kterými se řídí robot. Na osy do nalezených míst jsou dosazeny details (rohu, ostění otvorů atd.) z databáze SW. V poslední fázi jsou vyskládány tvárnice a dopočítány dořezy. Na následujícím snímku 53 je zobrazen třetí krok v konvertoru, kdy jsou převedeny stěny a otvory objektu.

TH04010329 - Autonomní robotický stavební systém (TAČR - Technologická agentura České republiky)
Identifikační číslo výstupu/výsledku: TH04010329-V10
Název výstupu/výsledku: SW pro robotické zdění
Druh výstupu/výsledku: R - Software

T A
Č R

ATELIER
DEK

FAKULTA
STAVEBNÍ
ČVUT V PRAZE

RSP

Výpočet modelu č. 1 / Zkušební vzorek stavebního objektu

Krok 3: Rozdělení objektu na vrstvy:

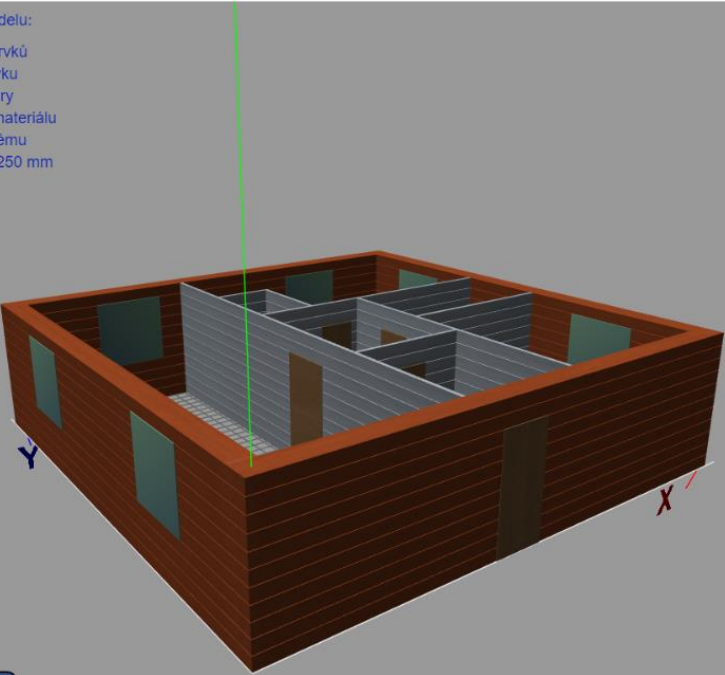
Krok 3-1: Vypis vrstev

ID	Popis vrstvy	Výška vrstvy, [mm]	Výškové umístění, [mm]
1	Lichá	250	0
2	Sudá	250	250
3	Lichá	250	500
4	Sudá	250	750
5	Lichá	250	1000
6	Sudá	250	1250
7	Lichá	250	1500
8	Sudá	250	1750
9	Lichá	250	2000
10	Sudá	250	2250
11	Lichá	250	2500

Nastavení modelu:

- Změna prvků
- Popis prvku
- Vodicí čáry
- Textura materiálu
- Osy systému
- Mřížka / 250 mm

Zoom
Animace

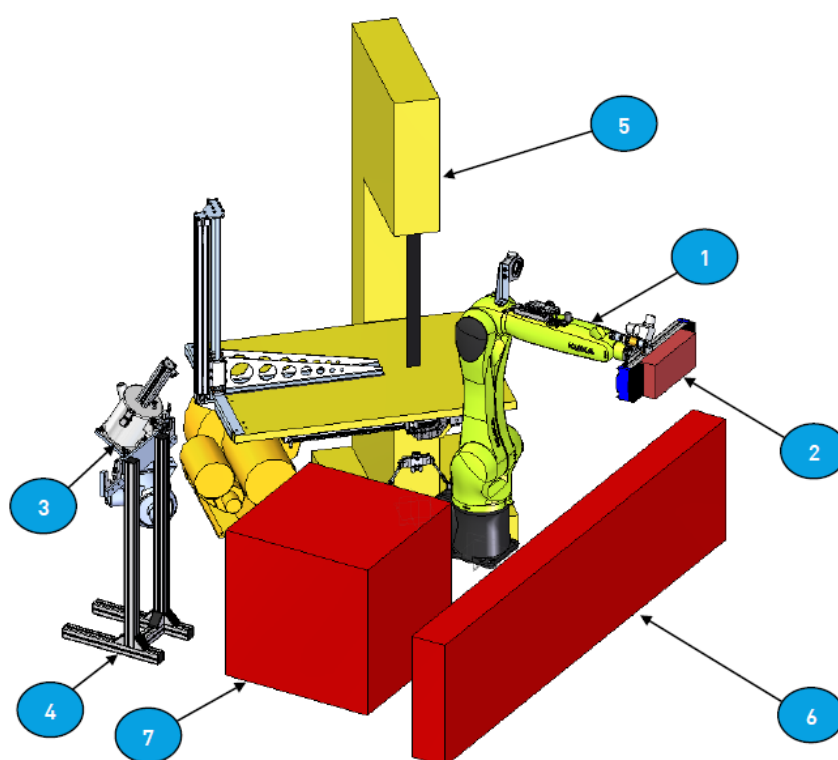


Zvolte prvek...

Obr. 53: SW pro robotické zdění – konvertor [23]

5.2.10 Průmyslový zdící robot

Základem celého robotické pracoviště je robot Kuka Agilus Kr10 R110 (1). Ten je doplněn o jednotlivé strojní podskupiny, které rozšiřují funkce robota. Díky nim je robot schopen jednotlivé zdící prvky odebírat, řezat, umísťovat na potřebné místo a aplikovat na ně lepicí směs. Schéma celého robotického pracoviště je znázorněno na následujícím obrázku č. 54 a jednotlivé strojní podskupiny jsou popsány níže v podrobnosti s ohledem na zaměření diplomové práce. [27]



Obr. 54: Schéma robotického pracoviště [27]

Legenda obrázku:

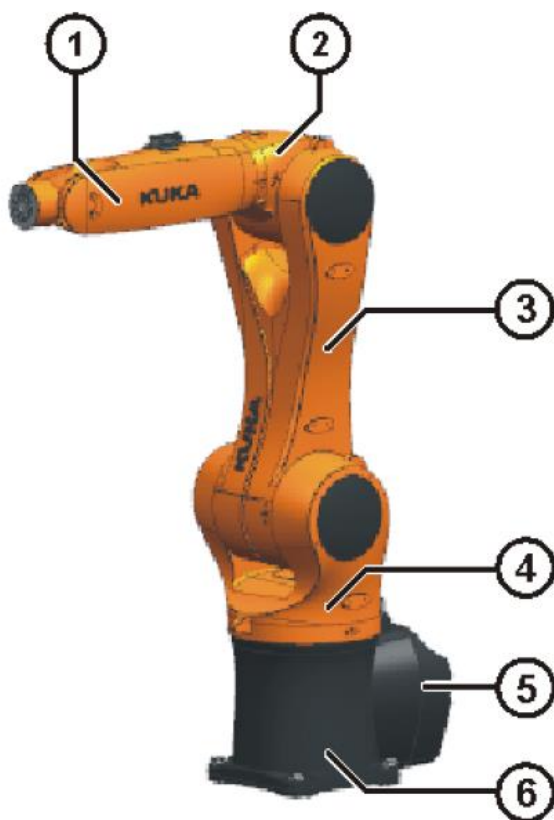
1 – Robot - Kuka	5 – Pila
2 – Greifer - přísavka	6 – Zed'
3 – Greifer - nanášec malty	7 – Paleta s tvárnicemi
4 – Dokovací stanice	

Technické parametry pracoviště:

Hmotnost pracoviště je 220 kg. Celkové rozměry jsou 2 x 1,5 m a výška pracoviště je 1,9 m. Obsluha zařízení se skládá z 1 pracovníka.

5.2.10.1 Robot Kuka Agilus Kr 10 R110

Jak již bylo zmíněno v předešlé kapitole, hlavním pracovním zařízením celého robotického zdíciho pracoviště je průmyslové robotické rameno Kuka Agilus Kr 10 R110. Jedná se o kompaktní šestiosý manipulátor s kloubovým ramenem, který je vyroben z lité lehké slitiny. Všechny motorové jednotky a elektrické kabely jsou umístěny pod našroubovanou krycí deskou, tak aby byly chráněny před nečistotami a vlhkostí, které by je mohli poškodit. Největší nosnost při maximálním dosahu 1,1 m je 10 kg. Robot je složen z několika částí, hlavní komponenty jsou popsány na obrázku 55 níže.

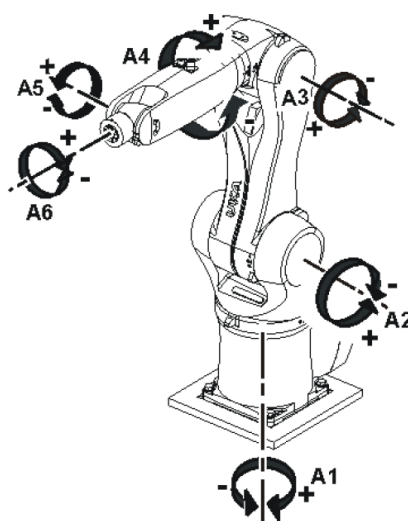


Obr. 55: Hlavní komponenty – Kuka Agilus Kr 10 R110 [28]

Legenda obrázku:

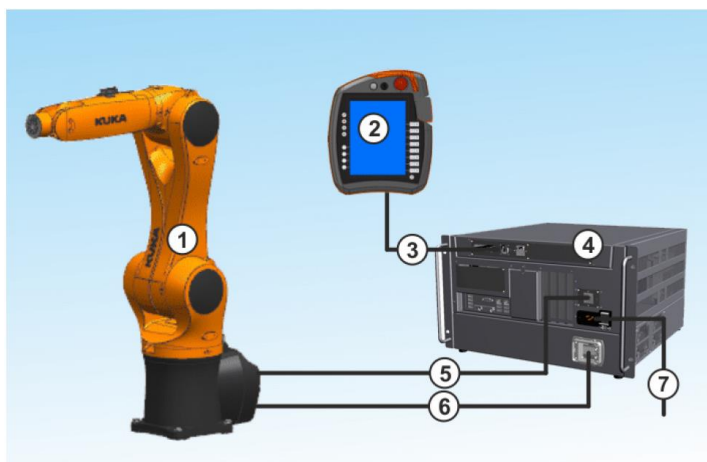
1 – Uchopovací zápěstí	4 – Rotující sloupec
2 – Hlavní paže	5 – Elektrická řídicí instalace
2 – Spojovací rameno	6 – Základový rám

Robot disponuje šesti osami, které slouží pro manipulaci. Každá osa je vybavena bezpečnostní brzdou. Jednotlivé osy jsou zobrazeny na obrázku 56. V rotujícím sloupci jsou umístěny osy A1 a A2. Rotační pohyb osy A1 se provádí rotujícím sloupcem, který je přišroubován k základně. Mezi ramenem a rotujícím sloupcem je spojovací rameno, kde je umístěna motorová a převodová jednotka osy A2. Spojení mezi zápěstím a ramenem je paže, která je poháněna motorem osy A3. Součástí robota je tříosé zápěstí, které se skládá z os A4, A5 a A6.



Obr. 56: Osy robota Kuka Agilus Kr 10 R110 [28]

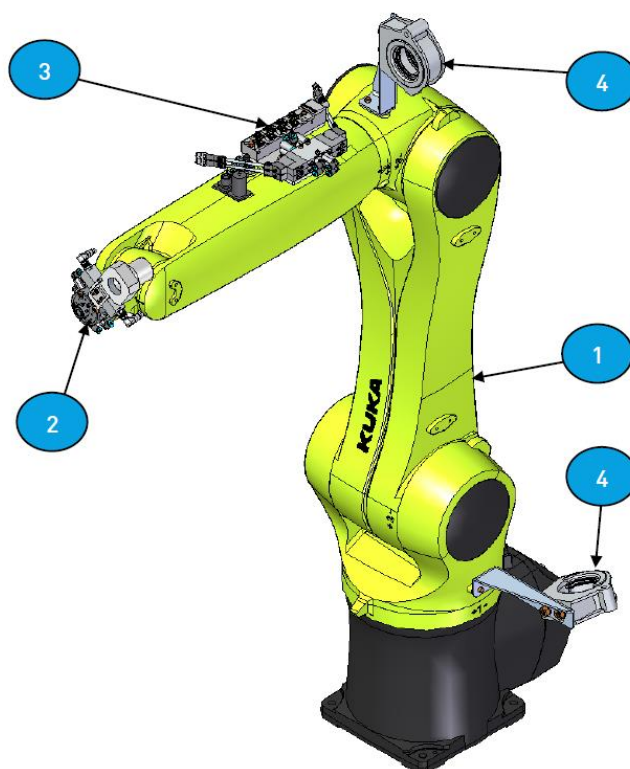
Na následujícím obrázku 57 je zobrazeno schéma zapojení celé řídicí sestavy. Pro ovládání robota (1) slouží smartPAD ovladač (2). Ovladač je připojen pomocí připojovacího kabelu (3) do hlavní řídicí jednotky (4). Robot je k řídicí jednotce připojen datovým kabelem (5) a kabelem motoru (6). Řídicí jednotka je napájena přes napájecí kabel (7). [28]



Obr. 57: Řídicí sestava [28]

Úprava robota

Pro využití robota (1) jakožto hlavního zařízení při zdění byly provedeny jednotlivé úpravy a modifikace. Úpravy robota a jeho schéma je znázorněno na obrázku 58. Na robotu je připevněna speciální rychlovýměna (2), která slouží pro automatickou a rychlou výměnu mezi zdícími nástroji neboli greifery viz níže. Aretace nástrojů je provedena přívodem tlakového vzduchu. Přítomnost nástroje a následné uzamčení rychlovýměny kontrolují integrovaná čidla. K rychlovýměně je připevněna kostka pro přívod vakua do greiferu - přísavka. Pro uchycení hadice pro přívod vakua jsou po těle robota umístěny držáky (4). Součástí rychlovýměny jsou i moduly pro přenos elektrických signálů. Robot je vybaven slučovačem Balluff s pneumatickými ventily (3), který je umístěn na třetí ose robota. Slučovač je zapojen do speciálního konektoru X41 v robotu a slouží jako sběrnice signálů od všech zařízení a čidel. Vše je následně připojeno k řídicí jednotce. [27]



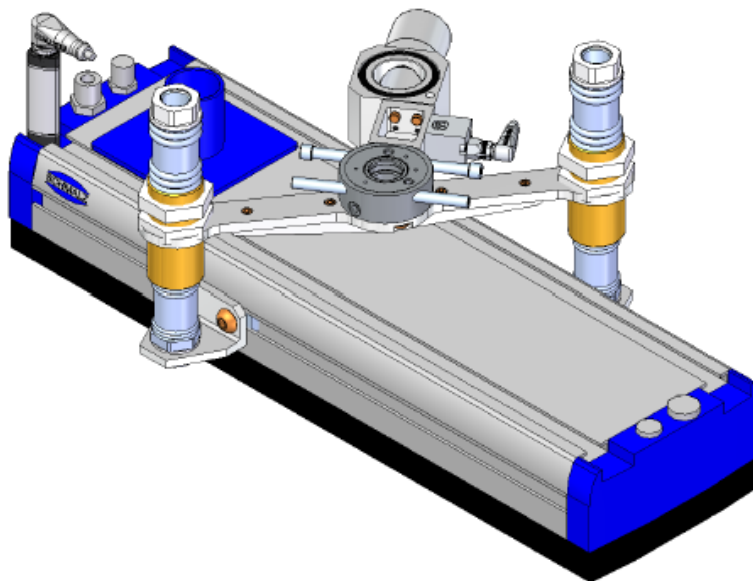
Obr. 58: Schéma robota Kuka Agilus Kr 10 R110 [27]

Legenda obrázku:

1 – Robot – Kuka Agilus Kr 10 R110	3 – Slučovač s ventily
2 – Rychlovýměna část robot	4 – Držák vakuové hadice

5.2.10.2 Greifer přísavka

Pro manipulaci s tvárnici je k robotu pomocí rychlovýměny připojena přísavka. Přísavka přichytává tvárnice pomocí vakua a správné uchycení je kontrolováno spínačem. Rozměry přísavky jsou 442 x 130 mm. Zařízení je zobrazeno na obrázku 59 níže. S ohledem na zaměření a rozsah práce není součástí podrobnější popis. [27]



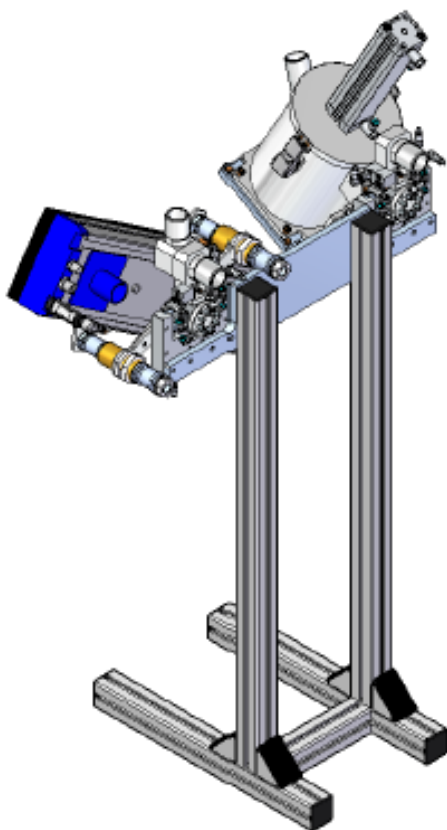
Obr. 59: Greifer přísavka [27]

5.2.10.3 Greifer nanášec malty

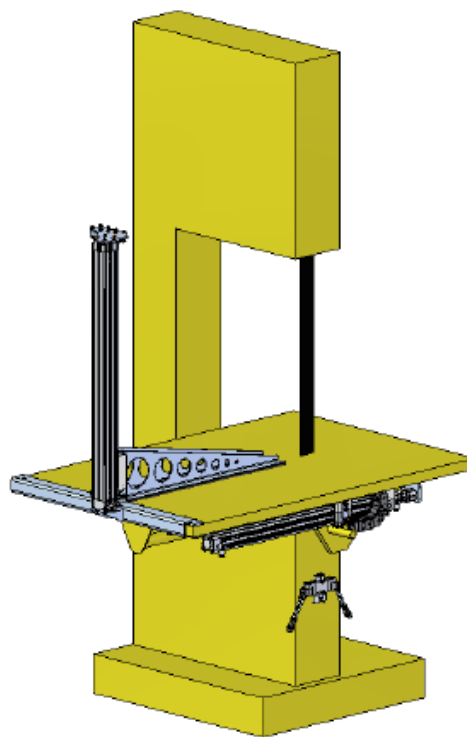
K nanášení lepící směsi je součástí robotického pracoviště speciální greifer – nanášec malty. Ten by měl být schopen aplikovat různé druhy tenkovrstvých malt na různé druhy zdících materiálů. Nanášec malty je podrobněji popsán v samostatné kapitole 5.2.11. na stránce 62.

5.2.10.4 Dokovací stanice

Dokovací stanice slouží pro odložení nepoužívaných greiferů. Jedná se o rám s hliníkových profilů s dvěma odkládacími částmi rychlovýměny Zimmer na vrchu rámu. Každý greifer (přísavka a nanášec malty) má svou nezaměnitelnou polohu a umístění v odkládací části. Podrobnost popisu je opět v rozsahu s ohledem na rozsah a zaměří práce. Na následujícím obrázku číslo 60 je zobrazena dokovací stanice.



Obr. 60: Dokovací stanice [27]



Obr. 61: Pásová pila [27]

5.2.10.5 Pila

V případě nutnosti zdící prvek zkrátit si robot sám prvek upraví na potřebné rozměry na pásové pile viz obrázek 61. Pomocí přísavky umístí tvárnici na pracovní stůl pily a následně je tvárnice zajištěna přitlačnými rameny. Poté se posunem stolu s tvárnicí směrem k pásu pily tvárnice rozřízne dle potřeby. [27]

5.2.10.6 Přeprava stroje

Pro transport stroje jsou určeny hlavní dva nosné ocelové jekly ve spodní části rámu. Při přepravě je nutné dbát zvýšené opatrnosti s ohledem na umístění jednotlivých pracovních podskupin, aby byla zajištěna jejich bezpečná a stabilní poloha. K přepravě je nutné použít části stroje k tomu určené a přepravní zařízení vyhrazené pro manipulaci se zařízeními dané hmotnosti a velikosti.

5.2.10.7 Bezpečnostní předpisy

Robotické zdící pracoviště včetně všech strojních podskupin smí být provozováno, pouze jsou-li všechny části plně funkční a nevykazují žádné mechanické poškození ani softwarové chyby. Veškeré závady musí být neprodleně odstraněny a během poruchy musí být zastaven provoz celého zařízení. Zvýšená bezpečnost musí být při práci či manipulaci s elektrickými zařízeními pracoviště.

- Práce na elektrických zařízeních, které jsou součástí robotického pracoviště, smějí provádět pouze pracovníci s odbornou elektrotechnickou kvalifikací, dle vyhlášky 50/1978 sb. §3, případně řádně poučení a proškolení pracovníci pod vedením odborně způsobilé osoby.
- Stroj musí být vybaven výrobky, které povoluje výrobce zařízení a pouze s nimi smí být provozován.
- Veškeré elektrické vybavení stroje musí být pravidelně kontrolováno a revidováno.
- Stroj smí být provozován pouze v případě, jsou-li veškeré ochranné a bezpečnostní prvky či zařízení na svém místě a plně funkční. Ochrannými a bezpečnostními prvky se rozumí systémy nouzového vypnutí, bezpečnostní spínače, ochranné kryty, zarážky, dorazy atd.
- Je povinností, aby minimálně jednou za směnu provozu zařízení proběhla kontrola všech používaných zařízení, zda nevykazují známky poškození nebo závad.

- Před uvedením do provozu je nutné zajistit ochranu všech osob nacházejících se v blízkosti robotického pracoviště, aby nedošlo ke zranění při rozbíhání stroje.
- Před samotným uvedením do provozu musí být zkontrolovány pohyblivé části zařízení, zda se v nich nenacházejí cizí tělesa.
- V ohroženém prostoru se při uvádění do provozu ani během provozu nesmí nacházet žádné osoby ani cizí předměty. [27]

Pro zabezpečení ohroženého prostoru robotického pracoviště slouží jednopaprsková bezpečnostní světelná závora SICK L28 (viz obrázky 62 a 63). Jedná se o elektrooptický zařízení a skládá se ze 2 prvků, vysílače paprsku a optického přijímače. Na jedné straně se tedy nachází vysílač, který nepřetržitě vysílá světelný paprsek dopadající na optický přijímač umístěný na straně druhé. Snímací dosah zařízení je přibližně 12 m. V případě přerušení paprsku dojde k automatickému zastavení celého robotického zdíciho pracoviště. [29]



Obr. 62: Světelná závora SICK L28 [autor]



Obr. 63: Světelná závora SICK L28 [autor]

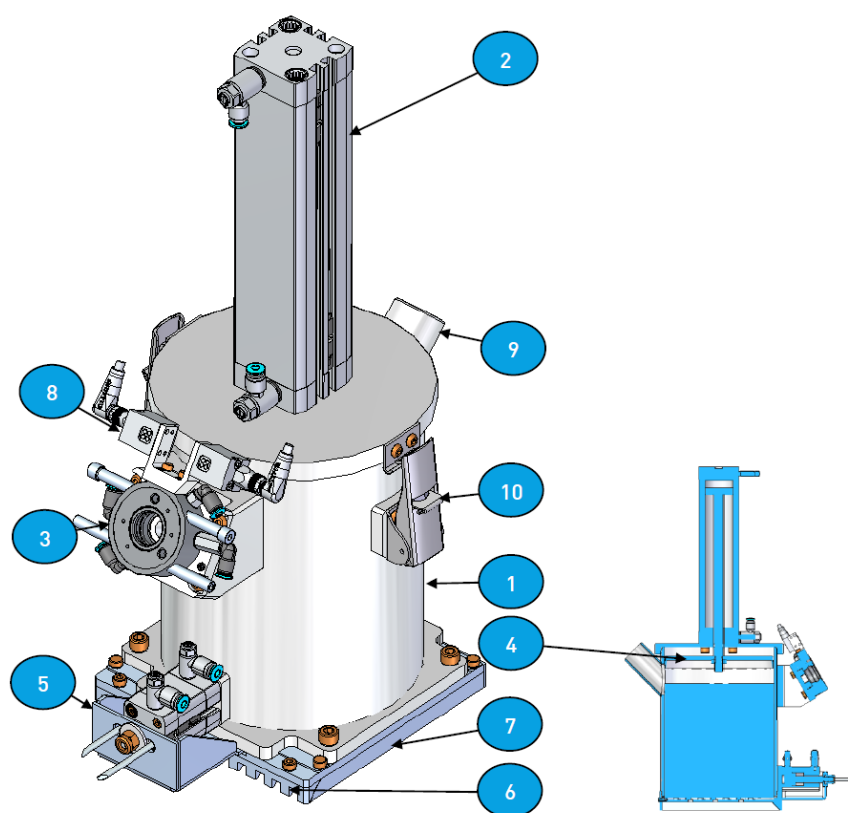
5.2.10.8 Údržba a seřizování

Při údržbě a seřizování jednotlivých zařízení robotického pracoviště musejí být dodržovány bezpečnostní předpisy související s těmito činnostmi.

- Údržbu a seřizování zařízení smí provádět jen odborně způsobilý personál.
- Je nutné, aby byl prostor, v němž dochází k údržbě nebo seřizování v bezpečné vzdálenosti ohraničen a zajištěn.
- Jeli zařízení během probíhajících prací kompletně vypnuté, musí být provedeno opatření pomocí zámků proti neočekávanému spuštění.
- Části strojů, které za provozu dosahují vysokých povrchových teplot, musí být před zahájením prací, souvisejících s údržbou nebo seřizováním, dostatečně vychladlé.
- Před údržbou musí být zvláště chráněny části zařízení, do kterých nesmí vniknout voda. Tyto části musí být dostatečně chráněny zakrytím nebo přelepením. Ohroženy jsou hlavně elektromotory a elektrické rozvaděče.
- Po ukončení údržby musí být ochranné prvky sloužící k zakrytí a přelepení částí zařízení odstraněny.
- Pokud v ohroženém prostoru pracuje více než jedna osoba, musí být mezi všemi zachován zrakový kontakt.
- Po dokončení prací je nutné zkontrolovat stav a funkčnost všech částí stroje. A klást důraz hlavně na funkčnost bezpečnostních zařízení.
- Pro zajištění správného a bezpečného provozu je nutné provádět pravidelné periodické kontroly jednotlivých částí zařízení. [27]

5.2.11 Koncový nanášeč lepicí směsi – greifer nanášeč malty

Pro nanášení lepicí směsi slouží speciální greifer. Celá sestava nanášeče je zobrazena na obrázku 64. Jak již bylo zmíněno výše, nanášeč je určen pro aplikaci zděných malt na bázi tenkovrstvých cementových lepidel. Celkové rozměry zařízení jsou 415 x 254 mm a hmotnost zařízení je 8,53 kg. Z toho vyplývá, že maximální hmotnost lepicí směsi v nádobě může být pouze 1,47 kg, z důvodu maximální nosnosti zděcího robota, jak již bylo zmíněno výše.



Obr. 64: Greifer nanášeč malty [27]

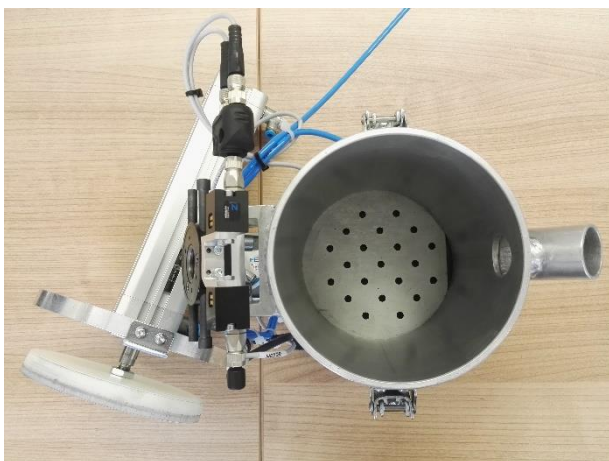
Legenda obrázku:

1 – Nádob	6 – Uhlazovací část
2 – Výtlačný válec	7 – Bočnice
3 – Rychlovýměna	8 – Elektrický modul
4 – Výtlačný píst	9 – Doplnovací vtok
5 – Regulace výtoku	10 – Zámek

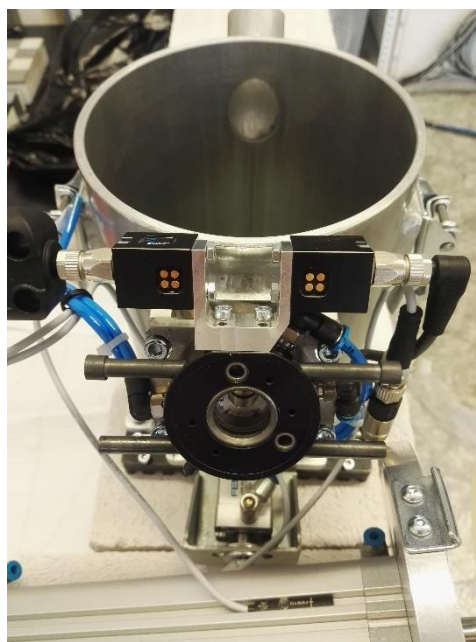
Princip fungování

Ten je standartně umístěn v dokovací stanici. K robotu se připojuje pomocí rychlovýměny (3) a energetického modulu (8). Malta je uložena v nádobě (1) o objemu 2 l (4,2 kg malty). Z nádoby je směs postupně vytlačována pístem (4) a pneumatickým válcem (2). Malta je tlakem protlačována přes jednotlivé otvory hladicí desky (6) umístěné na dně nádoby. Následně je malta nanesená na zděný prvek a rozetřena hladicí deskou. Šířka nanesené vrstvy se nechá regulovat pomocí bočnic (7), které se nechají nastavit v rozmezí 100 až 140 mm. Vytlačování malty je regulováno šoupátkem (5), které se otevírá a uzavírá pneumatickým válcem. Potom, co je nádoba na maltu prázdná, se výtlačný válec vrátí zpět do výchozí polohy. Poté lze doplnit maltu přes doplňovací vtok (9). Víko nádoby se nechá zajistit pomocí zámku (10). Po dokončení zděcích prací je nutné nádobu a celý greifer umýt a vyčistit od zbylé malty. [27]

Na následujících obrázcích 65 a 66 vidíme reálné fotografie nanášeče. Vlevo na obrázku 65 je celá sestava s vyndaným výtlačným pístem z nádoby, kde na dně vidíme uzavírací klapku s výtokovými otvory. Na obrázku 66 vpravo je vidět detail upínací rychlovýměny s dvěma rektifikačními otvory pro upevnění k robotické ruce.



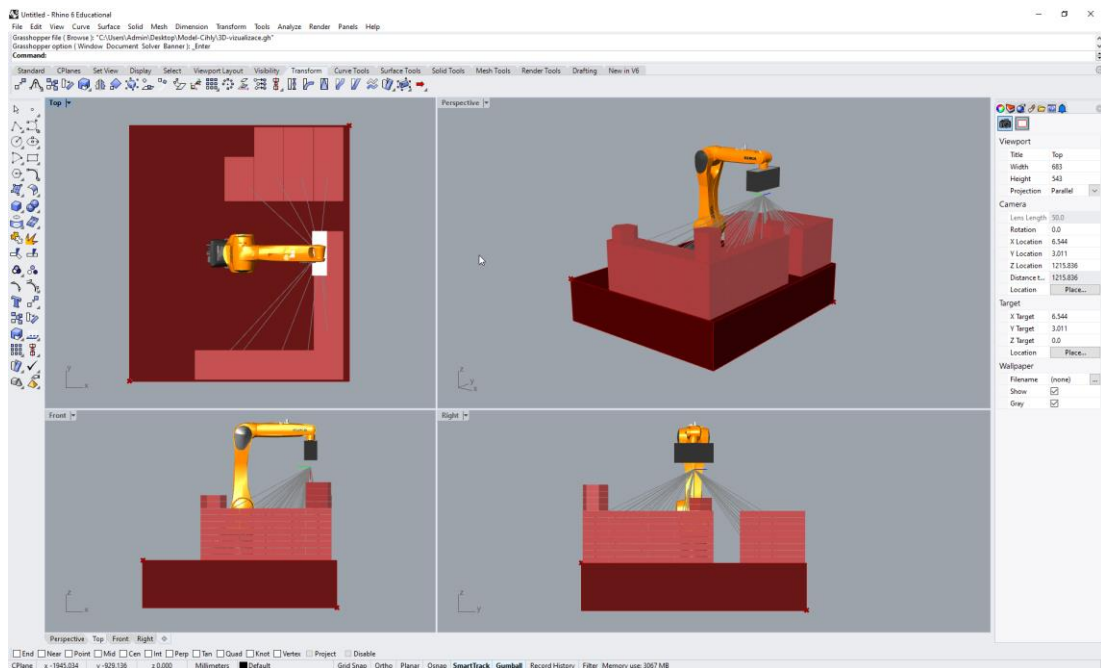
Obr. 65: Greifer nanášeč – sestava [autor]



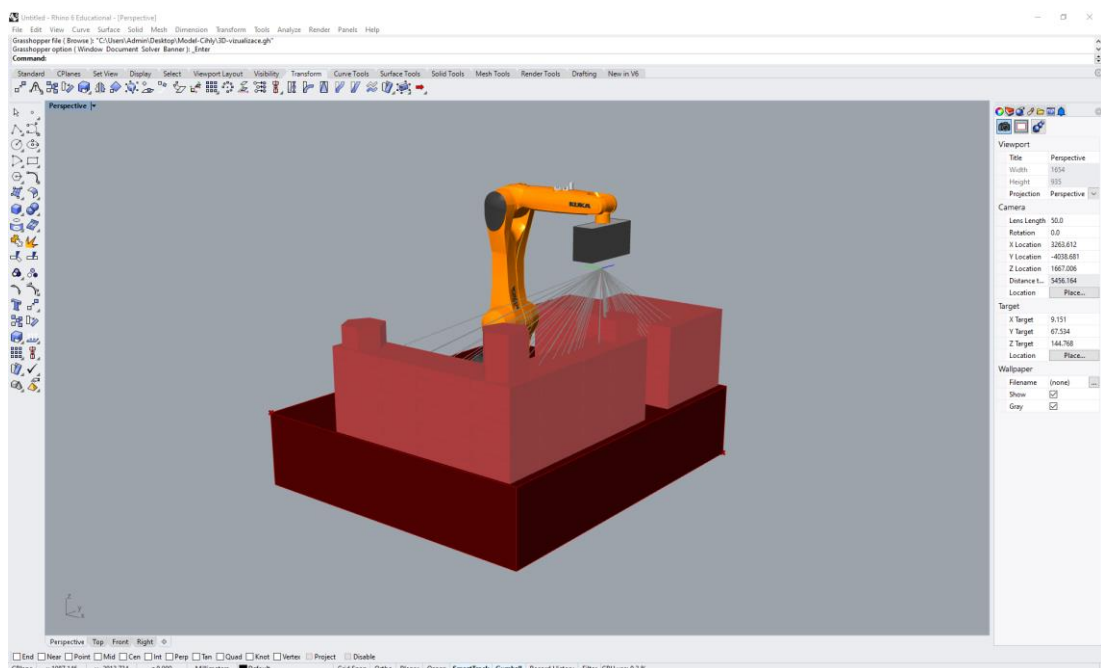
Obr. 66: Greifer nanášeč –
rychlovýměna [autor]

6 Matematické modelování procesů

Před samotnými praktickými zkouškami robota byl vytvořen 3D model robotického pracoviště v grafickém softwaru Rhinoceros 3D (plugin Grasshopper) (viz obrázek 67 a 68). Model byl vytvořen za účelem určení optimálního umístění zařízení s ohledem na případné kolize a maximální dosah robota. Díky modelu jsme schopni si udělat také představu o celkovém fungování systému robotického zdění.

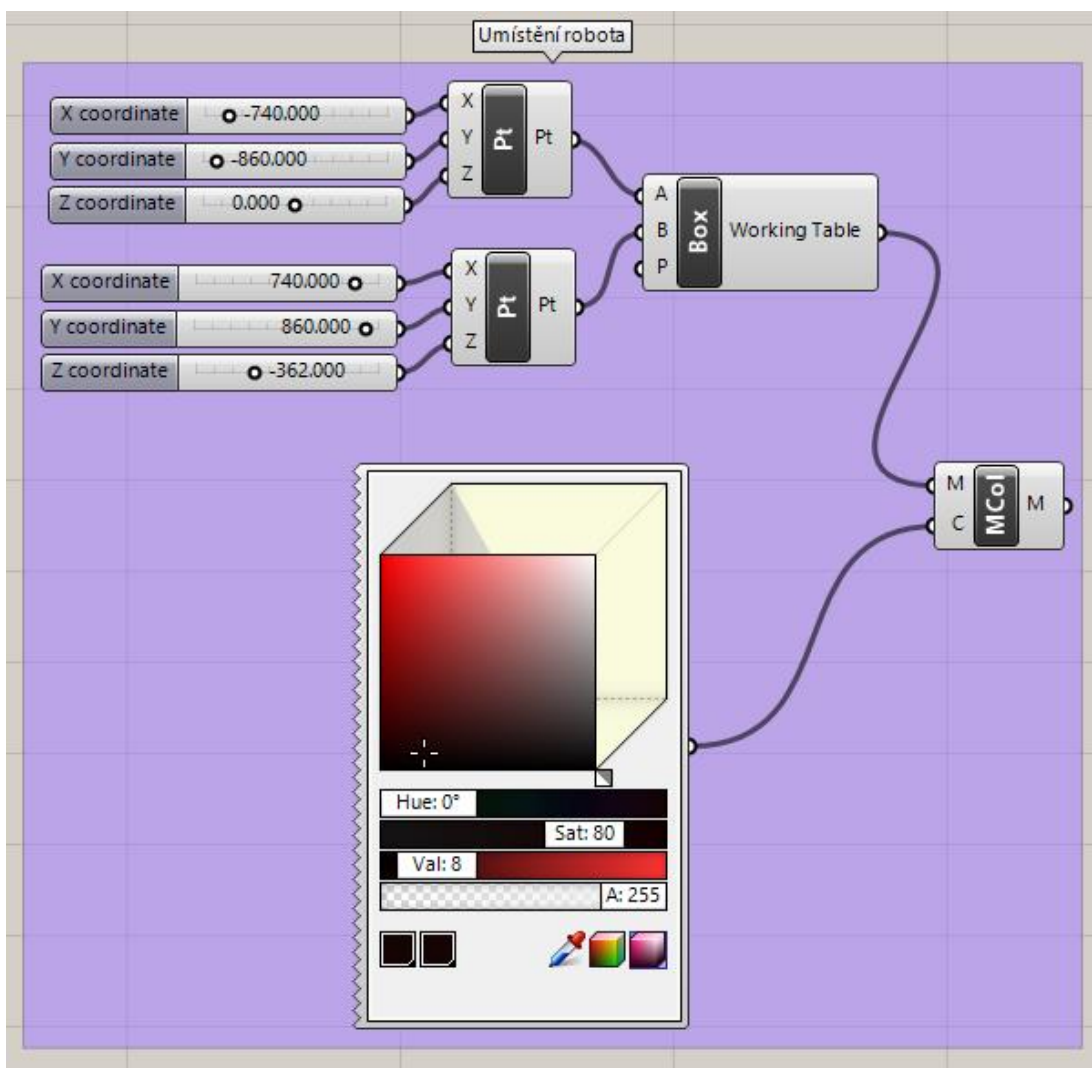


Obr. 67: Rhinoceros 3D – pohledy na model [23]



Obr. 68: Rhinoceros 3D – 3D model [23]

Pak byl 3D model parametricky naprogramován pluginem Grasshopper, který je součástí softwaru. V takto naprogramovaném modelu lze pomocí ovládacích polí měnit jednotlivé parametrické údaje např. velikost, umístění nebo natočení zařízení a prvků. Hlavním výstupem programování je simulace celého procesu robotického zdění. Grasshopper pracuje s vizuálním programovacím jazykem (VPL). Pro představu, jak takový programovací jazyk vypadá, je níže uveden obrázek č. 69 naprogramovaného panelu pro umístění robotické ruky Kuka. [23] [30]



Obr. 69: Grasshopper – umístění robota naprogramované v jazyce VPL [23]

7 Maltové směsi pro robotický nanášec

Vzhledem k tomu, že robotický nanášec malty nebyl dosud testován a nelze přesně říci, jak se bude zařízení a samotná malta při aplikaci chovat, byl před praktickými zkouškami nanášeče proveden první pokus s namícháním zdící malty a následným nanesením na pórobetonové vzorky pomocí ručního namáčení (viz kapitola 7.1). Tento způsob nanesení jsme u prvního pokusu zvolili z důvodu možného využití, i při samotné praktické zkoušce celého robotického zařízení v případě, že by nanášec nefungoval správně. Díky tomuto pokusu jsme si udělali reálnější představu o výsledné konzistenci a chování čerstvé malty při aplikaci namáčením. Při druhém pokusu jsme chtěli připravit 3 druhy zdících malt (viz kapitola 7.2) a ty pomocí robotického nanášeče aplikovat na tvárnice a vyhodnotit, která malta je pro dané zařízení nejvhodnější a případně upravit její konzistenci. Nicméně vzhledem k technickým problémům s nanášečem již při první zkoušce jsme od těchto pokusů odstoupili. Avšak výběr vhodné maltové směsi a její konzistence bude obsahovat SW pro robotické zdění, který dokáže, dle poskytnutých údajů o stavbě a datech obsažených v databázi SW, doporučit konkrétní lepicí směs (viz kapitola 7.3).

7.1 Malta pro robotické namáčení tvárnice

Byla zvolena zdící malta YTONG vzhledem k jejímu určení na pórobetonové tvárnice, které byly při zkouškách použity. Malta byla namíchána v přesném poměru dle výrobce (na 17 kg balení suché směsi 4,8 l vody). V našem případě byla nejdříve namíchána směs z 0,15 kg suché maltové směsi a 42 ml vody. Do takto namíchané malty byl ponořen první vzorek V1. Poté bylo do směsi přidáno dalších 5 ml vody a ponořen vzorek V2. Přidání 5 ml vody jsme zopakovali ještě jednou a ponořili vzorek V3. Při každém namáčení jednotlivých vzorků jsme se snažili o vzorky ponořit do stejné hloubky přibližně 3-5 mm. Po vytažení jsme vizuálně sledovali, jak nanesená malta drží při manipulaci na vzorku, s jakou silou jde ponořený vzorek vytáhnout a zda je malta rovnoměrně nanesená.

Z tohoto jednoduchého pokusu jsme dospěli k názoru, že množství vody zvolíme ve stejném poměru, jako uvádí výrobce při klasickém způsobu

nanášení, protože při takovémto poměru malta nejlépe držela na tvárnici a neodkapávala. A bude také velice důležité, při robotickém namáčení tvárnice do malty, mít vždy dostatečné množství a hloubku čerstvé malty v nádobě, protože čím menší byla hloubka malty, do které se vzorek namácel, šlo ho následně hůře vytáhnout a musela být použita větší síla. Při vytahování tvárnice nesmí být překročena maximální síla, kterou dokáže manipulátor vyvinout. Jinak by mohlo dojít k odtržení tvárnice nebo poruše přísavkového manipulátoru. A vzhledem k malé nádobě, kterou máme k dispozici, bude nutné při zkouškách stále dolévat čerstvou maltu.

7.2 Malta pro robotický nanášec malty

Pro první pokus robotického nanášeče malty (popis zařízení viz kapitola 5.2.11) jsme nejdříve namíchali opět maltovou směs YTONG. Tentokrát jsme připravili maltu složenou z 2 kg suché směsi a 0,56 l vody (dle hodnot udávaných výrobcem). Takto namíchanou čerstvou maltu jsme nadávkovali do zařízení a provedli praktickou zkoušku (viz kapitola 8.1).

Jak již bylo zmíněno v úvodu výše, již při první zkoušce došlo k technickému selhání nanášeče při aplikaci a nebylo možné maltu aplikovat (podrobný popis viz kapitola 8.1). Z tohoto důvodu jsme další maltové směsi nemíchali a výběr vhodného typu zdící malty a její konzistence nebylo možné prakticky provést.

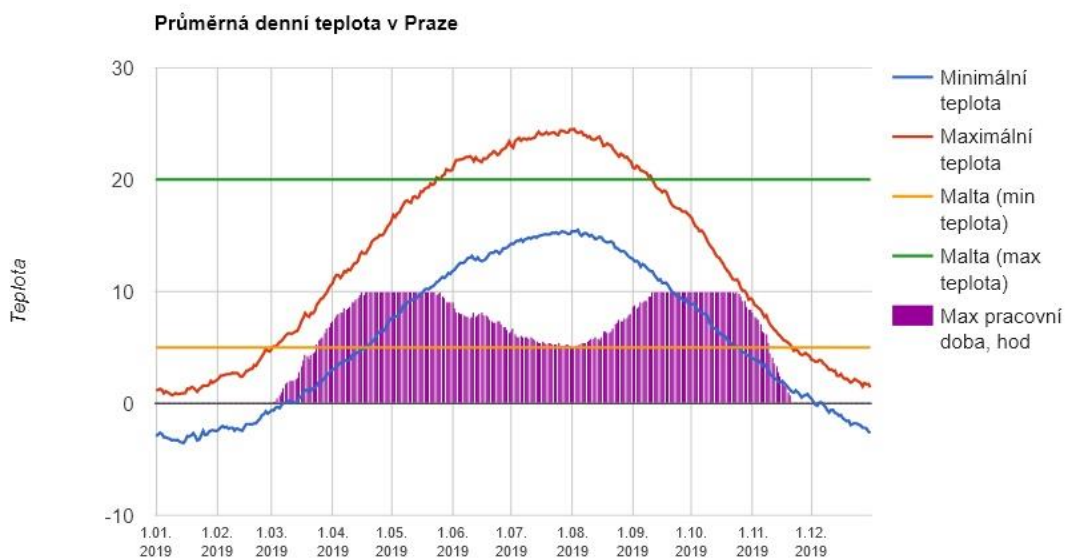
7.3 Výběr vhodné lepicí směsi softwarem pro robotické zdění

Již teď SW pro robotické zdění obsahuje informace o několika lepicích směsích, které budou v budoucnu rozšířeny o další údaje, na základě kterých bude systém schopen přesněji doporučit nejvhodnější lepicí směs a její konzistenci. Doporučení se pak bude řídit například i dle:

- Zvoleného zdícího systému (např. pórobetonové nebo keramické tvárnice);
- Předpokládaného počasí: SW bude schopen, dle přesného termínu zdění a databáze meteorologických údajů během několika posledních let, doporučit lepicí směsi a její úpravu konzistence a vlastností (např. zimní přísada BETODUR F pro malty CEMIX se zimní úpravou určené pro zdění i do -5 °C, více vody během horkých letních dnů atd.);

- Typu koncového nanášeče lepicí směsi: v budoucnu by mohlo robotické zařízení obsahovat několik nanášecích zařízení pro různé zdící systémy a lepicí směsi.

Dle maximální a minimální teploty, při které lze lepicí směsi aplikovat a průměrných maximálních a minimálních venkovních teplot (hodnoty teplot z minulých let dle meteorologických databází), jsme schopni určit maximální pracovní dobu během dne. Na následujícím grafu 01, který je obsažen v SW pro robotické zdění vidíme jednotlivé teplotní křivky a maximální denní pracovní dobu.



Graf 1: Maximální pracovní doba dle teplot [22]

8 Zkoušky nanášení malty robotickou technologií

Pomocí průmyslového robota Kuka Agilus Kr10 R110 byly provedeny tři praktické zkoušky technologie robotické aplikace čerstvé maltové směsi na zdivo, při kterých byl vždy použit jiný způsob nanášení (viz kapitoly 8.1, 8.3 a 8.3). Aplikace probíhala během zkoušek na pórobetonové příčkové zdící prvky HEBEL P2-500 o rozměrech 499 x 199 x 50 mm, které byly kladeny na ležato. Je důležité zmínit, že způsoby aplikace malty namáčením a lepením na PUR pěnu jsou určeny především pro zdění z dutých keramických tvárnic. Nicméně jsme pro první zkoušky zvolili pórobetonové tvárnice, které jsou lehčí, a tak jsme nebyli při skladbě tvárnic limitováni maximální nosností přísavky. Navíc jsme chtěli nejdříve ověřit funkčnost jednotlivých zařízení a technologií nanášení.

Hlavní cíle zkoušek:

- Ověření funkčnosti dávkovacího zařízení
- Určení vhodné technologie pro robotické nanášení lepících směsí

8.1 Zkouška 1 – robotický nanášec malty

Při první zkoušce robotického zařízení byl pro aplikaci použit robotický nanášec malty (viz kapitola 5.2.11). Jako lepící směs byla zvolena zdící malta YTONG s maximální zrnitostí 0,63 mm (viz kapitola 7.2). Robot byl naprogramován tak, aby nanas maltu na dvě tvárnice uložené vedle sebe. Tato zkouška byla rozdělena na 2 etapy. V první etapě mělo dojít k vytlačení celého objemu malty v nanášeči do nádoby a zaznamenávání časů, za jak dlouho je píst schopen vytlačit maltu. Dle těchto časů měly být v programu upraveny jednotlivé časy nadefinovaných pohybů tak, aby došlo ke koordinaci mezi otevřením a zavřením dávkovacích otvorů pohybem vytlačovacího pístu a pohybem celého dávkovače nad ložnou spárou. V druhé etapě mělo být již odzkoušeno samotné nanesení malty na předem poskládané tvárnice. Zdrojový kód, podle kterého se naprogramovaný robot s nanášečem měl při druhé etapě pohybovat, je obsažen v příloze č. 1.

Okolní podmínky (Fakulta stavební ČVUT v Praze - laboratoř B 482):

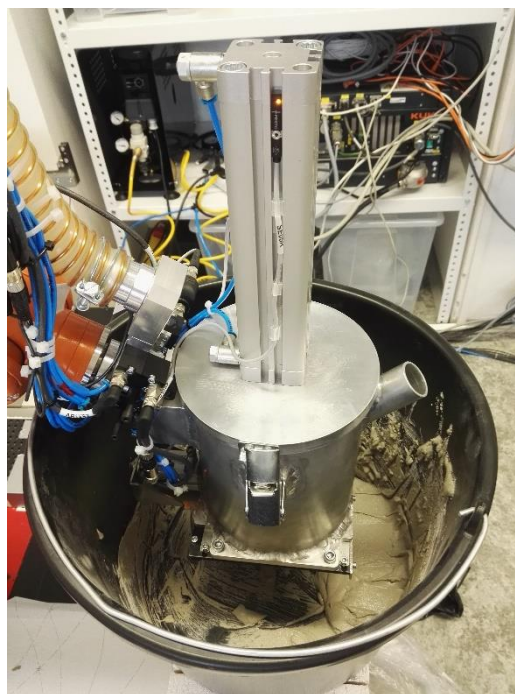
- Datum a čas experimentu: 13. 12. 2019; 13:35, SEČ +0 h

- Okolní vnitřní teplota: 22 °C; venkovní teplota: 0,5 °C
- Vnitřní vlhkost 55 %
- Bezvětrí, umělé osvětlení.

8.1.1 Průběh zkoušky

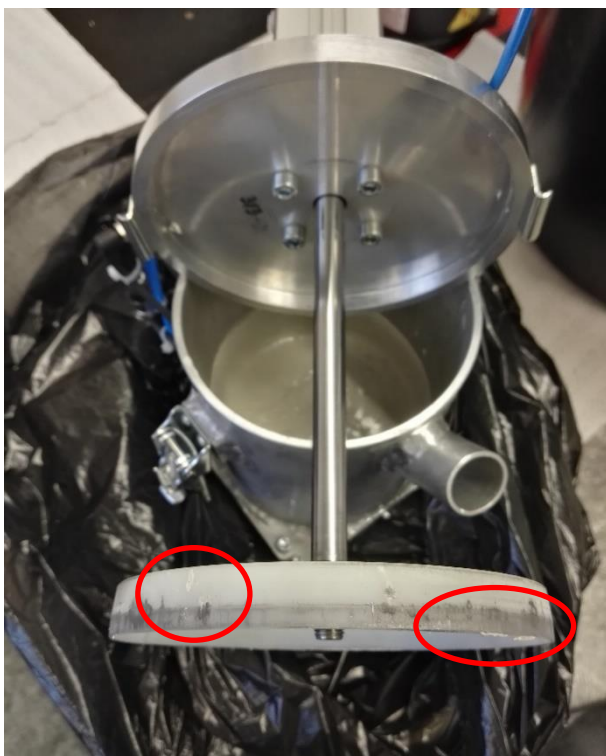
Před zahájením první etapy zkoušky byl ručně nadávkován do nanášeče 1 l čerstvé malty a následně umístěn do své výchozí pozice v dokovací stanici. Poté byl robot spuštěn a dle programu začal provádět jednotlivé úkony. Robot nejdříve uchopil nanášeč a společně s ním se vrátil do výchozí pozice. Následně byla pod nanášeč umístěna nádoba, do které mělo dojít k vytlačení celého objemu malty

(viz obrázek 70). Došlo tedy k otevření výtokových otvorů a píst začal vytlačovat maltu. Nicméně po vytlačení zhruba 10 % objemu malty se výtlačný píst zastavil a maltu přestal vytlačovat. Ani pomocí příkazu ke zpětnému pohybu nahoru se píst nerozpohyboval. Došlo tedy k zastavení programu a nanášeč byl od robota odpojen. Po otevření nádoby nanášeče a ručním vytažením zaseklého pístu, bylo vidět, že se nepatrné množství malty (viz obrázek 71) dostalo mezi píst a stěnu

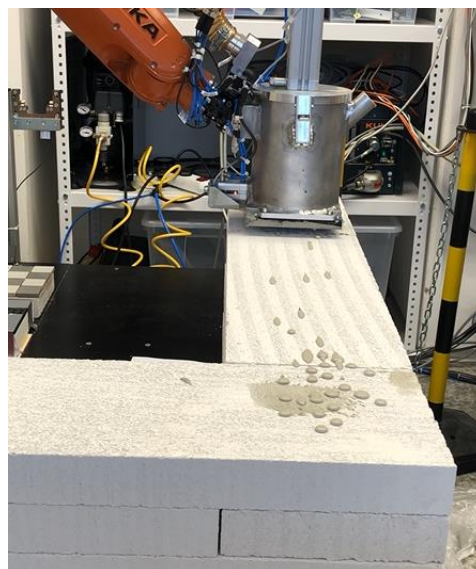


Obr. 70: Zkouška 1 - etapa 1 – vytlačení do nádoby [autor]

nádoby, což zapříčinilo zadření a zastavení výtlačného pístu. I po následném očištění zařízení došlo při dalším pokusu o vytlačení opět k zastavení ihned po malém pohybu pístu dolů. Po zastavení nešlo ani uzavřít výtlačné otvory, protože malta ucpala prostor mezi uzavírací klapkou a hladící deskou (viz obrázek 73). Znovu proběhlo čištění zařízení a zkusili jsme nanášečem přejet přes tvárnice, abychom lépe viděli, zda se alespoň nějaká malta nanese. Na obrázku 72 vidíme, že došlo k vytlačení pouze pár kapek malty a následně se vytlačovací píst opět zastavil. Během zkoušky nebyla dokončena tedy ani první etapa, proto nemělo smysl v další zkoušce aplikace malty pomocí nanášeče pokračovat.



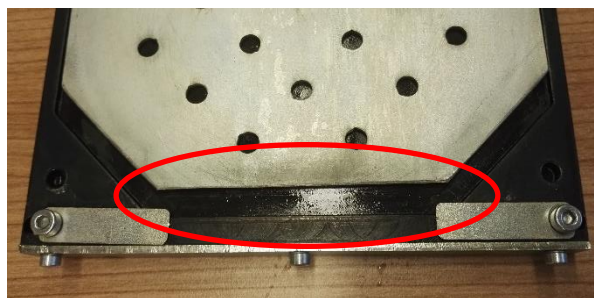
Obr. 71: Zkouška 1 – zadřený vytlačovací píst [autor]



Obr. 72: Zkouška 1 – nanesení na tvárnice [autor]

8.1.2 Vyhodnocení zkoušky a robotického nanášeče

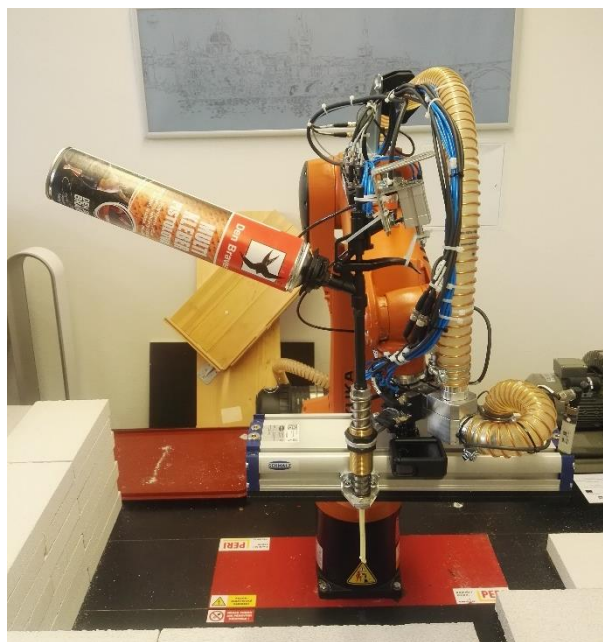
Zkouška nebyla dokončena z důvodu technického selhání nanášecího zařízení. Proto není možné provést vyhodnocení nanesené malty na tvárnice, ale pouze konstatování technických nedostatků tohoto zařízení, které se během první zkoušky projeví. Došlo k zaseknutí výtlačného pístu a uzavírací klapky výtlačných otvorů i přesto, že byla použita velice jemná zdící malta s poměrně tekutou konzistencí. Proto je nanášeč v takovém to technickém provedení pro nanášení zdící malty nevyhovující. Zastavení výtlačného pístu zapříčinila hlavně malá velikost pístu společně s malým tlakem (6-8 bar). Uzavírací klapka je konstrukčně nevhodně řešena, protože dochází k ucpání drážky, do které se klapka při otevírání a uzavírání otvorů pohybuje (viz obrázek 73). Klapka by měla uzavírat otvoru z vnější strany, tak aby ve vnitřním prostoru nanášeče nebyly žádné drážky a dno nádoby mohlo být hladké. Celkově by bylo vhodné tento nanášeč konstrukčně zjednodušit i z toho důvodu, že se obtížně rozebírá a čistí (bez rizika poškození například čidel a řídicích mechanismů).



Obr. 73: Uzavírací klapka – drážka [autor]

8.2 Zkouška 2 – robotické nanášení PUR pěny

Při další zkoušce byla použita robotická technologie nanášení PUR pěny pomocí aplikační pistole. Ta byla přidělána k robotické přísavce, z důvodu vhodných konstrukčních prvků pro upevnění pistole společně s ovládacím mechanismem pro aplikace (viz obrázek 74). Jako PUR pěna byla použita jednokomponentní víceúčelová pistolová pěna Den Braven MULTI KLEBER. Nanášení probíhalo opět na pórobetonové tvárnice stejného typu jako v předešlých zkouškách, i když je PU pěna určena pouze pro zdění z dutých keramických tvárnic. Při zkoušce jsme totiž chtěli hlavně vyzkoušet funkčnost zařízení, a navíc jsme byli limitováni maximální nosností přísavky.



Obr. 74: Zkouška 2 – aplikační zařízení [autor]

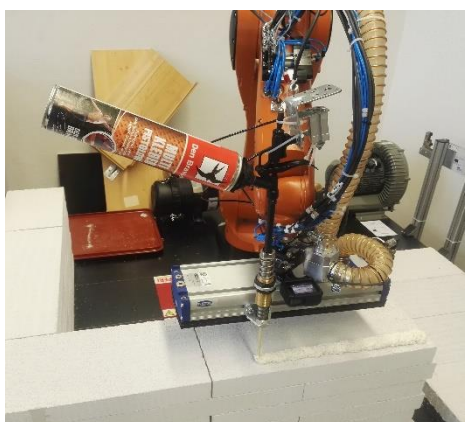
Okolní podmínky (Fakulta stavební ČVUT v Praze - laboratoř B 482):

- Datum a čas experimentu: 18. 12. 2019; 13:30, SEČ +0 h
- Okolní vnitřní teplota: 22 °C; venkovní teplota: 8,0 °C
- Vnitřní vlhkost 55 %
- Bezvětrí
- Umělé osvětlení

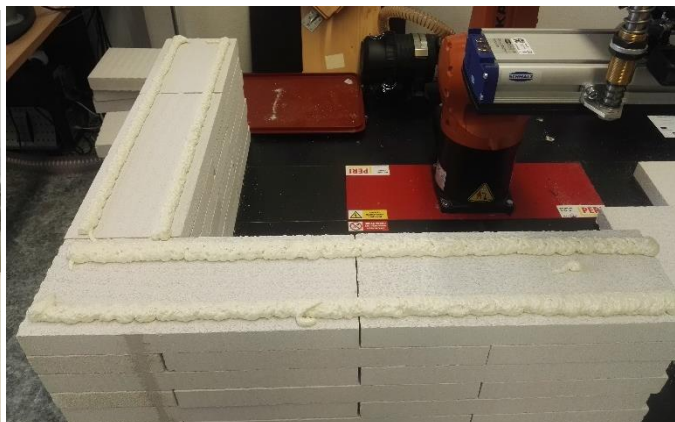
8.2.1 Průběh zkoušky

Před zahájením aplikace pěny na tvárnice, byla kartuše s PUR pěnou protřepána a našroubována na aplikační pistoli. Poté byl spuštěn program. Robot nejprve najel do pozice nad ložnou spáru a sepnul spoušť aplikační pistole. Začalo nanášení PUR pěny a pohybem robotické ruky došlo k nanesení dvou „housenek“ (viz obrázek 75 a 76). Housenky byly nanесeny cca 3–5 cm od okraje tvárnic. Během přemístění na pozici začátku další „housenky“ byla vždy aplikace pěny přerušena. Po nanesení byla aplikační

pistole s kartuší odmontována a byla vyzděna pomocí přísavky (viz kapitola 5.2.10.2) jedna další řada tvárnic (viz obrázek 77)



Obr. 75: Zkouška 2 – průběh nanášení pěny [autor]



Obr. 76: Zkouška 2 – nanesené „housesny“ [autor]



Obr. 77: Zkouška 2 – uložení další řady tvárnic [autor]

8.2.2 Vyhodnocení zkoušky

Hlavním nedostatkem nanesených housesny byla jejich nerovnoměrná a příliš velká tloušťka. Po sepnutí spouště aplikační pistole a během začátku nanášení došlo k nanesení většího množství pěny než v dalším průběhu (viz obrázek 76). Tento problém by se však nechal odstranit úpravou softwaru, tak aby byly lépe zkoordinovány časy jednotlivých pohybů. Z důvodu použití plných tvárnic nemohla pěna po položení další řady tvárnic expandovat do dutin tvárnic a tím vznikla nerovnoměrná tloušťka spáry 2-4 mm. Tvárnice navíc při usazování nepatrně klouzaly po ložné spáře, takže ani jejich půdorysné usazení nebylo úplně pravidelné. Nicméně aplikační zařízení fungovalo správně, a proto by mohl být tento způsob zdící technologie využit při dalším vývoji robotického zdícího systému.

8.3 Zkouška 3 – robotické nanášení malty namáčením

Jako poslední robotická technologie byla při zkouškách použita technologie namáčení tvárnic v čerstvé zdící maltě. Uchopení a manipulace s tvárnici probíhala pomocí přísavky (viz kapitola 5.2.10.2). Tvárnice byly namáčeny ve zdící maltě YTONG, která byla dávkována do nádoby přišroubované k podkladní desce robotického pracoviště.

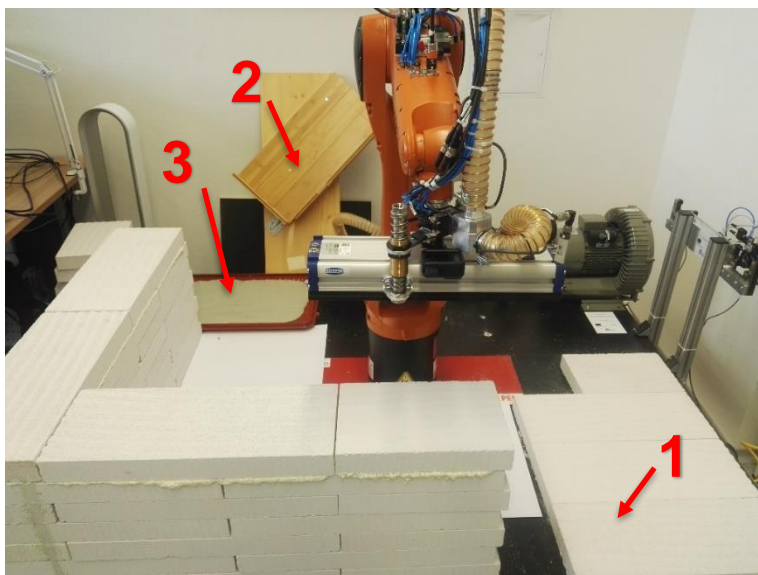
Okolní podmínky (Fakulta stavební ČVUT v Praze - laboratoř B 482):

- Datum a čas experimentu: 18. 12. 2019; 14:20, SEČ +0 h
- Okolní vnitřní teplota: 22 °C; venkovní teplota: 8,0 °C
- Vnitřní vlhkost 55 %
- Bezvětrí
- Umělé osvětlení

8.3.1 Průběh zkoušky

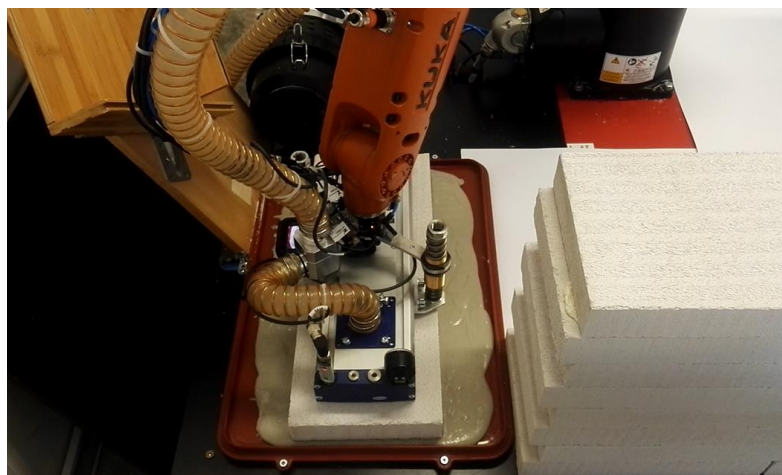
Nejdříve bylo do nádoby pro namáčení nadávkováno 1,5 l čerstvé zdící malty. Hladina malty byla poté urovňována poklepáním. Schéma upraveného robotického pracoviště je vidět na obrázku 78. Tvárnice se

vyskládaly na předem určené místo (1). Po spuštění programu robot pomocí přísavky (viz kapitola 5.2.10.2) uchopil tvárnici a jednotlivými pohyby umístil tvárnici do rektifikačního zařízení (2) pro vyrovnání uchopení tvárnic. Robot opět uchopil

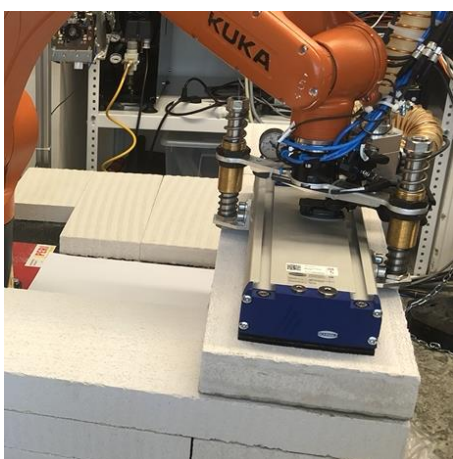


Obr. 78: Zkouška 3 – robotické pracoviště pro namáčení [autor]

tvárnici a následně došlo pohybem k namočení tvárnice do hloubky cca 3-5 mm v namáčecí nádobě (3) (viz obrázek 79). Namočenou tvárnici poté robot umístil na požadované místo, na již vyzděné tvárnice (viz obrázek 80 a 81). Takto proběhlo vyzdění celé jedné řady.



Obr. 79: Zkouška 3 – namáčení tvárnice [autor]



Obr. 80: Zkouška 3 – uložení namočené tvárnice [autor]



Obr. 81 Zkouška 3 – uložení namočené tvárnice [autor]

8.3.2 Vyhodnocení zkoušky

Zkouška namáčení tvárnice v čerstvé maltě probíhala bez technických problémů a zařízení fungovala správně. Hlavním nedostatkem bylo ubývání čerstvé malty v nádobě v průběhu zkoušky, které postupně zapříčiňovalo stále větší nerovnoměrnost nanesené malty při namočení tvárnice. Proto by bylo zapotřebí po každém namočení urovnávat hladinu malty v nádobě. Výsledná tloušťka ložné spáry se pohybovala v rozmezí 1-4 mm. Je samozřejmé, že při použití dutých keramických tvárnice, kdy se malta nanáší pouze na žebra dutin, by se nerovnoměrnost tloušťky ložné spáry alespoň částečně eliminovala.

9 Vyhodnocení a porovnání technologie

Vyhodnocení a porovnání robotických a klasických metod nanášení zdíci malty je provedeno formou vícekriteriálního hodnocení viz tabulka 02. Do porovnání jsou zahrnuty dvě robotické technologie (robotická aplikace PUR pěny a namáčení) a dva běžné způsoby nanášení (ruční nanášení PUR pěny a ruční namáčení). Robotická aplikace malty nanášečem není do vyhodnocení zahrnuta z důvodu selhání zařízení při zkouškách. Proto není možné u tohoto způsobu ohodnotit jednotlivá kritéria.

9.1 Tabulka vícekriteriálního hodnocení

Tab. 2: vícekriteriální hodnocení technologií nanášení lepicí směsi [autor]

Kritérium	Pořadí dle důležitosti	Povaha	Hledisko	Váha							
Kvalita a přesnost nanesené malty	1	Max	Kvalitativní	0,250							
Údržba a čištění zařízení	7	Min	Kvalitativní	0,036							
Spotřeba materiálu	6	Min	Kvalitativní	0,071							
Ekonomické náklady	2	Min	Kvalitativní	0,214							
Rychlost práce	5	Max	Kvalitativní	0,107							
Bezpečnost práce	3	Max	Kvalitativní	0,179							
Množství lidské práce	4	Min	Kvalitativní	0,143							
	28			1,00							
Varianta A: Robot - PUR pěna			Varianta B: Robot - namáčení			Varianta C: Č - PUR pěna			Varianta D: Č - namáčení		
Hodnota	Pořadí	Body	Hodnota	Pořadí	Body	Hodnota	Pořadí	Body	Hodnota	Pořadí	Body
4	2	0,5	2	1	0,3	8	4	1,0	6	3	0,8
5	2	0,1	4	3	0,1	6	1	0,0	3	4	0,1
3	3	0,2	5	1	0,1	2	4	0,3	4	2	0,1
6	1	0,2	5	2	0,4	3	3	0,6	2	4	0,9
9	4	0,4	6	2	0,2	7	3	0,3	5	1	0,1
8	3	0,5	9	4	0,7	4	1	0,2	5	2	0,4
2	4	0,6	3	3	0,4	7	2	0,3	9	1	0,1
		2,5			2,2			2,8			2,5

Pozn.: Varianty A a B označují robotické technologie a varianta C a D standardní způsoby ručního nanášení lepicí směsi.

9.2 Kritéria

Níže jsou popsány rozhodující faktory pro ohodnocení jednotlivých kritérií každé technologie nanášení. Na základě těchto faktorů byly uděleny bodové hodnoty uvedeny ve žlutých políčkách v tabulce 02.

Kvalita a přesnost nanesené malty:

- Varianta A – RT (robotická technologie) – PUR pěna: příliš velké a nerovnoměrné množství nanesené malty, nerovnost nanesené housenky;
- Varianta B – RT – namáčení: nerovnoměrně nanesené množství malty na jednotlivé tvárnice z důvodu měnící se hladiny malty v nádobě, horší kvalita výsledné spáry;
- Varianta C – Č (člověk) – PUR pěna: přesné nanesení požadovaného množství;
- Varianta D – Č – namáčení: relativně rovnoměrně nanesená malta.

Údržba a čištění zařízení:

- Varianta A – RT – PUR pěna: špatné čištění a údržba aplikační pistole, v případě znečištění některé z robotických částí zařízení obtížné odstranění pěny;
- Varianta B – RT – namáčení: relativně snadné čištění dávkovací nádoby po odšroubování;
- Varianta C – Č – PUR pěna: špatné čištění a údržba aplikační pistole a znečištěných věcí, obtížné odstranění například z lidské pokožky;
- Varianta D – Č – namáčení: jednoduché vymytí dávkovací nádoby.

Spotřeba materiálu:

- Varianta A – RT – PUR pěna: trochu větší spotřeba z důvodu širší nanesené housenky;
- Varianta B – RT – namáčení: větší spotřeba v důsledku občasného většího ponoření tvárnice;
- Varianta C – Č – PUR pěna: optimální spotřeba, nanesené množství je možné regulovat v průběhu zdění;
- Varianta D – Č – namáčení: menší spotřeba, větší možnost kontroly naneseného množství a tím regulace spotřeby.

Ekonomické náklady :

- Varianta A – RT – PUR pěna: vysoká pořizovací cena robotického zařízení, malé provozní náklady;
- Varianta B – RT – namáčení: vysoká pořizovací cena robotického zařízení, malé provozní náklady, menší pořizovací cena samotného zařízení pro nanášení;
- Varianta C – Č – PUR pěna: nízké náklady na pořízení zařízení pro nanášení, vyšší náklady na mzdy pracovníků a zajištění bezpečnosti pracoviště;
- Varianta D – Č – namáčení: malé náklady na pořízení zařízení pro nanášení, vyšší náklady na mzdy pracovníků a zajištění bezpečnosti pracoviště.

Rychlost práce:

- Varianta A – RT – PUR pěna: rychlá příprava a dávkování směsi, velmi rychlá aplikace;
- Varianta B – RT – namáčení: pomalejší příprava a dávkování malty, rychlé nanášení;
- Varianta C – Č – PUR pěna: rychlá příprava a dávkování směsi, rychlá aplikace;
- Varianta D – Č – namáčení: pomalejší příprava a dávkování malty, pomalejší nanášení oproti RT.

Bezpečnost práce:

- Varianta A – RT – PUR pěna: vysoká míra bezpečnosti vzhledem k omezení rizikového lidského faktoru během provádění, použití méně bezpečné látky;
- Varianta B – RT – namáčení: vysoká míra bezpečnosti vzhledem k omezení rizikového lidského faktoru během provádění, použití bezpečné maltové směsi
- Varianta C – Č – PUR pěna: malá bezpečnost práce vzhledem k většímu počtu pracovníku na stavbě během provádění, riziko lidského faktoru, použití méně bezpečné látky, možný kontakt látky s lidskou pokožkou;

- Varianta D – Č – namáčení: malá bezpečnost práce vzhledem k většímu počtu pracovníků na stavbě během provádění, riziko lidského faktoru, použití bezpečné maltové směsi, možný kontakt látky s lidskou pokožkou.

Množství lidské práce:

- Varianta A – RT – PUR pěna: malé množství lidské práce, nutná pouze obsluha zařízení a kontrola robota;
- Varianta B – RT – namáčení: malé množství lidské práce, nutná obsluha zařízení, kontrola robota a příprava maltové směsi;
- Varianta C – Č – PUR pěna: velké množství lidské práce, nutná ruční aplikace pomocí pistole;
- Varianta D – Č – namáčení: velmi velké množství lidské práce, nutné ruční namáčení do nádoby s maltou a následná manipulace s tvárnicemi, ruční příprava maltové směsi.

9.3 Vyhodnocení

Jako optimální technologie nanášení lepící směsi, byla pomocí vícekritériálního ohodnocení určena varianta C, tedy ruční nanášení PUR pěny. Tato varianta získala celkem 2,8 bodů, oproti tomu robotická technologie aplikující PUR pěnu (varianta A) získala bodů méně, konkrétně 2,5. Stejně bodů získala i technologie ručního namáčení tvárnic (varianta D) a robotická technologie namáčení (varianta B) získala bodů pouze 2,2. Nicméně mezi jednotlivými variantami není příliš veliký rozdíl. V současném stavu prvních prototypů robotické technologie jsme během zkoušek nedosáhli takové kvality nanesené malty a výsledných spár jako při standardním ručním způsobu nanášení lepících směsí. Je samozřejmé, že prvotní investice do robotické technologie bude vysoká, nicméně v budoucnu se bude investice vracet díky menším nákladům na mzdy pracovníků a zajištění bezpečnosti na pracovišti. Robotické dávkovací zařízení se také hůře udržují a čistí, vzhledem k jejich konstrukční složitosti a náchylnosti některých komponentů (čidla, senzory atd.) k poškození. Avšak některé z nedostatků robotických technologií způsobu nanášení lepících směsí by šlo již dnes eliminovat např. konstrukční nebo softwarovou úpravou zařízení.

10 Závěr

Cílem této diplomové práce bylo navrhnout technologický postup robotického nanášení lepící směsi robotickým nanášečem malty pro projekt funkčního prototypu autonomního robotického stavebního systému na Fakultě stavební ČVUT TH04010329 – TAČR (<http://www.robostav.cz/robostav-projekt-tacr-2019>). Následně vyzkoušet způsoby aplikace během praktických zkoušek a poté dle výsledků způsoby porovnat a vyhodnotit s ohledem na jejich možné využití při dalším vývoji projektu robotické technologie.

V rámci návrhu technologického postupu byly navrženy i některé zařízení pro přípravu a dávkování malty, které zatím nejsou součástí robotického pracoviště. Navržená zařízení budou využita až během dalších zkoušek technologie, kdy bude například použita velká průmyslová robotická ruka Kuka s dosahem přibližně 3,5 m.

Před praktickými zkouškami nanášení lepících směsí bylo jedním z cílů připravit alespoň 3 druhy maltových směsí od různých výrobců s různým určením způsobu aplikace a použití pro různé materiály zdících materiálů. Tyto malty následně podrobit zkouškám aplikace pomocí nanášeče, vyhodnotit kvalitu nanesení, porovnat výsledky, zvolit nejvhodnější maltu a případně upravit a navrhnout správnou konzistenci. Avšak již při první zkoušce robotického nanášeče zařízení došlo z důvodu technických chyb zařízení k zadření výtlačného pístu a ucpání uzavírací klapky. Proto se se během zkoušky nepodařilo maltu aplikovat. Z tohoto důvodu jsme zkoušky nanášení dalších maltových směsí již neprováděli. Byly doporučeny konstrukční úpravy nanášeče, které by měly nedostatky eliminovat. I přes selhání zařízení nám tato zkouška přinesla mnoho cenných informací a poznatků, jednak o samotné technologii robotického nanášení zdící malty, ale hlavně o možnosti budoucího využití nanášeče během dalšího vývoje této technologie.

Pro další zkoušky nanášení lepící směsi jsme museli zvolit jiné způsoby aplikace. Konkrétně aplikaci PUR pěny pomocí aplikační pistole a nanášení zdící malty namáčením. Pro oba způsoby muselo dojít k úpravě robotického pracoviště a některých zařízení. Zkoušky těchto způsobů už proběhly bez větších problémů pouze s kvalitativními nedostatky nanesené

lepící směsi a taky byly zahrnuty do vyhodnocení a porovnání s běžnými metodami nanášení lepících směsí.

Z vícekriteriálního ohodnocení vyšla jako optimální technologie zdění ruční nanášení zdící PUR pěny. Oba způsoby robotického nanášení byly ohodnoceny jako méně vhodné oproti dnes běžně používaným ručním způsobům aplikace lepících směsí. Hlavním důvodem byla především horší kvalita a přesnost výsledné ložné spáry, vyšší spotřeba materiálu a pořizovací cena robotické technologie. Je však důležité zmínit, že tento výsledek plyne z prvních praktických pokusů funkčnosti zařízení, které dosud nebylo nikdy testováno. A proto se v budoucnosti tento výsledek díky úpravám (např. konstrukčních nebo softwarových) a vývoji technologií může, a dle mého názoru, jistě změnit. Pokud budeme brát v úvahu i nadále se zhoršující situaci s nedostatkem lidských pracovníků a stále rostoucí stavební průmysl, budou robotické technologie díky malému množství fyzicky náročné lidské práce a rychlosti provádění robotizovaných procesů, výhodnější než dnešní standardní technologie nanášení lepících směsí. Zapomenout nesmíme ani na vysokou bezpečnost práce u robotické technologie oproti běžným metodám, u kterých je většinou několik pracovníků vystavených ohrožení zdraví nejrůznějšími riziky vyskytujícími se na staveništi.

Na závěr bych chtěl říci, že robotická technologie, kterou se zabývá tato diplomová práce je teprve na samotném začátku svého vývoje a až v průběhu dalších testování během nadcházejících let se ukáže, zda byla snaha o robotizaci nanášení lepící směsi a celého zdění tím správným krokem.

11 Bibliografie

- [1] Technické informace: Statické tabulky zdiva HELUZ. In: *HELUZ* [online]. HELUZ cihlářský průmysl v.o.s [cit. 2019-12-06]. Dostupné z: <https://www.heluz.cz/files/Pevnosti-zdiva-HELUZ-v-tlaku---tabulka.pdf>
- [2] *Pracovní postup Cemix: Zdění z broušených cihel*. 2019. Borovany, 2019. Dostupné z: <https://www.cemix.cz/produkty/zdici-malta-pro-tenkou-sparu-na-brousene-cihly#soubory>
- [3] *Prováděcí příručka HELUZ* [online]. 2017 [cit. 2019-10-31]. Dostupné z: <https://www.heluz.cz/files/Prirucka-pro-provadeni>
- [4] ŠULC, Rostislav. *Dokončovací práce: Zdění*. Dostupné z: <http://technologie.fsv.cvut.cz/clenove-katedry/rostislav-sulc/ke-stazeni/>
- [5] HORSKÝ, Antonín. *Podklad pro provádění konstrukcí Porotherm* [online]. 5. 2017 [cit. 2019-10-31]. Dostupné z: https://www.wienerberger.cz/content/dam/wienerberger/czech-republic/marketing/documents-magazines/instructions-guidelines/CZ_Podklad_pro_provadeni.pdf
- [6] HEJLOVÁ, Zuzana. *Podceňovaná místa zděných staveb z pohledu statika* [online]. [cit. 2019-10-31]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/cihly-bloky-tvarnice/16854-podcenovana-mista-zdenych-staveb-z-pohledu-statika>
- [7] NOVÉ TECHNOLOGIE ZDĚNÍ. In: *Heluz* [online]. České Budějovice: Heluz - cihlářský průmysl v. o. s, 2010 [cit. 2019-11-15].
- [8] LEPENÍ ZDÍČÍCH PRVKŮ. *Aerosol – service a.s.* [online]. Pletený Újezd [cit. 2019-11-14]. Dostupné z: <https://www.aerosol.cz/blog/typy-pouziti-cs-cs/lepeni-brousnychcihel/>
- [9] Zdění na pěnu je rychlé, bezpečné a úsporné. *Stavba domu* [online]. STAVBA, WIENERBERGER (POROTHERM) [cit. 2019-11-14]. Dostupné z: https://www.stavbadomu.net/rubriky/stavba/hruba-stavba/zdeni-na-penu-je-rychle-bezpecne-a-uspodne_25048.html

- [10] Zdění obvodových zdí na pěnu. *ASB* [online]. Wienerberger [cit. 2019-11-15]. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/zaklady-a-hruba-stavba/obvodove-konstrukce/zdeni-obvodovych-zdi-na-penu>
- [11] HELUZ představuje revoluční způsob zdění na hotovou maltovou směs HELUZ SIDI. *TZB-info* [online]. Praha: HELUZ cihlářský průmysl, v.o.s., 2019 [cit. 2019-11-20]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/cihly-bloky-tvarnice/19566-heluz-predstavuje-revolucni-zpusob-zdeni-na-hotovou-maltovou-smes-heluz-sidi>
- [12] *HELUZ SIDI: Pro rychlé a úsporné zdění z broušených cihel Heluz* [online]. 2019 [cit. 2020-01-05]. Dostupné z: <https://www.heluz.cz/files/1210e78efbcbd2416386450866991594.pdf>
- [13] HEJHÁLEK, Jiří. Malta HELUZ SIDI: zdění s válečkem jako při malování. In: *Stavebnictvi3000* [online]. [cit. 2019-11-20]. Dostupné z: <https://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/malta-heluz-sidi-zdeni-s-valeckem-jako-pri-malovani>
- [14] VELEBA, Petr. Termovize prokázala minimalizaci tepelných mostů u zdiva POROTHERM CB. In: *TZB-info* [online]. Wienerberger s.r.o. [cit. 2019-11-20]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/4999-termovize-prokazala-minimalizaci-tepelnych-mostu-u-zdiva-porotherm-cb>
- [15] MALEWAR, Amit. Meet SAM: a Construction Robot That Works 500% Faster Than Humans. *Tech explorst* [online]. [cit. 2019-11-20]. Dostupné z: <https://www.techexplorst.com/meet-sam-construction-robot-works-500-faster-humans/5357/>
- [16] HIGGINS, Adam. Robotics in Construction: Automating Onsite Construction With CR. *Connect and Construct* [online]. [cit. 2019-11-20]. Dostupné z: <https://connect.bim360.autodesk.com/robotics-in-construction-cr>
- [17] Semi-automated Robot – Sam100. *Planswift by ConstructConnect* [online]. 2019 [cit. 2019-11-20]. Dostupné z: <https://www.planswift.com/blog/semi-automated-robot-sam100/>

- [18] BOCK, Thomas a Thomas LINNER. *Construction Robots: Elementary Technologies and Single-Task* [online]. 2016. Cambridge University Press, 2017 [cit. 2019-11-20]. ISBN 9781139872041. Dostupné z: <https://www.cambridge.org/core/books/construction-robots/BCA613ACE148774DA57A94393D11ED99>
- [19] Meet Hadrian X, a bricklaying robot that can build a house in three days. *TechStartups* [online]. TechStartups Team [cit. 2019-11-21]. Dostupné z: <https://techstartups.com/2019/06/12/meet-hadrian-x-a-bricklaying-robot-that-can-build-a-house-in-three-days/>
- [20] Hadrián X. *Designing Buildings Wiki* [online]. Fastbrick Robotics [cit. 2019-11-21]. Dostupné z: https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Hadrian_X
- [21] JURČA, Martin. Stavební robot Hadrian X dokáže položit až 1000 cihel za hodin. *E15* [online]. VTM [cit. 2019-11-21]. Dostupné z: <https://www.e15.cz/magazin/stavebni-robot-hadrian-x-dokaze-polozit-az-1000-cihel-za-hodinu-1335604>
- [22] *RoboStav.cz: Laboratoř pro Robotizaci Stavebních Procesů* [online]. Praha: ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra technologie staveb [cit. 2019-11-21]. Dostupné z: <http://www.robostav.cz/robostav-projekty>
- [23] TH04010329 - Autonomní robotický stavební systém: (TAČR - Technologická agentura České republiky). *RoboStav.cz: Laboratoř pro Robotizaci Stavebních Procesů* [online]. Praha: ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra technologie staveb, 2019 [cit. 2019-11-21]. Dostupné z: <http://www.robostav.cz/robostav-projekt-tacr-2019>
- [24] Voda do betonu. *Stavební komunita* [online]. Pozemní-stavitelství [cit. 2019-11-21]. Dostupné z: <http://stavebnikomunita.cz/profiles/blogs/voda-do-betonu>
- [25] PFT LOTUS XL: kontinuální míchačka. In: *PFT* [online]. 2019 Knauf PFT [cit. 2019-12-04]. Dostupné z: https://www.pft.eu/www/cs/produkte/produktprogramm/horizontal_durchlauf

mischer/horizontal_durchlaufmischer.php?stein_id=203&system_id=79&lv_id=6&st=4#open

- [26] ŠMEJKAL, Daniel. Mýty o BIM: Co je a co není IFC?. *BIMfo* [online]. [cit. 2019-11-28]. Dostupné z: <https://www.bimfo.cz/Aktuality/Myty-o-BIM-Co-je-a-co-neni-IFC.aspx>
- [27] HŮRKA, Václav. *Průvodní dokumentace: Zdíci robot*. 1. Praha: BLUMENBECKER PRAG s.r.o., 2018.
- [28] *KUKA Robots: KR AGILUS sixx*. Augsburg: KUKA Roboter GmbH, 2015.
- [29] Jednopaprskové bezpečnostní světelné závory L28. *SICK: Sensor Intelligence* [online]. SICK AG, 2019 [cit. 2019-11-06]. Dostupné z: <https://www.sick.com/cz/cs/optoelektronicka-ochranna-zarizeni/jednopaprskove-bezpecnostni-svetelne-zavory/l28/c/g192069#selection>
- [30] SVOBODA, Pavel a Vyacheslav USMANOV. *Concept of a wall building industrial robotic system: ISARC 2011*. Praha: Secretariat PEOPLE-X, 2011. ISBN 978-89-954572-4-5.
- [31] Cemix-nanášecí válec. In: *ASB-portal* [online]. [cit. 2019-10-31]. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/zaklady-a-hruba-stavba/cihly-tvarnice/zdici-aspecialni-malty-aspojovaci-mustky/attachment/66031-5b433742661a2>
- [32] Vácel-SB. In: *Heluz* [online]. [cit. 2019-10-31]. Dostupné z: <https://www.heluz.cz/files/valec-sb>
- [33] Vácel-SBC. In: *Heluz* [online]. [cit. 2019-10-31]. Dostupné z: <https://www.heluz.cz/files/valec-sbc>
- [34] Nanesení lepidla. In: *Homebydleni* [online]. [cit. 2019-10-31]. Dostupné z: <https://homebydleni.cz/dum/stavebni-materialy/stavime-obvodove-zdi/attachment/08heluz/>
- [35] Zdění z broušených cihel na tenkovrstvé malty. In: *Stavba domu* [online]. [cit. 2019-10-31]. Dostupné z:

https://www.stavbadomu.net/rubriky/svepomoci/jak-na-to/zdeni-z-brousenych-cihel-na-tenkovrstve-malty_24892.html

- [36] Aplikační pistole na PUR pěny. In: *OBI* [online]. [cit. 2019-11-06]. Dostupné z: <https://www.obi.cz/zednicke-a-obkladacske-naradi-pokladka-podlah/aplikacni-pistole-na-pur-peny-m320-ultra-/p/3942612>
- [37] SAM100. In: *Construction Robotics* [online]. [cit. 2019-11-20]. Dostupné z: <https://www.construction-robotics.com/wp-content/uploads/2012/12/SAM100.jpg>
- [38] Fastbrick3. In: *Designing Buildings Wiki* [online]. Fastbrick Robotics [cit. 2019-11-21]. Dostupné z: <https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/File:Fastbrick3.jpeg.jpg>
- [39] 3D tisk nebo robotická stavba domu? Po 6000 letech se stavební technologie mění. In: *Bydlení12* [online]. FBR Limited [cit. 2019-11-21]. Dostupné z: <https://www.bydleni12.cz/3d-tisk-nebo-roboticka-stavba-domu-po-6000-letech-se-stavebni-technologie-meni/>
- [40] Robotické zdící pracoviště. In: *RoboStav.cz* [online]. ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra technologie staveb [cit. 2019-11-21]. Dostupné z: <http://www.robostav.cz/robostav-foto-video-galerie-inovovana-laboratorni-zkusebni-infrastruktura-doktorsky-program>
- [41] Průmyslový zdící robot. In: *RoboStav.cz* [online]. ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra technologie staveb [cit. 2019-11-21]. Dostupné z: <http://www.robostav.cz/robostav-foto-video-galerie-inovovana-laboratorni-zkusebni-infrastruktura-doktorsky-program>
- [42] Mortar Pump ZP3 XL - 400 V. In: *Kai-Trade* [online]. Spain: Kai-Trade [cit. 2019-12-04]. Dostupné z: <https://www.kai-trade.com/en/rendering/machines-render/pft-mortar/pft-zp3/mortar-pump-zp3-xl-400-v>

12 Seznam tabulek

Tab. 1: Nejčastěji uváděné parametry lepících směsí [autor].....	41
Tab. 2: vícekriteriální hodnocení technologií nanášení lepící směsi [autor]	76

13 Seznam obrázků

Obr. 1: Nanášecí válec pro celoplošnou maltu [32].....	13
Obr. 2: Aplikace malty pomocí nanášecího válce [33]	13
Obr. 3: Výsledná ložná spára [34].....	13
Obr. 4: Nanášení zubovým hladítkem [4].....	14
Obr. 5: Nanášení zubovou lžící [4].....	14
Obr. 6: Nanášecí válec pro maltu pro tenkou spáru [31].....	15
Obr. 7: Princip nanášení malty na žebra pomocí válce [30].....	16
Obr. 8: Výsledný povrch po nanesení malty [2]	16
Obr. 9: Princip namáčení tvárnic [2].....	16
Obr. 10: Namočená spodní ložná část tvárnice [2]	16
Obr. 11: Aplikáční pistole na PU pěnu [35]	17
Obr. 12: Princip zdění na PU pěnu [10]	18
Obr. 13: Maltovací truhlík [3].....	19
Obr. 14: Nanášení klasické zdící malty do truhlíku [7]	20
Obr. 15: Způsob nanášení malty [7].....	20
Obr. 16: HELUZ SIDI – tvárnice, aplikační váleček a kbelík [11]	21
Obr. 17: SIDI – nanášení malty do kříže [11].....	22
Obr. 18: SIDI – výsledná ložná spára [11]	22
Obr. 19: Termografický snímek – objekt z broušených tvárnic [14].....	24
Obr. 20: Termografický snímek – objekt z nebroušených tvárnic [autor]	24

Obr. 21: SAM100 – hlavní zdící modul [36]	25
Obr. 22: SAM100 – nanesení malty [18]	26
Obr. 23: SAM100 – umístění cihly [15]	26
Obr. 24: Hadrian X – vyzděný RD [38].....	27
Obr. 25: Hadrian X - vyložení 30 metrů [37].....	28
Obr. 26: Hadrian X – doplnění palety s cihlami [21].....	28
Obr. 27 Hadrian X – umístění cihly na požadované místo [38]	29
Obr. 28: Hadrian X – koncová hlava a výložník [38]	29
Obr. 29: BRONCO – zdící robot [18].....	30
Obr. 30: Robotické zdící pracoviště [39]	31
Obr. 31: Průmyslový zdící robot [40].....	31
Obr. 32: SW pro robotické zdění – vložení nového modelu	32
Obr. 33: SW pro robotické zdění – hlavní okno SW	33
Obr. 34: Vývojový diagram robotického zdění [http://www.robostav.cz/ - B482 - Laboratoř pro robotizaci stavebních procesů].....	34
Obr. 35: Vývojový diagram robotického nanášení malty [autor].....	35
Obr. 36: Ultrazvukový senzor pro měření rovinnosti [autor].....	36
Obr. 37: Laserový senzor pro měření vzdálenosti [autor]	36
Obr. 38: Princip kontroly rovinnosti podkladu laserovým a ultrazvukovým senzorem [http://www.robostav.cz/ - B482 - Laboratoř pro robotizaci stavebních procesů].....	36
Obr. 39: Vývojový diagram vstupujících prvků do technologického postupu nanášení lepicí směsi – malty [autor].....	38
Obr. 40: SW pro robotické zdění – šablony lepicích směsí [autor].....	39
Obr. 41: SW pro robotické zdění – informace uvedené v šabloně lepicí směsi [autor].....	40
Obr. 42: Schéma výpočtového modelu [autor].....	42

Obr. 43: Schéma ložné spáry [autor]	44
Obr. 44: PFT LOTUS XL – řídicí jednotka [25].....	47
Obr. 45: PFT LOTUS XL – řez zařízením [25]	47
Obr. 46: Sestava míchacího zařízení PFT LOTUS a dopravního zařízení PFT SWING [41].....	48
Obr. 47: Zkušební 3D BIM model objektu (ArchiCAD) – 2D půdorysné zobrazení [autor].....	49
Obr. 48: Zkušební 3D BIM model objektu (ArchiCAD) – 3D zobrazení [autor]	49
Obr. 49: Zkušební 3D BIM model objektu (ArchiCAD) – obvodové stěny [autor]	50
Obr. 50: Zkušební 3D BIM model objektu (ArchiCAD) – vnitřní nenosné stěny [autor].....	50
Obr. 51: SW pro robotické zdění – IFC šablony [x].....	51
Obr. 52: IFC soubor zkušebního modelu [autor]	51
Obr. 53: SW pro robotické zdění – konvertor [X].....	52
Obr. 54: Schéma robotického pracoviště [27]	53
Obr. 55: Hlavní komponenty – Kuka Agilus Kr 10 R110 [28]	54
Obr. 56: Osy robota Kuka Agilus Kr 10 R110 [28].....	55
Obr. 57: Řídicí sestava [28]	55
Obr. 58: Schéma robota Kuka Agilus Kr 10 R110 [27].....	56
Obr. 59: Greifer přísavka [27].....	57
Obr. 60: Pásová pila [27]	58
Obr. 61: Dokovací stanice [27].....	58
Obr. 62: Světelná závora SICK L28 [autor].....	60
Obr. 63: Světelná závora SICK L28 [autor].....	60
Obr. 64: Greifer nanášeč malty [27]	62

Obr. 65: Greifer nanášeč – sestava [autor]	63
Obr. 66: Greifer nanášeč – rychlovýměna [autor]	63
Obr. 67: Rhinoceros 3D – pohledy na model [23]	64
Obr. 68: Rhinoceros 3D – 3D model [23]	64
Obr. 69: Grasshopper – umístění robota naprogramované v jazyce VPL [23]	65
Obr. 70: Zkouška 1 - etapa 1 – vytlačení do nádoby [autor]	70
Obr. 71: Zkouška 1 – zadřený vytlačovací píst [autor]	71
Obr. 72: Zkouška 1 – nanesení na tvárnice [autor]	71
Obr. 73: Uzavírací klapka – drážka [autor].....	71
Obr. 74: Zkouška 2 – aplikační zařízení [autor].....	72
Obr. 75: Zkouška 2 – průběh nanášení pěny [autor].....	73
Obr. 76: Zkouška 2 – nanesené „housenky“ [autor]	73
Obr. 77: Zkouška 2 – uložení další řady tvárnic [autor].....	73
Obr. 78: Zkouška 3 – robotické pracoviště pro namáčení [autor].....	74
Obr. 79: Zkouška 3 – namáčení tvárnice [autor]	75
Obr. 80: Zkouška 3 – uložení namočené tvárnice [autor].....	75
Obr. 81 Zkouška 3 – uložení namočené tvárnice [autor].....	75

14 Seznam příloh

Příloha č. 1 – zdrojový kód