

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

FAKULTA STAVEBNÍ



**DIPLOMOVÁ
PRÁCE**

**MODELOVÁNÍ TECHNOLOGICKÝCH
PROCESŮ ZA ÚČELEM ROBOTICKÉHO
ZDĚNÍ**

2019

**BC. JAN
ILLETŠKO**

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Illetško Jméno: Jan Osobní číslo: 438158
Zadávací katedra: Katedra technologie staveb
Studijní program: Stavební inženýrství
Studijní obor: Příprava, realizace a provoz staveb

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Modelování technologických procesů za účelem robotického zdění

Název diplomové práce anglicky: Modeling of technological processes for the purposu of robotic masonry

Pokyny pro vypracování:

Stávající úroveň technologie v České republice a ve světě

Problematika zapojení robotů do procesu stavby

Technologické aspekty robotického a ručního zdění

Model provádění robotického zdění pomocí SW a praktická ukázka

Multikriteriální vyhodnocení zdění robotem versus člověkem

Seznam doporučené literatury:

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

SVÍTEK, M., BORKA, J., VLČEK M.: Modelování systémů a procesů. Praha: ČVUT v Praze, 2001. 135 s. ISBN 80-01-02361-3.

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

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

Datum zadání diplomové práce: 24.9.2019 Termín odevzdání diplomové práce: 5.1.2020
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)

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V Praze dne

..... Bc. Jan Illetško

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Vjačeslavovi Usmanovi, Ph.D. za pomoc při provádění experimentů s robotickým zděním, odborné rady a vedení v průběhu celé práce. Dále bych rád poděkoval katedře technologií za poskytnutí pracovního místa a také podpoře z projektu TAČR - TH04010329.

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá modelováním a technologií robotického zdění, jejím účelem je navrhnout technologického postupu robotického zdění a následné provedení praktické ukázky řezání cihel nebo tvárnic pomocí robota a stavební pily, zdění pomocí robota suchou vazbu, zdění pomocí robota na vazbu s použitím pojiva. Dále se práce zaměřuje na multikriteriální vyhodnocení mezi zděním robotem a zděním lidskou silou.

KLÍČOVÁ SLOVA

stavební robot, robot, technologie, modelování, stroj, zdivo, cihla, tvárnice

ABSTRACT

This diploma thesis deals with modeling and technology of robotic masonry, its purpose is to design the technological process of robotic masonry and then perform practical demonstration of cutting bricks or blocks using a robot and sawmill, dry masonry using a robot, masonry on mortar using robot. Furthermore, the thesis focuses on multicriterial evaluation between masonry by a robot and humanmade masonry.

KEY WORDS

construction robot, robot, technology, models, machine, masonry, brick, blocks

1	Úvod.....	9
2	Rešerše.....	10
2.1	Historie cihel a jejich zdění	10
2.1.1	První známky o cihle	10
2.1.2	Románské období	11
2.1.3	Gotické období.....	12
2.1.4	Renesanční období.....	13
2.1.5	Barokní období	13
2.1.6	První polovina 19. století	14
2.1.7	Druhá polovina 19. století.....	14
2.1.8	20.století.....	14
2.1.9	Moderní výroba cihel a tvárnic.....	15
2.2	Problematika zapojení robotů do procesu stavby	16
2.2.1	Historie stavebních robotů	16
2.2.2	Průmysl 4.0	18
2.2.3	Stavebnictví 4.0	19
2.2.4	BIM.....	19
2.2.5	Příklady stavebních robotů v dnešní době	20
3	Technologie zdění.....	24
3.1	Zdicí systém Porotherm.....	24
3.2	Zdicí systém YTONG.....	26
3.3	Technologie zdění robotem	29
3.3.1	Zdicí robot KUKA Agilus Kr 10 R110	41
3.3.2	Bezpečnost práce	53
4	Modelování	57
5	Praktická ukázka	65
5.1	Cíl experimentů.....	67
5.2	Experiment č.1	68
5.3	Experiment č.2	72

5.4	Experiment č.3	78
6	Multikriteriální vyhodnocení	83
7	Závěr	85
8	Zdroje.....	87

1 Úvod

V této práci se spolu pokusíme rozklíčovat odpovědi na otázky, jako jsou: „Lze zapojit robota do výstavby?“. „Je možné, aby robot vyzděl to, co jsem já sám navrhl?“. „A jak si takový robot povede ve srovnání s člověkem?“. Vyspělé technologie jsou velkou součástí našeho dnešního života, denně pracujeme na počítačích, malé počítače si sebou nosíme v kapsách celý den v podobě mobilních telefonů. V kuchyních domácností se roboti objevují už několik let a není to nic překvapivého. Dokonce se v některých domácnostech podlahy luxují malými, kulatými roboty, které známe z reklam.

Ve strojním průmyslu, v lékařství, v dopravě, ve vojenském průmyslu se roboti běžně objevují už několik desítek let. Proč je stavebnictví výjimkou? To je jedna z dalších otázek, na kterou se pokusím odpovědět v této práci. Technologiemi jsem byl posedlý už od malička, práce s počítači a všemi možnými novými vymoženostmi mě vždy velice zajímaly. Což je jeden z důvodů, proč jsem si vybral tuto práci, dalším důvodem je to, že stavebnictví oproti ostatním průmyslům spíše stagnuje nebo je jen lehce na vzestupu. Proto si myslím, že je důležité se zabývat tím, jak je možné výstavbu objektů zautomatizovat pomocí robotů. V poslední době se v této oblasti hlavně rozmohl 3D tisk pomocí robota, ale právě proto, že už na této technologii pracuje velké množství lidí, rozhodl jsem se zaměřit na technologii zdění robotem, modelování modelů a automatizaci celého procesu zdění pomocí robota.

Cílem této práce je navrhnout pracovní postup robotického zdění včetně vývojových diagramů. Vytvořením modelu vyzdívané konstrukce, který se následně aplikuje na experimentech, budou vyzkoušeny všechny hlavní kroky procesu zdění. Prvním experimentem bude nařezání cihel na potřebné rozměry dle tvaru a skladby konstrukce. Druhým experimentem bude vyzdění dané konstrukce s už nařezanými prvky na suchou vazbu a jako poslední experiment bude provedeno zdění s aplikací lepících směsí. Následně bych chtěl porovnat zdění pomocí robota versus zdění za pomoci lidské síly.

2 Rešerše

2.1 Historie cihel a jejich zdění

V této části diplomové práce byla prozkoumána historie zdění a historie materiálů, které se ke zdění používaly v minulosti a které se používají dnes.

2.1.1 První známky o cihle

První známky o cihle se vyskytly nejméně před 6 000 lety, jednalo se o cihly sušené na slunci. Cihly se dělaly tak velké, aby bylo možné je přenášet pomocí rukou.



Obr. 1 Comalcalco, Mexiko: Mayská cihlová pyramida, převzato od [14]

První skutečný oblouk (první náznak klenby) postavený ze sluncem upečených cihel, je datován až k roku 4000 před naším letopočtem ve městě Ur v Mezopotámii, (na území dnešního Iráku), oblouk do dnešní doby nepřežil, ale zachovaly se odkazy na první malty jiné než bláto a to na bitumenový sliz. [4]

Další světově známou stavbou postavenou z cihel pálených nebo sušených na slunci je Velká čínská zeď, která byla postavena 210 let před naším letopočtem.



Obr. 2 Velká čínská zeď, převzato od [5]

První použití zdiva z cihel v Římě byla rekonstrukce Pantheonu 123 let př.n.l. s neobvyklou cihlovou a betonovou kopulí o průměru 43 metrů a Hadriánské lázně, kde pilíře vyrobené z terra-cotty podporovaly podlahy vyhřívané ohněm. [4]

2.1.2 Románské období

Jako jeden z prvních materiálů se v minulosti používal tesaný kámen, který se využíval ve zdivu s lícem z pravidelných kvádrů tesaného kamene. Tento typ zdiva se v románských stavbách považoval celosvětově za ideál. Ve světě se nejčastěji tesaný kámen vyskytoval v podobě světlého pískovce, vápence a mramoru. V našich končinách se nejčastěji používala světlá opuka, která se vyznačovala jednoduchou opracovatelností. [1,2]

Románské zdivo se kladlo řádkově, kvádríkově a kvádrově. Tento způsob kladení se vyznačoval tím, že se snaží klást prvky stejné výšky v celé jedné řadě, kde výška

dalšího řádku může být odlišná. Zdi v tomto období byly široké a několika násobně předimenzované. [1,3]



Obr. 3 románské zdivo v kostele sv. Petra a Pavla v Praze 8 Bohnicích, převzato od [6]

Zvláštností tohoto období je zdivo zvané hlízové, které se lišilo velikostí použitých kvádrů, které měli přírodně vyboulenou čelní stěnu. Tento typ zdiva byl použit až na pozdně románských stavbách císařské falce v Chebu. [1]

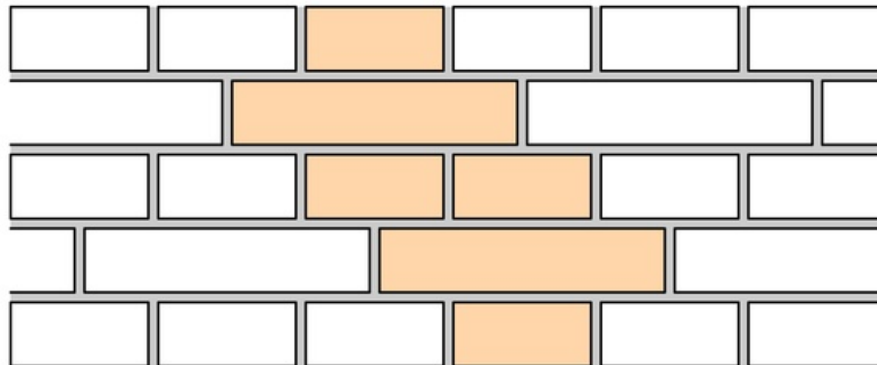
2.1.3 Gotické období

V tomto období se nadále využívalo tesaného kamene, jako ideálního stavebního prvku. Na rozdíl od románského období se v gotickém období využívalo kvalitnější malty, ale i pomocných vložek z barevných kovů, nejčastěji z olova. [1,2,3]

Tam kde se nevyskytoval dostatek kamene, tam se začíná více a více používat cihel vyrobených z pálené hlíny. Tyto cihly byly oproti pozdějším druhům silnější, a to až o 8 a více cm. Zdivo z cihel se provádělo se snahou o pravidelné sestavy s běhouny a vazáky. Střídání vazáků a běhounů ve vzájemném posuvu ve vrstvách, navazujících na základní křížovou vazbu. Kromě cihel se začínají vyrábět i různé tvarovky (např. cihly s oblounem nebo výžlabkem), které byly využívány v konstrukci domovních štítů a skeletové vylehčených objektů. [1,2,3]

2.1.4 Renesanční období

Nástup tenkostěnných omítaných konstrukcí zapříčinil úpadek ve využití tesaného kamene a rozvoj ve využití cihlového zdiva. [1]



Obr. 4 Křížová vazba, převzato od [4]

Rozvoj přichází z rukou vlašských zedníků, především pro klenby a běžné zdivo. Cihly se zmenšují a zplošťují. Objevují se nové prvky, které se vyznačují barevností např. terakota, majolika a glazované cihly. Nadále se využívá křížové vazby střídáním vazáků a běhounů. [1,2,3]

Klenba nadále zůstává základním stavebním prvkem, mezi nejoblíbenější patří klenby uzavřené, které poskytují dostatek místa pro malby, dále klenby valené s lunetami, klášterní, zrcadlová, placka a klenba melounová. [2,3]

Klenba nepřenáší žádné tahové zatížení. Přenáší pouze tlak v průřezu klenby a tím vyvozuje šikmé tlaky do podpor, které musí být podepřeny masivními opěrami. [1]

Klenby se využívaly, jelikož jsou schopné zastropit velká rozpětí, mají dlouhou životnost, a hlavně v kostelech a dalších budovách kde se seskupují lidé, pomáhá s akustikou. [1]

2.1.5 Barokní období

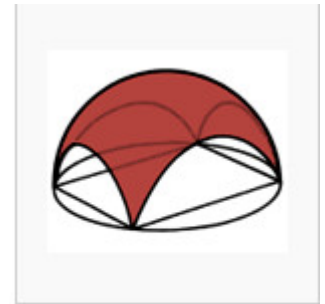
Cihlové zdivo se stává více a více populární, začínají se stavět objekty, které jsou zděné výhradně z cihel např. raně barokní hradby v Praze. Hradba byla cihlová s armaturami z tesaného kvádrů. [1]

Pro klenby se nadále používají plošší a širší formáty cihel, za to pro zdivo se používaly dva formáty. Jeden formát byl „rakouský“ 30/15/7,5 cm a druhý „německý“ 25/12,5cm. [1]

2.1.6 První polovina 19. století

Cihlové zdivo se stává nejčastěji používaným typem zdiva vytlačující dřevěné konstrukce, kvůli větší životnosti materiálu a lepší požární odolnosti. Na základě toho bylo vyhlášeno všeobecné povolení pálit cihly na vlastním pozemku. Pro výstavbu nových vesnic byly vystavěny nové místní cihelny. [1]

Nejčastěji se cihly využívaly v konstrukcích plackové klenby. Dále se rozvinula výroba prefabrikátů na výzdobu průčelí domů, parapetů a hlavice pilastrů. [1]



Placková klenba

Obr. 5 Placková klenba, převzato z [8]

2.1.7 Druhá polovina 19. století

Režné cihly se uplatňují nejdříve na venkově, u většiny těchto staveb bylo původně navrženo omítnutí zdí, ke kterému nakonec nedošlo. A to díky fyzickému i výtvarně kvalitnímu povrchu. Režné cihly se uplatnily i např. u výstavby kostela J. Mockera. [1]

Uplatnění cihel se dále rozšiřuje a jedním z důvodů je výstavba vícepatrových domů. A dále se hojněji využívají jako designové prvky fasády. [1]

V roce 1850 v Německu se poprvé objevila Hoffmanova pec, která změnila průmysl vyrábění zdění a to tím, že v ní bylo možné kontinuálně vypalovat cihly 24 hodin denně, 365 dní v roce a některé tyto pece sloužily až po dobu 50 let. [17]



Obr. 6 Kostel sv. Prokopa v Praze na Žižkově, převzato z [9]

2.1.8 20. století

Ve 20. století dochází k automatizaci výroby cihel a těžení materiálu na jejich výrobu. Při těžení jílu se stále více a více využívají buldozery dumpery a rypadla. Další velký dopad do oblasti výroby cihel měla změna způsobu výroby energie, kdy na začátku 20. století se stále využívalo parních strojů. Postupem času páru nahrazuje nejdříve spalovací motor a nakonec elektřina. [17]

Ke konci 20. století začínají být systémy cihláren operovány počítači a manipulace s cihlami se provádí za pomoci strojů. [17]

Největší změnou v organizaci práce cihláren je centralizace všech procesů pod jednu střechu, zatímco v předchozích obdobích je každý proces veden v samostatné budově. V jednom objektu se dají procesy lépe kontrolovat a koordinovat. V takovýchto halách se vyvíjejí i samostatné pece, které se z kruhových mění na tunelové. Tunelové pece umožňují ještě větší objem výroby. Cihly se v peci nejdříve zahřívají, uprostřed pece se pomocí plynových trysek vypalují a následně pomalu chladnou a vyjíždějí ven. [17]

2.1.9 Moderní výroba cihel a tvárnic

Nejdůležitější surovinou pro výrobu cihel/tvárnic je jíl, proto se cihlářny v dnešní době stavějí v místech naleziště jílu. V cihlách jsou zastoupeny i další suroviny, které jsou přidávány za účelem odlehčení jako jsou např. dřevěné piliny. [20]

Namíchané suroviny putují po dopravnících do „hrubého válce“ a z něj putují do „jemného válce“, kde se materiál umele na zrnka maximální velikosti 0,8 mm. Odsud se materiál přesune do druhé haly, kde je uložen do velkých zásobníků. Zde je možno skladovat připravený materiál pro lisování, i v případě, že je provoz lisování v další hale pozastaven. [20]

Do směsi se přidá voda a je možno ji lisovat. Z lisu vyjíždí dlouhý pruh, který se nařeže pomocí ocelového drátu na jednotlivé cihly, které pokračují do sušárny. Typ cihly se dá měnit dle použité matrice v lisu, což je ocelová forma s otvory, kterými se hlíny protlačí. [20]

V sušárně je na začátku teplota 40°C a 90 % vlhkost. Vozíky naplněné materiálem postupují dále do sušárny, která je dlouhá přibližně 70 m. Na konci sušárny je teplota 80°C a vlhkost 3 %. [20]

Vysušené cihly se přeloží na vozíky, které putují do pece, kde se vypálí. A protože v dnešní době je většina cihel broušených, cihly se vyrobí o 6 mm větší a z pece putují do brusky, kde se rovnáním zmenší o 6 mm. [20]

Následně se cihly zabalí do folie a vyskládají na palety a jsou připraveny na expedici. V takovéto cihlářně je možné vyrobit 10 000 kusů cihel za den. [20]

2.2 Problematika zapojení robotů do procesu stavby

V této části je popsána ve zkratce historie robotů a jejich vývoje a dále se práce zaměřuje na výhody a nevýhody zapojení robotů ve stavebnictví.

2.2.1 Historie stavebních robotů

V osmdesátých letech v důsledku velkého robotického rozmachu v Japonsku, kdy se automatizace a technologie robotů rozšířily ve všech průmyslových odvětvích, se začíná mluvit o technologii použitelné ve stavebním průmyslu. Dokonce samotná vláda Japonska zahajuje propagaci a vylepšení technologie STCRs – stavební roboti s jedním úkolem. Dalším důvodem byl nedostatek kvalifikovaných pracovníků ve stavebním průmyslu. Na konec se v Japonsku v roce 1978 zřídilo sdružení průmyslových robotů JARA, která pod vedením profesora Yukia Hasagawu analyzovala aplikaci a vývoj automatizovaných a robotických systémů a jejich využití ve stavebnictví. [10]

Takovýto trend následoval u mnoha univerzit. Například univerzita Waseda, kde legendární skupina WASCOR začala vyvíjet automatizovanou a robotickou konstrukční technologii pomocí interdisciplinárního mezisektorového přístupu. [10]

V roce 1983 si Architekturní ústav Japonska (AIJ) dal za úkol výzkum materiálů a technologických postupů pro robotickou automatizaci. Důvody pro spolupráci mezi státními institucemi a soukromými společnostmi byly nízká produktivita ve stavebnictví, pořád se zvyšující nedostatky ve zpracování jednotlivých prvků, špatné pracovní podmínky. Tyto důvody dovedly stavebnictví v Japonsku ke zlepšení jeho pověsti ve společnosti a ke zlepšení pracovního prostředí pro pracovníky v tomto odvětví, které vyústilo k velkému postupu ve vývoji STCR, následně k rozvoji automatizovaných robotických systému ve stavebnictví. [10]

Na Tab.1 níže je graficky znázorněna časová osa sedmdesátých, osmdesátých a devadesátých let na které je zobrazeno zapojení jednotlivých státních institucí, soukromých společností a univerzit. Všechny uvedené organizace pochází z Japonska.

	1970's	1980's	1990's
JARA	Initiation & Concept		Surveys & Research
Waseda university		WASCOR1	WASCOR2, WASCOR3, WASCOR4
University of Tokyo	R&D in Prefabrication	R&D Robot-oriented Design/Structured Environments	
MOC		Use of Mechatronics in	R&D & Technology
AIJ		Surveys & Research	
BCS		Surveys & Research	
ACTEC		Surveys & Research in Robot Technology	
JSCE		Surveys, Research & Training	
Conferences		Scientific Conferences, Symposia & Proceedings -> IAARC/ISARC	
Contractors		Involvement of R&D institutes: Shimizu, Fujita, Obayashi, Taisei, Kajima, Takenaka	

Tab. 1 Časová osa ukazující zapojení jednotlivých institucí ve vývoji STCR's, převzato z [10]

2.2.2 Průmysl 4.0

Průmysl 4.0 je označení pro další stupeň průmyslové revoluce, od které se očekává, že sebou přinese digitalizaci, automatizaci výroby a propojení všech fyzických aktiv do digitálního ekosystému. Který bude propojovat širokou síť řady nových technologií za účelem vytvoření jakési hodnoty. [12]



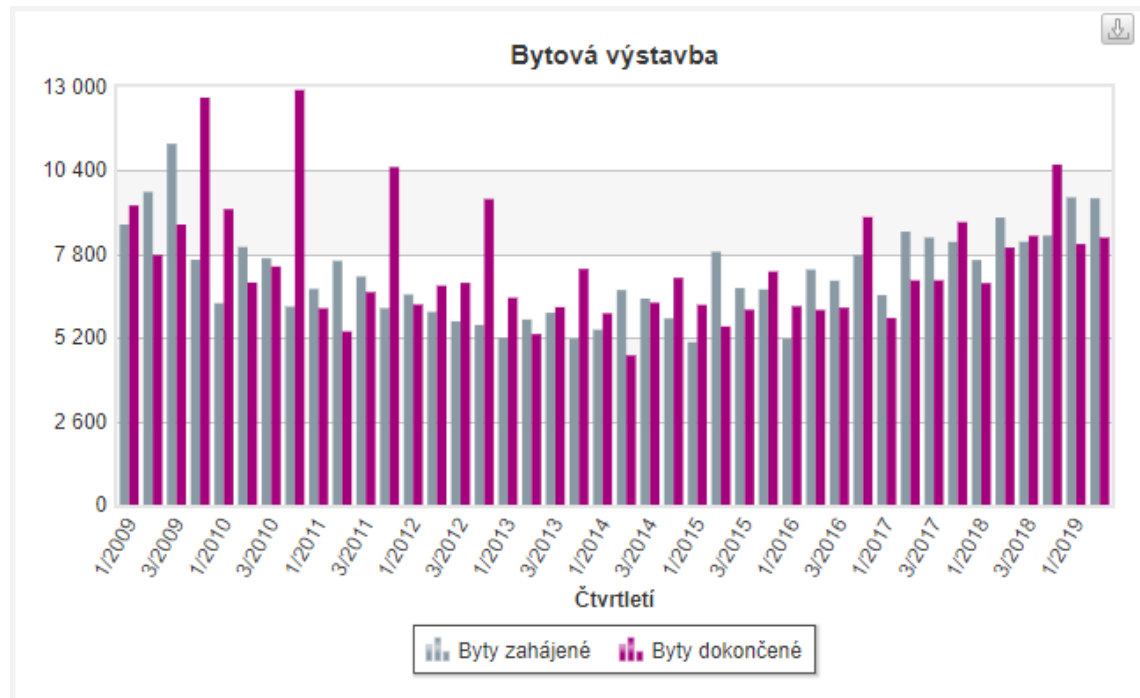
Obr. 7 Časová osa průmyslových revolucí, převzato z [11]

Průmysl 4.0 je poháněn třemi základními body:

- „*Digitalizace a integrace vertikální a horizontální hodnotových řetězce*“
 - Vertikálně digitalizuje a integruje procesy přes celé organizace od myšlenky výrobku, k jeho výrobě až po jeho uvedení do provozu a servis. Všechny datové informace o výrobku jsou přístupny v reálném čase, což umožňuje jednoduché plánování výroby. Horizontální integrace zastupuje technologii sledovat zařízení také v reálném čase od integrovaného plánování po realizaci.
- „*Digitalizace produktu a nabídka služeb*“
 - Hlavní myšlenkou této části, je shromažďovat informace o produktu, kde se hodnotí jeho využití na trhu, spokojenost zákazníků, nabídku a poptávku po produktu. Následně produktu zdokonalovat na základě těchto shromážděných informací.
- „*Digitální obchodní modely a zákaznický přístup*“

- Rozšíření nabídky poskytovaných digitálních řešení, jako kompletní služby. [12]

2.2.3 Stavebnictví 4.0



Obr. 8 Stavební produkce, převzato z [19]

Stavebnictví je daleko pozadu na rozdíl od ostatních technických odvětví. Produktivita práce ve stavebnictví roste jen pozvolna, důvody pro tento trend jsou nejspíše stále rostoucí nároky na stavby a technologie použité v takovýchto stavbách. Jedním z dalších důvodů je využití pracovní síly s nízkou produktivitou. [13]

Na obrázku č.8 vidíme meziroční pokles očištěný o pracovní dny o 2,4 % [19]

Jednou z hlavních podmínek, kterou bude nutno zajistit, k tomu, aby na staveništích mohla být zapojena automatizovaná robotická výroba, bude digitalizace. A to hlavně za využití prostředí BIM (informační model budovy). Dalším důvodem zavedení digitalizace je bezpečnost práce, kdy při automatizované robotické výrobě by mohla dramaticky stoupnout. Eliminována by se také těžká práce pro člověka, nemusel by přenášet těžká břemena, oproti tomu robot je schopný těžké práce s větší přesností. A nakonec dojde k odstranění vlivu počasí, který robota nijak neovlivňuje. [13]

2.2.4 BIM

Je informační model budovy, což znamená, že umožňuje výměnu informací během návrhu projektu, jeho výstavby a následně jeho užívání až do konce životního

cyklu budovy nebo jinými slovy až do demolice budovy. V rámci BIM je snadnější vytvořit projekt, který je ekonomičtější, ekologičtější a kompaktnější. BIM umožňuje kontrolovat kolize mezi jednotlivými profesemi a dojít k jejich řešení už během fáze projektování. [14]

„Hlavní výhody“

- *Zvýšení produktivity práce*
- *Úspora času*
- *Eliminace chyb*
- *Kontrola nad celým projektem*
- *Vyšší konkurenceschopnost*
- *Vyšší ziskovost projektů [14]*

„Hlavní nevýhody“

- *Náročná implementace*
- *Větší nárok na profesionalitu personálu*
- *Koupeč potřebného softwaru a hardwaru*

2.2.5 Příklady stavebních robotů v dnešní době

Zde si projdeme několik příkladů stavebních robotů, kteří jsou ve vývoji v dnešní době. Zděné konstrukce jsou i nadále velmi populární, hlavně pro menší budovy, jako jsou rodinné a bytové domy. I když vývoj robotů, kteří by byli schopni vytvářet cihelné konstrukce zmizel na téměř deset let a byl zastíněn vývojem robotů, kteří jsou schopní 3D tisku, jejich vývoj se v poslední době zase začíná probouzet k životu. A to hlavně díky novým koncepčním přístupům společnostmi Fastbrick Robotics a Construction Robotics. Zmíněným společnostem se povedlo vyvinout obchodovatelné a velice funkční roboty pro zděnou výstavbu. [21]

SMAS – Systém montáže pevných materiálů

Sytém byl vyvinut Japonským výzkumným ústavem pro automatizaci stavby konstrukčních a nestrukturálních stěn na staveništích. Tento systém se skládá z mobilní základny, manipulátoru, koncového efektoru, který je přizpůsobený pro různé komponenty. Robot tohoto systému funguje tak, že se přesune na paletu, kde zvedne stavební blok, přesune ho na místo k uložení v konstrukci, a nakonec zašroubuje šroub do matice na podložním stavebním bloku, šroub slouží jako vertikální výztuž. Díky šroubování výztuže se blok srovná do správné pozice. Když je zeď vybudována slouží jako bednění a je vyplněna betonem. [21]

Stavební robot BRONCO

Tento robot byl vyvinut Ústavem technologie pro obráběcí stroje a výrobní systémy na univerzitě ve Stuttgartu. Systém se skládá z pásové pohyblivé základny, koncového efektoru, který je navržen pro uchopení cihel a platformy, která je schopná aplikovat maltu. Robot přemisťuje cihly pomocí vakuového sacího systému.

Robot přesune cihlu ze standartní palety na multifunkční technologickou jednotku, kde cihlu změří a nanese na ní maltu. Nakonec se cihla vystředí. Zatímco robot při přenosu cihly z palety na multifunkční jednotku uchopí cihlu za konec cihly, při montáži cihly do konstrukce je cihla uchopena uprostřed ze strany. Tím je možno uložit cihlu přesněji do konstrukce. [21]



Obr. 9 Stavební robot BRONCO, převzato z [21]

Robotický konstrukční systém pro počítačově integrovanou konstrukci

Vyvinuto univerzitami Lissmac a Karlsruhe. Systém obsahuje integrované řešení informačních a komunikačních technologií pro všechny kroky od architektonického návrhu až po automatickou montáž prvků na staveništi. [21]

Robot je schopen ve fázi přípravy generovat potřebná data pro prefabrikaci a přizpůsobení zděných bloků. Na základě modelu budovy v CADu se stěny rozdělí do nezbytných bloků. Dále se automaticky vypočítají optimální pracovní polohy robota a zároveň optimální polohy palet a bloků na paletách. Na základě těchto informací je možné vyrobit a připravit palety standardních bloků a bloků nařezaných. Uživatelské rozhraní je graficky interaktivní, což umožňuje částečně přeprogramovat generované pohyby robota pro případné úpravy. [21]



Obr. 10 Stavební robot ROCCO, převzato z [21]

Stavební robot Hadrian

Vývojářem tohoto systému je už předem zmiňovaná společnost Fastbrick Robotics, což je australská start-up společnost. [21]

Robot funguje tak, že jeho součástí je zásobník, kde se dají ukládat standardní palety na cihly. Z tohoto zásobníku tři manipulátory přesouvají cihly do logistického systému založeného na řetězech. Tento logistický systém pracuje nepřetržitě a transportuje cihly přes



Obr. 11 Stavební robot Hadrian, převzato z [21]

výložník do koncového efektoru, který umísťuje cihly na své místo. Předtím než jsou cihly přepraveny do koncového efektoru je na cihly aplikován beton. Součástí robota je laserový naváděcí systém, který umožňuje autonomní navigaci a polohování prvku s přesností až $\pm 0,5$ mm. [21]

Poloautomatický systém zdiva SAM

Vyvinuto americkou společností Construction Robotics. Tento robotický systém je schopen efektivně, bezpečně a přesně klást cihly. [21]

Robot skládá se z hlavního modulu, který obsahuje další podsystémy jako je podávání materiálu pro maltu a cihly, bezpečnostní systémy, které jsou schopny přerušit práci robota, kvůli hrozící kolizi mezi robotem a konstrukcí nebo člověkem. Dále součástí robota je mobilní platforma pro horizontální pohyb, zvedací plošinu, a nakonec řídicí a softwarový systém. [21]

Systém funguje tak, že je hlavní modul umístěn na zvedací plošině, kde se může pohybovat ve vodorovném směru a klást cihly jedné vrstvy. Poté se plošina zvedne o výšku jedné vrstvy a celý proces se opakuje pro další vrstvu znovu. [21]

Cihly musí být do dopravníků naloženy ručně, poté jsou jednotlivě vyzvednuty robotem, a přesunuty do zařízení pro dávkování malty, kde je malta nanášena z jedné nebo z dvou stran podle potřeby. Pomocí laserového snímacího systému koncový efektor umístí cihly s vysokou přesností. [21]



Obr. 12 Hlavní mobilní modul stavebního robota SAM, převzato z [21]



Obr. 13 Hlavní modul umístěn na zvedací plošině, převzato z [21]

3 Technologie zdění

V této části je popsána současná technologie zdění člověkem podle použitých materiálů od nejvýznamnější výrobců cihel a tvárnic. Následně je uvedeno, jak by takové zdění probíhalo s robotem.

3.1 Zdicí systém Porotherm

První vrstva cihel se zakládá na vodorovnou souvislou vrstvu malty s minimální tloušťkou 10 mm. Malta pro založení zdiva se nejčastěji volí Porotherm AM, která je speciální vápenocementovou maltou. Malta se vyrovná pomocí nivelačního stroje a hliníkové lať dlouhé 2 m. Tloušťka maltového lože by měla být stejně široká jako tloušťka vyzdíváné stěny. [15]



Obr. 14 Příprava maltového lože na položení první vrstvy cihel, převzato z [15]

Pro vytvoření 10 mm maltové vrstvy se využije prvního přípravku vyrovnávací soustavy, který se umístí na nejvyšší bod základů, kde se vyrovná podle zabudované vodováhy do vodorovné polohy a nastaví se tak, aby vyznačoval 10 mm. Poté se do přípravku upevní lať, na kterou se upevní čtecí zařízení, podle kterého laserový nivelační přístroj určí místo druhého přípravku vyrovnávací soustavy. [15]



Obr. 15 Nastavení přípravku vyrovnávací vrstvy, převzato z [15]

Po nastavení obou přípravků je možno nanášet maltu, která se urovná hliníkovou latí. Takto se udělá první úsek maltového lože a následně se zařízení přesune na další úsek a proces se celý znovu zopakuje. [15]

Zdění obvodových stěn se začíná v rozích, osazením rohových cihel a pokračuje se směrem doprostřed dle zednické šňůry, která je natažena mezi rohové cihly. Při osazování první vrstvy cihel je důležité, aby výškový rozdíl mezi dvěma sousedními cihlami nepřesáhl 0,5 mm. [15]



Obr. 16 Osazení první vrstvy cihel, převzato z [15]

Další vrstvu cihel je možné klást dvěma způsoby. První způsob je kladení cihel do malty, která se nanáší pomocí nanášejícího válce. Malta se dávkuje v dávkovacím zařízení válce, odkud se dostává při rovnoměrném pohybu válce na ložnou plochu cihel vrstvy pod ní. Při tomto způsobu nanášení malty se malta nanese pouze na žebra cihel ložné spáry. [15]



Obr. 17 Nanášení malty pro další vrstvy pomocí nanášecího válce, převzato z [15]

Druhý způsob je nanesení malty na celou ložnou plochu cihel. To se provede tak, že se ložná plocha navlhčí, odstraní se prach a nečistoty. Malta se nanese pomocí maltovacího vozíku, který se po cihlách pohybuje na kolečkách. A stejně jako u prvního způsobu se malta dávkuje do dávkovacího zařízení vozíku odkud se rovnoměrným pohybem rozprostírá na ložnou plochu předešlé vrstvy. [15]



Obr. 18 Nanášení malty pomocí maltovacího vozíku, převzato z [15]

Cihly lze také klást do zdící pěny Dryfix, která se nanáší pomocí pistole s dávkovací dózou. Tento způsob je zřejmě méně pracný než zdění do zdící malty. Před použitím pistole se dóza musí minimálně 20x protřepat a následně našroubovat na pistoli. Cihly se do pěny musí pokládat nejpozději do 3 minut po nanesení pěny. [15]



Obr. 19 Nanášení zdící pěny, převzato z [15]

Všechny zdící prvky se dají dělit např. pro vytvoření zdiva pro ostění oken nebo dveří. Zdivo se řeže na stavební pile. [15]

3.2 Zdíci systém YTONG

Před započítím zdění obvodového zdiva z tvárnice YTONG se musíme přesvědčit, že je na základě provedená hydroizolace a že povrch je rovinný, a to s maximální odchylkou ± 25 mm. [16]

Prvně se pokládá tvárnice v nejvyšším rohu základové desky, a to pery k vnějšímu líci. Tvárnice se takto provedou ve všech rozích. Tvárnice ukládáme do maltového lože Ytong zakládací malty tepelněizolační a to tak, že malta musí být v celé ploše tvárnice a s minimální tloušťkou 10 mm. Také je důležité dodržet správnou konzistenci malty, která se po rozprostření neroztéká a po usazení tvárnice ji můžeme korigovat v obou směrech.[16]



Obr. 20 Ukládání rohové cihly do maltového lože, převzato z [16]

Po provedení všech rohových tvárnic je nutné provést výškovou kontrolu ve všech rozích ideálně za použití nivelačního přístroje nebo rotačního laseru.[16]

Mezi rohovými tvárnici se natáhne zednická šňůra, podle které se bude zdít první řada tvárnic.[16]

Stejně jako rohové tvárnice se první řada zakládá do tepelněizolační malty Ytong. Rovinnost první řady se kontroluje vodováhou nebo latí s minimální délkou 1 m. Tvárnice se na své místo usadí poklepem gumovou paličkou.[16]

Další řada tvárnic se také začíná zdít od rohů osazením tvárnice pery ven. Postup se opakuje jako u první řady. To znamená, že před nanesením už normální zdící malty Ytong musíme povrch předešlé řady řádně očistit od nečistot a prachu. Řady se zdí podle napnuté zdící šňůry a přesné usazení tvárnic se kontroluje vodováhou s minimální délkou 1 m a tvárnice se na své místo usadí poklepem na tvárnici shora gumovou paličkou.[16]

Ytong zdící malta se nanáší pomocí zednické lžice Ytong, která má výšku ozubu 5 mm. Maltu se nanáší v celé ploše tvárnic řady pod řadou právě zděnou. Důležité je dbát na to, aby rýhy vytvořené ozubem zednické lžice byly rovnoběžně s vyzdívanou stěnou. [16]



Obr. 21 Výšková kontrola rohových tvárnic, převzato z [16]



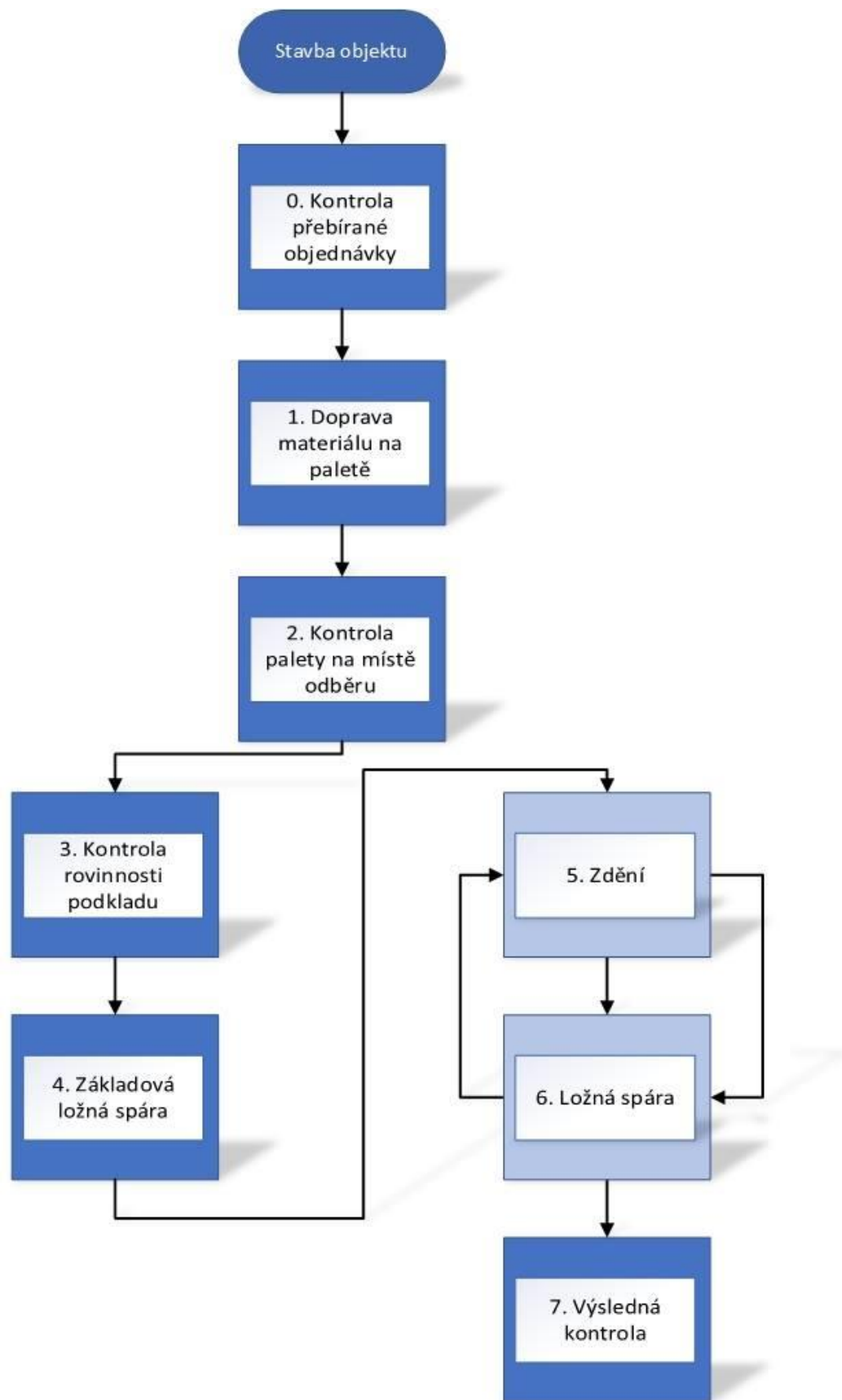
Obr. 22 Pokládání první řady tvárnic, převzato z [16]

Při zdění je důležité dodržovat minimální přesah 100 mm viz Obr.23. Svislost zdění se kontroluje vodováhou nebo latí minimální délky 1 m. Vzniklé nerovnosti se dají zarovnat broušením například budoucího ostění. Tvárnice je důležité klást co nejtěsněji k sobě, aby nedošlo k vodorovnému posunu po maltě a jejímu nahrnutí do svislé spáry a poté vzniku mezery bez malty. [16]



Obr. 23 Přesah tvárnice o 100 mm, převzato z [16]

3.3 Technologie zdění robotem



Obr. 24 Celkový vývojový diagram zdění, autor Jan Illetško

1. Kontrola přebírané objednávky

Kontrola přebírané objednávky představuje vizuální kontrolu obsluhy, která je zodpovědná za převzetí objednaných cihel nebo tvarovek od výrobce. Tato kontrola není detailní, pouze orientační. Kontroluje se zde počet a typ zdících prvků, které byly předem objednány. Důležité je se zde ujistit, zda jsou přebírané zdící prvky s co nejmenší rozměrovou odchylkou, dle požadavku provedeného během objednání. Tento požadavek je nutné provést, protože robot pracuje s velkou přesností a velké odchylky by mohly vyvodit problém při zdění na vazbu.

2. Doprava materiálu na paletě

Tento bod obsahuje převoz zdících prvků vozem na paletách s předem ujasněnou skladbou palet.

3. Kontrola palety na místě odběru

Zde se paleta uloží na předem určené místo v blízkosti robota. Místo musí být vybráno, tak aby při procesu zdění byla paleta vždy v dosahu robota, ale zároveň nesmí překážet robotu v práci. Místo je označeno pásky na zemi, tak aby vnitřní půdorys odpovídal velikosti palety.

Po umístění je nutné provést kontrolu umístění, tuto předběžnou kontrolu provede obsluha.

Po předběžné kontrole se provede laserová kontrola umístění palety a počtu řad cihel na paletě. V případě, že tato kontrola nevyhoví dle navrhovaného modelu, je proces zastaven a obsluha musí odstranit nastalé nesrovnalosti, před pokračováním v procesu robotického zdění.

4. Kontrola rovinnosti povrchu

Zde se provede kontrola rovinnosti povrchu, na kterém se bude provádět zdění. Kontrola se provede nivelačním přístrojem. Dále se provede kontrola hydroizolační vrstvy na provedené podkladní vrstvě. Tyto kontroly provede obsluha stroje.

5. Základová ložná spára

Provedení základové ložné spáry obsluhou stroje. Tato ložná základová spára je tvořena tepelně izolační základovou maltou s minimální tloušťkou spáry 10 mm.

6. Zdění

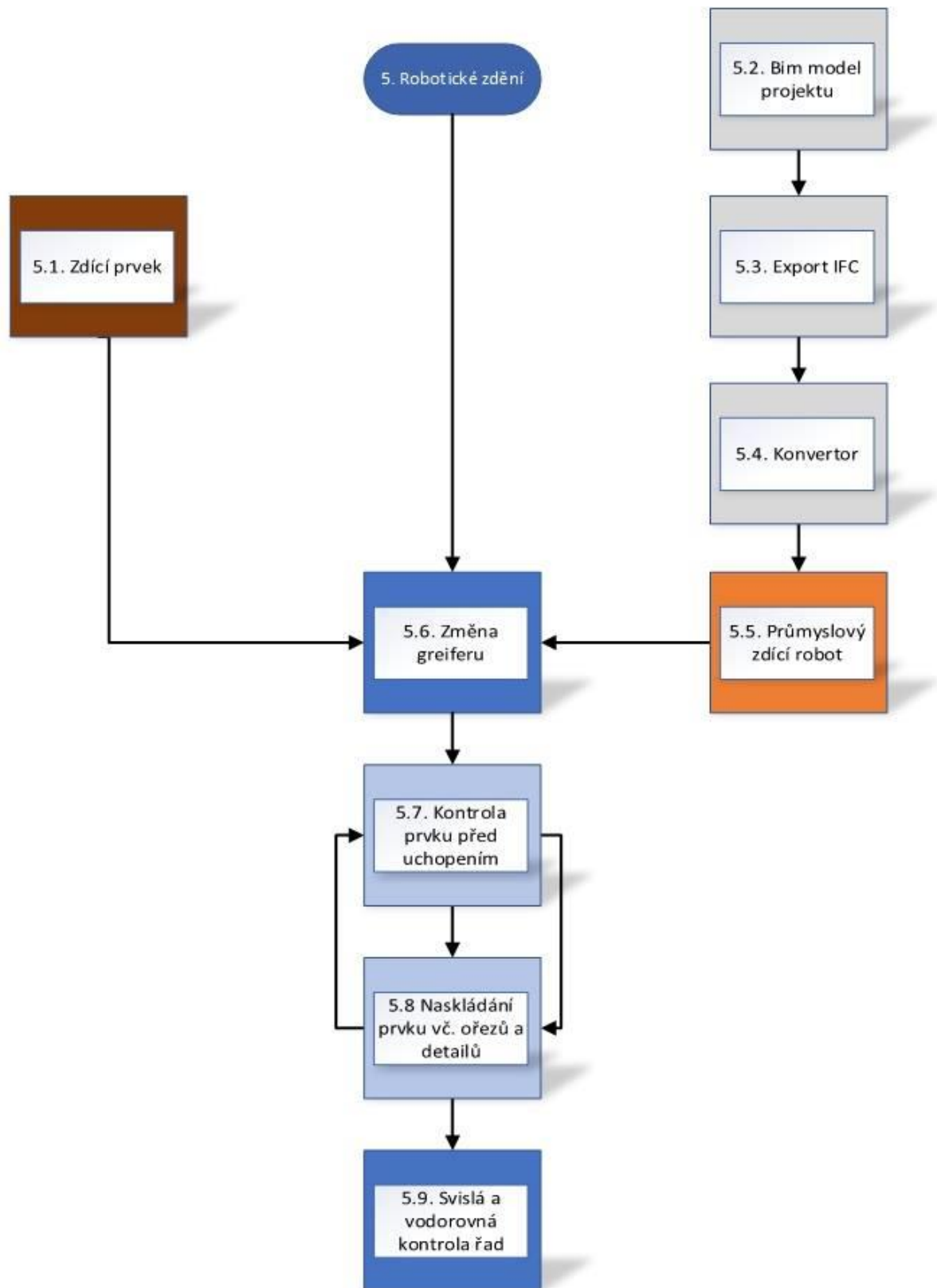
Viz samostatný vývojový diagram zdění obr. 25

7. Ložná spára

Viz samostatný vývojový diagram nanášení lepicí směsi – projekt TAČR (<http://www.robostav.cz/robostav-projekt-tacr-2019>). Tato část diagramu není součástí této diplomové práce.

8. Výsledná kontrola

Provedení výsledné horizontální a vertikální kontroly vyzděných prvků pomocí robota. Tato kontrola je provedena laserovým zařízením připevněným na konstrukci robota. Po provedení této kontroly se aktualizuje model dle skutečného provedení stavu konstrukce.



Obr. 25 Detailní vývojový diagram robotického zdění, autor Jan Illetško

5.1. Zdíci prvek

Vstupní data o zdícím prvku, který se bude využívat. Hlavní data, která je nutné zpracovat do modelu, jako jsou rozměry zdícího prvku, jeho váha a jeho uskladnění na paletách. Také je nutné znát velikost palety, způsob uložení zdícího prvku na paletě a umístění samotné palety v okolí robota.

5.2. BIM model

Model vyzdívaného objektu vytvořený v prostředí BIM, jako je například pomocí softwaru Autodesk Revit.

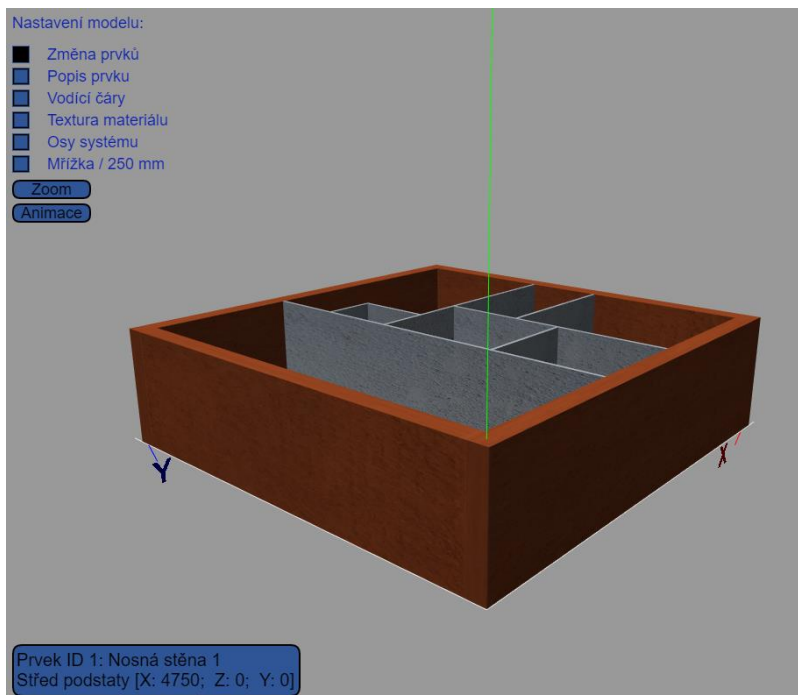
5.3. Export IFC

Zde se model vytvořený v prostředí BIM převede do univerzálního formátu IFC, který slouží jako převodní můstek mezi různými aplikacemi a operačními systémy. Ve formátu IFC je model uložen jako textový popis modelu a lze ho proto jednoduše zpracovávat a upravovat.

5.4. Konvertor

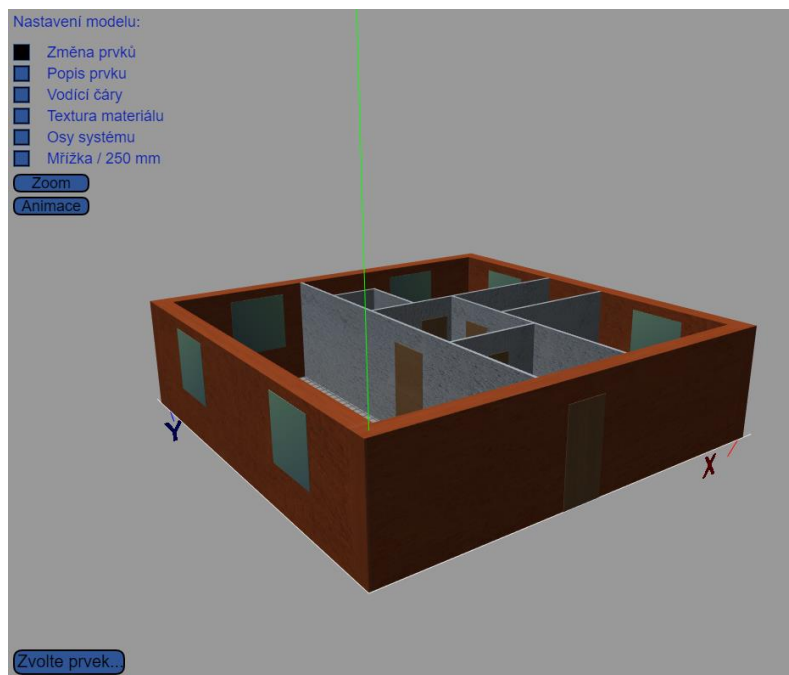
Konvertor v několika krocích převede model ve formátu IFC do BREP modelu, což je model, který představuje látku jako soubor spojených povrchových prvků. Pro ukázkou, jak takový konvertor funguje je uveden model z projektu TH04010329 - Autonomní robotický stavební systém (TAČR - Technologická agentura České republiky).

- 1) V prvním kroku se transformují nosné a nenosné stěny z formátu IFC do BREP modelu.



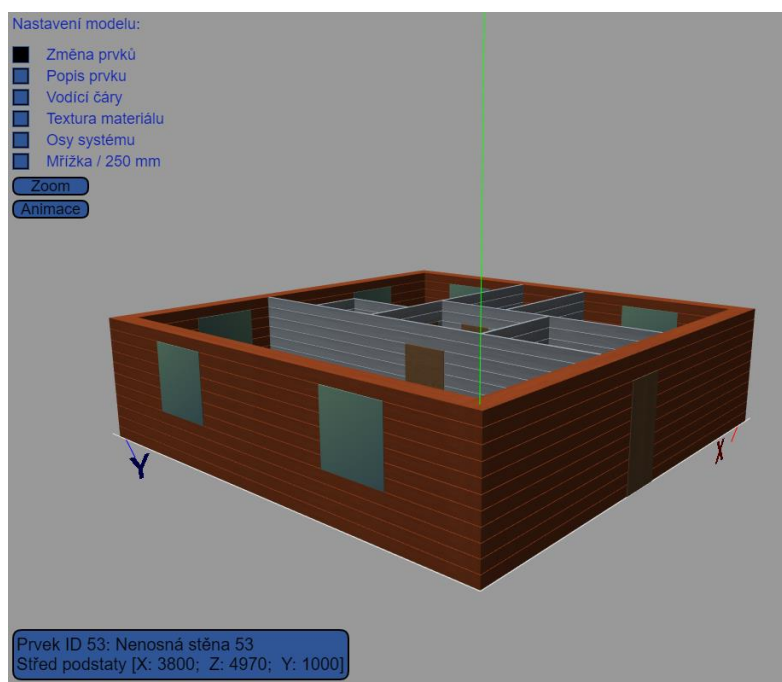
Obr. 26 Převedený IFC model do modelu BREP, převzato z [26]

- 2) Dále se transformují okna a dveře z formátu IFC do BREP modelu, tento krok jen najde umístění dveří a oken, ale neudělá do konstrukce zdi otvor. Vloží se do konstrukce blok s tloušťkou větší, než je tloušťka zdi. Samotný otvor v konstrukci zdi se udělá až v dalších krocích.



Obr. 27 BREP model s převedenými okenními a dveřními otvory, převzato z [26]

- 3) Poté se model objektu rozdělí na vrstvy podle výškového modulu 250 mm



Obr. 28 BREP model rozdělený na vrstvy, převzato z [26]

- 4) V dalším kroku se určí průřečníky os nosných a nenosných stěn. Tento krok je nutný pro napojení os stěn. Jelikož například v softwaru Autodesk Revit, když se kreslí jednotlivé stěny objektu, tak osy těchto stěn nemají v modelu průřečník, a proto se tento průřečník musí dodatečně dopočítat. Tento převod je velice důležitý pro správné převedení IFC modelu do BREP modelu.

5) V pátém kroku se v modelu lokalizují detaily, které jsou předem vytvořené v databázi prvků. Databázi prvků jsem vytvořil pro nejpoužívanější nosné i nenosné systémy používané v Čechách. Důležité bylo vytvořit databázi, která bude zastupovat i co nejvíce materiálových řešení. Na obr. 29 je vidět, jakým způsobem byli zdící prvky zpracovány. V horní části vidíme základní informace o prvku, jako jsou rozměry a stavebně fyzikální vlastnosti. V prostřední části obrázku jsou vloženy různé druhy tvarovek použité pro daný systém. Detaily, které jsou vloženy ve spodní části obrázku se následně vloží do modelu na kritická místa.

Šablona Zdíci systém:

ID šablony Zdíci systém:	4
Název šablony Zdíci systém:	Porotherm 44 Profi
Popis šablony Zdíci systém:	Porotherm 44 Profi / keramická / tl.440 / v.250
Aktivní šablona Zdíci systém:	Aktivní
Oblíbená šablona:	Ne
Zdíci systém:	Nosný
Výrobce:	Wienerberger
Struktura materiálu a povrchu:	Keramická dutá
Součinitel prostupu tepla (U):	0.29 W/(m ² ·K)
Šířka systému (tloušťka stěny):	440 mm
Výška systému (jedné řady):	250 mm
Modul základní:	250 mm
Minimální délka vazby:	100 mm
Počet zdících vložených prvků:	4
Vložené detaily rohu:	1
Vložené detaily ostění:	1
Vložené detaily T-spoje:	1
Poznámka:	https://www.wienerberger.cz/dokumenty-ke-stazeni.html
Systém vložil:	Illetško
Vloženo:	14.10.2019

[Zpět](#)

Zdíci prvky:

+ Vložit nový zdící prvek

ID	Název Popis	Základní Systém	Materiál	Velikost (d & v), (mm)	Hmotnost Obj./hmotnost	Pevnost v tlaku
5	Porotherm 44 Profi Porotherm 44 Profi / základní / tl.440 / v.250 / d.250	Základní Nosný	Keramický	250x440x250 Paleta: 1000x1320x1000 mm	20.4 kg 742 kg/m ³	5.15 MPa
6	Porotherm 44 Profi 1/2 K Porotherm 44 Profi 1/2 K / polovičná koncová / tl.440 / v.250 / d.125	Pomocný Nosný	Keramický	125x440x250 Paleta: 1000x1320x1000 mm	11 kg 800 kg/m ³	5.15 MPa
7	Porotherm 44 Profi K Porotherm 44 Profi K / koncová / tl.440 / v.250 / d.250	Pomocný Nosný	Keramický	250x440x250 Paleta: 1000x1320x1000 mm	21.1 kg 767 kg/m ³	5.15 MPa
8	Porotherm 44 Profi R Porotherm 44 Profi R / rohová / tl.440 / v.250 / d.187	Pomocný Nosný	Keramický	187x440x250 Paleta: 935x1320x1000 mm	15.4 kg 749 kg/m ³	5.15 MPa

Detaily:

+ Vložit nový detail

ID	Název Popis	Druh	Poznámka
1	Detail rohu Detail rohu / Porotherm 44 Profi	Roh	Prohlednout Editovat Vymazat
23	Detail ostění Detail ostění / Porotherm 44 Profi	Ostění	Prohlednout Editovat Vymazat
3	Detail T-spoj Detail T-spoj / Porotherm 44 Profi	T-spoj	Prohlednout Editovat Vymazat

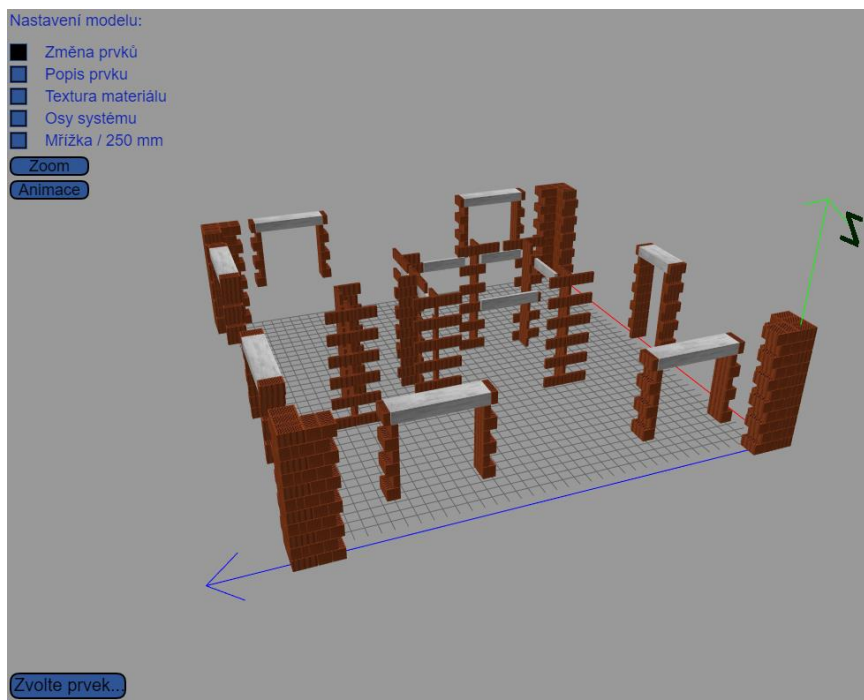
Přiložené k šabloně soubory nebo odkazy URL:

+ Přiložit nový soubor k šabloně

ID	Název Popis	Druh	Velikost	Datum
16	Technický list / Porotherm 44 Profi	pdf	455 kb	14.10.2019

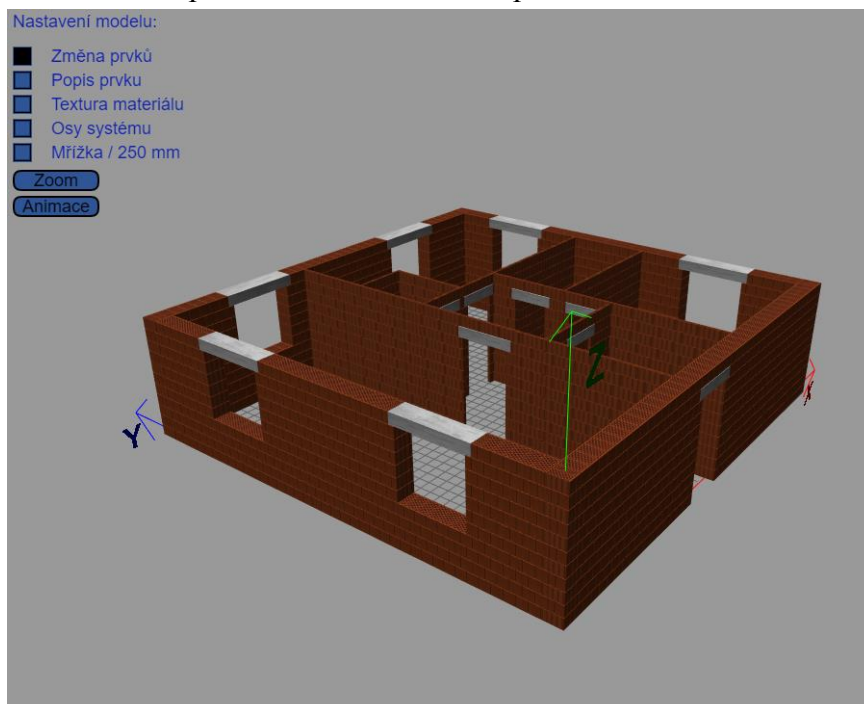
Obr. 29 Příklad zpracovaného zdícího prvku včetně detailů, převzato z [26]

A 7) V těchto krocích se zpracují otvory ve stěnách a následně se vloží detaily na kritická místa v modelu jakou jsou rohové detaily, T- spoje a detaily ostění.



Obr. 30 Vložené detaily do BREP modelu, převzato z [26]

8) A 9) Zde se vyplní nosné a nenosné zdi standartními prvky, které se vloží mezi umístěné detaily. V tuto chvíli je model překonvertován a připraven ke zdění. Jelikož víme přesné umístění každého prvku v konstrukci



Obr. 31 Finální výstup konvertoru, převzato z [26]

5.5. Průmyslový zdící robot

V tuto chvíli přichází do procesu samotný robot, do kterého je nahrán konvertovaný model s vyřešenými všemi detaily a polohou každého zdícího prvku včetně typu prvku.

5.6. Změna greiferu

Samotný proces zdění začíná výměnou greiferu z nanášeče malty na přísavku. Výměna se provede v dokovací stanici, kde se odloží nanášeč malty a připojí se přísavka.

5.7. Kontrola prvku před uchopením

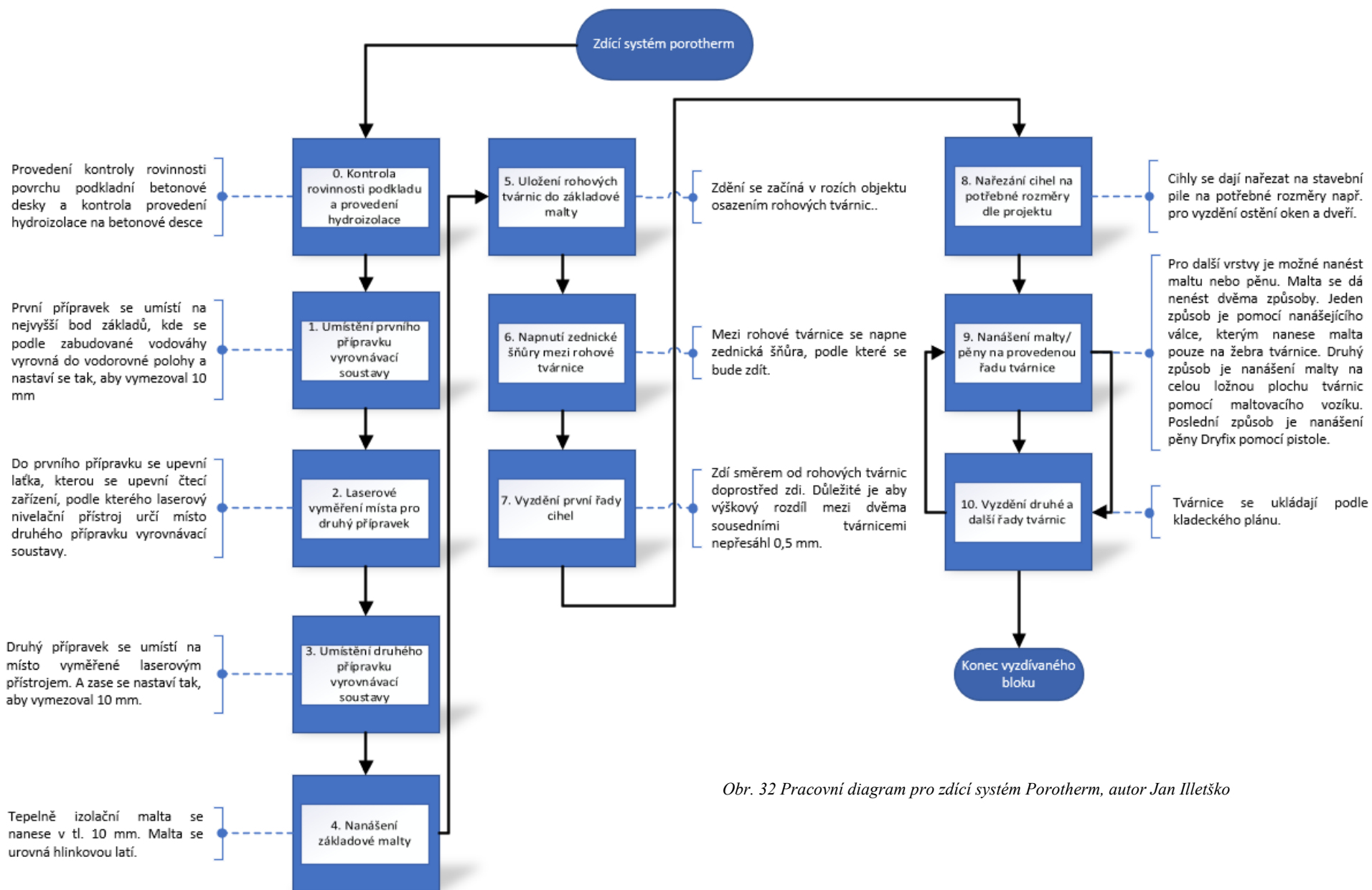
Zde se provede kontrola prvku před uchopením. Kontrola je nutná kvůli možnému porušení prvku, což by mohlo vést k poklesu podtlaku přísavky a upadnutí prvku od přísavky. Pokud provedená kontrola bude nevyhovující, systém se zastaví a ohlásí chybu obsluze, která opraví vzniklé chyby a až poté je možno pokračovat ve zdění.

5.8. Naskládání prvku včetně ořezů a detailů

Tato činnost obsahuje samotné ukládání prvků na své místo v konstrukci, a to včetně speciálních zdících prvků dle detailů a prvků, které byly předem nařezány na požadovaný rozměr.

5.9. Svislá a vodorovná kontrola řady

A nakonec se provede svislá a vodorovná polohová kontrola vyzděné řady pomocí laseru.



Obr. 32 Pracovní diagram pro zdící systém Porotherm, autor Jan Illetško

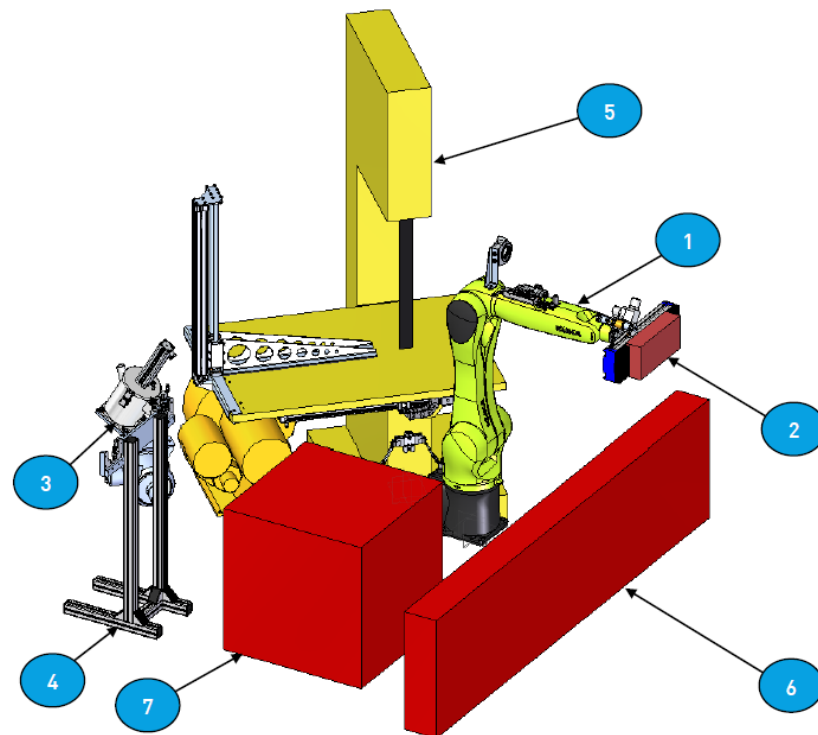


Pro srovnání jsem vytvořil pracovní diagram zdícího systému Porotherm viz obrázek č. 32, kde je hned na první pohled vidět, že díky vysoké přesnosti, se kterou je robot schopný pracovat, odpadá u práce s robotem několik činností, které se při ruční práci musí provést pro správné ukládání prvků jako je např. natažení zednické šňůry.

Další výhodou zdění robotem je menší nárok na počet personálu obsluhujících robota, než je potřeba pracovníku do zednické čety. Nevýhodou ovšem je to, že obsluha robota musí mít dosažené vyšší vzdělání a jsou zde vyšší ekonomické nároky.

Jedna z dalších nevýhod zdění pomocí robota je ta, že při řezání cihel vznikne velká ztrátovost materiálu, jelikož robot není schopný se rozmyslet a použít ořez dále ve výstavbě, zatímco lidská pracovní síla je schopna se rozmyslet a využít zbylý ořez v dalším stádiu zdění. U robota je oproti tomu složité jeho procesy namodelovat a naprogramovat tak, aby měl efektivní plán využití ořezů.

3.3.1 Zdíci robot KUKA Agilus Kr 10 R110



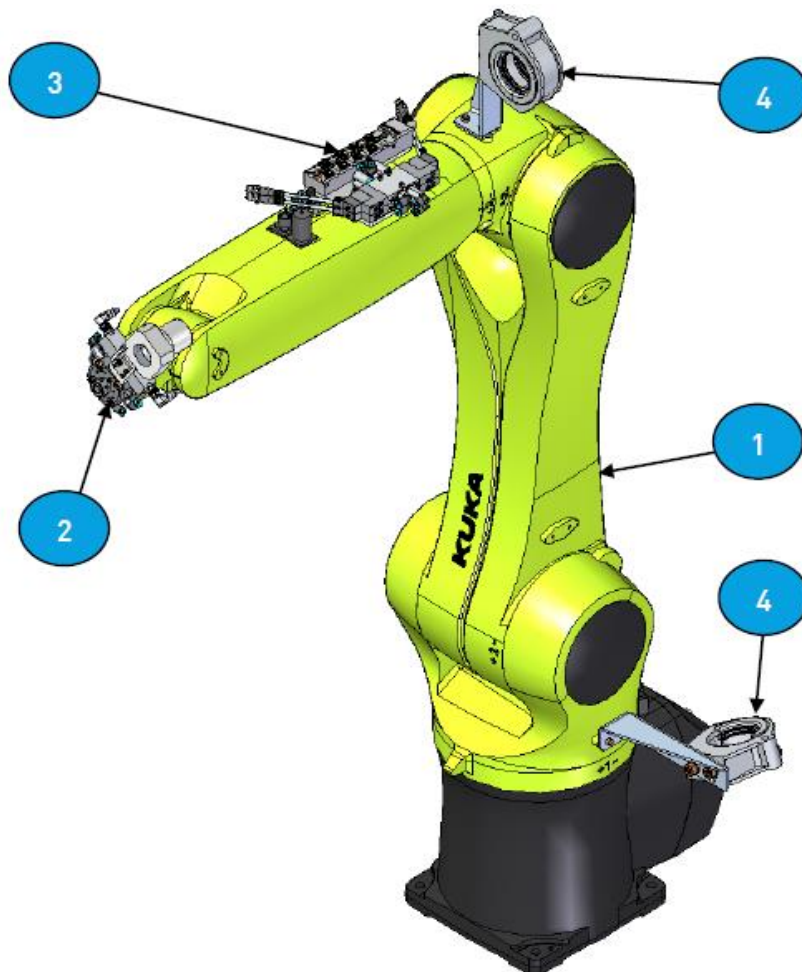
Obr. 33 Zdíci robot KUKA Agilus Kr 10 R 110 a jeho příslušenství, převzato z [18]

Tohoto robota a jeho zařízení jsme měli k dispozici pro výzkum této práce v místnosti B482 - Laboratoř pro robotizaci stavebních procesů na fakultě stavební.

1. Robot
2. Greifer přísavka
3. Greifer nanášec malty
4. Dokovací stanice
5. Pila
6. Zed'
7. Paleta

Všechna tato zařízení umožňují robotovi stát se samostatnou zdící jednotkou, která je vyvíjena katedrou technologií K122. Systém postrádá mobilitu a je v měřítku 1:3. Systém je připraven si cihly sám nařezat na pile, nanášečem nanést maltu, přísavkou umístit cihlu na své místo ve zdi a v dokovací stanici dochází k výměně tzv. griferů, neboli nástavců. [18]

Rychlovýměna robota KUKA



Obr. 34 Rychlovýměna robota KUKA, převzato z [18]

1. Robot Kuka Agilus Kr 10 R110
2. Rychlovýměná část robota
3. Slučovač s ventily
4. Držák s ventily

Díky těmto nástrojům je možné, aby robot měnil zdící nástroje s poměrně velkou rychlostí. Přívod tlakového vzduchu zajišťuje aretaci. Uzamčení rychlovýměnné soustavy provádějí integrovaná čidla. Dále je k rychlovýměnně dovedeno vakuum do přísavky, hadice vakua je upevněna v držácích umístěných na těle robota. [18]



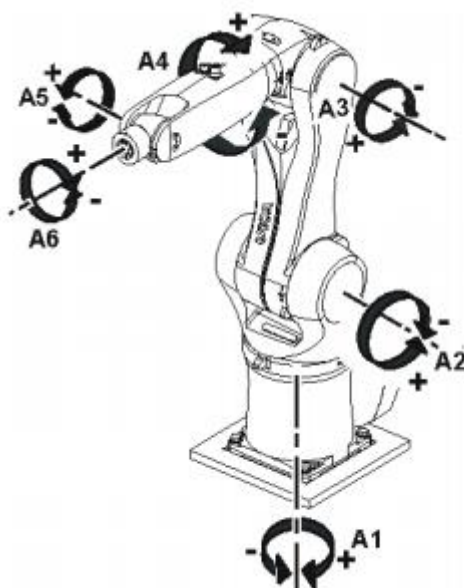
Základní parametry robota	
Typ	KR 10 R1100 sixx
Počet os	6
Počet kontrolovaných os	6
Objem pracovní obálky	5,20 m ³
Opakovatelnost polohy (ISO 9283)	± 0,03 mm
Referenční bod pracovní obálky	Průnik os 4 a5
Váha	Přibližně 55 kg
Stupeň ochrany robota	IP 54 (připraven k provozu s kabely připojenými dle EN 60529)
Hlučnost robota	<70 dB
Montážní poloha	podlaha
Stopa	320 mm x 320 mm
Standartní barvy	Základna (nepohyblivá) a kryty na spojovacím rameni: černá (RAL 9011); pohyblivé části: KUKA oranžová 2567
Ovladač	KR C4 compact
Okolní podmínky	
Teplota pro činnost	+ 5°C do +45°C
Teplota pro transport a skladování	-40°C do +60°C
Vlhkost	Relativní vlhkost vzduchu ≤ 90% DIN EN 60721-3-3 Třída 3K3
Nadmořská výška	-do 1000 m nad střední hladinou moře bez snížení výkonu -1000 m až 4000 m nad střední hladinou moře se sníženým výkonem o 5 % každých 1000 m

Tab. 2Základní parametry robota a okolní podmínky, převzato z [22]

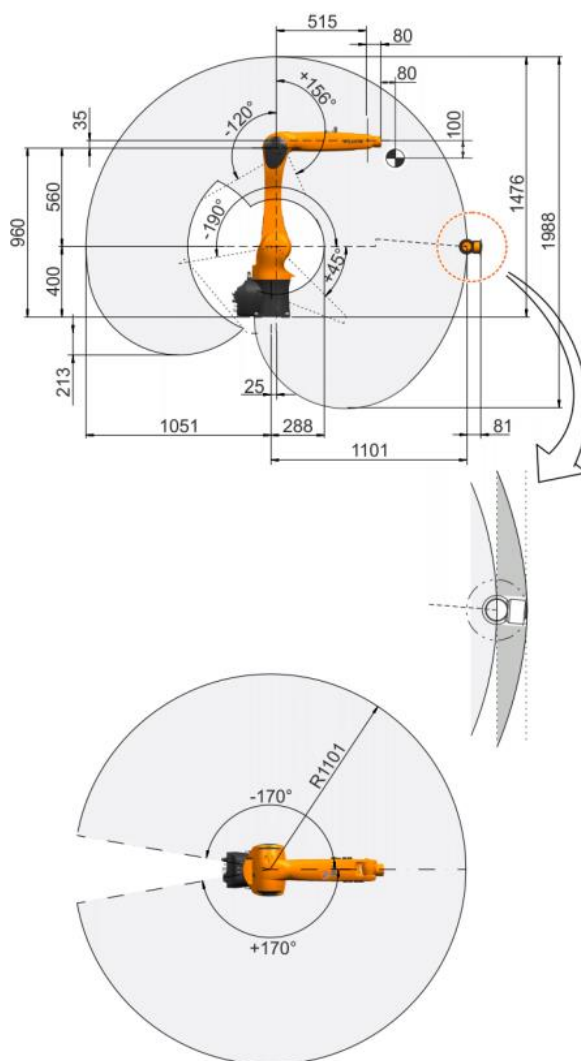


Data o osách robota		
Osy	Rozsah pohybu	Rychlost se zatížením
1	+/- 170°	300 °/s
2	+45° do -190°	225 °/s
3	+156° do -120°	225 °/s
4	+/- 185°	381 °/s
5	+/- 120°	311 °/s
6	+/- 350°	492 °/s

Tab. 3 Data o osách robota, převzato z [22]

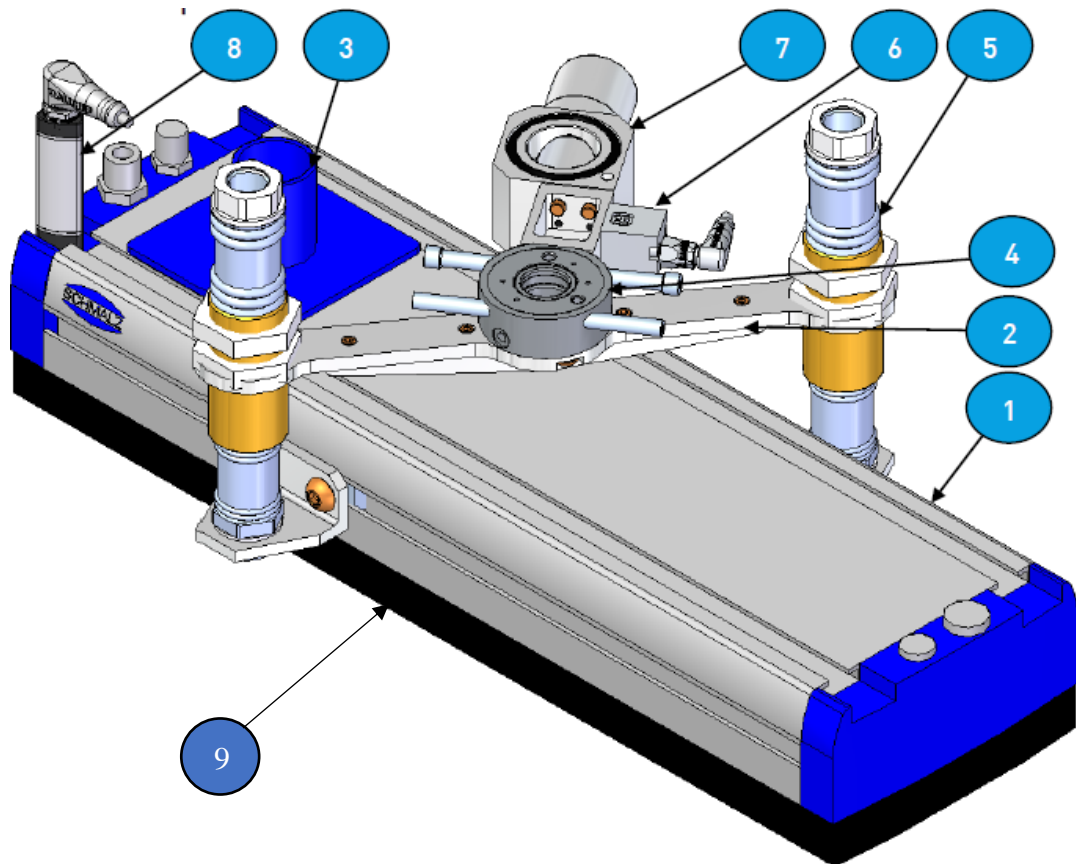


Obr. 35 Směr a rotace os robota, převzato z [22]



Obr. 36 Pracovní obálka robota KR 10 R 1100 sixx, převzato z [22]

Greifer-přísavka



Obr. 37 Přísavka-jeden z greiferů robota KUKA, převzato z [18]

1. Přísavka
2. Rám
3. Příklad přísavky
4. Rychlovýměna
5. Tlumič prvek
6. Elektrický modul
7. Připojení vakua
8. Spínač vakua
9. Těsnící guma

Tento greifer neboli nástavec je navržen pro přesun cihel nebo tvárnice k nařezání do pily, anebo umístění cihly/tvárnice do zdi. Greifer se připojuje k robotu pomocí rychlovýměny (4), energetický modul (6) a připojení na hadici vakua (7). Přísavka (1) je spojena s rámem (2) tlumicími prvky (5), které dokáží vyrovnat nerovnosti zdi. Uchycení prvku přísavkou je kontrolováno spínačem vakua (8).[18]



Výpočet síly působící na přenášený prvek přísavkou

Základní vzorec:

$$F_p = \Delta p * S \quad (1)$$

kde je:

F_p : Síla působící na přenášený prvek přísavkou, vyvolaná podtlakem pomocí dmyhadla

Δp : Rozdíl tlaků

S : plocha kterou přísavka působí na přenášený prvek, přísavka je tvořena neprodyšnou gumou, ve které je 66 prostupů ve tvaru viz náčrt.

Výpočet rozdílu tlaků:

$$\Delta p = (p_1 - p_2) - z \quad (2)$$

kde je:

p_1 : tlak v okolních podmínkách, který se v tomto případě uvažuje jako tlak atmosférický (1 atm=101,3 KPa)

p_2 : Podtlak vytvořený pomocí dmyhadla typu Vakuum Bohemia RT 4018-1, dle obrázku č. 29 vidíme, že dmyhadlo je schopné vyvinout rozdíl tlaků vůči vnějšímu okolí o 210 mbar = 21 KPa, to znamená, že dmyhadlo je schopno vytvořit podtlak 80,3 KPa.

z : Toto jsou ztráty, způsobené změnou průměru trubice vedoucí z dmyhadla k hlavě robota a nerovností povrchu prvku nabíraného přísavkou, kde dochází k úniku vzduchu, což vyústí ztrátou podtlaku

Výpočet je pak roven dle rovnice (2)

$$\Delta p = (101,3 - 80,3) - 3 = 18 \text{ KPa}$$

Tabulka technických parametrů dmychadel

Třífázové napájení 3x208 - 255 / 360-440 V, 50 Hz
Jednofázové napájení 220 - 240 V, 50 Hz

Krytí motoru IP54
izolační třída F

Jednostupňová dmychadla

Typové označení	Charakteristika graf	Výkon motoru kW	Proud motoru A	Maximální průtok m ³ /min	Maximální -podtlak/přetlak mbar	Hlučnost dB	Přípoj G"	Hmotnost kg
RT-1002	21F	0.18	0.9/0.52	0.8	-50/60	53	1	6.5
RT-1002-1			2.9/1.45					
RT-1002L			0.9/0.52					
RT-1003	22F	0.2	1.2/0.69		-70/70	53		
RT-1003-1			3.0/1.5					
RT-2005	31F	0.4	2.1/1.2	1.4	-110/130	58	1¼	11
RT-2005-1			5.6/2.8					11.5
RT-2005L	32F		2.1/1.2					11.5
RT-2005L-1								5.6/2.8
RT-3009	41F	0.75	3.3/1.9	2.4	-140/140	63	1½	14.5
RT-3009-1			13/6.5					15
RT-3009L	42F		3.3/1.9					15
RT-3009L-1								13/6.5
RT-3011	43F	0.9	4.2/2.4		-165/180			15.5
RT-3015	44F	1.3	4.6/2.7		-175/200			16
RT-4011	51F	0.9	4.2/2.4	3.6	-130/130	70	2	20.5
RT-4011-1			8.0					21
RT-4015	52F	1.3	5.7/3.3		-180/180			22
RT-4015-1			9.5					22.5
RT-4015L			5.7/3.3					22.5
RT-4015L-1			9.5					22.5
RT-4018-1	53F	1.5	12.3					26
RT-4019	53F	1.75	6.7/3.9		-210/220			23
RT-4019L	54F		6.7/3.9					23.5
RT-4026	55F	2.2	7.8/4.5		-220/270			26

Obr. 38 Tabulka technických parametrů dmychadel s vyznačeným typem dmychadla použitého v této práci, převzato [24]

Výpočet plochy:

$$S = [(a * b) + (\pi * r^2)] * n \quad (3)$$

kde je:

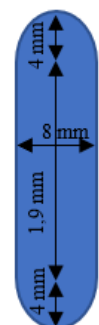
a : 1,9 mm dle obrázku č.39

b : 8 mm dle obrázku č.39

π : matematická konstanta rovna 3,14159265359

r : poloměr půlkružnic na horní a spodní straně náčrtku č. 39

n : počet otvorů v přísavce



Obr. 39 Náčrtek prostupu neprodyšnou gumou, autor: Jan Illetško



Výpočet je pak roven dle rovnice (3)

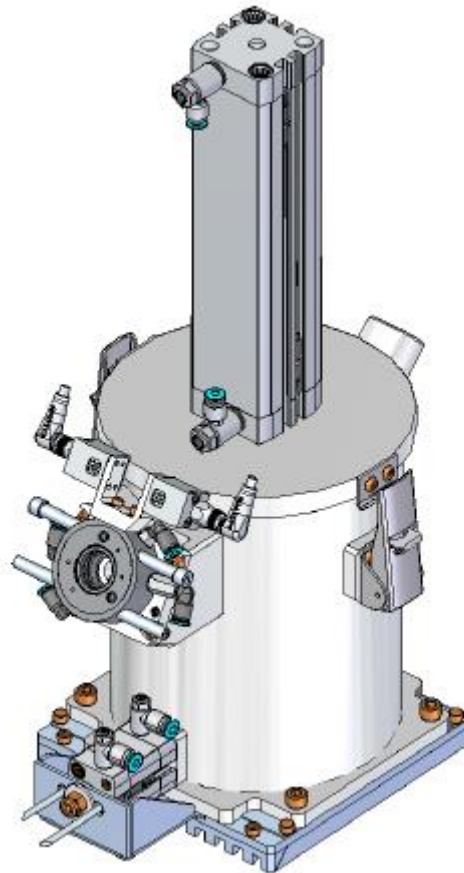
$$S = [(1,8 * 0,8) + (\pi * 0,4^2)] * 66 = 13\,349,5 \text{ mm}^2 = 0,0133495 \text{ m}^2$$

Celkový výsledek vypočten dle rovnice (1):

$$F_p = \Delta p * S = 18\,000 * 0,0133495 = 240,291 \text{ N}$$

Z výsledku lze říci, že přísavka je schopna přenést prvek vážící až 24 kg.

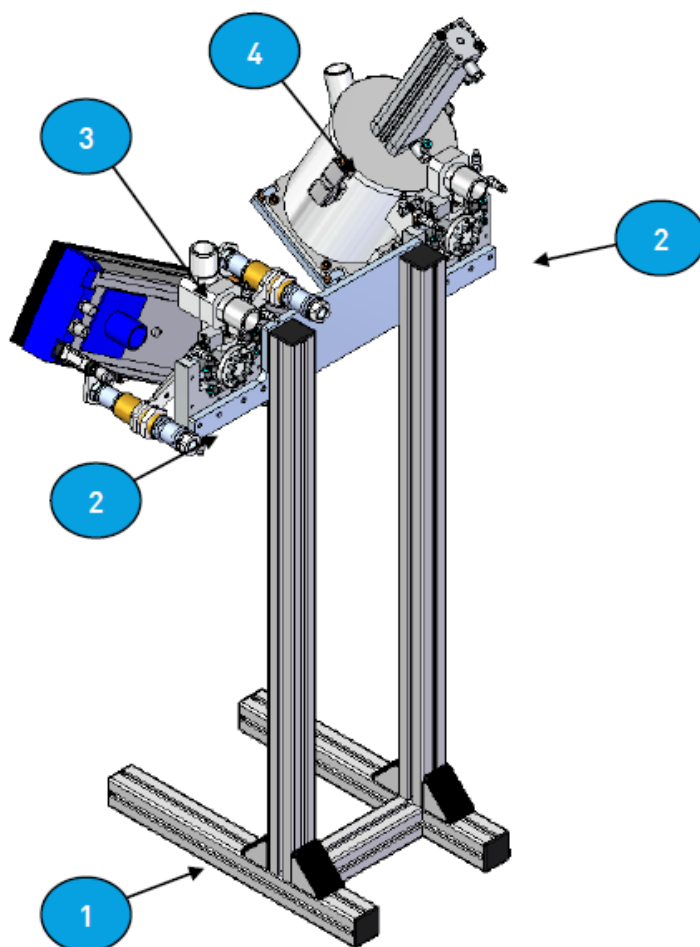
Greifer-dávkovač malty



Obr. 40 Nanášec malty, převzato z [18]

Tento greifer slouží k nanášení malty. Jeho podrobný popis není součástí této práce. [18]

Stojanový rám pro výměnu greiferů

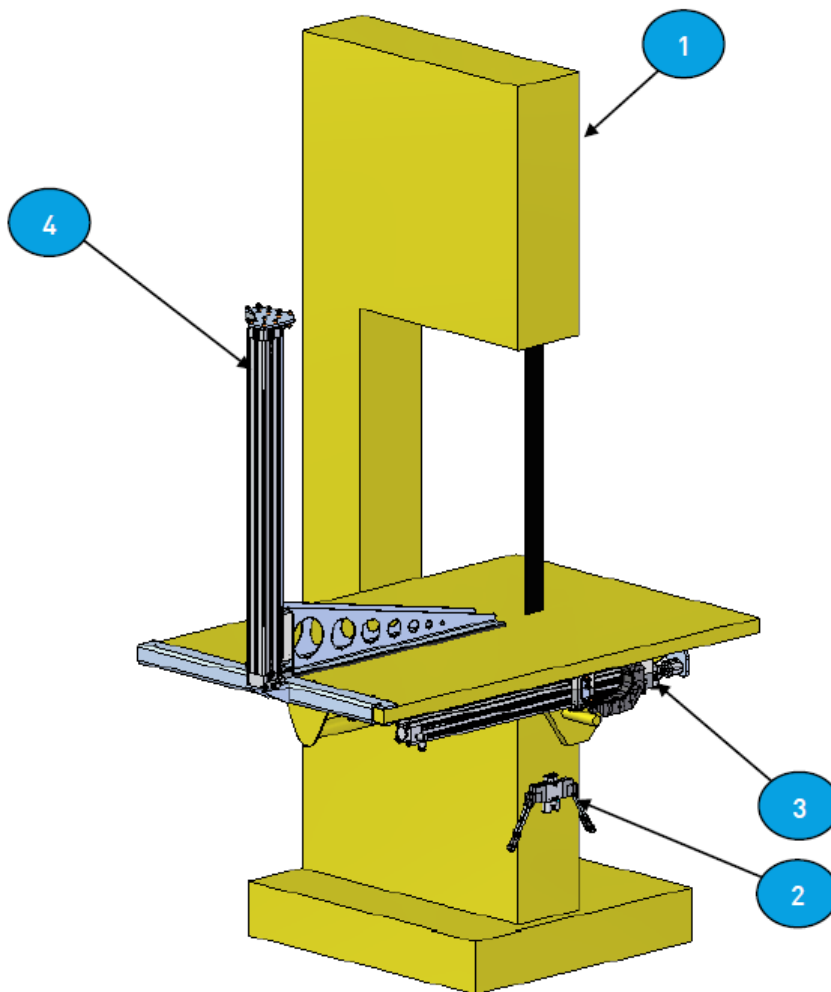


Obr. 41 Stojanový rám pro výměnu greiferů, převzato z [18]

1. Rám výměny
2. Odkladní část rychlovýměny
3. Odkládací pozice 1
4. Odkládací pozice 2

Tento rám slouží pro odklad a výměnu greiferů. Konstrukce rámu je tvořena hliníkovými profily a úhelníky. V horní části rámu je místo pro dvě odkladná místa. Každý greifer má svoje odkladní místo a místa jsou nezaměnitelná. Přítomnost greiferů v rámu je kontrolována indukčními čidly. [18]

Stavební pila



Obr. 42 Stavební pila, převzato z [18]

1. Stavební pila
2. Pneumatické ventily
3. Posuv stolu
4. Příklad

Tato pásová pila je určena k dělení stavebních dílců. Na obrázku výše je samotná stavební pila CCE400 (1). Ovládání pojezdu stolu a přítlak zdícího prvku zajišťují pneumatické ventily (2). Samotný pojezd stolu (3) je poháněn pneumatickým válcem. Zdicí prvek je přitlačen pomocí sady přítlačných ramen s gumou. [18]

Pomocí standartního pásu

- Keramický cihly
 - Porotherm nosné
 - Porotherm nenosné
 - Dutinkové cihly
 - CPP – cihla plná pálená
 - Dutinkové cihly
 - Ztracení bednění
 - Keramické tvarovky s izolací
- Pórobetonové tvárnice

Pomocí diamantového pásu

- Šamotové cihly
- Betonové cihly [18]

3.3.2 Bezpečnost práce Technické parametry pracoviště

- *„Hmotnost pracoviště: 220 kg*
- *Rozměry stroje: 2000x1500 mm*
- *Výška pracoviště: 1900 mm*
- *Obsluha: 1 pracovník*
- *El. Energie k napájení: 230 V AC, 50 Hz*
- *Ovládací napětí: 24 V DC*
- *Jištění: 50 A*
- *Tlak vzduchu: 0,6 MPa“ [18]*

Přeprava stroje

- *„K přepravě je nutné použít části stroje k tomu vyhrazené a přepravní zařízení vyhrazené pro manipulaci se strojem dané velikosti a váhy.*
- *Při přepravě dbejte zvýšené bezpečnosti, aby nedošlo ke zranění osob nebo poškození částí zařízení.“ [18]*



Bezpečnostní přepisy

Zdící robot a jeho příslušenství lze provozovat jen v případě bezvadného technického stavu. Robot musí být využit pouze na účely, na které je určený, a zároveň při dodržování všech bezpečnostních zásad a dle návodu k obsluze. Veškeré vzniklé závady musí být neprodleně eliminovány. [18]

Výběr personálu a jeho kvalifikace

- Práci s elektrickými zařízeními smí provádět jen pracovníci s odbornou elektrotechnickou kvalifikací dle vyhlášky 50/1978 sb. §3, nebo poučení pracovníci pod vedením odborníka.
- Provozovat stroj lze jen v případě, když je plně funkční a bezpečný. Zároveň musí být všechny bezpečnostní prvky zařízení plně funkční (např. dorazy, zarážky, nouzový spínač, atd.)
- Stroj musí být kontrolován minimálně jednou za směnu, zda nevykazuje známky poškození či závady. Vzniklé neobvyklé změny v chování zařízení musí být ihned nahlášeny zodpovědné osobě a následně odstraněny, před dalším používáním. [18]

Uvedení do provozu

- Před uvedením do provozu musí být zajištěno, že nikdo nebude strojem ohrožen.
- Před uvedením do provozu musí být zajištěna kompletnost a funkčnost všech bezpečnostních a ochranných prvků. V pohyblivých částích stroje nesmí být cizí tělesa. [18]

Činnost při údržbě, odstraňování poruch a odstraňování provozních či pomocných látek

- Tyto činnosti mohou provádět jen odborně vyškolený pracovník
- Před provedením údržbových nebo zvláštních prací na zařízení musí být obsluhující personál vyrozuměn dopředu.
- Při všech údržbových nebo zvláštních pracích musí být dodrženy postupy dle návodu.
- Pokud je to nutné prostor, kde je údržba prováděna a práce prováděné to vyžadují, je nutné prostor uzavřít a označit.



- Pokud při údržbě bude zařízení kompletně vypnuto, je nutno zařízení za aretovat pomocí visacích zámků proti nečekanému zapnutí.
- U každého hlavního vypínače musí být umístěna výstražná tabulka.
- Práce na motorech musejí být prováděny až po vychladnutí od předešlého užívání.
- Před čištěním zařízení vodou nebo párou musejí být všechny otvory, do kterých nesmí vniknout voda zalepeny nebo zakryty. A po ukončení čištění zase odstraněny.
- Pokud během údržby je nutné odmontovat bezpečnostní zařízení je nutné ho zpět nainstalovat po ukončení údržby.
- Je nutné dbát na bezpečnou likvidaci všech provozních a pomocných látek, které mohou způsobit újmu životnímu prostředí.
- V ohroženém prostoru by se měla nacházet pouze jedna osoba a druhá osoba musí být přítomna, ale která je mimo ohrožený prostor. Druhá osoba musí být v přímém zrakovém kontaktu a na dosah spínače nouzového vypínání.
- Pokud v ohroženém prostoru pracuje více osob je nutné, aby mezi nimi byl trvalý oční kontakt. [18]

Elektrická energie, elektrická zařízení a vybavení

- Stroj musí být vybaven pouze výrobky, které jsou povoleny výrobcem stroje.
- Práce na elektrických zařízení nebo provozních prostředcích smějí provádět pouze kvalifikovaní pracovníci, nebo pracovníci vedení kvalifikovaným pracovníkem, a to způsobem daným elektrotechnickými normami a směrnici.
- Elektronické zařízení stroje musí být pravidelně revidováno a kontrolováno. Závady musejí být neprodleně odstraněny.
- Bude-li prováděna práce na částech stroje, který je pod napětím. Je nutné přítomnosti další osoby, která je v dosahu hlavního vypínače. Pracovní prostor musí být ohraničen červenobílým výstražným řetězem a výstražnou tabulkou. [18]

Návrh bezpečnostního opatření pro našeho pracoviště

- Bezpečnostní prostor kolem stroje, kam v době provozu zařízení je vstup zakázán, bude opatřen jednopaprskovými bezpečnostními světelnými závory L28E- 3P2431. Viz obrázek 43.
- Tyto světelné závory budou rozmístěné na okraji bezpečnostního prostoru kolem stroje.
- Jakmile se paprsek přeruší z jakéhokoliv důvodu dojde okamžitému vypnutí robota i všech jeho příslušenství jako je např: stavební pila.

Technické parametry L28E- 3P2431:

- Dosah: 0-12 m
- Počet paprsků: 1
- Doba odezvy: 0,68 ms
- Životnost: 20 let
- Rozměry (ŠxVxH): 17,6 mm x 87,5 mm x 33,5 mm
- Materiál pouzdra: ABS (plast)
- Hmotnost: 40 g

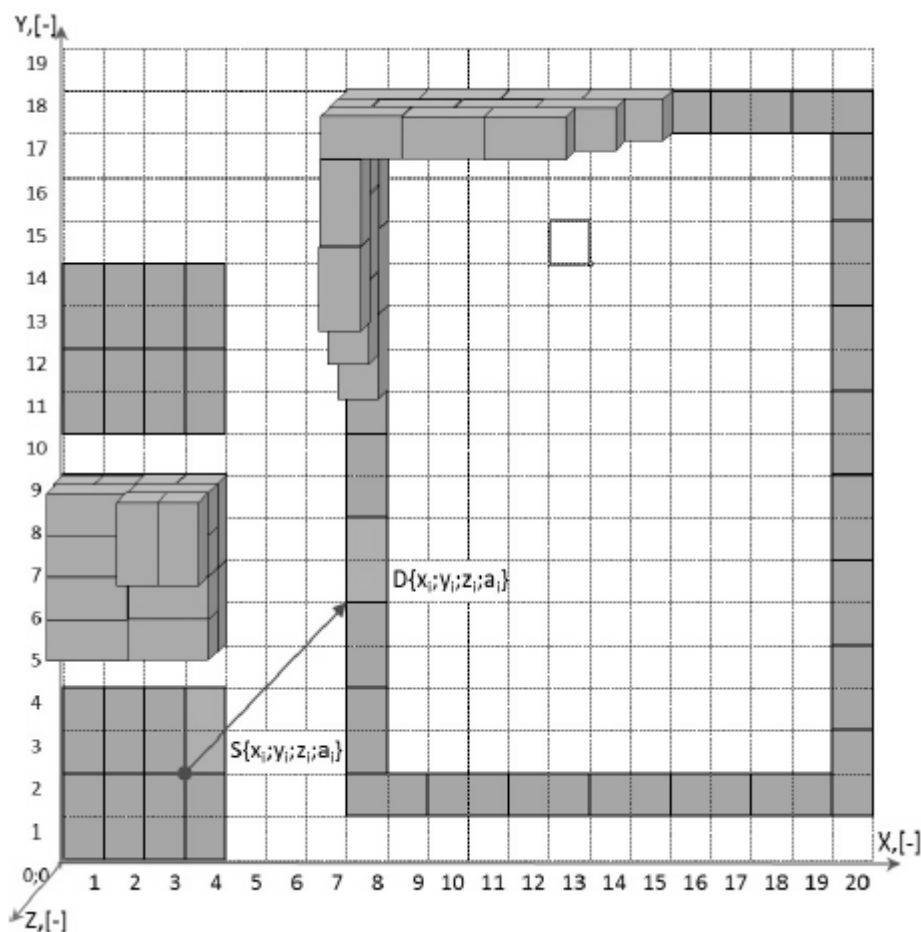


Obr. 43 Jednopaprsková bezpečnostní závora L28, převzato z [23]

4 Modelování

Pro vytvoření modelu je nutné si probrat, na čem všem model závisí. Jako první věc, kterou je model ovlivněn, jsou takzvané vstupy. Vstupy jsou většinou data, která technicky popisují stav zdícího materiálu, ať už jsou to cihly nebo tvárnice. Popisují půdorysné rozměry cihly, což je šířka s a délka d . Také popisují výšku cihel v , tyto rozměry jsou nejčastěji udávány v mm. Dále popisují, jakým způsobem je zdící materiál skladován na paletách, kde se udává, jakou vazbou je zdící materiál na paletě uložen, rozměry palety, jako je výška, šířka a délka palety. [25]

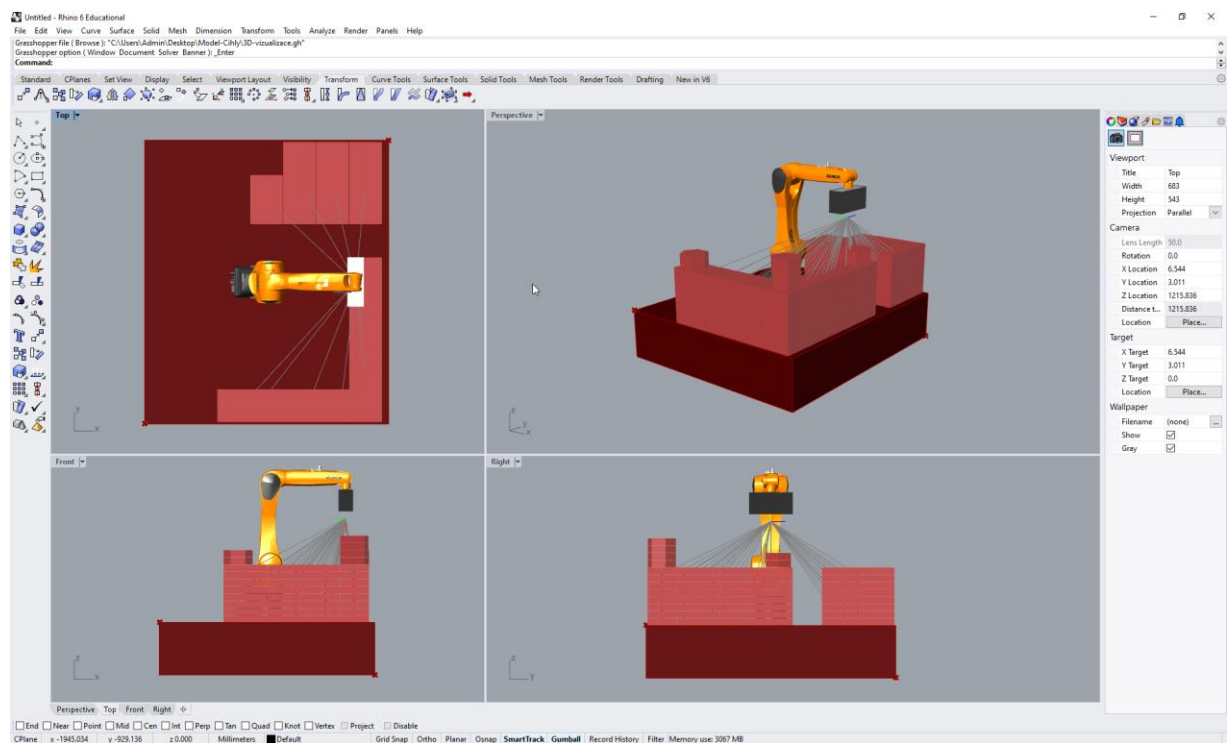
Po sjednocení všech vstupních dat je možno navrhnout model, který je závislý na stopách, které se vytvořily pomocí vstupních dat a navrhnout model objektu. Dále je model závislý na čase a na spotřebě energie. V tuto chvíli se dají po propojení modelového systému se všemi jeho podsystémy, jako je podsystém energie nebo času, zkoumat výstupní data. [25]



Obr. 44 Schéma principu robotického systému, převzato [25]

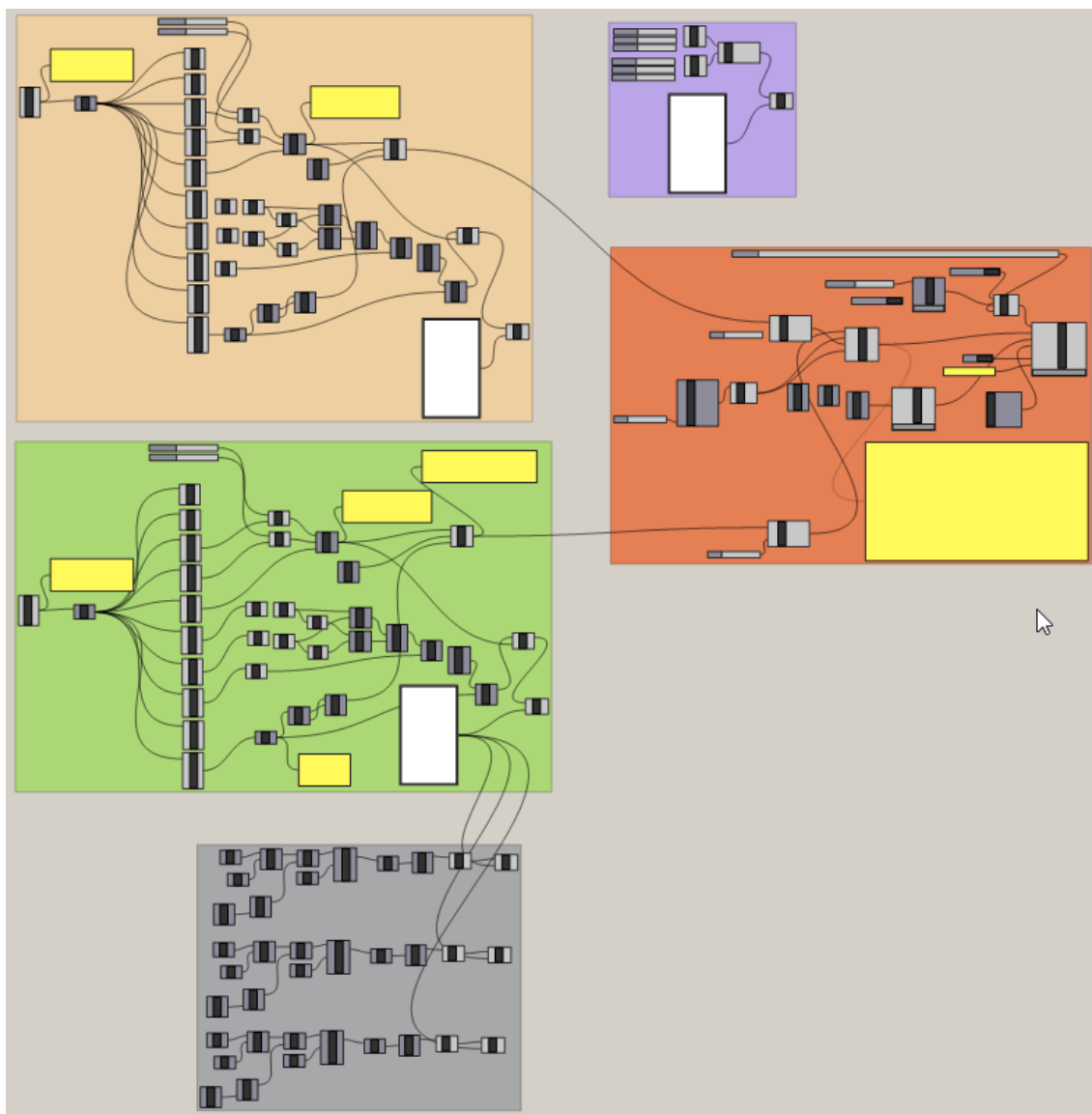
Na obrázku č.44 je vyobrazeno schéma systému, kde S je označeno jako zdroj, ze kterého se vychází, což je v tomto systému paleta, kde S {x=je půdorysný rozměr palety ve směru osy X; y=je půdorysný rozměr palety ve směru Y; z=maximální výška naskládaných prvků na sobě na paletě; a=je houpání prvku při přesunu}. D je na obrázku č.44 označena destinace prvku v konstrukci. [25]

Ted' si projdeme model, ze kterého vychází moje práce. Vizualní model je vytvořen v softwaru Rhino 6 a model je programován pomocí plug-inu Grasshopper.



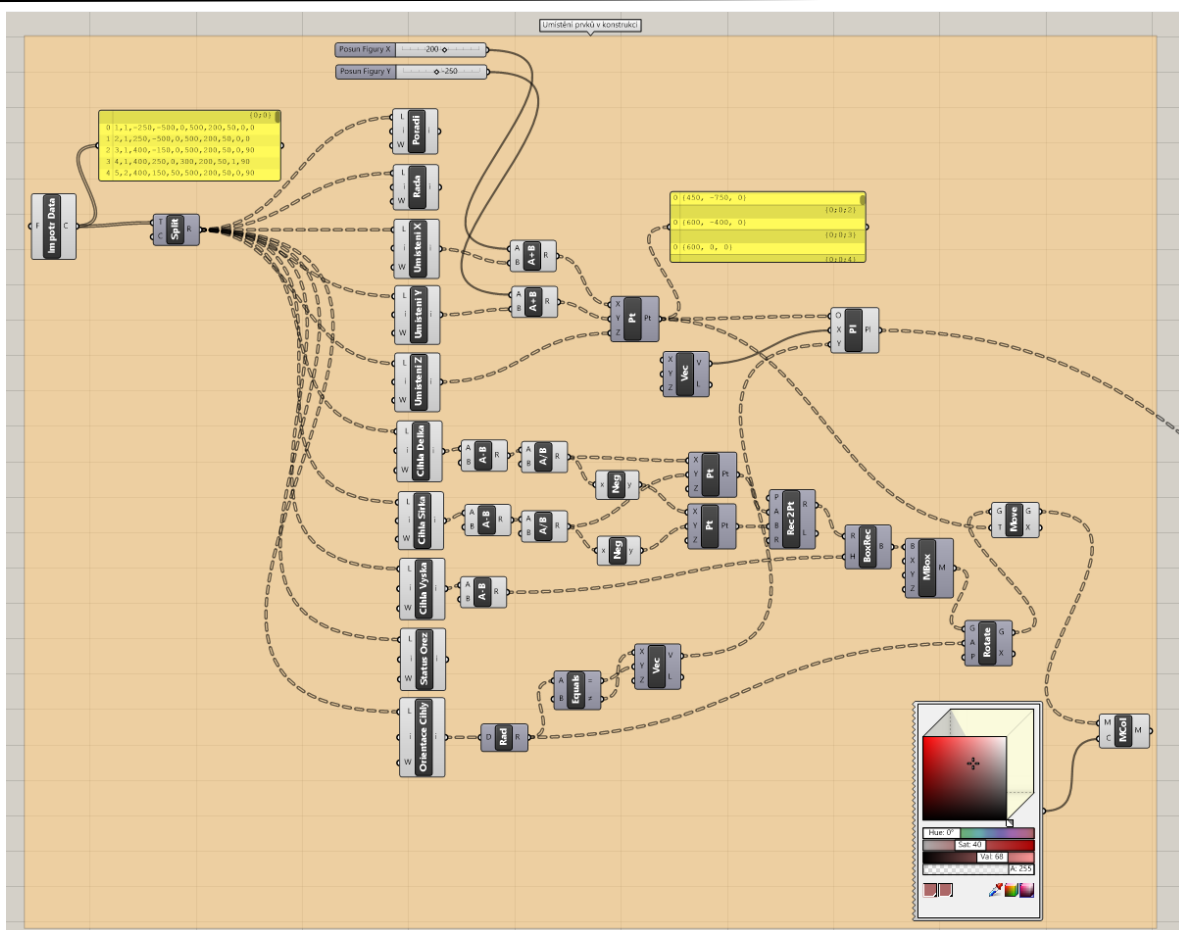
Obr. 45 Pracovní prostředí softwaru Rhino 6, převzato z [26]

Na obrázku č.45 jsou zobrazeny čtyři pohledy na model robota zdícího cihly. V pravém horním rohu je pohled shora na robota umístěného uprostřed podstavce a v horní části podstavce je paleta naplněná cihlami. Z této palety si robot cihly odebírá pomocí přísavky a přesouvá je na své místo v konstrukci, pohyb robota a umístění jednotlivých cihel je naznačený pomocí šedivých vodících čar. V horním pravém rohu je pohled na celý model a dva spodní obrázky jsou pohledy, jeden z nich je pohled na robota ze strany a druhý pohled na robota zepředu. Dále jsou na obrázku vidět nástroje a záložky nástrojů softwaru Rhino 6.



Obr. 46 Celkový model vizuálního programování v plug-inu Grasshopper, převzato z [26]

Na obrázku č.46 je vidět celkový model naprogramovaný v plug-inu Grasshopper. Model je popsán detailněji po samostatných částích v dalších obrázcích, zde je vyobrazeno, jak do sebe části zapadají a jak jsou na sebe napojeny.



Obr. 47 Část modelu zodpovědná za umístění cihel v konstrukci, převzato z [26]

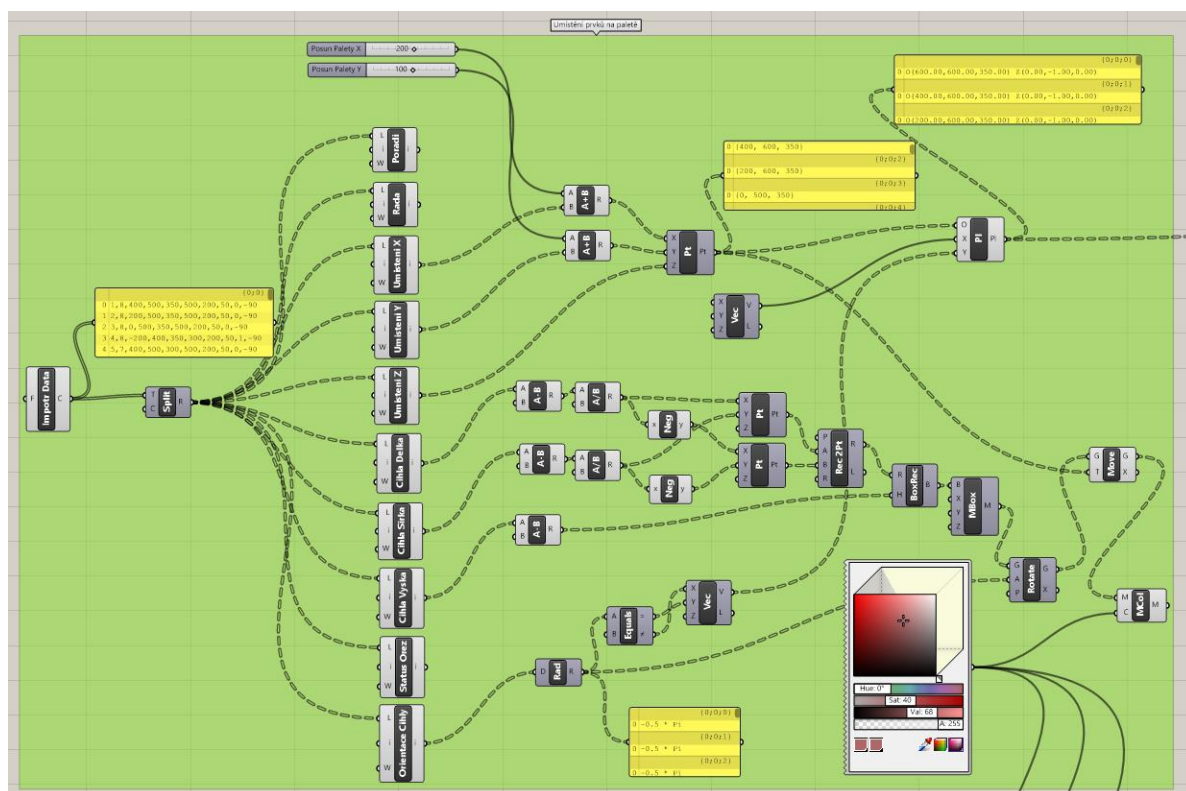
Tato část modelu z obrázku č.47 je zodpovědná za výsledné umístění cihel v konstrukci. Jak jsem popisoval na začátku této kapitoly, zde jsou neseny vstupní informace o umístění cihel v konstrukci.

```

1 1,1,-250,-500,0,500,200,50,0,0
2 2,1,250,-500,0,500,200,50,0,0
3 1,400,-150,0,500,200,50,0,90
4 1,400,250,0,300,200,50,1,90
5 2,400,150,50,500,200,50,0,90
6 2,400,-350,50,500,200,50,0,90
7 2,50,-500,50,500,200,50,0,0
8 2,-350,-500,50,300,200,50,1,0
9 3,-250,-500,100,500,200,50,0,0
10 3,250,-500,100,500,200,50,0,0
11 3,400,-150,100,500,200,50,0,90
12 3,400,250,100,300,200,50,1,90
13 4,400,150,150,500,200,50,0,90
14 4,400,-350,150,500,200,50,0,90
15 4,50,-500,150,500,200,50,0,0
16 4,-350,-500,150,300,200,50,1,0
17 5,-250,-500,200,500,200,50,0,0
18 5,250,-500,200,500,200,50,0,0
19 5,400,-150,200,500,200,50,0,90
20 5,400,250,200,300,200,50,1,90
21 6,400,150,250,500,200,50,0,90
22 6,400,-350,250,500,200,50,0,90
23 6,50,-500,250,500,200,50,0,0
24 6,-350,-500,250,300,200,50,1,0
25 7,-250,-500,300,500,200,50,0,0
26 7,250,-500,300,500,200,50,0,0
27 7,400,-150,300,500,200,50,0,90
28 7,400,250,300,300,200,50,1,90
29 8,400,150,350,500,200,50,0,90
30 8,400,-350,350,500,200,50,0,90
31 8,50,-500,350,500,200,50,0,0
32 8,-350,-500,350,300,200,50,1,0
    
```

Obr. 48 Vstupní data o umístění cihel v konstrukci, převzato z [26]

Na obrázku č. 48 jsou tyto vstupní informace vypsány dle jednotlivých cihel a řad ve kterých jsou umístěny. První číslo v řádku je pořadí cihly v řadě a druhé číslo je číslo řady. Z toho plyne, že model použitý pro tuto práci bude mít celkové 32 cihel a bude mít 8 řad. Další číslice nesou data o velikosti cihly a jejím umístění. Poslední číslice je stupeň otočení cihly 0° nebo 90°. Dokument je také psaný tak, že první řádek je první cihla, která bude umístěna v objektu a končit se bude cihlou, která je označena v řádku č.32.



Obr. 49 Část modelu zodpovědná za umístění cihel na paletě, převzato z [26]

Zelená část modelu, zobrazená na obrázku č.49, je zodpovědná za umístění cihel na paletě a za polohu palety. I tato část nese vstupní data do modelu, stejně jako předchozí oranžová část.

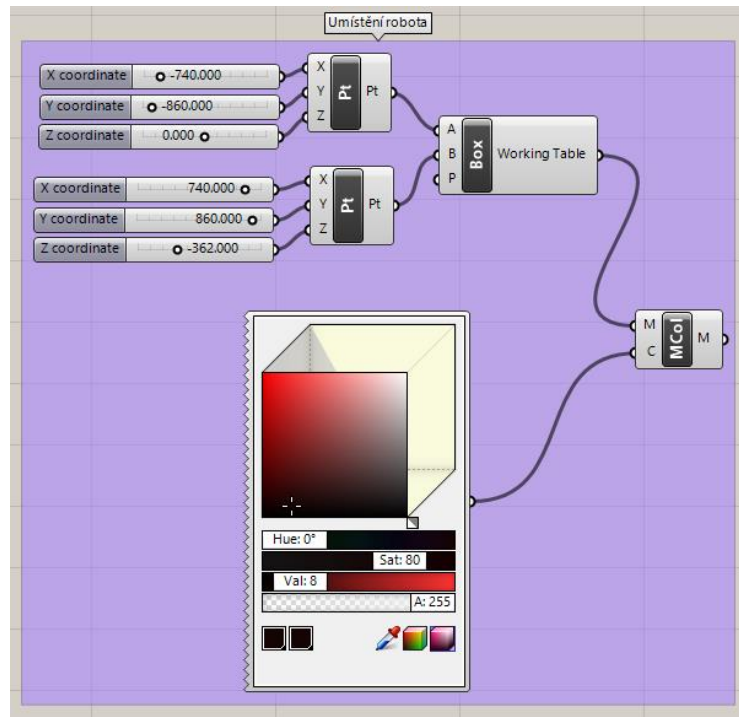
Na dalším obrázku č.50 jsou řádkově vypsána vstupní data o složení cihel na paletě a jejich poloze. Stejně jako u vstupních dat o umístění cihel v konstrukci, tak i zde je první číslo pořadí cihly v řadě a druhé číslo pořadí řady. Následující čísla udávají polohu cihly na paletě a její rozměry. Poslední číslo je znovu pootočení cihly. Rozdílu si můžeme všimnout zde takového, že díky tomu, že cihly jsou odebírány z palety shora, pořadí řad cihel je zde sestupné od prvního řádku.

```

C:\Users\Admin\Desktop\Model-Cihly\Import\paleta.bt - Notepad++
Soubor Úpravy Najít Zobrazit Formát Syntaxe Nastavení Nástroje Makro Spustit Pluginy Okno ?
34b922efb3ec3bcdf233a26741e0782-Revit.rvt MODEL-ffc-1.bt paleta.bt
1 1, 8, 400, 500, 350, 500, 200, 50, 0, -90
2 2, 8, 200, 500, 350, 500, 200, 50, 0, -90
3 3, 8, 0, 500, 350, 500, 200, 50, 0, -90
4 4, 8, -200, 400, 350, 300, 200, 50, 1, -90
5 5, 7, 400, 500, 300, 500, 200, 50, 0, -90
6 6, 7, 200, 500, 300, 500, 200, 50, 0, -90
7 7, 7, 0, 500, 300, 500, 200, 50, 0, -90
8 8, 7, -200, 400, 300, 300, 200, 50, 1, -90
9 9, 6, 400, 500, 250, 500, 200, 50, 0, -90
10 10, 6, 200, 500, 250, 500, 200, 50, 0, -90
11 11, 6, 0, 500, 250, 500, 200, 50, 0, -90
12 12, 6, -200, 400, 250, 300, 200, 50, 1, -90
13 13, 5, 400, 500, 200, 500, 200, 50, 0, -90
14 14, 5, 200, 500, 200, 500, 200, 50, 0, -90
15 15, 5, 0, 500, 200, 500, 200, 50, 0, -90
16 16, 5, -200, 400, 200, 300, 200, 50, 1, -90
17 17, 4, 400, 500, 150, 500, 200, 50, 0, -90
18 18, 4, 200, 500, 150, 500, 200, 50, 0, -90
19 19, 4, 0, 500, 150, 500, 200, 50, 0, -90
20 20, 4, -200, 400, 150, 300, 200, 50, 1, -90
21 21, 3, 400, 500, 100, 500, 200, 50, 0, -90
22 22, 3, 200, 500, 100, 500, 200, 50, 0, -90
23 23, 3, 0, 500, 100, 500, 200, 50, 0, -90
24 24, 3, -200, 400, 100, 300, 200, 50, 1, -90
25 25, 2, 400, 500, 50, 500, 200, 50, 0, -90
26 26, 2, 200, 500, 50, 500, 200, 50, 0, -90
27 27, 2, 0, 500, 50, 500, 200, 50, 0, -90
28 28, 2, -200, 400, 50, 300, 200, 50, 1, -90
29 29, 1, 400, 500, 0, 500, 200, 50, 0, -90
30 30, 1, 200, 500, 0, 500, 200, 50, 0, -90
31 31, 1, 0, 500, 0, 500, 200, 50, 0, -90
32 32, 1, -200, 400, 0, 300, 200, 50, 1, -90

```

Obr. 50 Vstupní data o umístění cihel na paletě, převzato z [26]

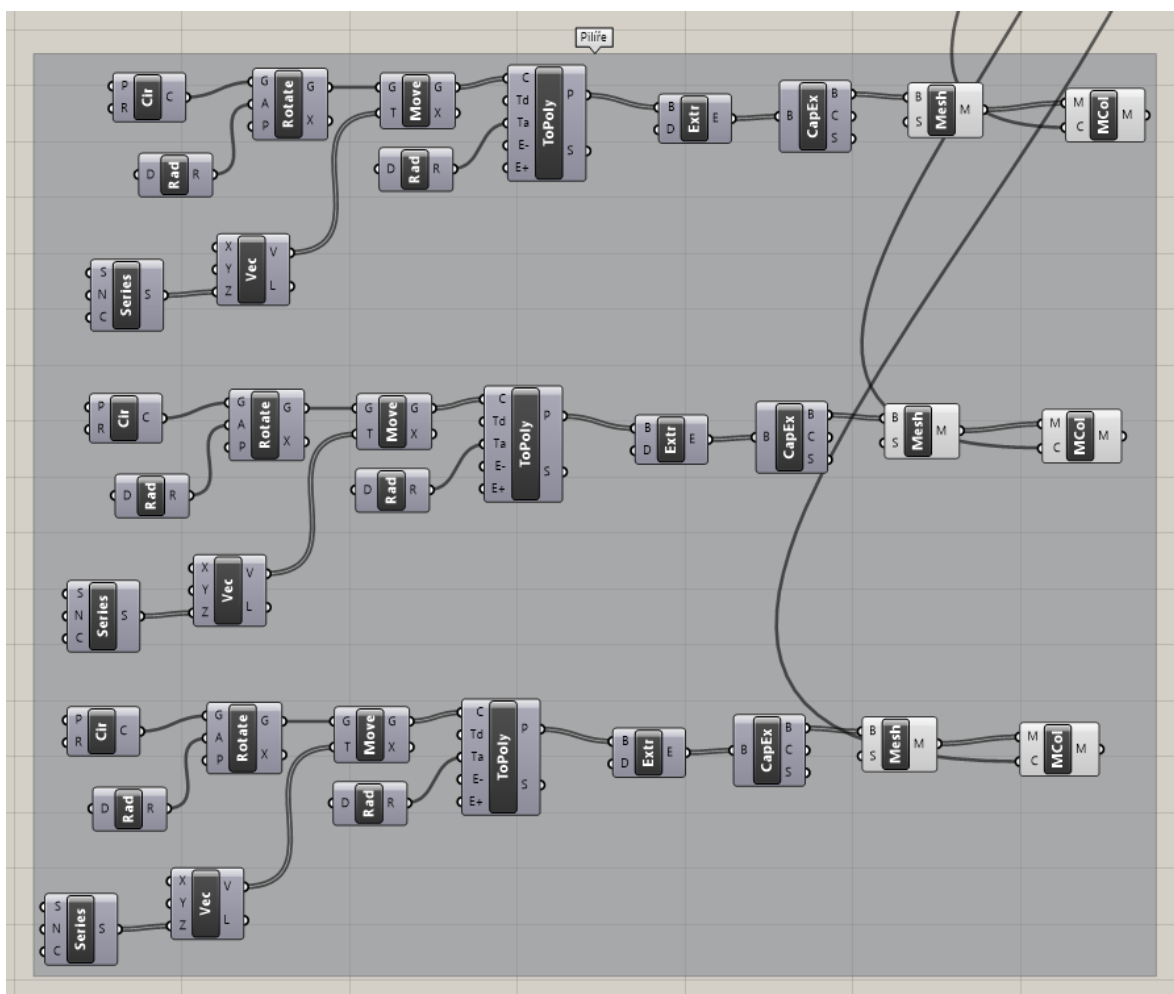


Obr. 51 Vstupní informace o umístění robota, převzato z [26]

Na obrázku č.51 je vyobrazena fialová část modelu, která je zodpovědná za umístění robota na podkladu. Tyto informace jsou velmi důležité pro další práci

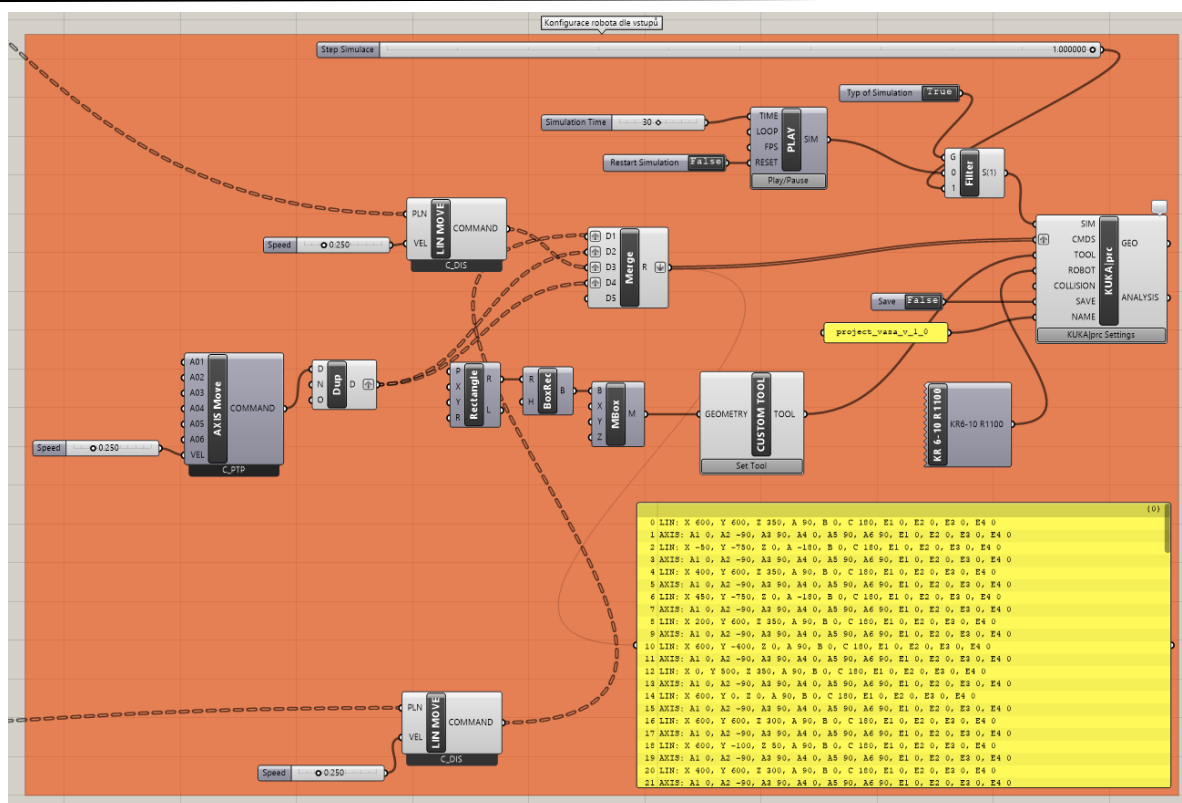
v modelu, a to z toho důvodu, že robot je statický a tyto informace se většinou v průběhu experimentu nemění.

Jako poslední část se vstupními daty je šedá část z obrázku č.52, kde se dají najít vstupní data o prvcích, které jsou nařezány z přebytečných odřezků, které vznikly během experimentu. A dále jsou tyto odřezky vyskládány do pilířů, jak je zřetelné z obrázku č.45 a obrázku č.54. Tyto pilíře jsou pouze designový prvek a možnost, jak využít tyto přebytečné odřezky vzniklé z řezání cihel.



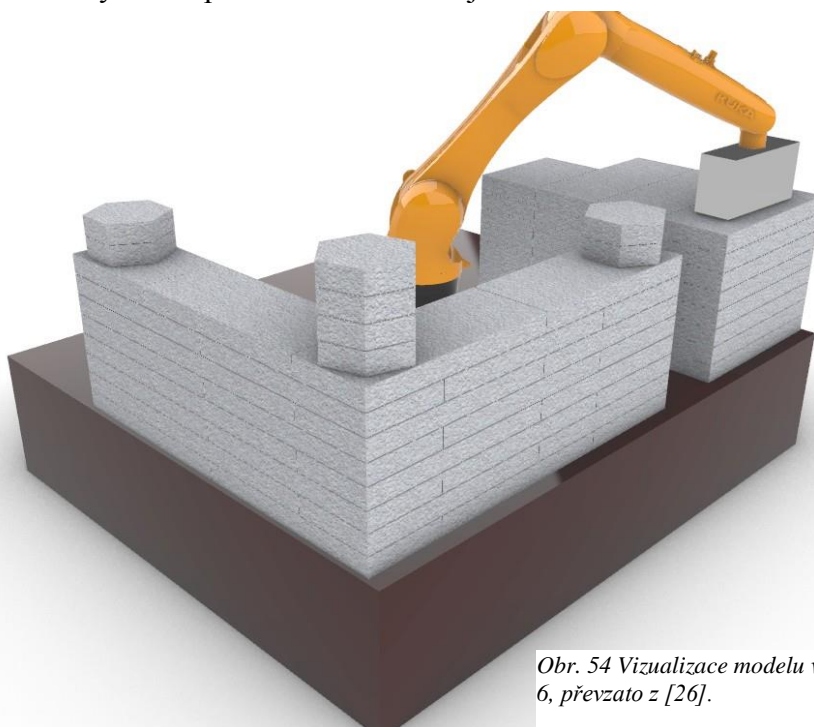
Obr. 52 Vstupní data o pilířích, převzato z [26]

Obrázkem č.52 jsem prošel všechna vstupní data v probíraném modelu. Jako poslední zbývá se podívat na část oranžovou na obrázku č.53, která je zodpovědná za konfiguraci robota, a zároveň je závislá na všech předešlých částech. Bez těchto částí, by nebylo možné nakonfigurovat robota na konkrétní projekt.



Obr. 53 Konfigurace robota na základě vstupních dat, převzato z [26]

Nakonec je popsán nástroj softwaru Rhino 6, se kterým je možno vytvořit vizualizaci tohoto modelu. Vizualizace je vytvořena pomocí nástroje renderování, kde je možné si nastavit i strukturu materiálu, která se renderuje do modelu. Na obrázku č.54 je tedy možné vidět výsledek použití tohoto nástroje.



Obr. 54 Vizualizace modelu v softwaru Rhino 6, převzato z [26].

5 Praktická ukázka

Další částí této práce je praktická ukázka na třech experimentech, které byly provedeny na fakultě stavební v místnosti B 482, což je laboratoř pro Robotizaci Stavebních Procesů, laboratoř spadá pod katedru technologií staveb (k122).

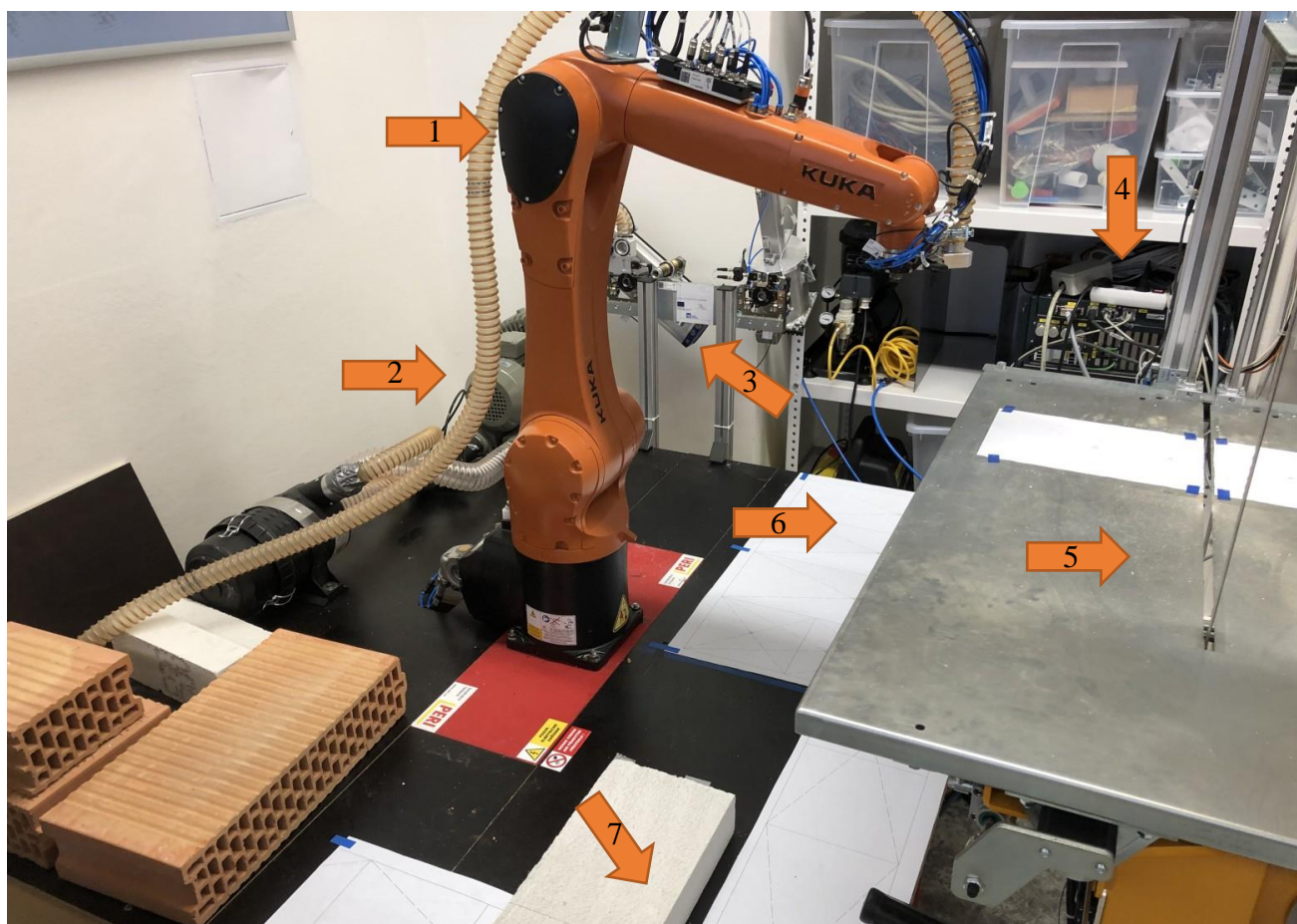
Experimenty byly provedeny s pomocí zdícího robota KUKA Agilus Kr 10 R110. Zdící prvek byl vybrán na základě únosnosti robota a velikosti plochy, na které je možno vyzdít část konstrukce. Únosnost na konci ruky robota je 10 kg a únosnost greiferu – přísavky je 24 kg viz „Výpočet síly působící na přenášený prvek přísavkou“ v kapitole 3.3.1.

Pro experimenty jsem vybral zdící prvek P2-500 od firmy Hebel. Tento zdící prvek je přednostně využíván pro příčky s rozměry 499x199x50. V experimentech byl využit tento prvek jiným způsobem, a to na ležato. Tímto způsobem bude prvek simulovat půdorysné rozměry velkých prvků pro nosné stěny, ale s menší vahou, díky výšce prvku jen 50 mm, a ne klasického modulu 250 mm.



Obr. 55 P2-500 499x199x49, převzato z [27]

Robot je stacionární, připevněný uprostřed svého pracoviště na překližce rozměrů 148 x 172 cm. Popis pracoviště robota je viditelný na obrázku č. 56.



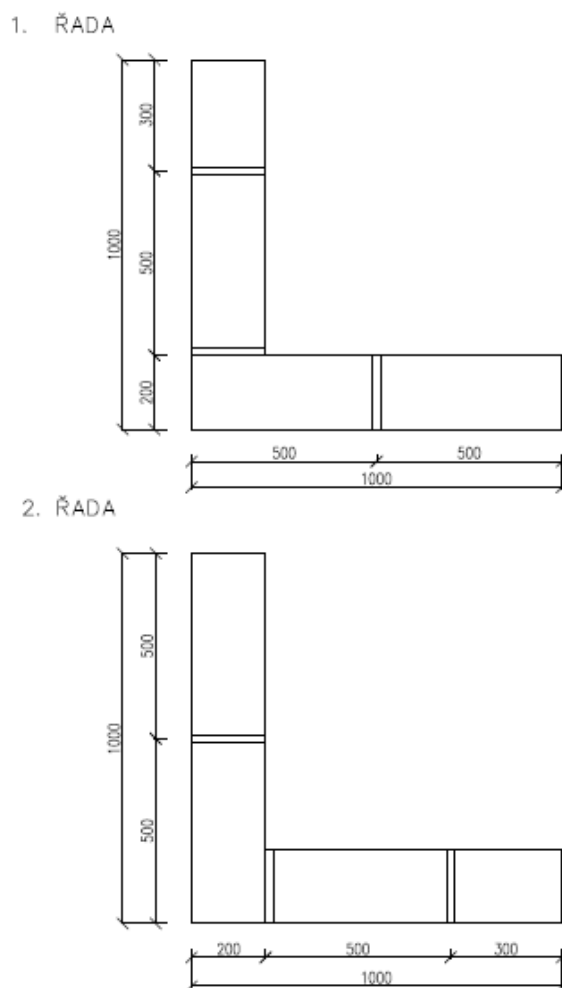
Obr. 56 Pracoviště robota, autor Jan Illetško

Legenda obrázku

1. Robot KUKA Agillus Kr 10 R110
2. Dmychadlo RT 4018-1
3. Stojanový rám pro výměnu greiferů
4. Počítačová ovládací jednotka robota
5. Stavební pila (na experimenty 2 a 3 bude odstavena)
6. Místo pro uložení zdících prvků
7. Místo pro vyzdívaný roh konstrukce

5.1 Cíl experimentů

Cílem těchto experimentů je zautomatizovat proces zdění. Konkrétně v těchto experimentech je cílem nařezat pomocí stavební pily zdící prvek Hebel P2-500 na potřebné velikosti a vyzdít pomocí robota roh o rozměrech 1000 mm x 1000 mm na sucho a poté vyzdít takovýto roh se spojovací hmotou. Skladba tohoto rohu je znázorněna na obrázku č. 57. Roh bude vystavěn z 32 cihel a bude mít 8 řad.



Obr. 57 Půdorys vyzdívaného rohu, autor Jan Illetško



5.2 Experiment č.1

Tento experiment je zaměřen na řezání prvků pomocí stavební pily. V konstrukci rohu bude dle obrázku č. 57 v každé řadě jeden prvek, který je potřeba zmenšit z 500 mm délky na 300 mm. Což znamená, že v tomto experimentu bude robot pomocí stavební pily rozřezávat 8 cihel na rozměry 300 mm a 200 mm cihly nám zbyde jako odřez. Všechny 8 cihel bude naskládáno na sobě na místě pro uložení zdících prvků viz obrázek č.56, odkud robot prvek odebere, následně nařeže pomocí pily a nařezaný prvek umístí na místo pro vyzdívání rohu také dle obrázku č.56.

Okolní podmínky experimentu:

Osvětlení: přirozené světlo – polojasno, umělé osvětlení – zářivky v učebně B 482

Teplota: venkovní teplota 13 °C, vnitřní teplota 21 °C

Vítr: venkovní – 3 až 7 m/s, vnitřní – bezvětří

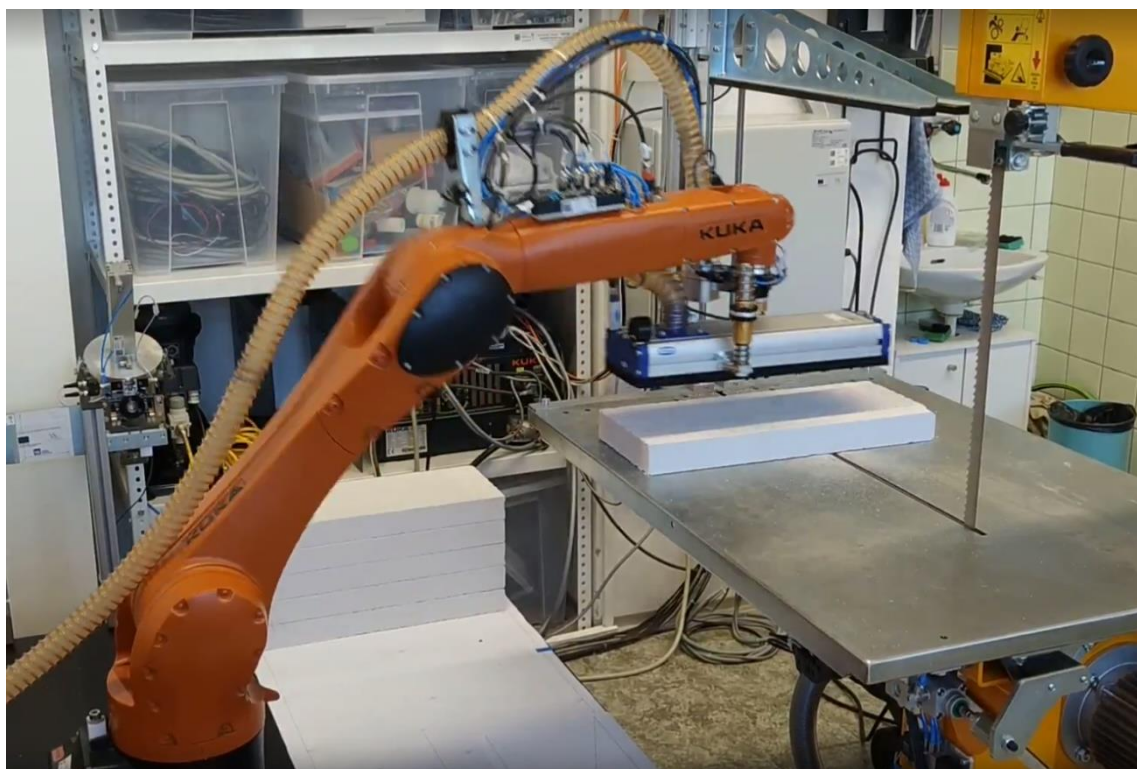
Průběh experimentu:

Robot se ze své základní pozice přesune ke stojanovému rámu, kde díky rychlovýměně nasadí greifer – přísavku. Dále se robot přesune s nasazenou přísavkou k naskládaným cihlám k nařezání, které jsou umístěné na místě pro uložení zdících prvků. Kde se pomocí dmyhadla vyvine v přísavce podtlak, kvůli kterému je možno prvek nadzvednout viz obrázek č.58.



Obr. 58 Nadzdvihnutí prvku pomocí přísavky, autor Jan Illetško

V dalším kroku robot umístí prvek na stavební pilu viz obrázek č.59.



Obr. 59 Uložení prvek do stavební pily, autor Jan Illetško

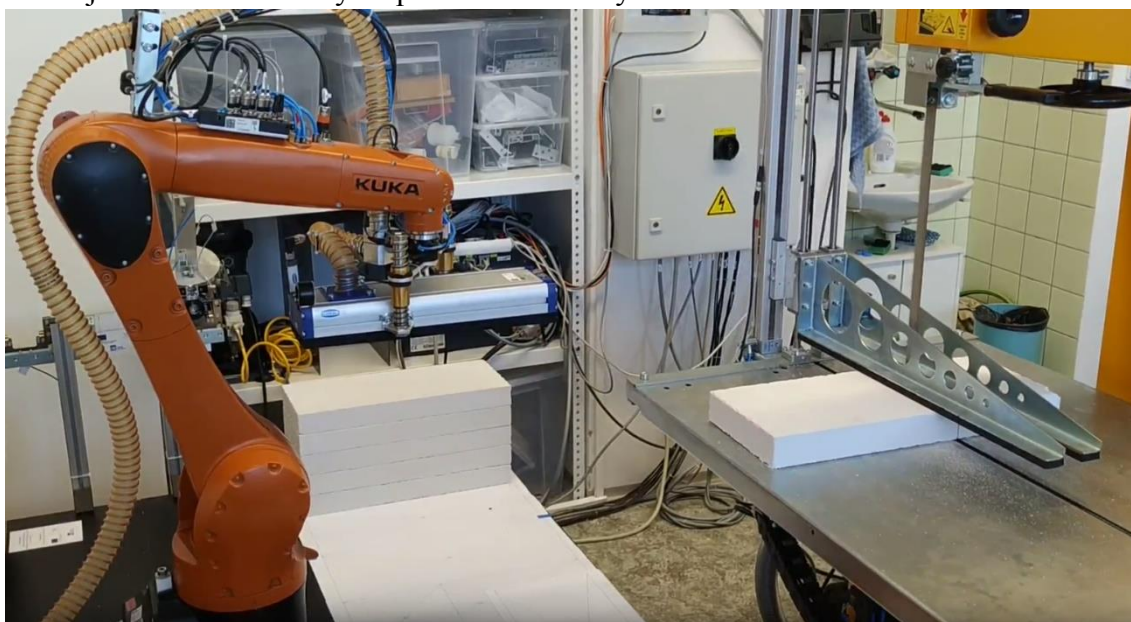
Následně se robotická ruka vrátí do své základní pozice stále s nasazenou přísavkou. Stavební pila, která je také ovládaná pomocí robota spustí na řezaný prvek

vodicí lištu pro pilu, kde lišta působí také jako závaží, které drží prvek na svém místě. Tato situace je znázorněna na obrázku č.60.



Obr. 60 Vodicí lišta se spuštěnou vodicí lištou, autor Jan Illetško

V tuto chvíli se spustí samotná stavební pásová pila se standartním pásem. Pracovní stůl, na kterém je umístěna cihla, se začne pohybovat směrem k pásové pile a tím dojde k rozdělení cihly na potřebně dva kusy viz obrázek č.61.



Obr. 61 Řezání cihly, autor Jan Illetško

Pracovní stůl pily se vrátí do původní pozice a pila se vypne. Vodící lišta se zvedne a uvolní cihlu. Následně je cihla nabrána pomocí přísavky a robotické ruky a cihla je umístěna na místo určené pro vyzdívání roh.

Tímto způsobem proběhne nařezání všech 8 cihel na potřebné rozměry a robot vrátí přísavku do stojanového rámu a vrátí se do standardní pozice.

Na obrázku č. 62 můžeme vidět rozdělenou cihlu na potřebné rozměry. Tloušťka řezu je minimální. Další zařízení, které bylo při řezání cihel zapnuto je vysavač, který byl umístěn pod pohyblivý stůl stavební pily. I vysavač byl napojen na robota a vždy, když robot zapnul stavební pilu, byl zároveň zapnut i vysavač, aby docházelo k co nejmenší prašnosti úkonu řezání.



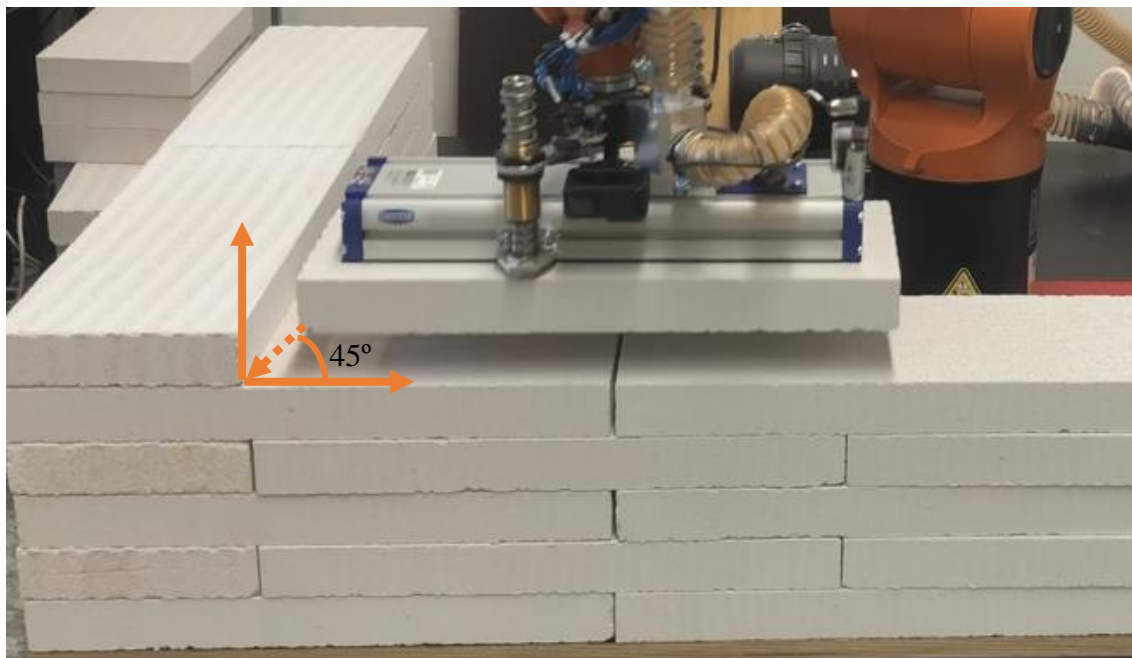
Obr. 62 Nařezaná cihly na potřebné rozměry, převzato z [26]

5.3 Experiment č.2

Experiment č.2 bude zaměřen na samotné vyzdívání rohu. Cihly budou vyzděny na vazbu, ale bez použití pojiva. Skladba a rozměry vyzdívaného rohu jsou vykresleny na obrázku č.57. Cihly budou připraveny na místě pro uložení zdících prvků, kde budou uloženy ve čtyřech sloupcích na sobě. Tři sloupce budou cihel výrobních rozměrů a jeden sloupec bude z cihel, které jsme nařezali v předchozím experimentu, tzn. 300 mm. Toto místo má imitovat paletu, ale vzhledem k nedostatečnému pracovnímu místu kolem robota, budou cihly uloženy na pracovní desce robota. Cihly budou z tohoto místa kladeny na vazbu v místě pro vystavovaný roh.

Způsob odebírání prvku a ukládání prvku:

Cihly musí být odebrány i ukládány pod specifickým úhlem, aby nezasahovaly do cihly, které jsou určeny ještě k odebrání nebo cihly, které už jsou umístěny v konstrukci. Tato kolize by mohla způsobit, nechtěné přemístění cihel. A hlavně by mohla způsobit poškození zařízení robota, jelikož robot nepozná, že má v cestě překážku. To může vyústit například v ohnutí přísavky. Proto jsou cihly odebírány a ukládány pod 45° vůči ostatním prvkům.



Obr. 63 Způsob uložení cihly do konstrukce, autor Jan Illetško

Okolní podmínky experimentu:

Osvětlení: přirozené světlo – polojasno, umělé osvětlení – zářivky v učebně B 482

Teplota: venkovní teplota 5 °C, vnitřní teplota 21 °C

Vítr: venkovní – do 4 m/s, vnitřní – bezvětrí

Průběh experimentu:

Pokus 01:

Experiment byl proveden dvakrát, díky neuspokojivému prvnímu výsledku experimentu bylo potřeba navrhnout rektifikační zařízení. Samotný popis experimentu bude uveden až v druhém pokusu. Na obrázku č.64 je výsledek prvního pokusu experimentu č.2.

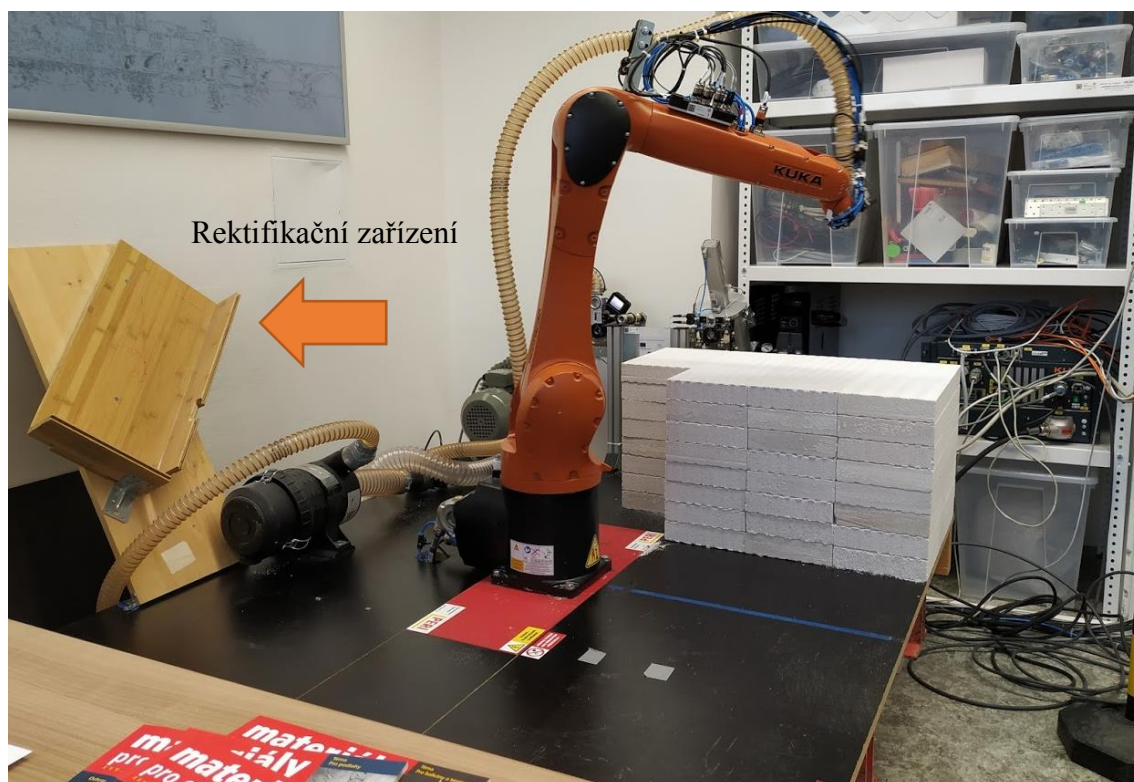


Obr. 64 Výsledek prvního pokusu experimentu č.2, autor Jan Illetško

Jak je vidět z obrázku č.64 provedená vazba zdiva rohu je nepřesná a prvky do sebe nezapadají, tak jak bylo plánováno. Ale příčina je znatelně systematická, to je patrné, jelikož cihly jsou vždy ob jednu řadu na stejném místě. Příčina těchto nepřesností

je způsobena ve chvíli, kdy robot nabírá cihlu z místa pro uložení zděných prvků. Cihly jsou zdě uloženy ručně lidskou silou, která vnese do systému nepřesnosti.

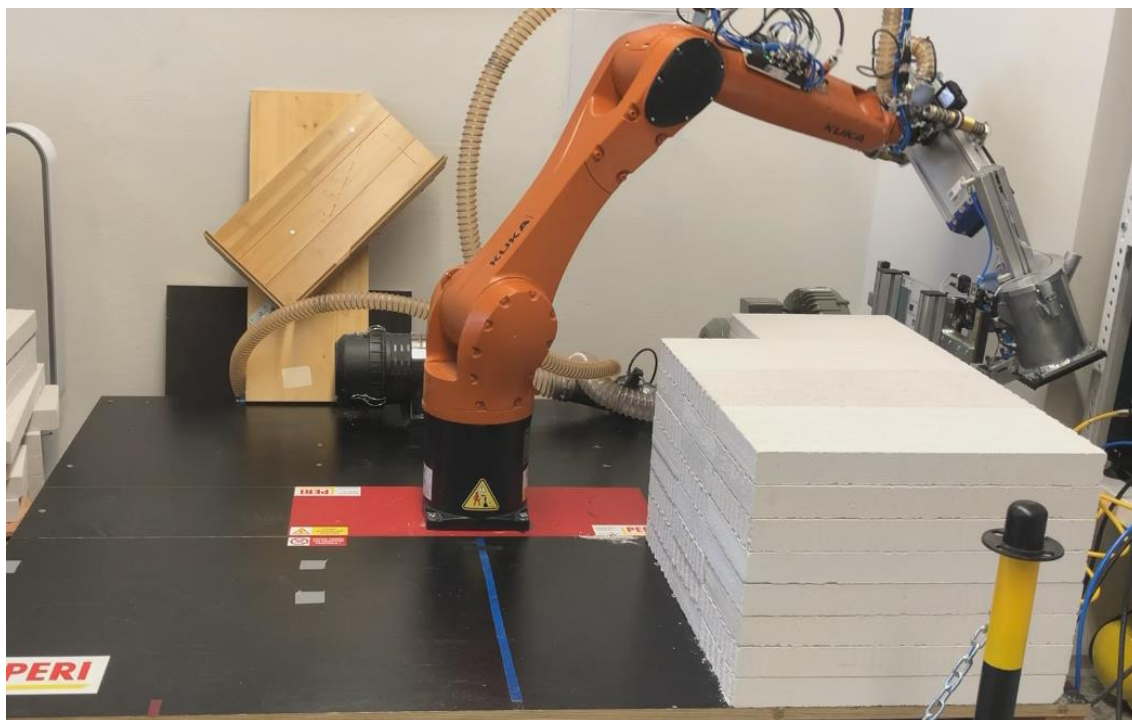
Z tohoto důvodu bylo nutné navrhnout rektifikační zařízení. Toto zařízení funguje na principu gravitační síly, a to tak, že cihla bude z menší výšky puštěna do krabice, která bude z jedné strany otevřena. Díky gravitační síle se cihla v nakloněné krabici srovná vždy do stejné pozice. Robot bude pak schopen cihlu z rektifikačního zařízení odebrat vždy stejně, což by mělo eliminovat nechtěné nepřesnosti. Na obrázku č. 65 je rektifikační zařízení, které je na pevno umístěno na pracovišti robota.



Obr. 65 Pracoviště robota doplněné o rektifikační zařízení, autor Jan Illetško

Pokus 02:

V druhém pokusu popíše průběh experimentu. Jako první se na ruku robota připojí greifer – přísavka, která je uložena na rámovém stojanu pomocí rychlovýměny, jak je vidět na obrázku č.66.



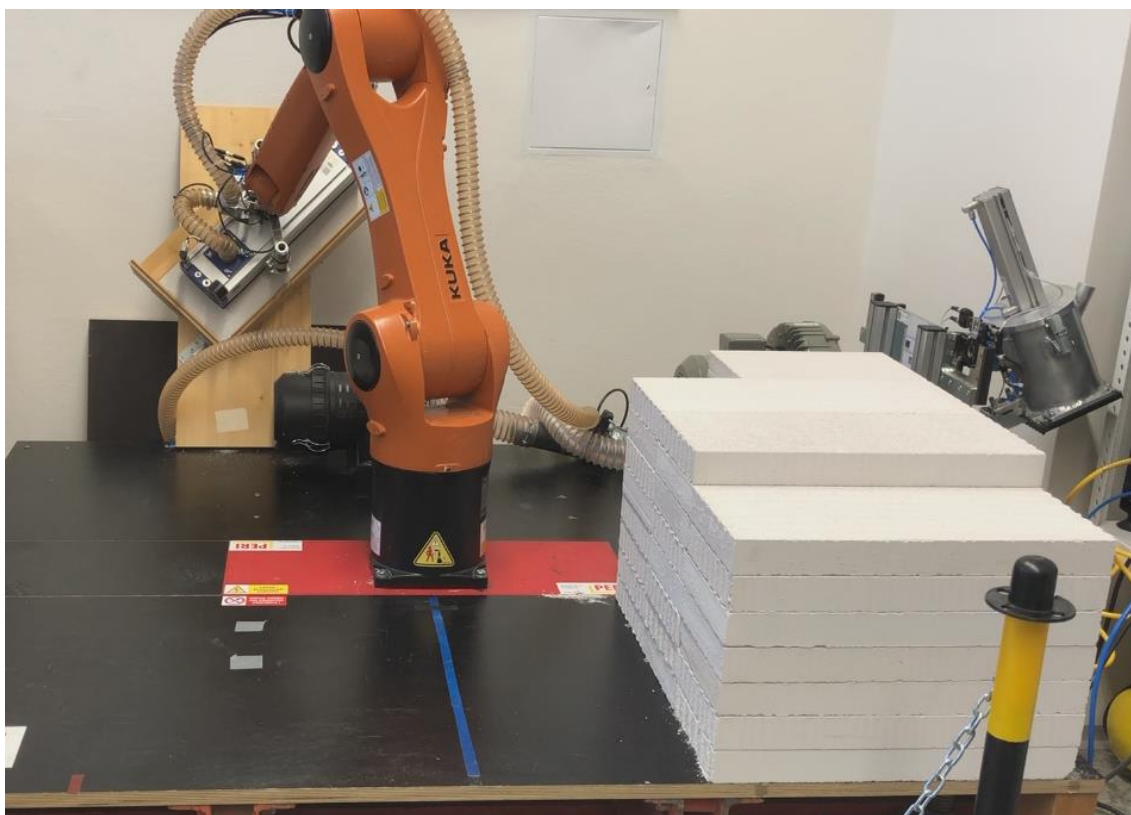
Obr. 66 Připojení přísavky, autor Jan Illetško



Obr. 67 Nabrání a přesun cihly do rektifikačního zařízení, autor Jan Illetško

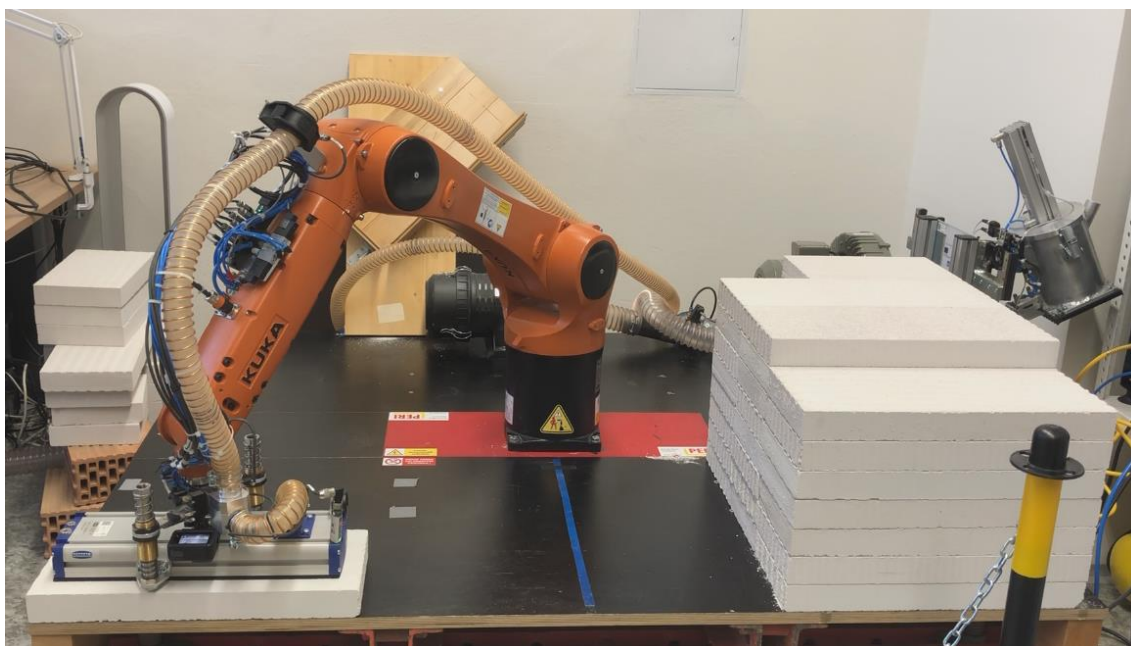
Dále se pomocí přísavky nabere cihla z prvního sloupce vyskládaných cihel. Stejně jako v experimentu č.1 podtlak vyvinutý pomocí dmyhadla umožní nadzdvihnout cihlu viz obrázek č.67.

Cihla se následně pustí z menší výšky do rektifikačního zařízení. A je možné ji odebrat vždy stejně pomocí robotické ruky, protože pozice rektifikačního zařízení je nahrána do robota, a tím, že se cihla po spuštění do krabice vždy srovná totožně, je možné jí také odebrat vždy korektně. Spuštění cihly do rektifikačního zařízení je znázorněno na obrázku č.68.



Obr. 68 Spuštění cihly do rektifikačního zařízení, autor Jan Illetško

Po rektifikaci cihly se cihla znovu nabere pomocí přísavky a je přesunuta na své místo v konstrukci rohu. Nejdříve jsou odebírány cihly z prvního sloupce, jak je vidět na obrázku č.68. Na každou řadu připadá jedna zkrácená cihla z čtvrtého sloupce, který je nejbližší stojanovému rámu pro výměnu nástrojů.



Obr. 69 Uložený prvek na místě v konstrukci rohu, autor Jan Illetško

Tento proces přebrání prvku z vyskládaných sloupců, přesunutí do rektifikačního zařízení, srovnání pozice prvku v rektifikačním zařízení, odebrání a uložení prvku na své místo v konstrukci se opakuje v našem případě dva a třicet krát, než je celý roh zcela vystaven. Celkový čas výstavby tohoto rohu je přibližně 13 minut. Na obrázku č.70 je výsledek druhého pokusu experimentu č.2. Kde můžeme vidět, že přesnost zdění se výrazně zlepšila oproti prvnímu pokusu. Tento výsledek už je přijatelný.



Obr. 70 Výsledek pokusu 02, autor Jan Illetško

5.4 Experiment č.3

Tento experiment není stěžejním experimentem této práce, a proto zde nebude probírán do hloubky. V experimentu bude testováno nanášení malty na cihly před jejich uložením do konstrukce rohu z experimentu č.2. Malta bude na cihly nanášena pomocí griferu – nanášeče. Jedna vrstva cihel byla z vystavěného rohu, který byl na sucho vyzděn v experimentu č.2.

Okolní podmínky experimentu:

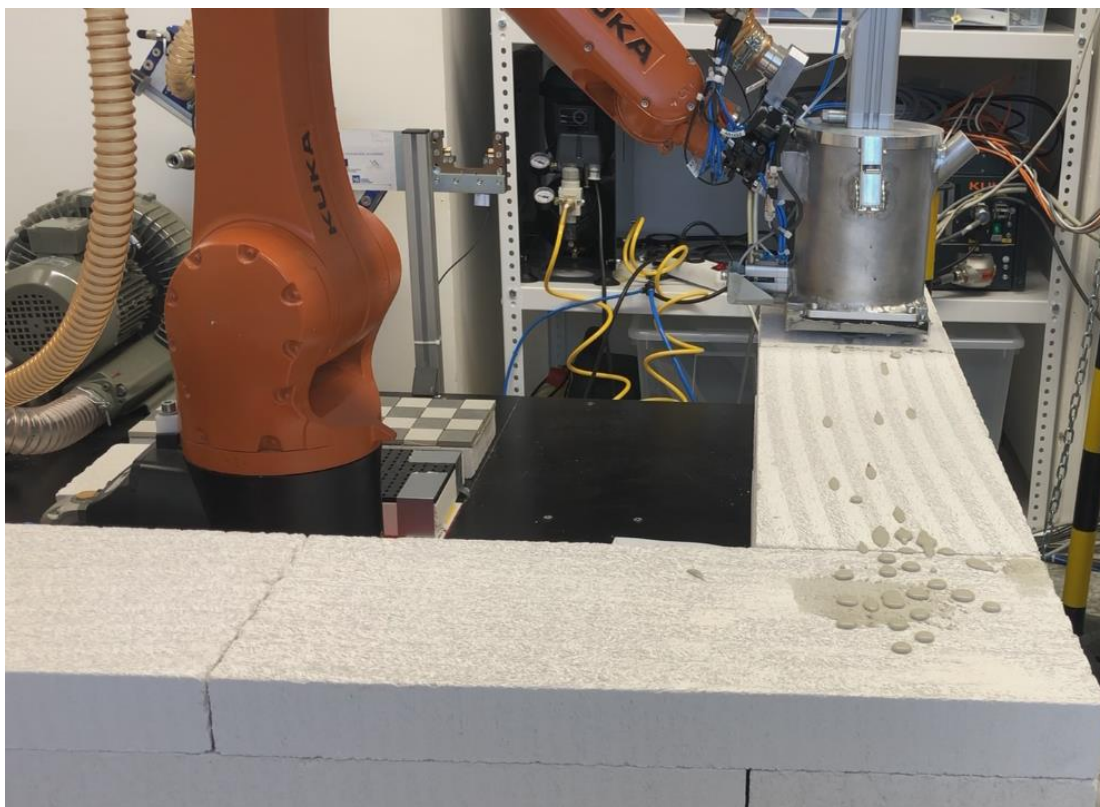
Osvětlení: přirozené světlo – polojasno, umělé osvětlení – zářivky v učebně B 482

Teplota: venkovní teplota 8 °C, vnitřní teplota 21 °C

Vítr: venkovní – do 7 m/s, vnitřní – bezvětrí

Průběh experimentu: Pokus 01

Nanášeč musí být naplněn směsí obsluhou a umístěn na stojanový rám odkud si robot nanášeč odebere a přesune se nad vyzděný roh, kde pomocí tlaku na píst uvnitř nanášeče vytvoří sílu, která začne vytlačovat směs z nanášeče přes dírkovanou hladicí desku, která je umístěna ve spod nanášeče.



Obr. 71 Nanášení malty pomocí nanašeče, autor Jan Illetško

Jak je vidět z obrázku č.71, nanášec nefunguje tak, jak bylo zamýšleno. Malé jemné částice písku, které jsou obsaženy v maltové směsi ucpali píst, který se uvnitř nádoby není schopný pohnout už ani jedním směrem a tím pádem je celý nanášec ucpán. Malé kapky, kterou jsou na obrázku č.71 vidět jsou zapříčiněny gravitační silou, kde maltová směs z nanášece pouze kape. Tento pokus odhalil velké nedostatky prototypu nanášece, a proto byly navrženy další dva pokusy.

Pokus 02:

V tomto pokusu bylo navrženo cihlu vzít pomocí přísavky a namočit spodní stranu cihly do maltové směsi, která bude rozprostřena na podložce s nadzdvihnutými hranami.



Obr. 72 Podložka s hranami pro maltovou směs, převzato z [26]

Po namočení cihly do maltové směsi, bude cihla přesunuta do konstrukce rohu, kde na ní bude vyvinut tlak pro správné usazení cihly, viz obrázek č.73.

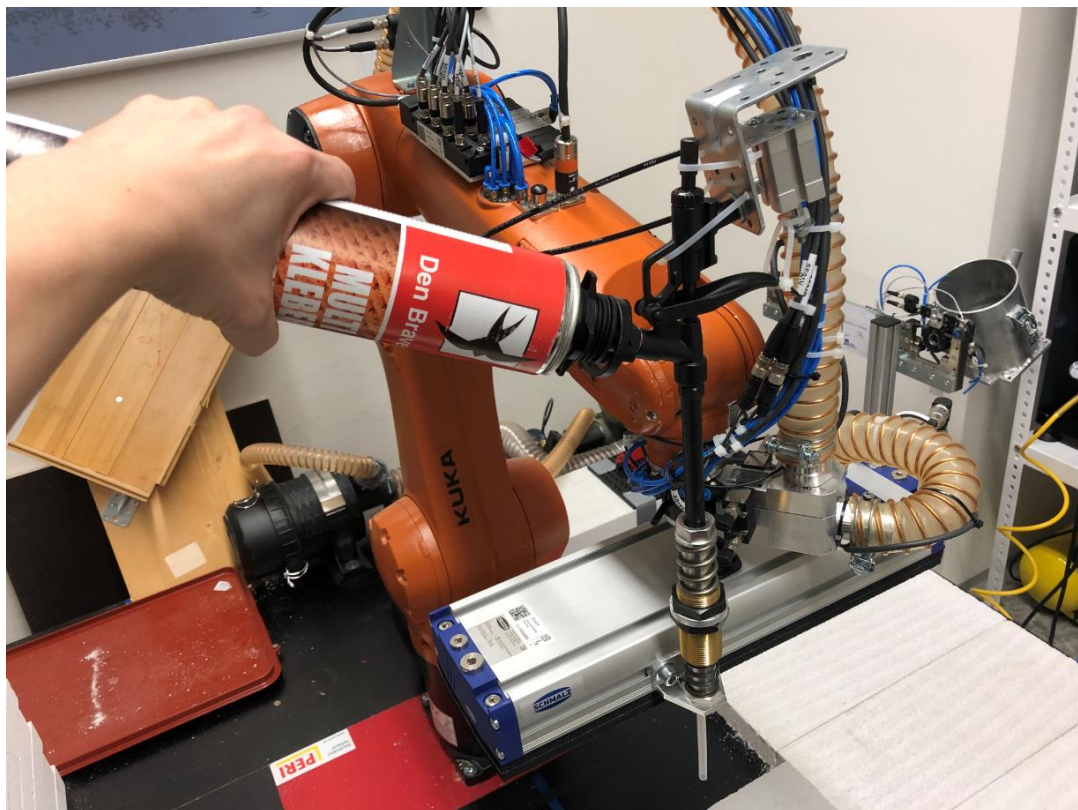


Obr. 73 Namočená cihla do maltové směsi ukládána do konstrukce rohu, převzato z [26]

Tento způsob není moc efektivní, jelikož člověk musí velmi často doplňovat maltovou směs na podložku. Také množství maltové směsi, které se přichytí na spodek cihly se liší podle toho, kolik směsi je na podložce doplněno. Což vyústí v to, že na každou cihlu je nanášeno odlišné množství maltové směsi a dochází k nerovnoměrnému uložení do konstrukce rohu.

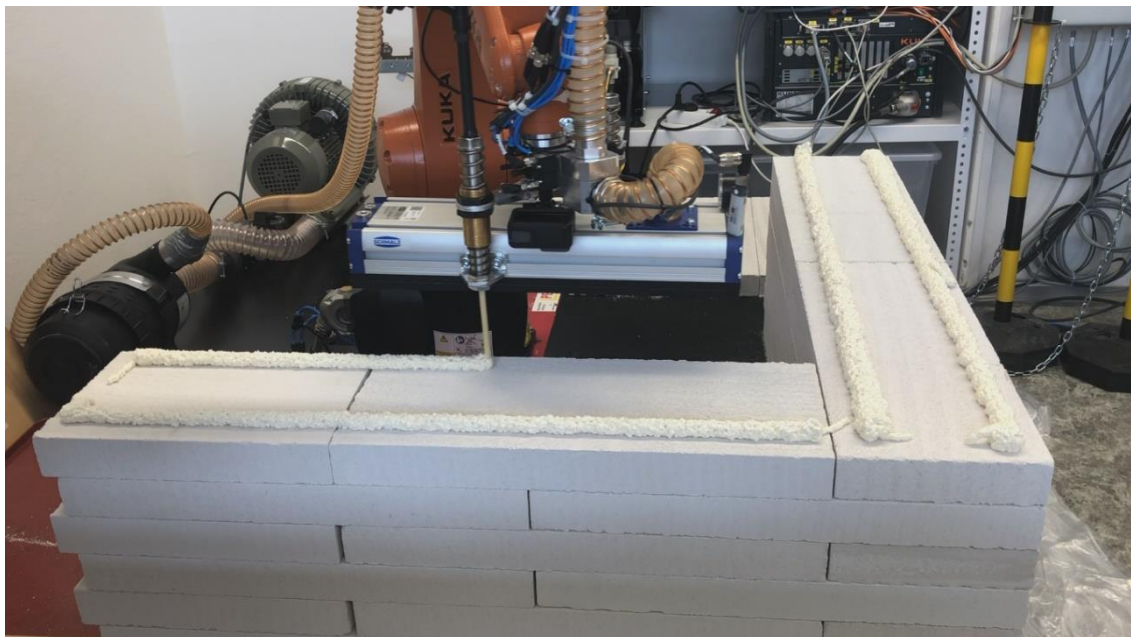
Pokus 03:

V pokusu číslo tři se provedla úprava greifery – přísavky, na kterou byla připevněna pistole z PUR pěnou. Tato úprava je vidět na obrázku č.74.



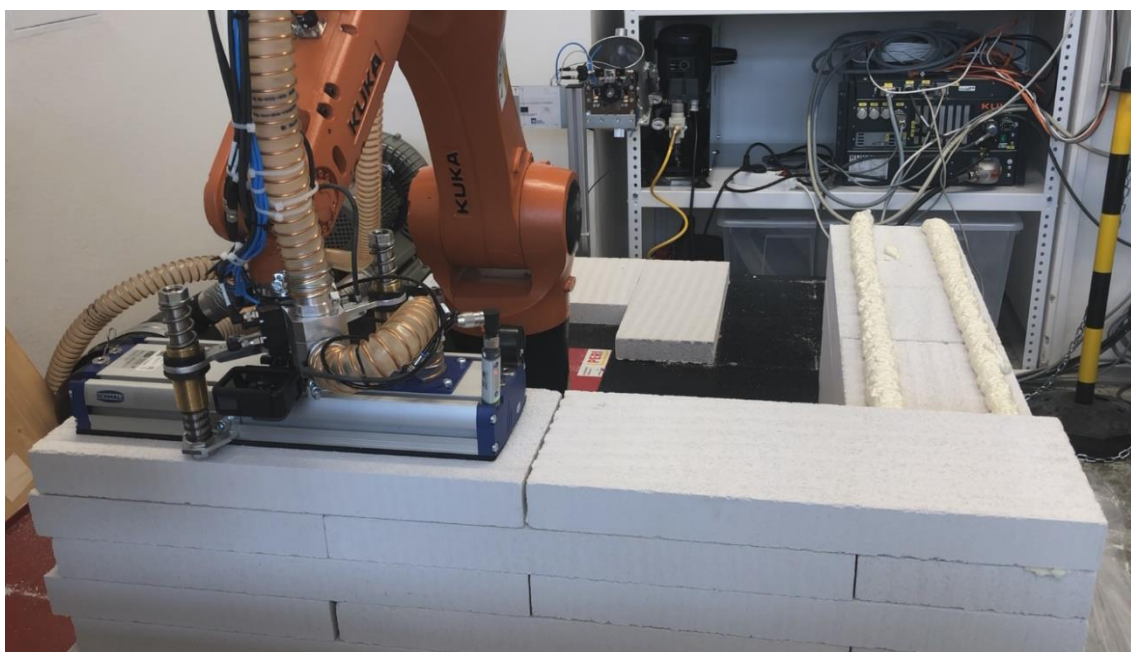
Obr. 74 Úprava greifery - přísavka, převzato z [26]

Stejně jako u předchozích pokusů byla odňata horní vrstva cihel na vystavěném rohu. Na vrstvu pod byla pomocí nově upravené přísavky nanesena PUR pěna ve dvou pruzích a následně byla pomocí přísavky uložena na pěnu příslušná cihla.



Obr. 75 Nanášení PUR pěny, převzato z [26]

Tento pokus byl nejnadějnější, a to kvůli jednoduché aplikaci PUR pěny, také jednoduchá příprava tohoto způsobu nanášení je velkou výhodou. Jedinou nevýhodou je to, že PUR pěna není připravena na nanášení na pórobetonové cihly, což způsobilo klouzání prvku po přitlačované ploše, a to vedlo k nepřesnému uložení prvku do konstrukce rohu.



Obr. 76 Ukládání prvku na PUR pěnu, převzato z [26]



6 Multikriteriální vyhodnocení

V této části práce se pokusím pomocí multikriteriálního vyhodnocení srovnat zdění pomocí robota versus zdění lidskou silou.

Jako první jsem zvolil šest kritérií, podle kterých vyhodnocení provedu.

- 1) Ekonomičnost
 - a. Robot – zde jsem zahrnul nákup robota, celého jeho vybavení, provoz robota a nákup materiálu
 - b. Člověk – zde je obsažena mzda dvou dělníků, jeden podavač druhý zedník a nákup materiálu
- 2) Rychlost práce
 - a. Robot – když se do robota nahraje předem připravený model, robot je schopen úkony provádět ve vysoké rychlosti bez únavy
 - b. Člověk – člověk pracuje také vcelku rychle, ale jeho výkonnost klesá s délkou pracovní doby
- 3) Bezpečnost
 - a. Robot – zde je možno vytvořit kolem robota pásmo, do kterého nelze vstoupit, pomocí laserových závor, které při přerušení paprsku vypnou robota
 - b. Člověk – člověk pracuje s těžkými břemeny v nebezpečném prostředí
- 4) Rozhodnost
 - a. Robot – robot není schopen obejít problém, není na to naprogramován a ani takovou možnost zatím nemá
 - b. Člověk – schopný řešit problémy za pomoci rozvahy
- 5) Délka pracovní doby
 - a. Robot – schopný pracovat 24 hodin denně
 - b. Člověk – pracovní doba 8,5 hodin denně, která by dle zákoníku práce č.282/2006 Sb. neměla být překročena
- 6) Zatížení člověka těžkou prací
 - a. Robot – při robotickém zdění těžká práce na člověka zcela odpadá nebo je zastoupena jen z části
 - b. Člověk – při zdění je člověk vystavován zvedání těžkých břemen



Poté jsem přiřadil pořadí kritérium dle důležitosti od 1 do 6, kde 1 je nejdůležitější v tomto případě „Bezpečnost“ a 6 nejméně důležité kritérium zde „Zatížení člověka těžkou prací“. Ve třetím sloupečku tabulky č.4 jsem určil povahu kritérií, kde povaha max znamená, že pro dané kritériu je vyšší hodnota lepší např.: vyšší hodnota bezpečnosti znamená, že je při práci poskytnuto bezpečnější prostředí. A pro povahu min menší hodnota je lepší, např.: zatížení člověka těžkou prací, kde je menší hodnota přijatelnější.

Ve čtvrtém sloupečku jsem přiřadil kritériům hlediska kvantitativní a kvalitativní. A poslední věc, kterou jsem provedl před samotným výpočtem bodového ohodnocení, bylo vypočtení vah, které je závislé na pořadí důležitosti.

Kritérium	Pořadí dle důležitosti	Povaha	Hledisko	Váha	Robot			Člověk		
					Hodnota	Pořadí	Body	Hodnota	Pořadí	Body
Ekonomičnost	2	Max	Kvalitativní	0,24	4	1	0,24	7	2	0,48
Rychlost práce	3	Max	Kvalitativní	0,19	5	2	0,38	3	1	0,19
Bezpečnost	1	Max	Kvalitativní	0,29	9	2	0,57	6	1	0,29
Rozhodnost	4	Max	Kvalitativní	0,14	0	1	0,14	9	2	0,29
Délka pracovní doby	5	Max	Kvantitativní	0,10	24	2	0,19	8,5	1	0,10
Zatížení člověka těžkou prací	6	Min	Kvalitativní	0,05	1	2	0,10	7	1	0,05
	21			1,00			1,62			1,38

Tab. 4 Multikriteriální vyhodnocení, autor Jan Illetško

Dle tabulky č.4 vyšlo hodnocení ve prospěch robota, v tomto případě se výhra dá připsat hlavně bodovému ohodnocení za bezpečnost. Která je u robota doopravdy vyšší. Dále velkou výhodou zdění robotem je nepřetržitý provoz bez únavy a omezení těžké práce pro člověka.



7 Závěr

V diplomové práci jsem se nejprve zabýval historickým vývojem cihel a zdění. Od prvních známek o cihlách, přes středověk, až po 20. století, a nakonec jsem podrobněji mapoval moderní výrobu cihel v současnosti. Dále jsem se v práci zabíral problematikou zapojení robotů ve stavebnictví v minulosti a v dnešní době. Krátce jsem se v práci pozastavil nad tématy průmyslu 4.0 a stavebnictví 4.0. Také jsem vyjmenoval několik dalších typů robotů, které se v současnosti používají na stavbách ke zdění.

V druhé části diplomové práce jsem se zabýval technologiemi. Nejdříve jsem uvedl příklady technologických postupů dvou největších výrobců cihel a tvárnic na českém trhu. Poté jsem se v práci detailněji zaměřil na technologický postup a vývojové diagramy pro robotické zdění. Dále byla v diplomové práci detailně popsána konstrukce a vlastnosti robota KUKA Agilus Kr 10 R110 se všemi jeho zařízeními. Poté byla zmíněna bezpečnost práce při zdění robotem. Nakonec jsem se v této části práce zabíral modelováním v softwarovém prostředí, včetně popisu potřebných vstupních dat, aby bylo možné vytvořit model a naprogramovat robota k úkonům zdění. Detailně bylo popsáno prostředí softwaru a jeho plug-inů.

Třetí část obsahuje praktické ukázky, které měly za cíl provést tři na sebe navazující experimenty. První z nich je řezání cihel nebo tvárnic pomocí robota a stavební pily. Tento experiment proběhl bez menších problémů, během experimentu se povedlo nařezat potřebné množství cihel na požadované rozměry, za účelem zdění na vazbu v navazujících experimentech. Druhý experiment provedený v této práci se týkal naskládání cihel na vazbu na sucho. V tomto experimentu bylo nutné udělat dva pokusy, jelikož při prvním pokusu se vyzdění na vazbu nepovedlo, tak jak bylo předpokládáno. A to proto, že vyzděný roh nebyl vyzděn přesně, mezi cihlami byli velké mezery a cihly byli vůči sobě pootočený. Proto v druhém pokusu druhého experimentu bylo navrženo rektifikační zařízení, které poskytlo vyhovující výsledky zdění na vazbu. Posledním experimentem bylo zdění pomocí robota na maltu. Při tomto experimentu bylo plánováno využít prototypu nanášече malty, který měl maltu rovnoměrně nanést na cihly, ale tento nanášеч selhal, díky zanesení. Proto byl navrhnuty další dva alternativní postupy. Jednalo se o namáčení cihel do malty před jejich uložením do konstrukce, anebo o nanášení PUR pěny pomocí pistole připevněné na konstrukci přísavky. Při následném srovnání se jako



účinnější jevílo nanášení PUR pěny pomocí pistole. Tento způsob přinesl jednoduchou aplikaci pojiva a současně odpadla nutnost neustálého čištění greifer-nanášeče a souvisejících zařízení.

Na konci práce byla vytvořena multikriteriální analýza pro porovnání zdění robotem versus zdění lidskou silou. Tuto analýzu bodově vyhrál robot, a to hlavně díky bezpečnosti, kterou je schopen nabídnout při práci.

Robot zatím není schopen vyzdít velký a složitý typ konstrukce, ale je zde velký potenciál na vyzdívání menších často se opakujících částí konstrukcí, jako jsou například rohy. S postupným časem, ale očekávám zlepšení a možná jednou bude robot schopný vyzdít sám několika patrový objekt.



8 Přílohy

- Příloha 1 – Technický list cihly HEBEL P2-500
- Příloha 2 – Výkres zděného rohu
- Příloha 3 – Zdrojový kód zdění



9 Zdroje

- [1] ŠKABRAHA, Jiří. *Konstrukce historických staveb*. 3. vydání. Vydavatelství ČVUT, 2000. ISBN 80-01-02071-1.
- [2] STAŇKOVÁ, Jaroslava a Josef PECHAR. *Tisíciletý vývoj architektury*. 3. přeprac. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1989. Polytechnická knihovna (SNTL). ISBN 80-030-0073-4.
- [3] BUKOVSKÝ, Jan. *Dějiny stavitelství: přehled vývoje architektury a stavebnictví*. Brno: CERM, 2001. ISBN 80-720-4215-7.
- [18] HŮRKA, Václav. *Návod k obsluze část strojní (mechanická)*. Praha: BLUMENBECKER PRAG, 2018.
- [25] SVOBODA, Pavel a Vyacheslav USMANOV. *Concept of a wall building industrial robotic system*. Praha: Secretariat PEOPLE-X, 2011. ISBN 978-89-954572-4-5

Online zdroje

- [4] *Brick and tile* [online]. London: Encyclopædia Britannica, 2019 [cit. 2019-10-08]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/technology/brick-building-material>
- [5] *Větší než Velká čínská zeď: internetová cenzura, na niž je krátký Facebook i Google* [online]. Praha: ÚSTAV NEZÁVISLÉ ŽURNALISTIKY, 2015 [cit. 2019-10-08]. Dostupné z: <https://hlidacipes.org/velky-cinsky-firewall-odrizl-risi-stredu-od-sveta-fungovat-vam-tam-nebude-ani-mail/>
- [6] *Dokumentace románského zdiva v kostele sv. Petra a Pavla v Praze 8 – Bohnicích* [online]. Praha: Národní památkový ústav v Praze, 2010 [cit. 2019-10-08]. Dostupné z: <http://www.archeopraha.cz/dokumentace-romanskeho-zdiva-v-kostele-sv-petra-pavla-v-praze-8-bohnicich>
- [7] *Vazby cihelného pohledového zdiva* [online]. Praha: Estav.cz, 2017 [cit. 2019-10-08]. Dostupné z: <https://www.estav.cz/cz/4880.vazby-cihelneho-pohledoveho-zdiva>
- [8] *Konstrukční varianty kleneb* [online]. Praha: ELUC, 2015 [cit. 2019-10-08]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/2199>



- [9] *Kostel svatého Prokopa (Žižkov)* [online]. Praha: wikipedia, 2006 [cit. 2019-10-08].
Dostupné z:
[https://cs.wikipedia.org/wiki/Kostel_svat%C3%A9ho_Prokopa_\(%C5%BDi%C5%BEkov\)](https://cs.wikipedia.org/wiki/Kostel_svat%C3%A9ho_Prokopa_(%C5%BDi%C5%BEkov))
- [10] BOCK, Thomas a Thomas LINNER. *Construction Robots Elementary Technologies and Single-Task Construction Robots* [online]. 3. vydání. Cambridge University: Cambridge University Press, 2017 [cit. 2019-10-22]. ISBN 9781139872041.
Dostupné z: <https://www.cambridge.org/core/books/construction-robots/BCA613ACE148774DA57A94393D11ED99#fndtn-contents>
- [11] *Industry 4.0 and Industrial IoT in Manufacturing: A Sneak Peek* [online].
Dartmouth: Aberdeen, 2017 [cit. 2019-10-23]. Dostupné z:
<https://www.aberdeen.com/opspro-essentials/industry-4-0-industrial-iot-manufacturing-sneak-peek/>
- [12] GEISSBAUER, Dr. Reinhard. *Industry 4.0: Building the digital enterprise* [online]. [cit. 2019-10-23]. Dostupné z:
<https://www.pwc.com/gx/en/industries/industries-4.0/landing-page/industry-4.0-building-your-digital-enterprise-april-2016.pdf>
- [13] FIBIGER, Jan. *Stavebnictví 4.0. TZB-info* [online]. TZB-info, 2017 [cit. 2019-10-25]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/15752-stavebnictvi-4-0>
- [14] FIBIGER, Jan. *Co je BIM - informační model budovy. BIMinfo* [online]. Casua, 2017 [cit. 2019-10-25]. Dostupné z: <https://www.bimfo.cz/Co-je-BIM.aspx>
- [15] HORSKÝ, Antonín. *Podklad pro provádění. Wienerberger* [online]. České Budějovice: Wienerberger, 2017 [cit. 2019-10-25]. Dostupné z:
https://www.wienerberger.cz/content/dam/wienerberger/czech-republic/marketing/documents-magazines/instructions-guidelines/CZ_Podklad_pro_provedeni.pdf
- [16] *Pracovní postup Ytong. Ytong.cz* [online]. Brno: Xella CZ, 2009 [cit. 2019-10-28].
Dostupné z: <https://www.ytong.cz/cs/docs/pracovni-postupy-www-09.pdf>



- [17] HEJHÁLEK, Honza. Historie cihly. Stavebnictvi3000.cz [online]. Hradec Králové: VEGA spol. s r.o., 2017 [cit. 2019-10-29]. Dostupné z:
<https://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/historie-cihly>
- [19] Stavební produkce. In: Český statistický úřad [online]. ČSÚ, 2019 [cit. 2019-11-04]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/stavebnictvi>
- [20] Jak se vyrábí cihla [online]. Svěpomocí.cz, 2015 [cit. 2019-11-06]. Dostupné z:
<https://www.svepomoci.cz/stavba-domu/priprava-stavby/4461-video-jak-se-vyrabi-cihla.html>
- [21] BOCK, Thomas a Thomas LINNER. Construction robots [online]. 3. vydání. New York: Cambridge University Press, 2017 [cit. 2019-11-06]. ISBN 978-1-107-07599. Dostupné z: <https://www.cambridge.org/core/books/construction-robots/BCA613ACE148774DA57A94393D11ED99>
- [22] Robostav.cz [online]. Augsburg: KUKA Roboter, 2015 [cit. 2019-11-11]. Dostupné z: <http://www.robostav.cz/cvut/robostav/TACR/TH04010329/ARSS/files/2/1-ff325a862fc7445d3941096e5214e79e.pdf>
- [23] Sick [online]. [cit. 2019-11-11]. Dostupné z:
<https://www.sick.com/cz/cs/optoelektronicka-ochranna-zarizeni/jednopaprskove-bezpecnostni-svetelne-zavory/l28/l28e-3p2431/p/p76677>
- [24] Vakuum-bohemia.cz [online]. Jihlava: Vakuum bohemia [cit. 2019-11-13]. Dostupné z: https://www.vakuum-bohemia.cz/katalog_produkty/Dmychadla_sbo%C4%8Dn%C3%ADm_kan%C3%A1lem_RT_CZ.pdf
- [26] Robostav.cz [online]. Praha, 2019 [cit. 2019-12-02]. Dostupné z:
<http://www.robostav.cz/robostav-projekt-tacr-2019>
- [27] DEK [online]. DEK, 2019 [cit. 2019-12-20]. Dostupné z:
https://www.dek.cz/produkty/detail/4400913040-porfix-bily-prickovka-p2-500-500x250x50?utm_source=CJ_4265486&utm_medium=affiliate&utm_campaign=7491554&utm_content=Redirect+link+%2F%2F+Deeplink&cjevent=7a34d2ad230111ea807e002f0a180510&tab_id=popis