

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

FAKULTA STAVEBNÍ

KATEDRA TECHNOLOGIE STAVEB



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

PROBLEMATIKA ROBOTICKÉHO ZDĚNÍ

2023

**KATEŘINA
ČERNÁ**

**VEDOUcí BAKALÁŘSKÉ PRÁCE:
ING. KAREL POLÁK, PH.D.**

Prohlášení

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

V Praze dne

.....

Kateřina Černá

Poděkování

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Karlu Polákovi, Ph.D. za ochotu, věnovaný čas, cenné rady a připomínky a hlavně trpělivost při vypracování práce. Dále bych touto formou chtěla poděkovat všem, kteří mě během mého studia podporovali.

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Černá Jméno: Kateřina Osobní číslo: 484510
Zadávající katedra: K122 - Katedra technologie staveb
Studijní program: Stavitelství
Studijní obor/specializace: Stavitelství/Realizace pozemních a inženýrských staveb

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Problematika robotického zdění
Název bakalářské práce anglicky: The issue of the robotic processes in civil engineering

Pokyny pro vypracování:

- 1) Úvod do problematiky, definice pojmů, legislativa, historie
- 2) Současný stav problematiky v ČR a zahraničí
- 3) Popis přípravy implementace robotické technologie na konkrétním projektu v rámci společnosti KONSIT, a.s.
- 4) Zpracování dotazníkového šetření k dotčené problematice
- 5) Závěr

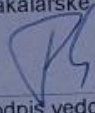
Seznam doporučené literatury:

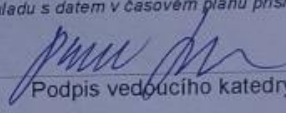
- [1] Jarský Č.: Automatizovaná příprava a řízení realizace staveb, CONTEC Kralupy n. Vlt. 2000, ISBN 80-238-5384-8
 - [2] Jarský Č., Musil F. a kol.: Příprava a realizace staveb, Akademické nakladatelství CERM s. r. o. Brno 2003, ISBN 80-7204-282-3
- veškerá dostupná literatura k této problematice

Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Karel Polák, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: 21.02.2023

Termín odevzdání BP v IS KOS: 22.5.2023
Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku


Podpis vedoucího práce

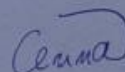

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutně uvést v bakalářské 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“.

21.2.2023

Datum převzetí zadání



Podpis studenta(ky)

Obsah

Úvod	9
Cíle bakalářské práce.....	9
1 Úvod do problematiky, definice pojmů, legislativa, historie	10
1.1. Úvod do problematiky.....	10
1.1.1. Historie stavebních robotů.....	10
1.1.2. Definice pojmů	17
1.1.3. Robotizace a stavební průmysl.....	20
1.1.4. Příklady stavebních robotů.....	26
1.1.5. Příklady robotů pro zdění	29
1.1.6. Technologie zdění.....	37
1.1.7. Bezpečnost práce s autonomním robotickým stavebním systémem	49
1.2. Legislativa	54
2 Současný stav problematiky v ČR a zahraničí.....	57
2.1 Současný stav problematiky v ČR.....	57
2.2 Současný stav problematiky v zahraničí.....	58
3 Popis přípravy implementace robotické technologie na konkrétním projektu v rámci společnosti KONSIT, a.s.	60
4 Zpracování dotazníkového šetření k dotčené problematice.....	65
Závěr	75
Zdroje a použitá literatura.....	76
Použité elektronické dokumenty	76
Použitá tištěná literatura.....	79
Seznam zkratk.....	80

Seznam obrázků	80
Seznam grafů	82

Anotace

Problematika robotického zdění

Bakalářská práce se zaměřuje na problematiku robotického zdění, což je moderní technologie v oblasti stavebnictví, která využívá roboty k automatizovanému provádění zdění staveb. Cílem této práce je analyzovat klíčové aspekty a výzvy spojené s robotickým zděním a poskytnout přehled o současném stavu této technologie.

Úvod se věnuje základní historii robotů a základním ustanovení robotizace a průmyslu. Další část se zaměřuje na výzvy a překážky, které mohou nastat při implementaci robotického zdění. Jsou zde diskutovány například bezpečnostní aspekty a nutnost kvalifikované obsluhy a programování robotů.

Závěr bakalářské práce se zabývá porovnáním robotů v Česku a v zahraničí, a popisuje pokus implementace robotické technologie ve společnosti Konsit, a.s.

Tato práce poskytuje přehled o problematice robotického zdění a představuje základ pro další studium a výzkum v této oblasti.

Klíčová slova:

Robotizace, robotické zdění, robot, zdivo, rodinný dům.

Abstract

The issue of robotic masonry

The bachelor's thesis focuses on the issue of robotic masonry, which is a modern technology in the field of construction that utilizes robots for automated masonry of buildings. The aim of this thesis is to analyze key aspects and challenges associated with robotic masonry and provide an overview of the current state of this technology.

The introduction addresses the basic history of robots and fundamental provisions of robotics and industry. The subsequent section focuses on the challenges and obstacles that may arise during the implementation of robotic masonry. Topics they discussed includes safety aspects and the necessity of qualified operation and programming of robots.

The conclusion of the bachelor's thesis compares robots in the Czech Republic and abroad and describes an attempt to implement robotic technology at the company KONSIT, a.s. This thesis provides an overview of the issue surrounding robotics masonry and serves as a foundation for further study and research in this field.

Keywords

Automation, robotic masonry, robot, brickwork, residential house.

Úvod

Téma této bakalářské práce je problematika robotického zdění. Robotické zdění představuje moderní technologii, která využívá roboty k automatizaci procesu stavby zdí. Tato technologie nabízí řadu výhod, jako je zvýšení produktivity, přesnost a rychlost práce, a také snížení nákladů a fyzické námahy pracovníků.

Tato práce se zaměřuje na historii stavebních robotů, robotů pro zdění až po současný vývoj a inovace.

Cíle bakalářské práce

Cílem této práce je zhodnotit, z té robotické zdění vhodnou technologií pro efektivní a konkurenceschopnou výstavu. Jsou zde rozebírány přínosy, výzvy a překážky spojené s implementací robotického zdění.

Doufám, že analýza provedená v této práci přispěje k lepšímu porozumění problematice robotického zdění a jeho potenciálu v praxi.

1 Úvod do problematiky, definice pojmů, legislativa, historie

1.1. Úvod do problematiky

Robotické zdění představuje moderní technologii, která kombinuje robotiku a stavebnictví s cílem automatizovat proces stavby zdí. Tato inovativní metoda nabízí řadu výhod, jako je zvýšení produktivity, zlepšení přesnosti a rychlosti práce a snížení nákladů a fyzické námahy pracovníků.

Tradiční postupy zdění, které vyžadují manuální práci, jsou časově náročné a mohou být náchylné k lidským chybám. Robotické zdění přichází s potenciálem transformovat tuto oblast stavebnictví a přinést významné inovace. Roboti vybavení speciálními nástroji a senzory, jsou schopni přesně a rychle položit cihly nebo bloky, dodržovat předem definované rozmístění a dosáhnout vysoké úrovně kvality.

Problémy spojené s manuálním zděním, jako jsou dlouhé pracovní hodiny, možnost chyb, fyzická námaha pracovníků a omezený výkon, se snaží řešit právě robotické technologie. Robotické zdění umožňuje zefektivnění stavebního procesu, což může mít pozitivní dopad na výstavbu, zkrácení času potřebného k dokončení projektu a zlepšení celkového výsledku.

Vzhledem k tomu, že robotické zdění je relativně novým směrem ve stavebnictví, je důležité zkoumat a porozumět jeho technologickým možnostem, omezením a vlivu na stavební průmysl. Je taky důležité analyzovat ekonomické a pracovní aspekty robotického zdění a zhodnotit jeho potenciál v praxi. Studium této problematiky může přispět k dalšímu rozvoji a aplikaci robotického zdění a přinést nové perspektivy do oblasti stavebnictví. [1]

1.1.1. Historie stavebních robotů

Při pohledu do minulosti i současnosti je zjevné, že lidé jsou fascinováni snahou vytvořit umělou bytost, která by automaticky prováděla činnosti, které jsou pro ně nudné, obtížné, nebezpečné nebo je nechtějí vykonávat.

Samotné slovo „robot“ bylo historicky poprvé použito v roce 1920, ve hře Karla Čapka R.U.R. – Rossum's Universal Robots.

Skutečně slovo „robot“ vymysleli společně bratři Josef a Karel Čapek. Z jejich rozhovoru: Na otázku Karla, „jak mám ty umělé dělníky nazvat,“ jeho bratr Josef odpověděl, „tak jim řekni roboti,“ a slovo „robot“ bylo na světě. Velmi rychle se toto slovo začalo používat pro pojmenování různých automatických a mechanických strojů a zařízení. [2]

V roce 1942 navrhl Isaac Asimov tři zákony robotiky, které se v poslední dekádě staly předmětem živé debaty v souvislosti s rozvojem umělé inteligence.

1. Robot nesmí ublížit člověku nebo svou nečinností dopustit, aby člověku bylo ublíženo.
2. Robot musí uposlechnout příkazů člověka, kromě případů, kdy jsou tyto příkazy v rozporu s prvním zákonem.
3. Robot musí chránit sám sebe před zničením, kromě případů, kdy je tato ochrana v rozporu s prvním nebo druhým zákonem. [3]

V 30. letech George Devol začal uznávat hodnotu tovární automatizace při práci na technologii magnetického záznamu. V roce 1954 podal patent na robotickou paži, která mohla pohybovat se šesti stupni volnosti a ukládat krok za krokem digitální příkazy na bubnu nebo jiném médiu. Tento robotický systém se stal průmyslovým robotem Unimate.

V roce 1956 se Devol setkal s Josephem Engelbergerem a společně založili Unimation, Inc., první společnost zaměřenou na robotiku. V roce 1961 byl první Unimate nainstalován v továrně GM a prováděl programové příkazy pro získání a uskladnění horkých litinových kusů. Unimation brzy začala s plnoběžnou výrobou, rozšiřující se na roboty, které mohly svařovat, tisknout a montovat. V roce 1983 byla Unimation prodána společnosti Westinghouse, která ji později prodala francouzské společnosti.

Patent George Devola na první digitálně řízenou programovatelnou robotickou paži představuje základ moderního průmyslu robotiky. Dnes průmyslové roboty transformují do bezpečnějších továren a zlepšují produkty s přesností a konzistencí.

Devol pracoval jako nezávislý vynálezce od roku 1945 a nakonec vedl Devol Research. V roce 1989 obdržel čestný doktorát na University of Bridgeport. Původní Unimate se nachází v archivech Smithsonian Institution. [4]



Obrázek 1: Unimate - první průmyslově tovární robot [5]

Joseph Engelberger se zaměřil na využití robotů v činnostech ohrožujících lidi. Jeho strategie fungovala a v roce 1959 byl na výrobní lince, v továrně na lití, General Motors v Trentonu, New Jersey, poprvé instalován prototyp Unimate 001 o váze 1225 kg. V roce 1961 se Unimate stal prvním masově vyráběným robotickým ramenem pro automatizaci výroby v továrnách. V krátké době bylo v oboru lití využito přibližně 450 robotických ramen Unimate.

Robot Unimate byl jeden z prvních prezentovaný v živém vysílání televizního pořadu Johnnyho Carsona Tonight Show. Engelberger nechal robota předvést několik triků, včetně kopu golfového míčku do poháru, natočení piva či dirigování kapely Tonight Show.

Od dvoudimenzionálního kreslení po průmyslovou a společenskou revoluci, robot Unimate zůstává jedním z nejvýznamnějších přínosů za posledních sto let. Nejen pro výrobu, ale i pro civilizaci. V důsledku Unimate se oblast robotiky dále rozšiřuje mimo výrobu až do prakticky každého aspektu života služeb. [5]

Vzhledem k jednotvárnosti se stala sériová výroba ideální oblastí pro použití robotů. V 70. a 80. letech byli vyráběni roboti především za účelem nahrazení lidské práce a snížení nákladů na výrobu. Hlavně robotické ruce byly vyráběny v tomto smyslu. Výrobci nadále zdokonalovali senzorické vnímání a počet os, kolem kterých se mohla paže otáčet. [6]

V roce 1994 nastal další významný milník v oblasti robotiky, tentokrát konkrétně ve zdravotnictví. Tehdy poprvé robot Cyberknife asistoval při chirurgické operaci. Tento robot během operace průběžně pořizoval rentgenové snímky a přizpůsoboval svou činnost tak, aby přesně ozařoval tumor na plicích, i když se při tom pacient neustále pohyboval vlivem dýchání. Robot tak vykonával práci, kterou člověk nemohl s takovou přesností vykonat. [7]



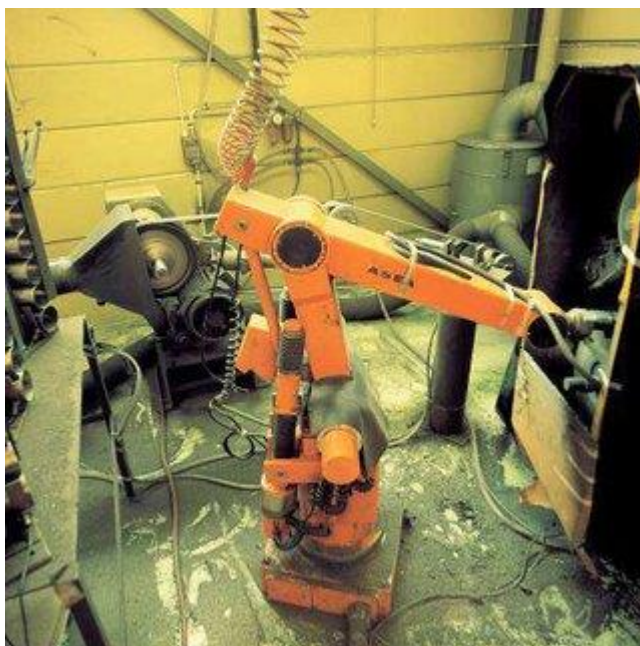
Obrázek 2: Robot Cyberknife z roku 1994 [8]

Prvním mobilním robotem se schopností vnímat a uvažovat o svém okolí byl robot Shakey. Byl předmětem výzkumu v Centru umělé inteligence SRI v letech 1966 až 1972 a zvládl provádět úkoly které vyžadují plánování, hledání cesty a přemístování jednoduchých objektů. Robot Shakey velmi ovlivnil moderní robotiku a techniku umělé inteligence. [9]



Obrázek 3: Shakey the robot – 1966 [9]

Mezi první mikropočítačově ovládané roboty patří robot ASEA IRb6, který používal čipovou sadu od Intelu a byl navržen a zkonstruován mezi lety 1972 až 1977. Tento robot umožňoval pohyb v pěti osách a jeho nosnost zdvihu činila okolo 6kg. [10]



Obrázek 4: Robot ASEA IRb6 – 1975 [10]

Jednou z prvních vysokorychlostních a přesných robotických rukou byl robot SCARA. Prototyp tohoto robota vznikl v roce 1978 na Yamanashiho univerzitě v Japonsku. Jeho rychlost a přesnost tkvěla v jednoduchosti pohybů. Na komerční linky byl poprvé uveden v roce 1981.

Zkratka SCARA znamená „Selective Compliance Assembly Robot Arm“, neboli robotická paže se selektivním přizpůsobením pro montáž. Všechny SCARA paže se vyznačují jedinečným 4-osovým pohybem, umožňují tak přesné, rychlé a plynulé přemísťování průmyslových komponent z jedné lokace na druhou. [11]

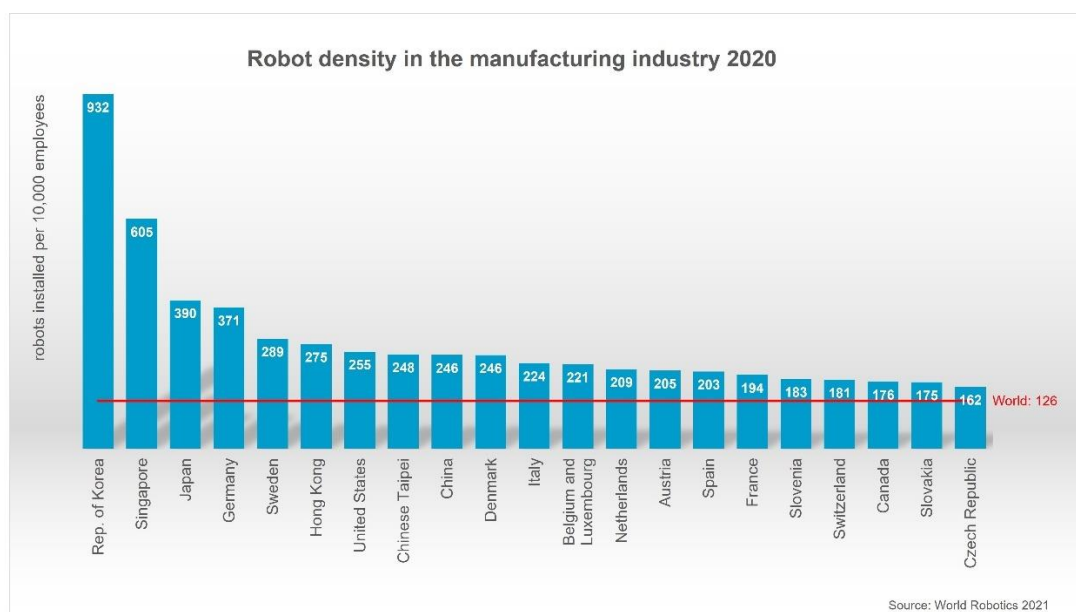


Obrázek 5: Robotická paže SCARA [11]

V současné době jsou roboti prakticky využitelní všude, kde se vykonává lidská práce. Nicméně, stále je největší použití robotů v průmyslu. Podle Mezinárodní federace robotiky (IRF), dle zprávy z World Robot Report 2021, byla na 10 tisíc zaměstnanců průměrná globální hustota robotů, v roce 2020, ve výrobních odvětvích, 126 robotů. Což je téměř dvojnásobek oproti roku 2015, kdy bylo na 66 robotů v průměru na 10 tisíc zaměstnanců.

Podle regionů se průměrná hustota robotů v Asii/Austrálii pohybuje na úrovni 134 jednotek, v Evropě na úrovni 123 jednotek a v Americe na úrovni 111 jednotek. Pět nejvíce automatizovaných zemí na světě jsou v sestupném pořadí: Jižní Korea, Singapur, Japonsko, Německo a Švédsko.

„Robotická hustota je ukazatelem sledujícím stupeň přijetí automatizace ve výrobním průmyslu po celém světě,“ říká Milton Guerry, prezident Mezinárodní federace robotiky. [12]



Graf 1: Počet robotů ve výrobním průmyslu připadající na 10 tisíc zaměstnanců v jednotlivých státech v roce 2021 [12]

Vývoj hustoty robotů v Číně je nejdynamičtější na světě: díky výraznému nárůstu instalací robotů se hustota zvýšila z 49 jednotek v roce 2015 na 246 jednotek v roce 2020. Hustota robotů ve Spojených státech se zvýšila z 176 jednotek v roce 2015 na 255 jednotek v roce 2020.

Nejvíce automatizovanou zemí v Evropě je Německo, které se umístilo na 4. místě celosvětově s 371 jednotkami. Roční nabídka tvořila 33% celkového prodeje robotů v Evropě v roce 2020 – 38% provozního stavu robotů v Evropě je v Německu. Německý průmysl robotiky se zotavuje, především díky silnému zahraničnímu obchodu spíše než domácímu nebo evropskému trhu. Poptávka po robotech v Německu se očekává, že bude pomalu růst, zejména podporována poptávkou po levných robotech v obecných průmyslových odvětvích a mimo tradiční výrobu.

Francie má robotickou hustotu 194 jednotek (a celkově se umístila na 16. místě na světě), což je značně nad globálním průměrem 126 robotů a relativně podobné ve srovnání s jinými zeměmi EU, jako jsou Španělsko (203 jednotek), Rakousko (205 jednotek) nebo Nizozemsko (209 jednotek). Členské země EU jako Švédsko (289 jednotek), Dánsko (246 jednotek) nebo Itálie (224 jednotek) mají výrazně vyšší stupeň automatizace v oblasti výroby. [12]

Posledním trendem jsou kolaborativní průmyslové roboty, které umožňují kontaktní spolupráci člověk-robot a ctí 1. zákon robotiky: „robot nesmí ublížit člověku“. Podle statistik International Federation of Robotics byla v roce 2018 jen v Evropě uvedeno do provozu 76 000 nových průmyslových robotů. [13]

1.1.2. Definice pojmů

Jak je ve vědě a technice zvykem, objevila se potřeba význam slova robot definovat. Dnešní chápání slova robot je dobře formulované v knize I.M. Havla – Robotika: „robotem rozumíme počítačem řízený integrovaný systém, schopný autonomie a cílově orientované interakce s reálným prostředím v souladu s instrukcemi od člověka.“. Tato definice je ještě doplněna dalšími pojmy a podmínkami, které definici robotu upřesňují, jako například schopnost vnímat a rozpoznávat prostředí, komunikovat s člověkem v umělém nebo přirozeném jazyce apod. Nicméně intuitivně chápeme „robot“ jako složitě zařízené, které určitým

způsobem napodobuje člověka a vykonává podobné činnosti, popř. lidské schopnosti dokonce i rozšiřuje. [13]

Základní pojmy související s problematikou robotického zdění:

- Robotické zdění - technologický proces, při kterém se robotický systém používá k přesnému a efektivnímu umístování cíle nebo jiných stavebních prvků při konstrukci zdí.
- Robot - stroj nebo zařízení, které je schopné provádět automatizované úkoly nebo operace pomocí předem naprogramovaných instrukcí. V kontextu robotického zdění se jedná o speciálně navržený robotický systém schopný manipulovat s cihlami a provádět zdění.
- Automatizace - proces nahrazování lidské práce stroji nebo zařízením, které provádí opakující se úkoly nebo operace s minimální lidskou intervencí. V kontextu robotického zdění se automatizace týká nahrazení lidské práce při provádění zdění a umístování stavebních prvků.
- Prefabrikace - metoda výroby, při které jsou stavební prvky vytvořeny mimo staveniště a připraveny k přímému použití. V kontextu robotického zdění se prefabrikace týká výroby předem připravených cihelných panelů nebo bloků, které jsou poté použity při zdění.
- Stavební prvek - jednotlivá součást konstrukce budovy, například cihla, tvárnice nebo betonový blok, která se používá k vytváření zdí, stropu nebo jiných částí budovy.
- Cihla - malý stavební prvek obvykle vyrobený z hlíny, který se používá k vytváření zdí. V kontextu robotického zdění se jedná o prvek, který robot manipuluje a umísťuje na správné místo při konstrukci zdí.
- Technologie - souhrn znalostí, nástrojů, postupů a technik používaných k dosažení určitého cíle nebo řešení konkrétního problému. V kontextu robotického zdění se technologie týká využití robotických systémů, senzorů, softwaru a dalších technologických prostředků k automatizaci a optimalizaci v procesu zdění.

- Efektivita – míra, ve které je dosaženo stanovených cílů nebo výsledků s minimálním vynaložením zdrojů, času, práce nebo nákladů. Zahrnuje schopnost dosáhnout optimálního výkonu a využití prostředků při provádění zdění pomocí robotických systémů.
- Technické výzvy - problematické aspekty robotického sdělení se týkají například vývoje přesných a robustních algoritmů pro plánování pohybu a manipulaci s cihlami, efektivního řízení a koordinace více robotů nebo překonávání překážek na staveništi.
- Návrh a integrace systémů - integrace robotických systémů do stavebního procesu vyžaduje pečlivý návrh a plánování, včetně zohlednění ergonomických, bezpečnostních a environmentálních faktorů. Je také třeba zvážit kompatibilitu s existujícími stavebními a to jde mi a materiály.
- Ovládání a programování - programování a ovládání robotů pro zdění vyžaduje specifické znalosti a dovednosti. Je nezbytné vyvinout uživatelsky přívětivé rozhraní a software, který umožní efektivní a intuitivní řízení a programování robotů.
- Společenské a pracovní důsledky - zavedení robotického zdění může mít vliv na pracovní trh a zaměstnanost v oblasti stavebnictví. Je třeba zvážit sociální a ekonomické důsledky nahrazování lidské pracovní síly roboty a zajistit, aby tato technologie přinášela přínosy v oblasti pracovních podmínek a kvality výstavby.
- Regulační a právní aspekty - použití robotických systémů ve stavebnictví vyvolává otázky týkající se bezpečnosti, odpovědnosti a regulačních požadavků. Je třeba vypracovat odpovídající normy a předpisy, které umožní bezpečné a regulované provozování robotických zařízení na staveništi.
- Vzdělávání a příprava pracovníků - s rozvojem robotického zdění je třeba zajistit vzdělávání a přípravu pracovníků, aby získaly potřebné dovednosti a znalosti pro práci s robotickými systémy. Je důležité

podporovat a rozvíjet odborné školení v oblasti robotiky ve stavebnictví. [1], [2], [3], [13]

Robotika jako věda se zabývá různými aspekty. Člení se na:

- Technickou - označovanou také jako robotechnika, zahrnující výzkum a vývoj jednotlivých částí robotů, výpočty, metody jejich návrhu, konstrukční problematiku, aj.
- Teoretickou - řeší otázky teoretické, koncepční, umělé inteligence, sensoriky, navigace, simulace, aj.
- Aplikační - také jako robototechnologie, řeší problematiku nasazování průmyslových robotů ve výrobních systémech, efektivnost jejich použití, aj. [2]

Historicky první klasifikace robotických zařízení:

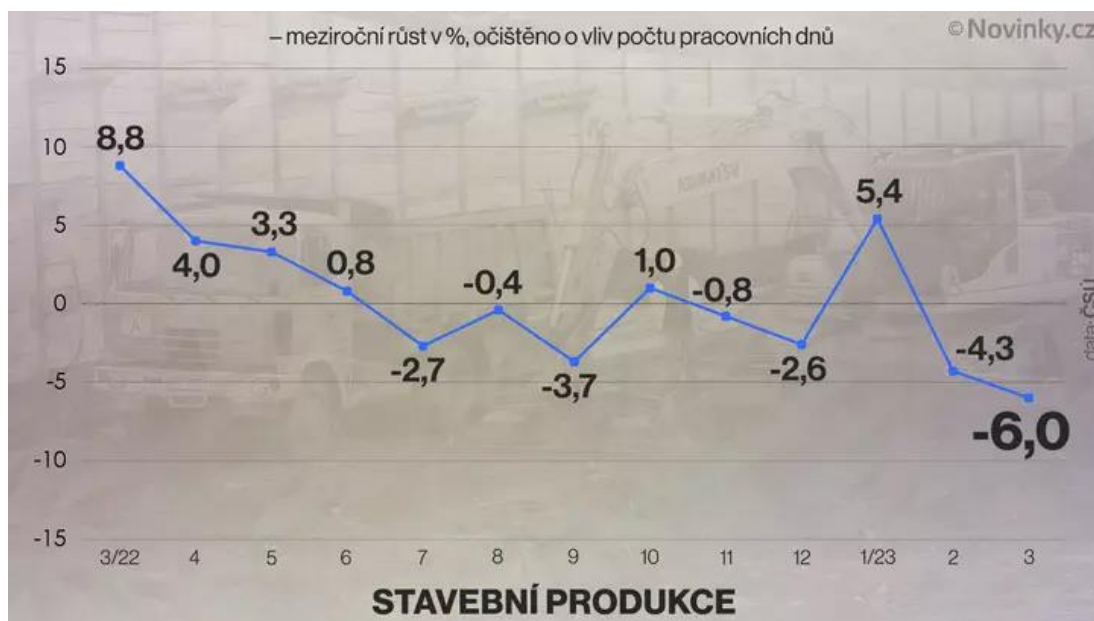
- Manipulátory – například jednoúčelový manipulátor, s pevným programem, atd.
- Synchronní manipulátory – člověk ve smyčce
- Robot – manipulátor s pevným programem
- Adaptivní robot – robot reagující na změny pracovního prostředí
- Kognitivní robot – robot s určitou mírnou inteligencí [1]

1.1.3. Robotizace a stavební průmysl

Stavební průmysl je značně pozadu v oblasti robotizace a automatizace ve srovnání s jinými průmyslovými odvětvími. Tento rozdíl je způsoben specifickými odchylkami a požadavky, které brání rychlejšímu pokroku a snižování lidské práce ve stavebnictví. Analýzou hlavních vlastností stavební a průmyslové výroby lze identifikovat hlavní překážky, které brzdí automatizaci ve stavebnictví a způsobují její pomalý růst.

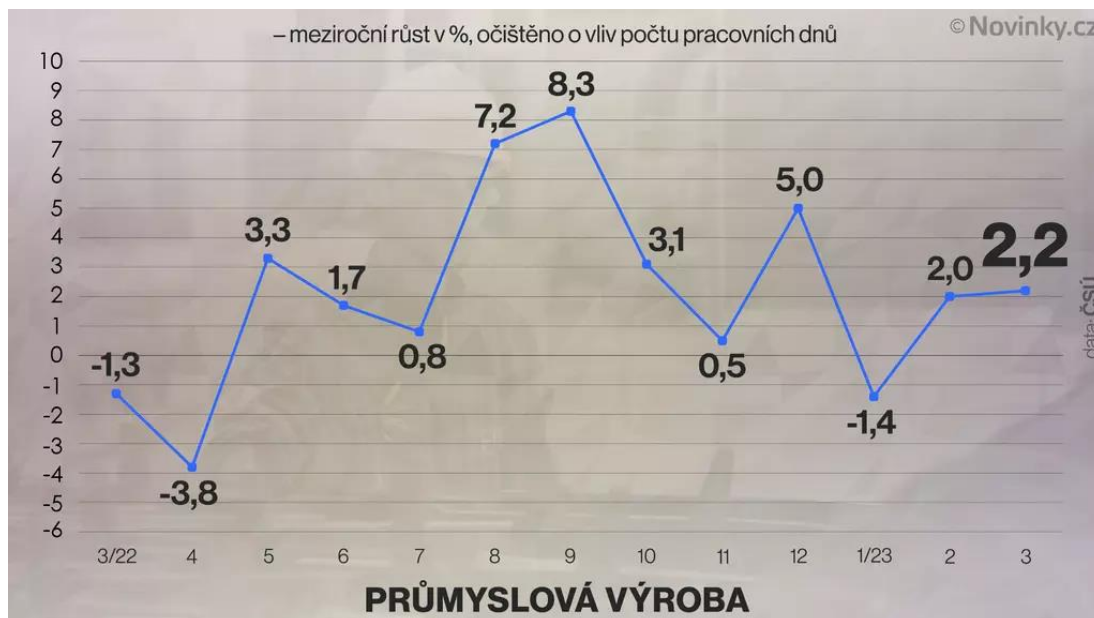
Stavební výroba v Česku klesla o dvě procenta za první čtvrtletí roku 2023. Nižší byla produkce v pozemním i inženýrském stavitelství. V oblasti pozemního stavitelství (výstavba obytných i komerčních budov), došlo ke snížení o 4,1 procenta.

V inženýrském stavitelství (zahrnující stavbu silnic, telekomunikačních a energetických sítí) bylo zaznamenáno snížení o 12 procent. [14]



Graf 2: pokles stavební výroby k roku 2023 - Český statistický úřad [14]

Oproti stavební výrobě, průmyslová výroba v Česku vzrostla o 2,2 procenta za první čtvrtletí roku 2023. Meziměsíčně byla vyšší o 1,7 procenta. K růstu průmyslové výroby přispěl velkou mírou automobilový průmysl. [15]

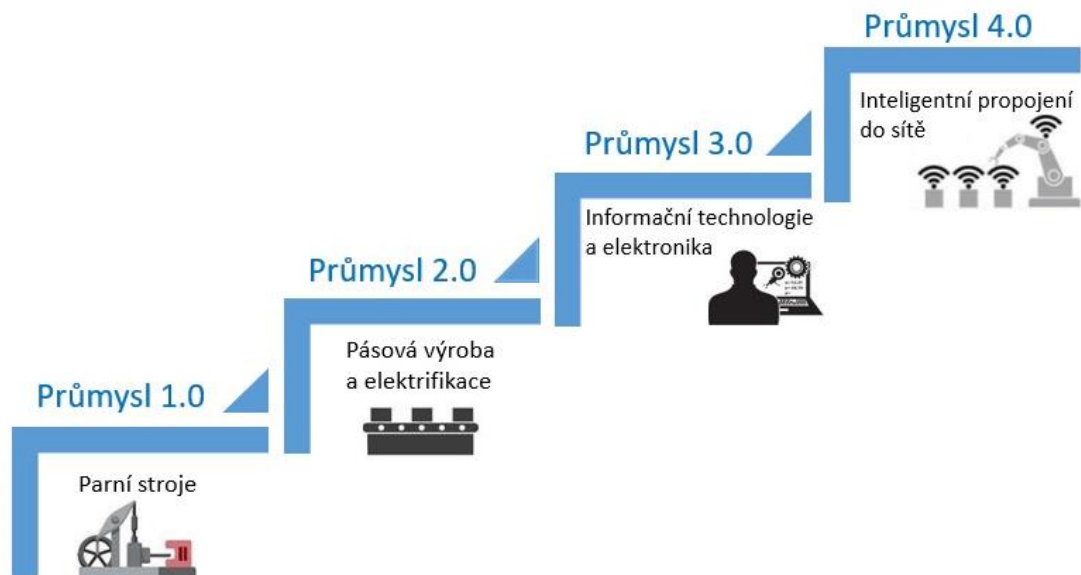


Graf 3: vzrůst průmyslové výroby k roku 2023 - Český statistický úřad [15]

- **Průmysl 4.0**

Výraz Průmysl 4.0 vnikl poprvé v roce 2011 na průmyslovém veletrhu v Hannoveru a o dva roky později zde byla představena německá národní platforma Industrie 4.0. Tento koncept představuje čtvrtou fázi průmyslové revoluce, navazující na předchozí fáze:

- Průmysl 1.0 – začátky v 18. století, přinesl parní stroje.
- Průmysl 2.0 – začátky v 19. století, objevení elektrické energie a zavedení montážních výrobních linek, například v automobilové pásové výrobní linky.
- Průmysl 3.0 – začátky v 70. letech 20. století až po současnost, kdy pomalu zavádíme čtvrtou průmyslovou revoluci. Ve třetí průmyslové revoluci byla v počátcích zavedena částečná automatizace prostřednictvím paměťově programovatelných řídicích prvků a počítačů. Od té doby jsme pokročili o notný kus kupředu k automatizaci celých výrobních procesů, například roboty vykonávající naprogramované sekvence operací bez zásahu člověka.



Obrázek 6: Revoluce průmyslu [16]

Vize Průmyslu 4.0 přináší plnou automatizaci výroby a kompletní digitalizaci životního cyklu výrobku. Současně se předpokládá propojení všech strojů prostřednictvím inteligentní sítě, která umožní vzájemnou komunikaci mezi stroji.

Průmysl 4.0 znamená významné omezení lidské práce kvůli vyššímu využití strojů. To vede ke zvýšení efektivity práce, snížení časových prodlev během výrobních procesů a nakonec také ke snížení nákladů. [17]

- **Stavebnictví 4.0**

Stavebnictví 4.0 je součástí iniciativy Průmysl 4.0, která se zaměřuje na implementaci moderních technologií a digitální transformaci ve stavebním průmyslu. Tento koncept se v současnosti intenzivně diskutuje ve vyspělých zemích. Stavebnictví zaostává v oblasti automatizace a robotizace výroby ve srovnání se strojním průmyslem, avšak existují určité aspekty, které se již posouvají a otevírají cestu k digitalizaci.

Jedním z těchto aspektů je navrhování staveb, které zaznamenalo významný pokrok díky rozvoji počítačové techniky. V minulých desetiletích se přešlo od ručního rýsování na počítačové návrhové programy, přičemž převratnou technologií se stává BIM (Building Information Model). BIM umožňuje přidání důležitých informací o vlastnostech projektovaného objektu, včetně fyzikálních, statických, tepelně technických, ekonomických a technologických parametrů. Správné využití BIM technologie umožňuje komplexní multidisciplinární posouzení projektu, eliminaci chyb a efektivní projektovou koordinaci v reálném čase. Díky těmto technologiím se většina staveb dnes navrhuje a zpracovává v digitální podobě. [18]

Zavedení CAD programů přineslo do stavebního průmyslu značný pokrok a nahradilo klasické ruční rýsování. Nicméně masivní používání BIM má potenciál přinést významné finanční úspory a snížení chybovosti. BIM slouží nejen při návrhu stavby, ale také během jejího provozu. Poskytuje rozsáhlou databázi informací a modelů, které slouží jako základ pro řízení a údržbu stavby.

Dalším důležitým aspektem, ve kterém by se uplatnila vize Stavebnictví 4.0, je provoz již dokončené stavby. Graf 4 ukazuje, že správa a údržba stavebního objektu představují až dvě třetiny nákladů na objekt. Použití BIM technologie již během návrhu stavby výrazně zlepšuje efektivitu budoucího provozu. Ačkoliv na první pohled může investice do dražšího návrhu stavby připadat zbytečná, když je stále možné využít tradiční 2D dokumentaci, dlouhodobě se jedná o vysokou úsporu nákladů. [18]



Graf 4: rozdělení nákladů během životního cyklu stavby [autor]

Je důležité uvést, že Stavebnictví 4.0 zahrnuje nejen použití BIM a digitalizaci, ale především konceptuální změnu v myšlení a vnímání stavebnictví jako celku. BIM však může být považován za jednu z klíčových složek této změny a základní kámen pro budoucnost Stavebnictví 4.0. Dalšími důležitými úkoly tohoto konceptu je integrace následujících oblastí:

- Výrobní kapacity pro výrobu a přepravu stavebních materiálů a komponent
- Robotizovaná výstavba
- Legislativní procesy, např. získání stavebního povolení
- Automatizace budov a jejich propojení s energetickou, dopravní a další infrastruktúrou
- Procesy údržby budov

Je nezbytné vytvořit komunikační prostředí prostřednictvím agentů, které se budou vzájemně propojovat a integrovat do větších či menších sítí. [17]

- **Digitalizace**

Použití metody BIM představuje klíčový první krok směrem k postupné automatizaci stavebního průmyslu. BIM je široký pojem, který se vztahuje k procesu vytváření a správy digitálních informací o realizovaném stavebním objektu, jako je budova, most, dálnice, nebo tunel. S časem se zvyšuje úroveň podrobnosti informačního modelu budovy a různé aspekty modelu se mohou vyvíjet různým tempem a mohou být vytvářeny různými členy projektového týmu. Vývoj modelů může probíhat od zaměstnavatele ke konzultantům, zhotoviteli a dodavatelům a nakonec se opět vrátit zpět k zaměstnavateli. Proto je důležité definovat jednotnou úroveň podrobnosti (Level of Detail - LOD), která je požadována v každé fázi vývoje projektu a v rámci jednotlivých týmů. Tím se zajišťuje dostatečná podrobnost a poskytnutí informací, které klient potřebuje pro rozhodování o dalším vývoji projektu a efektivní fungování hotového projektu. [19]

Pro zajištění správného umístění robotů v prostoru je nezbytné mít plně digitalizované vstupní podklady, což by mělo být možné pomocí BIM. Proto je důležité věnovat více úsilí nalezení vhodné úrovně podrobnosti pro jednotlivé projekty. Využití robotů v reálných projektech funguje na základě principu digitálního dvojčete, což je virtuální kopie fyzického objektu, v našem případě stavby. Digitální dvojče umožňuje simulaci a optimalizaci všech činností, chování, stavu a operací, přičemž se chová jako svá fyzická předloha. Pro práci s roboty je digitální dvojče naší řešené stavby digitálním vstupem, který je dále upravován. Při modelování procesu je však nutné dbát na podrobnost modelu. BIM nevykresluje jednotlivé bloky samostatně, ale zobrazuje například celou stěnu najednou, což by mohlo být pro robotiku komplikované. Pokud chceme používat roboty, je nezbytné mít přesně definovanou úroveň podrobnosti (Level of Detail) pro souřadnici jednotlivých stavebních prvků, jako je cihla. Robot musí přesně vědět, kterou cihlu vzít přesně umístěné palety a kam ji přesně umístit s velkou precizností a smyslem pro detail. Zpracování velkých projektů do takových detailů nebude jednoduché. Navíc výsledné projekty budou mít velký objem dat kvůli všem informacím a detailům, které budou obsahovat. [20]

V současné době je digitalizace nejrozšířenější především v oblasti návrhu staveb. Tento trend je způsoben výhodami, které digitalizované projekty přinášejí,

jako je sdílení aktuálních podkladů, snazší spolupráce mezi všemi zúčastněnými stranami a přístupnost z libovolného místa. Pro další rozvoj v rámci Stavebnictví 4. 0 je však nezbytné posunout digitalizaci i do dalších fází výstavby. Důraz by měl být kladen na další rozvoj digitalizace plánování stavební výroby, digitalizace samotné stavební výroby digitalizace provozu a správy staveb. Tyto aspekty jsou nezbytné pro další rozvoj robotizace a možnosti budoucího využívání robotů na staveništích. [20]

1.1.4. Příklady stavebních robotů

V úvodu této kapitoly se budeme věnovat trošce historie robotického zdění, konkrétně robotům pro zdění, a v následujících bodech se zaměříme na několik příkladů stavebních robotů, které se v současné době nacházejí ve vývoji. I přes popularitu zděných konstrukcí pro menší budovy, jako jsou rodinné a bytové domy, byl vývoj robotů specializovaných na výrobu cihelných konstrukcí téměř deset let zastíněn vývojem robotů pro 3D tisk. Nicméně, v poslední době se tento vývoj opět začíná probouzet k životu.

- **Historie robotů pro zdění**

Dnes všude okolo vidíme mnoho digitálních, technologických a inovativních řešení, která ovlivňují průmysl. Nicméně o větší automatizaci a efektivitu usiluje průmysl už od roku 1967.

Takzvaný „zednický robot“, neboli Motor Mason (viz. obr. 7), se poprvé objevil právě v roce 1967 ve veřejném vysílání, poté ale zmizel ze stavebního průmyslu i veřejného povědomí a je o něm známo jen velmi málo. [21]

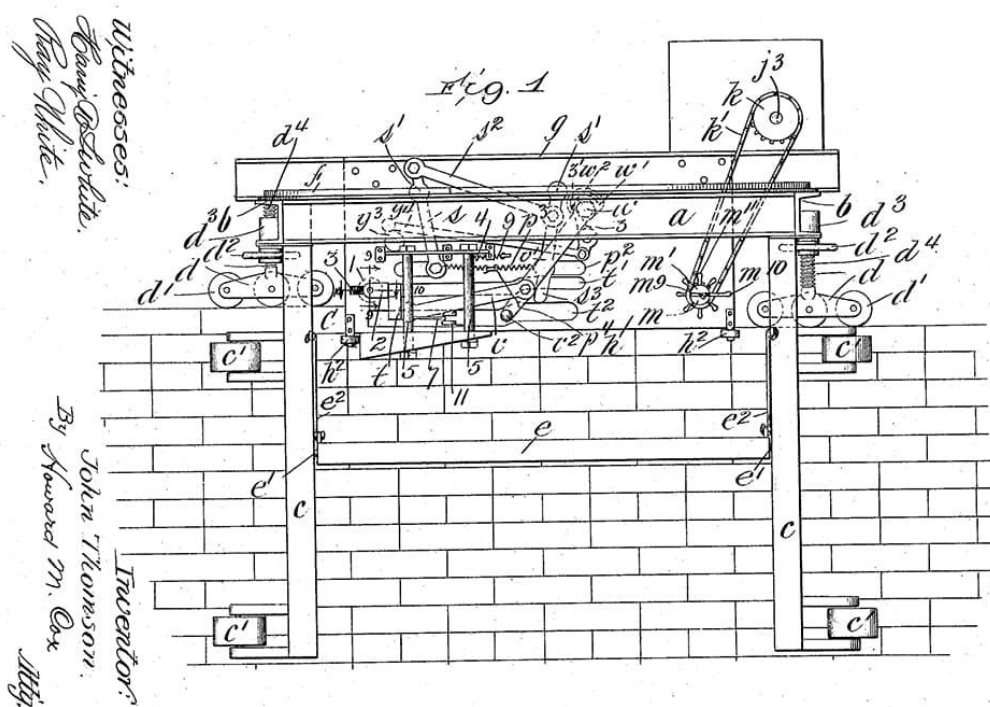


Obrázek 7: "Motor Mason" - v akci s pomocí zedníků - rok 1967 [21]

Tento robot Motor Mason se pohyboval po kolejnicích položených paralelně se zdí, nanášel maltu a pokládal cihly během svého pohybu. K jeho ovládání bylo zapotřebí tří lidí: zkušeného zedníka, který se staral o kvalitu práce, a dvou nekvalifikovaných dělníků, kteří robotu podávali cihly a maltu.

Motor Mason byl popisován jako „moderní metoda aplikovaná na staré řemeslo“, a údajně byl pět až desetkrát rychlejší než lidé, ale nezauljal. Možná byl příliš neohrabaný a náchylný k poruchám, nebo nezvládal složitější tvary budov, jako jsou rohy a okna.

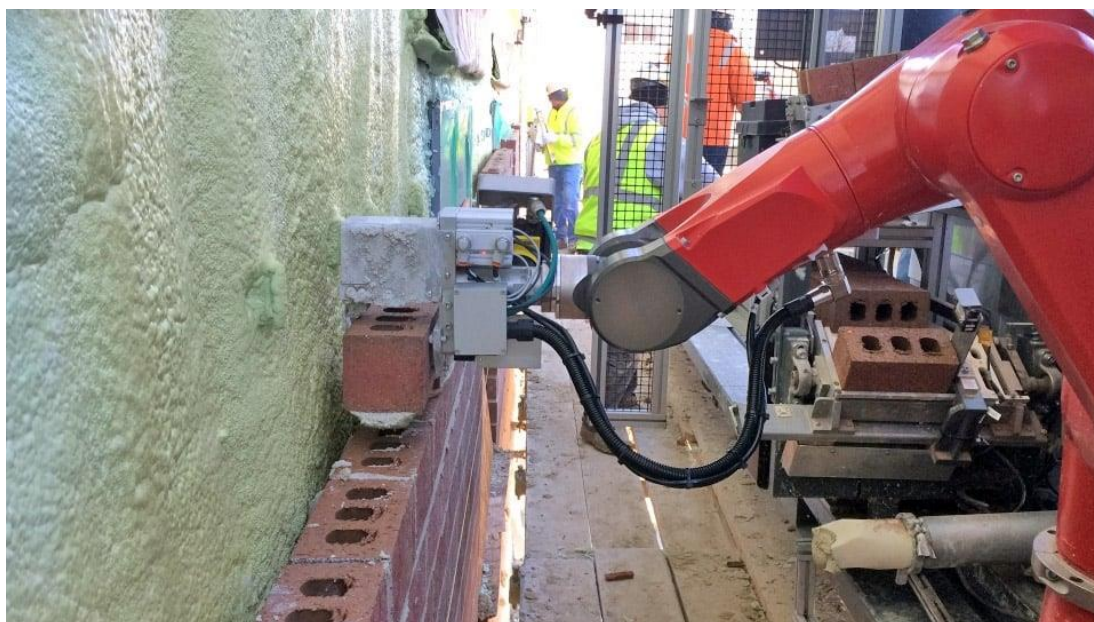
Údajně to ale není poprvé co byl takový stroj vymyšlen. Podle amerického patentového úřadu bylo první zařízení pro pokládání cihel patentováno v roce 1904 Johnem Thomsonem (viz. obr. 8). Cílem stroje bylo, stejně jako u moderních zednických robotů, urychlit stavební proces a zvýšit efektivitu. Johnův stroj ale nijak nezměnil průmysl. [21]



Obrázek 8: zařízení na zdění v roce 1904 patentované Johnem Thomsonem [21]

V roce 2015, představila společnost Construction Robotics svého nového zednického robota SAM100 (Semi-Automated Mason). Pracuje na stejném principu jako Motor Mason, ale jeho robotická paže umožňuje přesnější umístění cihel a nanášení malty. [22]

SAM sice dokáže položit asi 3000 cihel za den a rozpoznávat a korigovat rozdíly mezi digitálními plány a skutečnou stavební plochou, stále ale vyžaduje vedení a odbornost lidských dělníků, kteří ho zásobují materiálem, odstraňují přebytečnou maltu a dokončují rohy zdí a provádí další úkoly související s komplexnějším uspořádáním cihel. [22]



Obrázek 9: robot SAM100 [22]

Další představený robot v roce 2015 vyvinutý švýcarskými vědci „In-Situ Fabricator“, uspořádá cihly ve volnějším stylu, rozšiřuje možnosti nabízené SAMem. Má snížit potřebu manuálního vstupu a měl by být schopen přesně stavět složité struktury s tolerancemi v rámci milimetrů.

Timothy Sandy, doktorandský student z Curychu, vysvětluje, že „systém by se měl spoléhat výhradně na interní senzory a výpočetní sílu.“ [23]



Obrázek 10: In-Situ Fabricator [23]

Zatím není zřejmé, kdy by tyto roboty mohly fungovat zcela autonomně a jak rychle se zlepší jejich efektivita. Také není známo, zda se objevení „robotických zedníků“ dokáže vypořádat s konkurencí modulárních stavitelů, nebo 3D tiskáren. [21]

1.1.5. Příklady robotů pro zdění

Ve světě se stále častěji objevují první pokusy o použití robotických technologií ve stavebnictví. Tyto technologie zahrnují dálkově ovládaná robotická zařízení pro inženýrské stavby nebo sbíjecí zařízení. Mezi tyto technologie patří i poloautonomní zdící roboti, kteří se snaží najít si své místo a stále se zdokonalovat. Bohužel zatím nejsou plně implementovány do běžného provozu a vyžadují lidskou pomocnou sílu pro svou práci.

- **Stavební robot BRONCO**

Tento robot byl vyvinut Ústavem technologie pro obráběcí stroje a výrobní systémy neuniverzitní ve Stuttgartu. Jeho systém se skládá z pohyblivé pásové základny, koncového efektoru navrženého pro uchopení cihel a platformy schopné aplikovat maltu. Robot přesouvá cihly pomocí vakuového sacího systému.

Robot přenáší cihlu z běžné palety na multifunkční technologickou jednotku, kde je cihla změřena a na ní je nanášena malta. Nakonec je cihla vycentrována. Při přenosu cihly z palety je cihla uchopena za konec, zatímco při montáži cihly do

konstrukce cihla je uchopena uprostřed ze strany. Tím je dosaženo přesnějšího uložení cihly do konstrukce. [24], [25]



Obrázek 11: Robot BRONCO [24]

- **SMAS - systém montáže pevných materiálů**

Tento systém byl vyvinut Japonským výzkumným ústavem pro automatizaci stavby. Systém se skládá z mobilní základny, manipulátorů a koncového efektoru, který je přizpůsobený pro různé komponenty.

Robot tohoto systému funguje tak, že se přesune na paletu, zvedne stavební blok, přemístí ho na místo určené pro uložení v konstrukci a nakonec zašroubuje šroub do matice na podložním stavebním bloku. Šroub slouží jako vertikální výztuž a pomáhá správně zarovnat blok. Jakmile je zeď vybudována, slouží jako bednění a je naplněna betonem. [24], [25]

- **Robotický konstrukční systém pro počítačově integrovanou konstrukci**

Toto řešení bylo vyvinuto ve spolupráci univerzit Lissmac a Karlsruhe. Systém zahrnuje integrované informační a komunikační technologie pro všechny kroky od architektonického návrhu až po automatickou montáž prvku nastavení.

Robot je schopný generovat potřebná data pro prefabrikaci a přizpůsobení zděných bloků ve fázi přípravy. Na základě modelu v CAD softwaru jsou stěny rozděleny do odpovídajících bloků. Následně jsou automaticky vypočítány optimální pracovní polohy robota a také polohy palet a bloků na paletách. Tyto informace umožňují výrobu a přípravu standardních bloků a bloků nařezaných.

Uživatelské rozhraní je grafický interaktivní a umožňuje částečné přeprogramování generovaných pohybů robota v případě potřebných úprav. [24], [25]



Obrázek 12: Stavební robot ROCCO [26]

- **Stavební robot Hadrian**

Nejnovější verze robota Hadrian X je schopna pokládat rychlostí až 500 stavebních bloků za hodinu, což odpovídá přibližně 120 m² za hodinu. Tyto rychlosti jsou více než dvojnásobně vyšší než to, co bylo dosaženo předchozí verzí robota. Model z roku 2020 byl schopen pokládat více než 200 bloků z hodinu.

FBR se sídlem v Perthu, dříve známý jako Fastbrick Robotics, tvrdí, že nejnovější verze Hadrian X může dokázat dokončit jak vnitřní, tak vnější zdi standartního zděného domu za pouhý jeden den.

Nová generace robota byla také vybavena „systémem dodávky bloků na kolejích“, který je navržen tak, aby pokládal jakékoliv existující komerčně dostupné bloky, stejně jako dokáže pokládat větší bloky vážící až 45 kg, které ještě nejsou na trhu.

FBR tvrdí, že tento systém dodávky je navržen tak, aby byl přizpůsobitelný pro manipulaci s jinými produkty, jako jsou střešní tašky, s ohledem na další budoucí vývoj, což naznačuje, že společnost zvažuje rozšíření využití Hadrian X mimo pouhé stavění zdí. Podle nevíkonného předsedy Richarda Grellmana nový robot „rozšíří vedoucí postavení FBR na globálním trhu s robotikou ve stavebnictví“. [27]



Obrázek 13: Robot Hadrian X při práci [28]

Hadrian X má „paži“ dlouhou 32 metrů, když je plně roztažená – což umožňuje stavbu zdí třípatrového domu a také pokládat bloky ve vzdálenosti 50 mm od stávajících zdí. Také zvládá provádět řezy na bloky, včetně řezů na výšku a na šikmo. Robot má vysoce spolehlivý systém umožňující efektivní přizpůsobení, opravy a výměnu jednotlivých modulů. Většina vedlejšího zařízení Hadrianu X je samostatná, což výrazně zvyšuje efektivitu nasazení. [25]

Po prokázání schopnosti autonomní práce, bude program přecházet do fáze testování a kalibrace. Během této doby tým společnosti FBR bude pracovat na zvýšení rychlosti pokládky robota, před zahájením terénního testování v příštím čtvrtletí.

Druhý robot Hadrian X nové generace je již ve fázi výroby. [29]

- **Wienerberger – mobilní robot pro zdění**

Společnost Wienerberger a její partneři vyvíjejí rychlý a chytrý zdící robot v české republice. Toto nové automatizované stavební řešení by mělo umožnit rychlé, bezpečné a efektivní výstavby velkých cihlových budov. [30]



Obrázek 14: Wienerberger - mobilní robot pro zdění [30]

Tento projekt byl oficiálně spuštěn v únoru roku 2021 byl iniciován společnostmi Wienerberger, KM robotics a Českým institutem informatiky, robotiky a kybernetiky na Českém vysokém učení technickém v Praze.

Tento robot stojí na standardní průmyslové robotické platformě a umísťuje cihly na jejich konečné místo na stavbě. [30]



Obrázek 15: Wienerberger - mobilní robot pro zdění [30]

Virtuální nástroje, jako je BIM, usnadňují plánování a realizaci projektů. Prefabrikace cihlových stěn a použití robotů na staveništích umožňuje rychlejší,

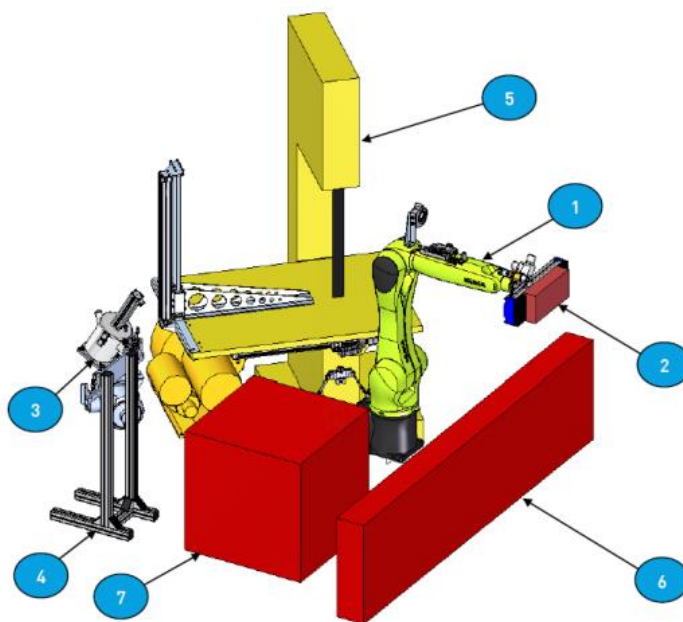
přesnější a udržitelnější stavební procesy například se produkuje mnohem méně odpadu než při tradičních stavebních metodách. Navíc je snazší plánovat stavební proces, náklady a dodací termíny. [30]

- **Zdící robot KUKA KR Agilus KR 10 R110 (DEKMATIC)**



Obrázek 16: Robot KUKA, Laboratoř pro robotizaci stavebních procesů na Fakultě stavební [31]

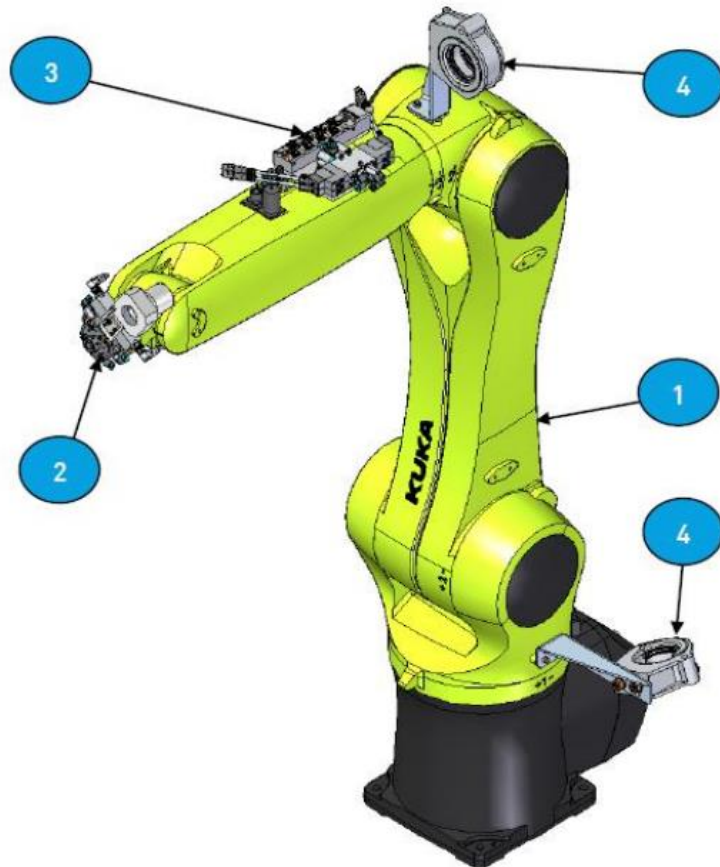
Pro výzkum k této práci jsem měla k dispozici robota a jeho zařízení v Laboratoři pro robotizaci stavebních procesů na fakultě stavební.



Obrázek 17: Zdící robot KUKA Agilus KR10 R110 a jeho příslušenství [32]

1 – robot; 2 – greifer - přísavka
3 – greifer - nanášec malty; 4 – dokovací stanice
5 – pila; 6 – stavěná zed; 7 – paleta s tvárnicemi

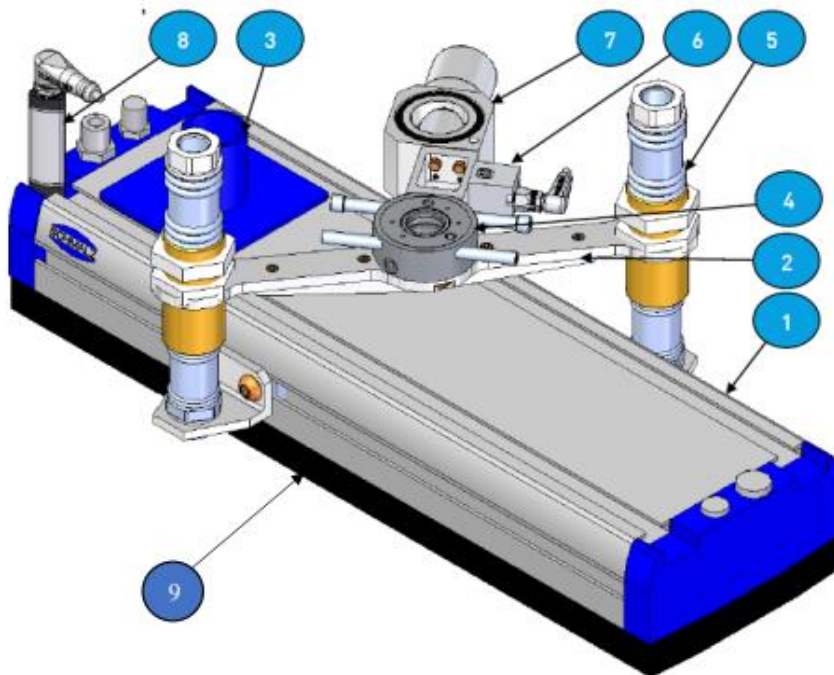
Tato zařízení umožňují robotovi samostatně provádět zednické práce. Jsou vyvíjena katedrou technologií K122. Robot dokáže sám nařezat cihly na pile, nanést maltu pomocí nanášeče, umístit cihlu na správné místo ve zdi pomocí přísavky a v dokovací stanici je možná výměna nástavců nazývaných greiferů. [24], [32]



Obrázek 18: Rychlovýměna robota KUKA [24], [32]

- 1 – robot
- 2 - rychlovýměnná část robota
- 3 - slučovač s ventily
- 4 - držák s ventily

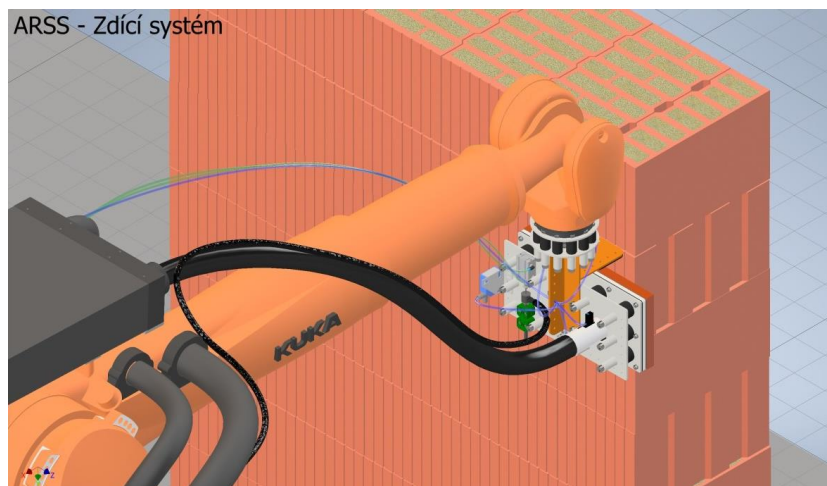
Díky těmto nástrojům je robot schopen rychle měnit zdící nástroje. Aretace je zajištěna přívodem tlakového vzduchu a integrovaná čidla provádějí uzamčení rychlovýměnné soustavy. Přísavka je vybavena vakuem, který je přiváděn k rychlovýměnné soustavě. Hadice vakua je upevněna v držácích na těle robota. [24]



Obrázek 19: Přísavka - jeden z greiferů robota KUKA [24], [32]

- 1 – přísavka
- 2 – rám
- 3 - příruba přísavky
- 4 – rychlovýměna
- 5 - tlumící prvek
- 6 - elektrický modul
- 7 - připojení vakua
- 8 - spínač vakua
- 9 - těsnící guma

Tento nástavec, nazývaný greifer, je speciálně navržen pro přesun cihel nebo tvárnic do pily pro řezání nebo jejich umístění do zdi. Greifer je připojen k robotu pomocí rychlo výměnného systému, energetického modulu a připojení na hadici vakua a tečka přísavka je spojena s rámem, který obsahuje tlumící prvky schopné vyrovnávat nerovnosti zdi. Uchycení pomocí přísavky kontrolováno spínačem vakua (pomocí podtlaku). [24]



Obrázek 20: Přísavka - jeden z greiferů robota KUKA [31]

1.1.6. Technologie zdění

V této části práce je popsána současná technologie manuálního zdění, přičemž se zaměřujeme na použité materiály od předních výrobců cihel a tvárnic. Dále je popsán postup zdění s využitím robotických systémů.

- **Zdící systém Porotherm**

Pro první vrstvu cihel je základem vodorovná souvislá vrstva malty o minimální tloušťce 10 milimetrů. Nejčastěji se pro založení zdiva používá speciální vápenocementová malta Porotherm AM. Pro vyrovnání malty se využívá nivelačního stroje a hliníkové latě o délce 2m. Tloušťka maltového lože by měla odpovídat tloušťce vyzdívané stěny.[33]



První vrstva cihel se zakládá na dokonale vodorovnou a souvislou vrstvu malty

Obrázek 21: Příprava maltového lože na položení první vrstvy cihel [33]

Pro vytvoření 10 milimetrů vrstvy malty se používá první přípravek vyrovnávací soustavy, který se umísťuje na nejvyšší bod základu. Přípravek je vyrovnán podle zabudované vodováhy do vodorovné polohy a nastaví se tak, aby vytvářel vrstvu o tloušťce 10 milimetrů. Následně se na přípravek upevní lať, na kterou se připevní čtecí zařízení. Podle tohoto zařízení se díky laserovému nivelačnímu přístroji určí místo druhého přípravku vyrovnávací soustavy. [33]



Nastavení přípravků vyrovnávací soupravy

Obrázek 22: Nastavení přípravku vyrovnávací vrstvy [33]

Po nastavení obou přípravků je možné nanášet maltu, která se vyrovnává pomocí hliníkové latě. Tímto způsobem se vytváří první úsek maltového lože a poté se zařízení přesune na další úsek a celý proces se opakuje. [33]



Spotřeba základací malty závisí na průměrné tloušťce maltového lože

Obrázek 23: Přemísťování nastavitelných přípravků [33]

Zdění obvodových stěn začíná v rozích, kde se usadí rohové cihly, a pokračuje směrem k prostředku podle zednické šňůry, která je napnutá mezi rohovými cihlami. Při osazování první vrstvy cihel je důležité, aby výškový rozdíl mezi dvěma sousedními cihlami nepřekročil 0,5 mm.



Osazované cihly by mělo být možné pohodlně vyrovnat, nesmí se přitom příliš vtlačovat do zakládací malty

Obrázek 24: Položení první vrstvy cihel [33]

Další vrstva cihel může být položena dvěma způsoby. První způsob spočívá v kladení cihel do malty, která se nanáší pomocí válce. Malta se dávkuje v dávkovacím zařízení válce a při plynulém pohybu válce se rovnoměrně dostává na ložnou plochu cihel ve vrstvě pod ní. Při tomto způsobu nanášení malty se malta aplikuje pouze na žebra cihel v ložné spáře. [33]



Nanášení malty pomocí nanášecího válce

Obrázek 25: Nanášení malty na žebra cihel v ložné ploše [33]

Druhý způsob spočívá v nanášení malty na celou ložnou plochu cihel. Pro tento postup se nejprve navlhčí ložná plocha, odstraní se prach a nečistoty. Malta se poté nanáší pomocí maltovacího vozíku, který se pohybuje po cihlách na kolečkách. Stejně jako u prvního způsobu, malta se dávkuje do dávkovacího zařízení vozíku a rovnoměrně se rozprostírá na ložnou plochu předchozí vrstvy. [33]



Před nanášením malty doporučujeme navlhčit ložnou plochu cihel



Malta Porotherm Profi se připraví podle návodu na zadní straně obalu



Nanášení malty pomocí maltovacího vozíku

Obrázek 26: Nanášení malty na žebra cihel v ložné ploše [33]

Cihly lze také pokládat do zdící pěny Dryfix, která se nanáší pomocí pistole s dávkovací dózou. Tento způsob je podstatně méně náročný než zdění s použitím zdící malty. Před použitím pistole se dóza musí minimálně dvacetkrát protřepat a následně se šroubuje na pistolí. Cihly se do pěny pokládají nejpozději do tří minut po jejím nanesení. [33]



Na vyrovnanou řadu cihel se rovnoběžně nanesou 2 pruhy zdící pěny o průměru cca 3 cm ve vzdálenosti cca 5 cm od okrajů

Obrázek 27: Zdění na zdící pěnu Dryfix [33]

Všechny zdící prvky lze také upravovat, například pro vytvoření zdiva pro ostění oken nebo dveří. Zdivo se v takových případech řeže pomocí stavební pily. [33]

- **Zdící systém Ytong**

Před započítím zdění obvodového zdiva z tvárnic Ytong je nezbytné se ujistit, že byla provedena hydroizolace a že povrch je rovinný s maximální odchylkou +/- 25 milimetrů. [34]



Obrázek 28: Stabilizace uložené tvárnice [33]



Obrázek 29: Výšková kontrola rohových tvárnic [33]

První tvárnice se pokládá v nejvyšším rohu základové desky, přičemž pera jsou orientovaná směrem ven. Tento postup se opakuje ve všech rozích. Tvárnice se umísťuje do maltového lože i tong zakládací malty, která slouží jako tepelně izolační materiál. Maltové lože musí pokrývat celou plochu tvárnice a mít minimální tloušťku 10 milimetrů. Je také důležité zajistit správnou konzistenci malty, aby se po rozprostření nešířila a po usazení tvárnice ji lze korigovat ve vertikálním i horizontálním směru. [34]

Po umístění všech rohových tvárnic je nutné provést kontrolu pěšky ve všech rozích, ideálně s použitím nivelačního přístroje nebo rotačního laseru.

Mezi rohovými tvárnicemi se připevní zednická šňůra, která slouží jako referenční linie pro zdění první řady tvárnic. [34]



Obrázek 30: Založení první řady pomocí zednické šňůry [34] Obrázek 31: Pokládka první řady tvárnic [34]

Podobně jako u rohových tvárnic se první řada tvárnic zakládá do tepelně izolační malty Ytong. Rovinnost první řady se kontroluje pomocí vodováhy nebo latě s minimální délkou 1m. Tvárnice se přesně umístí na své místo a usadí se poklepem gumovou paličkou. [34]

Další řada tvárnic se také začíná zdít od rohů s perem orientovaným ven. Postup je stejný jako u první řady. Před nanášením běžné zdící malty Ytong je důležité důkladně vyčistit povrch předchozí řady od nečistot a prachu. Řady se zdí podle napnuté zednické šňůry a přesné umístění tvárnice kontroluje pomocí vodováhy o minimální délce 1m. Tvárnice se usadí na své místo poklepem shora gumovou paličkou.

Pro nanášení Ytong zdící malty se používá zednická lžíce Ytong, která má ozub o výšce 5 mm. Malta se nanáší v celé ploše řady pod řadou právě zděnou. Je důležité zajistit, aby rýhy vytvořené ozubem zednické lžíce byly rovnoběžné se zděnou stěnou.

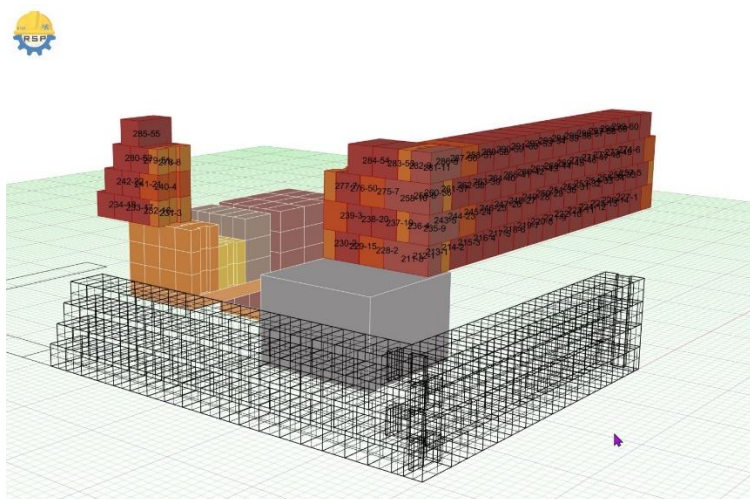
Při zdění je nezbytné dodržovat minimální přesah 100 milimetrů. Svislost zdění se kontroluje pomocí vodováhy nebo latě o minimální délce 1m. Vzniklé nerovnosti lze vyrovnat například broušením budoucího ostění. Je důležité klást tvárnice co nejtěsněji k sobě, aby nedocházelo k vodorovnému posunu po maltě a k vyplnění svislé spáry maltou, což by způsobilo vznik mezer. [34]



Obrázek 32: Přesah tvárnice o 100 mm [34]

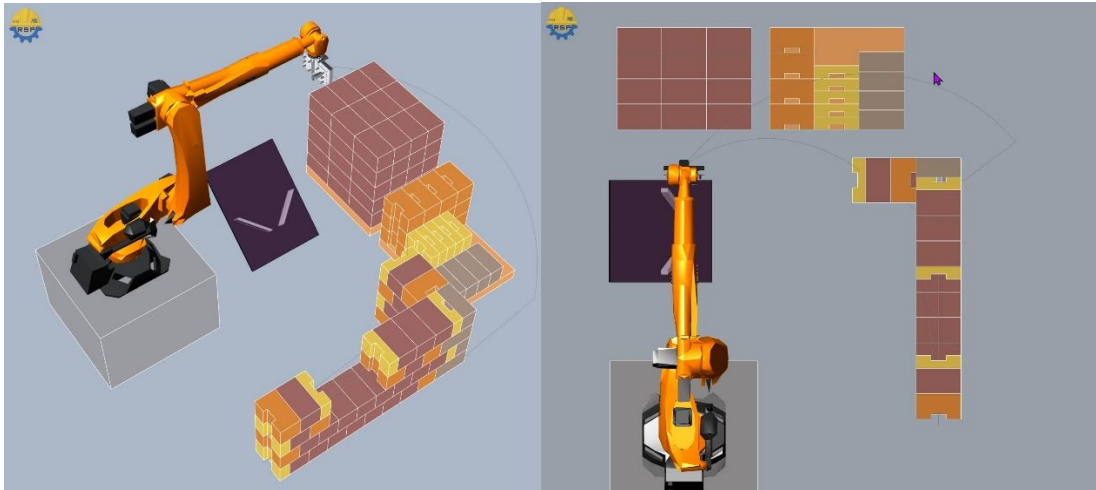
- **Technologie zdění robotem**

Proces robotického zdění začíná vytvořením modelu BIM projektu, který definuje parametry budoucího zděného objektu, jako je objem zdiva, zastavěná plocha, doba výstavby a datum zahájení. Model také obsahuje informace o použitém robotu, stavebním materiálu a lepidle. [35]



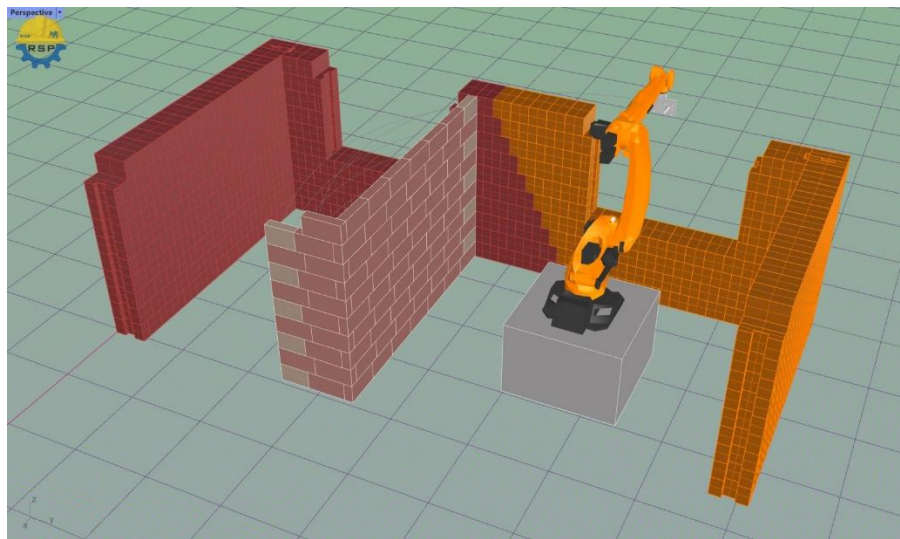
Obrázek 33: BIM model s přesnou lokací tvárnic [31]

Základní informace o každém použitém materiálu, jako jsou rozměry, hmotnost, velikost balení, jsou zaznamenány. Paleta s materiálem je přesně uspořádána, aby robot mohl snadno odebírat cihlu a pokračovat ve zdění. Po definování všech informací začíná samotný proces zdění, který se opakuje v cyklech. [31]



Obrázek 34: Postup zdění robotem [31]

Robotické rameno uchopí cihlu a přesune ji do kalibračního zařízení, aby bylo zajištěno konzistentní držení a pokládání každé cihly. Poté je cihla přenesena na určené místo a položena do lepidla. Po dokončení první řady se nanáší lepidlo na celou řadu a cyklus pokračuje ve zdění dalších řad a vystavění celého patra. [31]



Obrázek 35: Robot po přesunu, při zdění další části objektu [31]

Robot je, kvůli omezenému dosahu svého ramene, schopen vyzdít pouze část objektu. Proto se po vyzdění první části objektu musí pro dozdění přesunout. Spolu s robotem se přesune i materiál potřebný ke zdění, a to pomocí jeřábu. Přesuny robota mají významný vliv na celkový čas potřebný k dokončení zdění objektu, neboť každý přesun robota z jednoho místa na druhé trvá přibližně 50 minut.

Existuje mnoho požadavků pro optimální využití robotické technologie při zdění. Jeřáb je nezbytný pro přepravu robota, který má vysokou hmotnost (1,2 t), což vyžaduje statické posouzení stropní konstrukce a případné posílení. Minimální dosah robota musí být 3,9 m, aby bylo možné efektivně sdílet vyšší řady zdiva a minimalizovat časté přesuny robota. Minimální hmotnost zatížení na konci ramene je 25kg, ale čím vyšší hmotnost, tím větší výhoda oproti lidské práci, protože umožňuje zdění s velkoformátovými bloky a zvyšuje rychlost zdění. Je nutné mít druhou hlavici na robota pro nanášení lepidla. Robot musí být připojen na třífázové napájení 400 V. Provoz robota vyžaduje minimálně 2 pracovníky – operátora robota a pomocného dělníka. [31]



Obrázek 36: Celkový vývojový diagram zdění [autor]

○ **Kontrola přebírané objednávky**

Před převzetím objednávky se provádí vizuální kontrola obsluhy, která je odpovědná za přijetí objednaných cihel nebo tvarovek od výrobce. Tato kontrola je pouze orientační a nezahrnuje podrobnou kontrolu. Kontroluje se počet atyp zdících prvků, které byly předem objednány. Důležité je zajistit že přebírané zdící prvky mají co nejmenší odchylku od požadovaných rozměrů, která byla stanovena během

objednávání. Tento požadavek je nutný, protože robot pracuje s vysokou přesností a velké odchylky by mohly způsobit problémy při zdění. [24]

- **Doprava materiálu na paletě**

Součástí tohoto procesu je přeprava zdících prvků vozem na paletách s předem dohodnutou skladbou palet. [24]

- **Kontrola palety na místě odběru**

Paleta je umístěna na předem určené místo poblíž robota. Místo je vybráno tak, aby byla paleta v dosahu robota během procesu zdění, ale zároveň nebránila robotovi v práci. Místo je označeno páskami na zemi tak, aby odpovídalo velikosti palety. Po umístění palety je prováděna kontrola správného umístění, kterou provede obsluha.

Po předběžné kontrole následuje laserová kontrola umístění palety a počtu řad cihel na paletě. Pokud tato kontrola neodpovídá navrhovanému modelu, proces robotického zdění je zastaven a obsluha musí odstranit jakékoliv nesrovnalosti před pokračováním. [24]

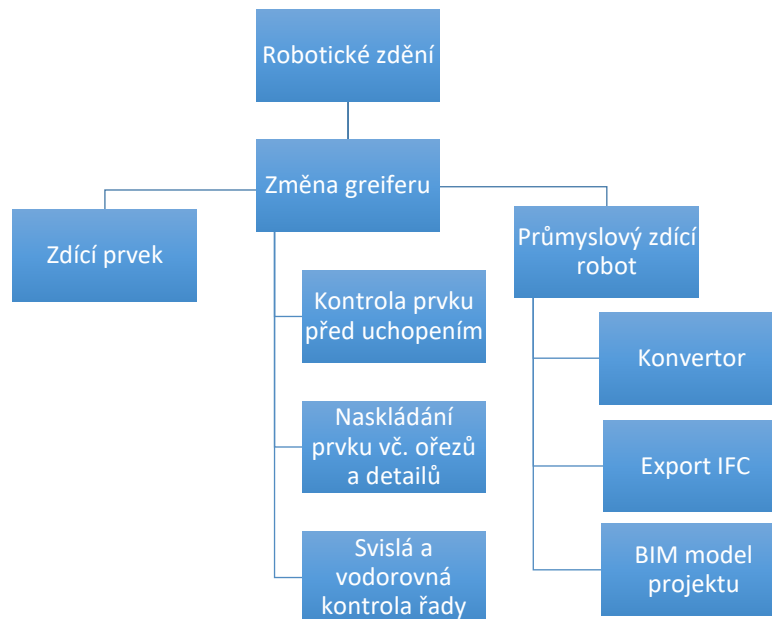
- **Kontrola rovinnosti povrchu**

Dále se provádí kontrola rovinnosti povrchů, na kterém bude probíhat zdění. Tato kontrola se provádí pomocí nivelačního přístroje. Obsluha stroje je také kontroluje hydroizolační vrstvu na podkladu. [24]

- **Základová ložná spára**

Obsluha stroje je následně provádí vytvoření základové ložné spáry. Tato spára je tvořena tepelně izolační základovou maltou s minimální tloušťkou 10 mm. [24]

- **Zdění**



Obrázek 37: Detailní vývojový diagram robotického zdění [autor]

- **Zdící prvek**

Vstupní data o zdícího prvku zahrnují rozměry, váhu a uskladnění na paletách. Je také důležité znát velikost palety, způsob uspořádání zdících prvků na paletě a umístění palet v blízkosti robota. [24]

- **BIM model**

Pro vytvoření modelu vysmívaného objektu se používá prostředí BIM, například software Autodesk Revit. [24]

- **Export IFC**

Model vytvořený v prostředí BIM je poté převeden do univerzálního formátu IFC, který slouží jako prostředek k převodu mezi různými aplikacemi a operačními systémy. Model v IFC formátu je uložen na textový popis modelu, což umožňuje snadné zpracování a úpravy. [24]

- **Konvertor**

Konektor postupně převádí model v IFC formátu na BREP model, který reprezentuje objekty jako soubor propojených povrchových prvků. [24]

- **Průmyslový zdící robot**

Proces samotného zdění začíná příchodem robota, do kterého je nahrán konvertovaný model obsahující detaily a polohu každého zdícího prvku včetně typu prvku. [24]

- **Změna greiferu**

Prvním krokem je výměna greiferu z nanášejte malty na přísavku. Tato výměna se provádí v dokovací stanici, kde nanášet smalty odložen a přísavka připojena k robotu. [24]

- **Kontrola prvku před uchopením**

Následuje kontrola prvku před jeho uchopením. Tato kontrola je důležitá, aby se předešlo možnému poškození prvku, které by mohlo vést k poklesu podtlaku přísavky a pádu prvků. Pokud kontrola nedopadne kvalitně, systém se zastaví a obsluha provede opravy chyb před pokračováním ve zdění. [24]

- **Naskládání prvku včetně ořezů a detailů**

Poté se provádí samotné ukládání zdících prvků na svá místa v konstrukci, včetně speciálních prvků podle detailů a předem nařezaných prvků na požadovaný rozměr. [24]

- **Svislá a vodorovná kontrola řady**

Nakonec se provede svislá a vodorovná kontrola polohy vyzdění řady pomocí laseru. [24]

- **Výsledná kontrola**

Po dokončení zdění se provádí konečná horizontální a vertikální kontrola vyzdění prvků pomocí robota. Tato kontrola je prováděna pomocí laserového zařízení, které je připojeno k robotu. Po dokončení této kontroly je model aktualizován tak, aby odpovídal skutečnému stavu konstrukce. [24]

Díky vysoké přesnosti, s jakou robot pracuje, odpadá několik činností, které jsou nezbytné při ruční práci, například natažení zednické šňůry pro správné ukládání prvků.

Další výhodou zdění pomocí robota je menší potřeba personálu obsluhujícího robota ve srovnání s počtem zednické čety. Nicméně obsluha robota vyžaduje vyšší vzdělání a s sebou nese vyšší ekonomické nároky.

Jednou z nevýhod zdění pomocí robota je zvýšená ztrátovost materiálu při řezání cihel. Robot není schopen se rozmyslet a využít ořez ve vhodném místě pro další fáze výstavby, na rozdíl od lidské pracovní síly Šárka která má tuto flexibilitu. Modelování a programování procesů robota pro efektivní využití ořezů je složitější úkol. [24]

1.1.7. Bezpečnost práce s autonomním robotickým stavebním systémem

S rostoucím využitím robotických technologií ve stavebním průmyslu je nezbytné zajistit, aby práce s těmito autonomními systémy probíhala bezpečně a minimalizovala rizika pro pracovníky a okolí. Autonomní robotický stavební systém (v našem případě konkrétně robot KUKA Quantec KR) představuje revoluční přístup k stavebním pracím, kde jsou roboti schopni provádět různé stavební úkoly s minimálním nebo žádným zásahem lidského operátora. Nicméně s tímto technologickým pokrokem přichází také nové výzvy a otázky týkající se bezpečnosti.

- **Přeprava stroje**

Při přepravě robotického ramene je důležité přísně dodržovat pokyny výrobce a bezpečnostní předpisy. Jedná se o zařízení s vysokou hmotností, které při nesprávné manipulaci může způsobit vážná zranění a materiální škody, včetně úmrtí. Před každou přepravou je nezbytné umístit robotické rameno do specifické přepravní polohy, která stanovuje požadované úhly jednotlivých průmyslového robota. Tím se zajišťuje větší stability ramenné snížením jeho těžiště. [36]

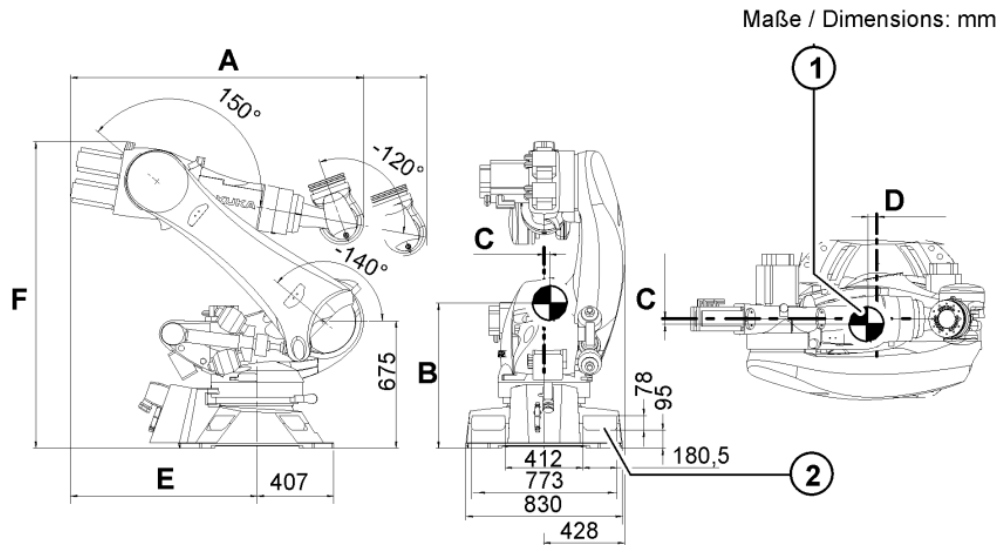


Fig. 4-19: Transport dimensions

Obrázek 38: Převozní poloha průmyslového robota [36]

1 – těžiště; 2 – kapsy pro vidlice vysokozdvížného vozíku

Robotické rameno lze přepravovat pomocí vysokozdvížného vozíku, který je vybaven speciálními kapsami pro vidlice. Alternativně lze využít přepravních závěsných prostředků, které mají závěsné šrouby s okem M16 DIN580.

Při přepravě je důležité zajistit vyváženou zátěž a odtlakování, zejména pokud je robotické rameno přepravováno v tlakových nádobách. Tyto nádoby jsou považovány za nebezpečný náklad, což představuje potenciální problém při přepravě například letecky. [36]

- **Kvalifikace personálu**

Personál zodpovědný za manipulaci s průmyslovým robotem musí být schopný posoudit prováděné práce a identifikovat možná rizika. Nepovolovaná osoba, která manipuluje s robotem, může způsobit věcné škody nebo vážná zranění.

Způsobilá osoba musí mít průkaz, který potvrzuje její autorizaci k manipulaci s robotem na staveništi. Personál musí splňovat následující podmínky:

- musí mít odpovídající odborné vzdělání, znalosti a zkušenosti s manipulací s podobnými zařízeními
- musí být seznámen s relevantními návody k montáži a provozu a musí mít znalost příslušných norem

- musí si přečíst a porozumět dokumentaci průmyslového robota, zejména kapitola o bezpečnosti

Pro průmyslového robota jsou také definovány skupiny osob (provozovatel a pracovníci), které mohou přijít do styku s robotem a mají své vlastní povinnosti, které jsou podrobně popsány v dokumentaci průmyslového robota.

- Provozovatel - je povinen splnit kontrolní povinnosti, provádět instruktáže a dodržovat předpisy týkající se osobní ochranné pracovní výbavy (OOPP).
- Pracovníci - pracovní personál musí být před zahájením veškerých prací informován o druhu a rozsahu prací a možných rizicích. Toto poučení musí být prováděno pravidelně, po každé významné události nebo technické změně. Pracovníci musí mít adekvátní kvalifikaci o práci se zařízením obsahujícím průmyslového robota. Kvalifikovaná osoba je zde definována jako osoba, která je schopna posoudit prováděné práce a rozpoznat možná nebezpečí na základě svého odborného vzdělání, znalostí, zkušeností a v souladu s příslušnými normami. [36]

- **Bezpečnostní předpisy**

Před každým použitím je nezbytné důkladně zkontrolovat průmyslový robot, protože jeho bezpečný provoz je možný pouze v bezchybném stavu. V případě jakékoli závady je třeba tuto závadu odstranit před dalším použitím, i když by neměla výrazně ovlivnit provoz. Je také důležité pečlivě prostudovat dokumentaci průmyslového robota, která obsahuje informace o rizicích spojených s jeho provozem. [36]

- **Uvedení do provozu**

Před uvedením průmyslového robota do provozu je nutné provést kontrolu čárka při které je vynaloženo maximální úsilí na odhalení všech závad a ověření kompletnosti všech zařízení a bezpečnost provozu. Kontrola zahrnuje i ověření správné funkce všech bezpečnostních elektrických okruhů, správnost instalace robota a absence uvolněných částí a cizích těles na konstrukci. Při kontrole je nutné dodržovat všechny platné státní nebo regionální předpisy týkající se bezpečnosti a ochrany zdraví při práci (BOZP).

Nesprávné připojení průmyslového robota nebo použití nesprávného řídicího systému představuje vysoké riziko ohrožení bezpečnosti a lidí, kteří se pohybují poblíž robota.

Při integraci dodatečných komponent, které nejsou součástí dodávky průmyslového robota kuka, je důležité zajistit, aby tyto komponenty nepoškodily bezpečnostní funkce systému nebo úplně nevyřadili z provozu. V opačném případě by mohlo dojít k vážným úrazům nebo dokonce k úmrtí osob manipulujících s robotem. [36]

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

Údržba a opravy jsou nezbytné pro udržení průmyslového robota v provozuschopném stavu, aby spolehlivě a bezpečně vykonával požadované úkoly a v případě poruch obnovil tento stav. Proces oprav zahrnuje lokalizaci a odstranění defektu nebo poruchy.

Při provádění údržby nebo opravy je nutné dodržovat následující bezpečnostní opatření a vždy zabezpečit bezpečnost a ochranu zdraví osob pohybujících se v nebezpečné zóně (viz. níže):

- Činnost se má provádět mimo nebezpečnou zónu, pokud to není nezbytné.
- Robot musí být vypnutý a zablokovaný, pokud daná činnost nevyžaduje aktivní stav robota.
- Pokud je nutné provádět činnost při aktivním robotu, musí být robot přepnut do provozního režimu (testovacího režimu stručně sníženou rychlostí).
- Na zařízení musí být umístěna informační značka o prováděných pracích na robotu, která musí zůstat i při dočasném přerušení prací.
- Zařízení pro nouzové zastavení musí být vždy funkční. Pokud je nutné tato zařízení odpojit při opravách nebo údržbě, je nutné je okamžitě znovu aktivovat po dokončení prací.

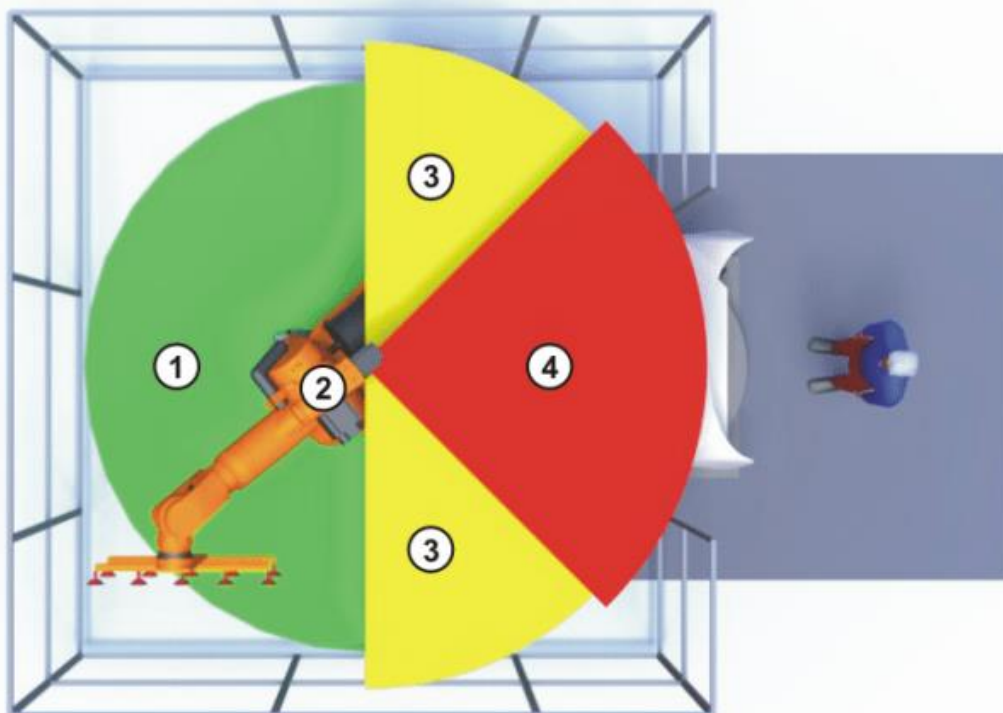
- Při výměně komponent robota je důležité zajistit výměnu za komponenty se stejným výrobním číslem nebo ekvivalentní komponenty uznávané výrobcem.
- Čištění a údržba se musí provádět v souladu s provozním řádem, aby se zabránilo pronikání vlhkosti nebo prachových částic do citlivých částí robota, které by mohly negativně ovlivnit jeho funkci. [36]

- **Elektrická energie je, elektrická zařízení a vybavení**

Stroj musí být vybaven pouze výrobky, které jsou schváleny výrobcem stroje. Práce na elektrických zařízeních nebo provozních prostředcích mohou provádět pouze kvalifikovaní pracovníci nebo pracovníci pod dohledem kvalifikovaného pracovníka, přičemž je třeba dodržovat elektrotechnické normy a směrnice. Elektronická zařízení stroje musí pravidelně podléhat revizím a kontrolám a případné závady musí být okamžitě odstraněny. Pokud se provádí práce na částech stroje, který je pod napětím, je nutná přítomnost další osoby, která má dosah na hlavní vypínač. Pracovní prostor musí být označen červenobílým výstražným řetězem a výstražnou tabulkou. [36]

- **Návrh bezpečnostního opatření pracoviště**

Pracovní zóny musí být omezeny na minimální rozměry nezbytné pro provádění práce. Pracovní zóna musí být odpovídajícím způsobem zabezpečena a vybavena bezpečnostními závorami. Ochranná zařízení, jako například ochranné dveře, mohou sloužit jako ochrana. Pokud dojde k přerušení nebo překážce v paprsku, manipulátor se zastaví a volitelně se zastaví i přídatné osy v nebezpečné zóně (v oblasti dosahu průmyslového robota). [36]



Obrázek 39: Příklad rozsahu osy [36]

1 – pracovní prostor; 2 – stroj; 3 – brzdná vzdálenost; 4 – bezpečnostní zóna

1.2. Legislativa

V České republice dnes zatím neexistuje žádná specifická legislativa, která by se přímo věnovala robotizaci ve stavebnictví. Avšak obecně platí, že právní předpisy a regulace v oblasti stavebnictví, pracovního práva a bezpečnosti práce by měly být dodržovány při používání robotů a automatizovaných zařízení na staveništi.

Při robotizaci ve stavebnictví je důležité dodržovat základní právní normy, jako je zákon o bezpečnosti a ochraně zdraví při práci, který stanovuje povinnosti zaměstnavatelů a pracovníků v oblasti bezpečnosti práce. Zaměstnavatelé by měli zajistit, aby roboti a automatizovaná zařízení byla bezpečná pro použití a aby pracovníci byli řádně vyškoleni pro práci s nimi.

Zákon č. 309/2006 Sb. – Zákon, kterým se upravují další požadavky bezpečnosti a ochrany zdraví při práci

Určuje požadavky na pracoviště a pracovní prostředí. Prikazuje zaměstnavateli dohled nad stavem pracovních prostředků a zařízení a dále mu

přikazuje povinnost umístit značky v místech, kde může dojít k poškození zdraví vlivem rizikovitosti práce. Tento zákon definuje co jsou rizikové faktory – fyzikální, chemické, biologické, apod. a udává zaměstnavateli povinnost při zvýšených hodnotách těchto faktorů, je vhodným technickým zařízením tlumit nebo eliminovat. [37]

ČSN 730202 – Geometrická přesnost ve výstavbě. Základní ustanovení

Tato norma stanovuje základní pojmy, parametry přesnosti a požadavky na návrh, kontrolu a hodnocení geometrických parametrů, které ovlivňují funkčnost stavebních objektů nebo jejich částí po celou jejich životnost. [38]

ČSN 730205 – Geometrická přesnost ve výstavbě. Navrhování geometrické přesnosti

Tato norma se vztahuje na navrhování přesnosti geometrických parametrů stavebních konstrukcí a jejich částí a stavebních postupů v souladu s ČSN 730202. Je však třeba poznamenat, že norma neplatí pro konstrukce, u kterých nelze zanedbat zakřivení zemského povrchu. [39]

ČSN 730212-1 – Geometrická přesnost ve výstavbě. Kontrola přesnosti.

Část 1: Základní ustanovení

Norma upravuje principy a metody pro kontrolu geometrické přesnosti stavebních dílců, konstrukcí a stavebních objektů. Dále stanovuje zásady pro kontrolu vytyčovací práce. [40]

ČSN 730212-3 – Geometrická přesnost ve výstavbě. Kontrola přesnosti.

Část 3: Pozemní stavební objekty

Norma specifikuje přesnost kontroly geometrických parametrů polohy, velikosti a tvaru objektů, včetně výkopů. Rovněž se zabývá velikostí, tvarem, umístěním a orientací konstrukcí těchto objektů a jejich částí po celou dobu životního cyklu. Avšak norma se nezabývá přesností kontroly samotných stavebních dílců, které nejsou pevnou součástí objektu, ani kontrolou výrobků určených pro vnitřní dokončování. Taktéž se nezabývá přesností vytyčování a měřením změny polohy staveb. [41]

ČSN 730212-5 – Geometrická přesnost ve výstavbě. Kontrola přesnosti.

Část 5: Kontrola přesnosti stavebních dílců

Norma definuje principy pro určení míst měření stavebních dílců, které nejsou pevnou součástí stavby, a stanovuje přesností kontrolních měření a metody jejich vyhodnocení. Tím se provádí srovnání mezi skutečně vyrobeným dílcem a hodnotami stanovenými výrobcem. Výrobci tyto hodnoty stanovuje až na základě výkresů dílce, normy a podobně. [42]

Vyhláška č. 268/2009 Sb. Vyhláška o technických požadavcích na stavby

Tato vyhláška se vztahuje nejen na novostavby, ale také na údržbu, změny již dokončených objektů, dočasné stavby a památky nacházející se v památkovém území. Však s určitými podmínkami stanovenými ve vyhlášce. Vyhláška je platná pro stavby, které spadají pod obecné stavební úřady. [43]

Zákon č. 183/2006 Sb. Zákon o územním plánování a stavebním řádu (Stavební zákon)

Zákon se primárně zabývá územním plánováním, definuje jeho cíle, specifikuje orgány odpovědné za územní plánování a určuje nástroje používané v rámci tohoto plánování. Dále se věnuje ekologické stránce, včetně zkoumání vlivů na životní prostředí.

Zákon také upravuje postupy spojené se stavebním procesem v souladu se stavebním řádem. Jedná se o udělování povolení a změn stavby, úpravy terénu, užívání a demolici staveb. V zákon také stanovuje dohled a pravomoci stavebních úřadů, oprávnění autorizovaných inspektorů a povinností a odpovědnosti osob při přípravě a provádění staveb.

Dále zákon pojednává o podmínkách pro projektovou činnost a provádění samotných staveb, obecných požadavcích na výstavbu, účelech vyvlastnění, vstupu na pozemky a stavby a ochraně veřejných zájmů. [44]

2 Současný stav problematiky v ČR a zahraničí

2.1 *Současný stav problematiky v ČR*

Robotické zdění je relativně nová technologie v oblasti stavebnictví, která se v posledních letech začala rozvíjet. Existuje několik problémů které by mohly ovlivnit jeho implementaci v České republice.

- Legislativní omezení - v české republice je stavebnictví regulováno řadou předpisů a normativů. Při používání robotického zdění by bylo třeba provést změny v předpisech, aby se tato technologie mohla plně využít. Je třeba stanovit pravidla pro provozování robotů na stavenišťě a zabezpečit jejich bezpečnostní aspekty.
- Vzdělání a odborná příprava - robotické zdění vyžaduje specifickou znalost a dovednosti. Je důležité aby byla vytvořena vhodná odborná příprava pro pracovníky ve stavebnictví, aby se naučili správně ovládat a udržovat robotické zdění. Je také důležité vytvořit osvětu a motivovat stavební firmy a pracovníky šárka aby přijali novou technologii.
- Investiční náklady - pořízení a provoz robota pro robotické zdění může být zpočátku nákladné. Stavební firmy by musely investovat do pořízení robotů, zaškolení personálu a údržby zařízení. Tyto investiční náklady by mohly být překážkou pro mnoho firem, zejména pro menší a střední podniky.
- Přijetí nové technologie - stavebnictví je oblastí, která je často konzervativní a méně ochotná přijímat nové technologie. Některé stavební firmy mohou mít obavy z nahrazování lidské práce roboty a odpor vůči změnám. Je důležité vést osvětu ukázat výhody robotického zdění, jako je zvýšení produktivity, přesnost a snížení nákladů.
- Kompatibilita se stávajícími postupy - v České republice se běžně používá zdění z cihel a bloků. Přejchod na robotické zdění by vyžadovalo změny ve stavebním procesu a přizpůsobení se novým technologiím. To může vyžadovat čas a úsilí při vývoji nových stavebních systémů a přizpůsobování stavebních materiálů.

Je důležité provést důkladný průzkum a analýzu těchto problémů, aby se zabezpečil úspěšný přechod k robotickému zdění v České republice teďka potřebujeme vytvořit příznivé prostředí pro inovace a podporovat výzkum a vývoj v oblasti robotických technologií ve stavebnictví.

Vláda by mohla podporovat a financovat výzkumné projekty zaměřené na robotické zdění a spolupracovat s univerzitami a průmyslovými partnery na vytvoření školicích programů a kurzů odborné přípravy pro pracovníky ve stavebnictví. Zároveň by se mohli nabízet daňové pobídky a finanční podpora pro stavební firmy, které se rozhodnou investovat do robotického zdění.

Důležitá je také spolupráce mezi stavebními firmami a výrobcí robotických zařízení. Společné úsilí a sdílení zkušeností mohou vést k vytvoření optimálních stavebních procesů a zdokonalení robotických systémů pro konkrétní potřeby českého stavebnictví.

S výhodami robotického zdění, jako je vyšší produktivita, zvýšená kvalita a efektivita práce s, je důležité informovat a přesvědčit stavební firmy a profesionály, aby přijaly tuto technologii. Prostřednictvím veřejných prezentací, konferencí a výstav, a také prostřednictvím příkladů úspěšných projektů, lze šířit povědomí o přínosech robotického zdění a pomoci odstranit obavy a předsudky.

Celkově lze říci, že přechod k robotickému zdění v české republice přináší potenciál pro zvýšení konkurenceschopnosti stavebnictví, zlepšení kvality staveb a optimalizaci pracovních procesů. Překonání problémů a podpora inovací v této oblasti může mít pozitivní dopad na celý stavební průmysl a ekonomiku země. [17], [13], [2], [1], [3]

2.2 *Současný stav problematiky v zahraničí*

Robotické zdění čelí podobným problémům nejen v České republice ale i v zahraničí. Některé z těchto problémů (podrobně viz. výše) jsou například legislativní překážky, nedostatek kvalifikované pracovní síly, finanční náklady, Integrace s existujícími postupy a materiály.

V zahraničí se však již objevují pozitivní trendy a úspěchy v implementaci robotického zdění. Některé země, jako například německo, Japonsko AUSA, se staly

předními představiteli v oblasti robotického stavebnictví. Tyto země investují do výzkumu, vývoje a inovací, aby podpořili rychlý rozvoj a přijetí robotických technologií ve stavebnictví.

V některých zemích se provádí pilotní projekty, kde se testuje ohodnotí robotické zdění. Tato opatření mají za cíl nasbírat data, poskytovat zpětnou vazbu a zlepšovat technologii v reálných podmínkách stavenišť. Úspěchy těchto pilotních projektů mohou sloužit jako příklady a inspirace pro další země, které zvažují zavedení robotického zdění.

Některé země také přijímají opatření pro podporu přijetí robotického zdění. To může zahrnovat finanční pobídky, daňové úlevy, granty nebo dotace pro stavební společnosti, které investují do robotických technologií. Tyto stimuly mohou snížit finanční břemeno a podporovat rychlejší přechod k robotickému zdění.

V zahraničí se také provádí výzkumy a vývoje nových materiálů a stavebních metod, které jsou speciálně navrženy pro robotické zdění. Cílem je zlepšit efektivitu, přesnost a spolehlivost robotických systémů a zároveň optimalizovat používané materiály.

Celkově lze říci, že v zahraničí se snaží překonat problémy a překážky spojené s robotickým zděním prostřednictvím inovací, legislativních změn a podpory ze strany vlády. Tyto snahy a úspěchy mohou poskytnout užitečné poučení a příklady pro Českou republiku a další země, které se zabývají implementací robotického zdění. Spolupráce a sdílení zkušeností mezi zeměmi mohou pomoci urychlit přijetí a rozvoj této technologie na globální úrovni.

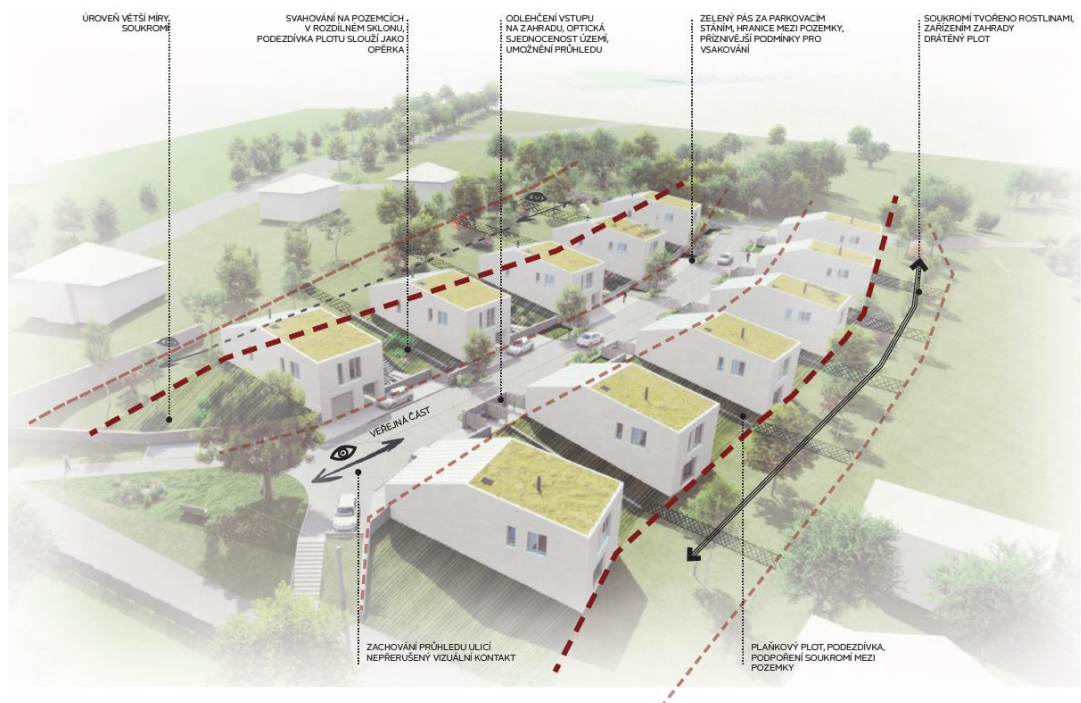
Je důležité sledovat aktuální trendy a inovace v zahraničí v oblasti robotického zdění. To může poskytnout inspiraci a podněty pro české stavebnictví, jak se vyrovnat s výzvami a využít přínosu této moderní technologie.

Dá se říct že i přes některé problémy a překážky, se robotické zdění stává stále více rozšířeným a přijímaným v zahraničí. Snahy o překonání těchto problémů, inovace v technologiích a podpora ze strany vlád a stavebního průmyslu přispívají k rychlému rozvoji a přijetí robotického zdění jako významného aspektu moderního stavebnictví. [25], [13], [12], [4]

3 Popis přípravy implementace robotické technologie na konkrétním projektu v rámci společnosti KONSIT, a.s.

V letošním roce, v roce 2023, měl být v přípravě projekt sady domků, kde mělo figurovat i robotické zdění, ve spolupráci firmy KONSIT, a.s. s ČVUT v Praze. Nicméně projekt se tento rok prozatím podávat nebude. Jednou z mnoha podmínek pro podání projektu je spolupráce s TAČR, nebo společně s firmou DEK.

Projekt by se měl posuzovat z pohledu vhodnosti využití robotické ruky (konkrétně robot KUKA, zmíněný výše v textu) na konkrétní studii domků.



TERASY PŘELIČ / PŘELIČ /
SCHEMA SVAHOVÁNÍ OPLOČENÍ

11/2022
40



Obrázek 40: Studie Přelič [zdroj – vedoucí bakalářské práce]

Z důvodu nedostatku informací k této problematice, jsem se rozhodla sama uvážit vhodnost nasazení technologie robotické ruky v tomto konkrétním případě, na konkrétní dispozici domku, pomocí SWOT analýzy.

- **SWOT analýza**
 - **Obecná analýza pro zdění rodinného domku**

Síly (strengths):

- efektivita a přesnost - robotické zdění umožňuje vysoce přesné a rychlé provádění zednických prací, což může vést k rychlejšímu dokončení projektu
- snížení lidské chybovosti - robot není ovlivněn lidskými faktory, jako je únava nebo nepřesnost, což snižuje riziko chyb a zlepšuje kvalitu práce
- zvýšená bezpečnost - robot může provádět náročné nebo nebezpečné úkoly, které by pro lidi mohli být rizikové, a tím minimalizovat riziko úrazu

Slabosti (weaknesses):

- vysoké pořizovací náklady - tento robot a jeho zařízení je finančně náročný na pořízení a údržbu
- potřeba odborných znalostí - pro efektivní využití robotického zdění je zapotřebí odborného školení a znalosti obsluhy, což může být pro některé uživatele nebo stavebníky překážkou
- omezená flexibilita - tento robot je navržen pro konkrétní úkol, nemusí být snadno přizpůsobitelný změnám v návrhu stavebního projektu

Příležitosti (opportunities):

- zvýšení produktivity a úspora času - robotické zdění může zkrátit dobu výstavby a zvýšit efektivitu pracovníků, což může vést k úsporám nákladů a zlepšení celkového časového plánu projektu
- inovace a technologický pokrok - s rozvojem robotiky a automatizace se objevují nové technologie a přístupy které mohou zlepšit robotické zdění a nabídnout nové možnosti a funkcionality
- zlepšení kvality a konzistence - robotické zdění může zajistit vyšší přesnost a konzistenci ve stavbě, což vede ke zvýšení kvality výsledného díla snížení nutnosti oprav a úprav

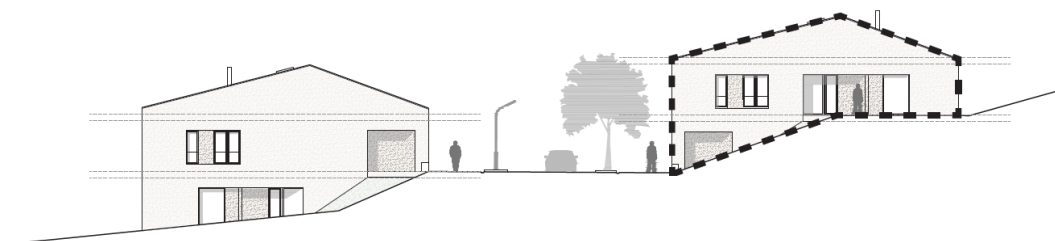
Hrozby (threats):

- negativní postoj lidí - někteří lidé mohou mít obavy z nahrazování lidské práce roboty a obavy z možné ztráty pracovních míst
- regulační omezení - neexistují všeobecně uznávané a harmonizované normy a předpisy pro robotické zdění, což může ztížit jehož širší uplatnění a rozvoj
- technické omezení - i přes rychlý pokrok v robotice jsou zde stále technické výzvy, jako například omezená schopnost robotů pracovat v různých prostředích a podmínkách

Celkově lze říci, že robotické zdění rodinných domků má potenciál přinést mnoho výhod, jako je zvýšená efektivita, bezpečnost a kvalita. Nicméně, existují také výzvy a omezení, včetně vysokých nákladů, potřeby odborného školení a omezené flexibility. Přestože existují příležitosti v podobě zvýšení produktivity, technologického pokroku a zlepšení kvality, je nezbytné řešit hrozby spojené s negativním postojem lidí a regulačními omezeními.

Důkladná analýza sil, slabostí šárka příležitostí a hrozeb je důležitá pro správné porozumění situace a strategické plánování. Pouze s tímto uceleným pohledem je možné efektivně využít potenciál robotického zdění a minimalizovat překážky, které by mohly bránit jeho úspěchu v praxi.

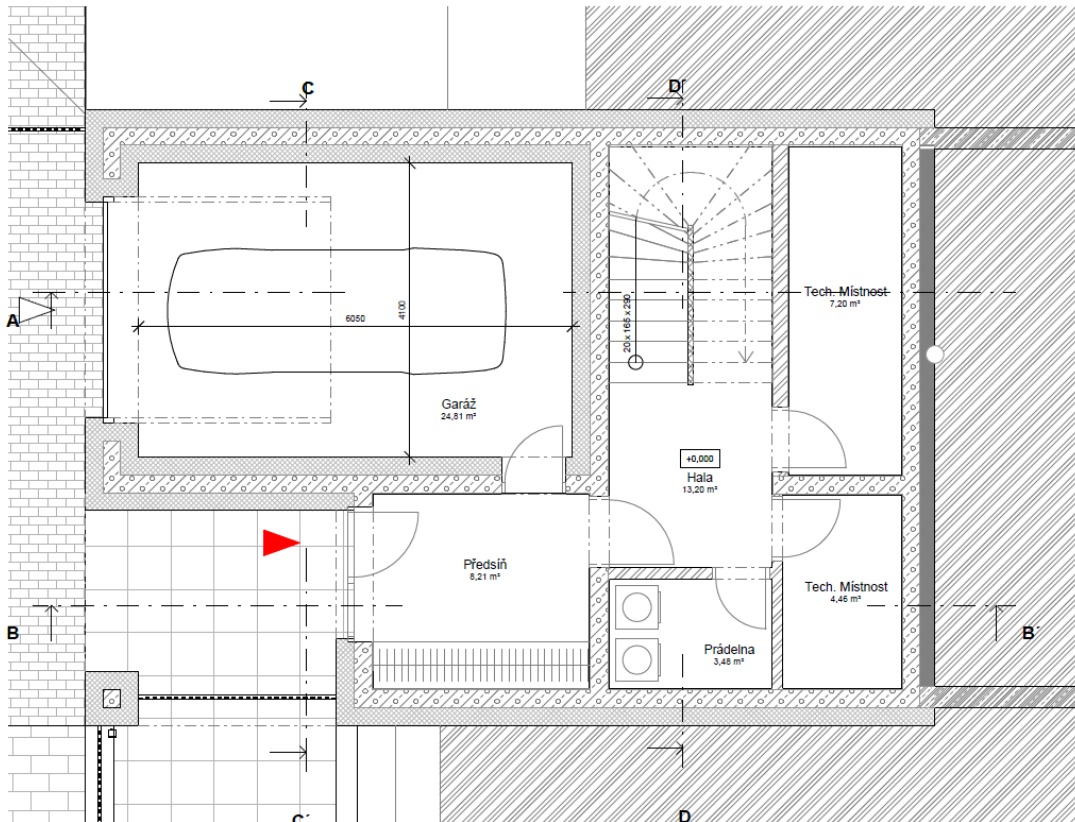
○ **Vhodnost dispozice**



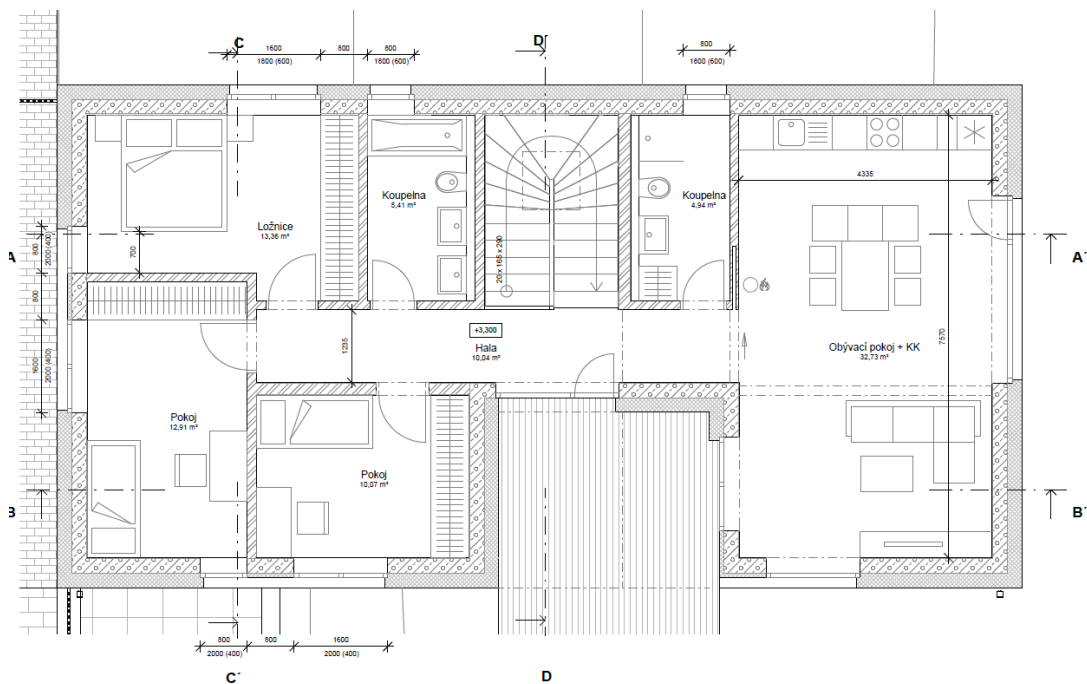
Obrázek 41: Studie Přelíč – Pohled [zdroj – vedoucí bakalářské práce]



Obrázek 42: Studie Přelíč - Situace osazení [zdroj – vedoucí bakalářské práce]



Obrázek 43: Studie Přelíč - Půdorys 1NP [zdroj – vedoucí bakalářské práce]



Obrázek 44: Studie Přelíč - Půdorys 2NP [zdroj – vedoucí bakalářské práce]

Síly (strengths):

- možnost založení a ukotvení robota v prvním i druhém nadzemním podlaží z důvodu svahování zeminy
- z důvodu menších rozponů a celkové menší dispozice, dosáhne robotická ruka do vzdálenějších míst bez nutnosti přesunu

Slabosti (weaknesses):

- robot je uzpůsoben pouze pro zdění, tedy osazování překladů a zárubní, apod. musí zhotovit pomocná pracovní síla
- delší přípravná fáze projektu, z důvodu přesného definování místa každé tvárnice

Příležitosti (opportunities):

- z důvodu sériovosti stavění domků (zhotoví se jich více jedním robotem na jedné stavbě), může dojít ke snížení nákladů pro zhotovitele

Hrozby (threats):

- při této dispozici může dělat problém složitost dispozice nosných stěn
- může nastat problém v okolí schodiště

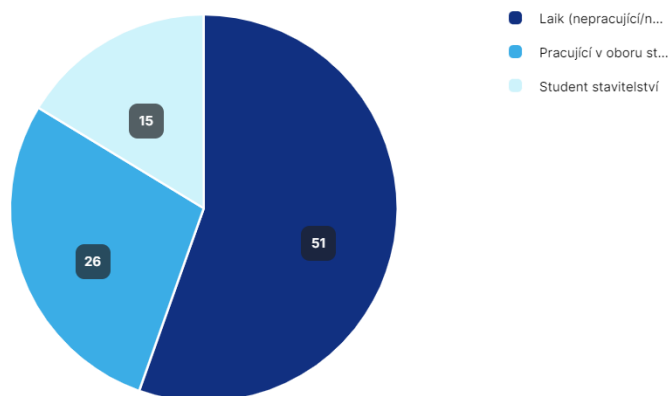
4 Zpracování dotazníkového šetření k dotčené problematice

Dotazník jsem pojala zjednodušeně, jelikož mě zajímal názor laické široké veřejnosti, ale i odborníků pracujících v oboru stavitelství, či studentů stavitelství. Sestává se ze 14 povinných jednoduchých uzavřených otázek, a na závěr jedné otevřené, kde se mohli dotazující rozepsat. Dotazník jsem zpracovala online formou a rozeslala dotazovaným.

Hlavní cíl bylo zjistit zda mají dotazovaní nějaké povědomí o robotech ve stavebnictví, či se s robotikou ve stavebnictví už setkali a nakonec jaký mají na problematiku celkový názor. Celkově respondentů odpovědělo 92.

V úvodu dotazníku bylo za cíl zjistit procentuální rozdělení dotazovaných ve třech kategoriích, zda se tedy jedná o naprostého laika, osobu pracující v oboru stavitelství, a nebo osobu studující v oboru stavitelství.

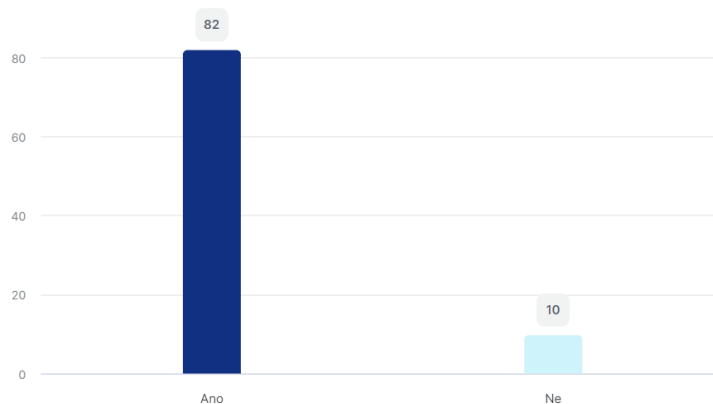
1. Do jaké skupiny se řadíte?



Graf 5: Dotazníkové šetření - otázka 1 [45]

51% dotazovaných sestávalo z laiků, 26% byly osoby pracující v oboru stavitelství, a zbylých 15% studenti stavitelství.

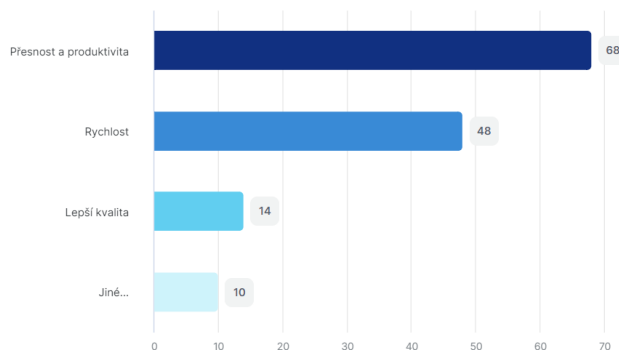
2. Myslíte si, že použití robotů ve stavebnictví má smysl?



Graf 6: Dotazníkové šetření - otázka 2 [45]

Většina dotazovaných - 82 osob, hodnotí použití robotů ve stavebnictví jako smysluplné.

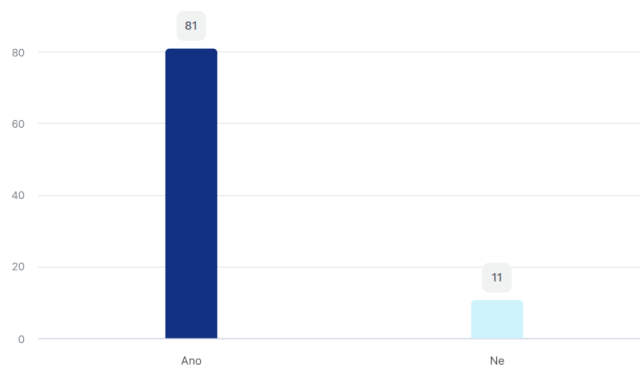
3. Co považujete za největší výhodu používání robotů ve stavebnictví?



Graf 7: Dotazníkové šetření - otázka 3 [45]

Ze čtyř možných odpovědí je největší výhodou používání robotů ve stavebnictví právě přesnost a produktivita, na druhém místě rychlost, nakonec lepší kvalita a jiné.

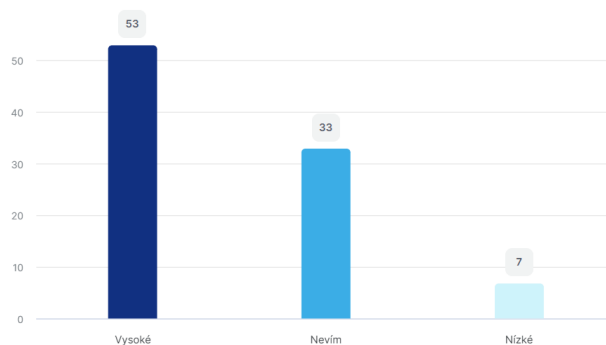
4. Považujete práci s roboty na staveništi za bezpečnou?



Graf 8: Dotazníkové šetření - otázka 4 [45]

Většina dotazovaných - 81 osob, považuje práci s roboty na staveništi za bezpečnou.

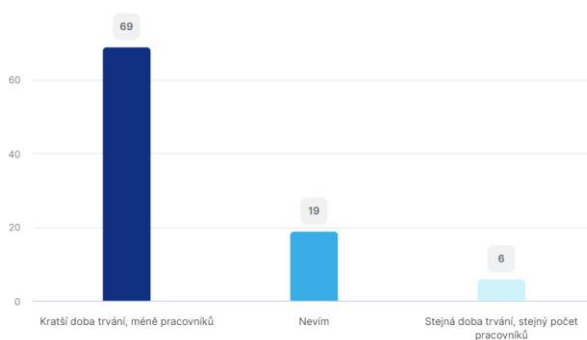
5. Jak byste zhodnotil(a) finanční náklady na roboty ve stavebnictví?



Graf 9: Dotazníkové šetření - otázka 5 [45]

53 osob je toho názoru, že finanční náklady na roboty ve stavebnictví jsou vysoké, pouhých 7 osob si myslí, že finanční náklady na roboty ve stavebnictví jsou nízké.

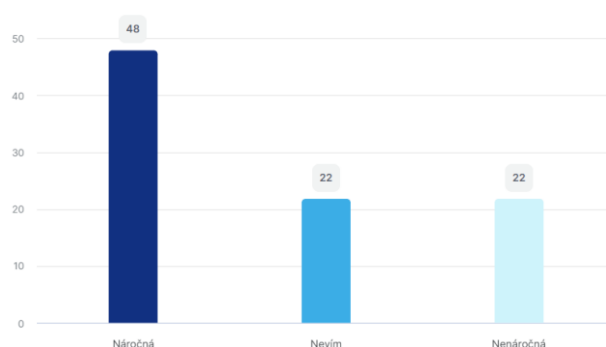
6. Jaký je vztah mezi dobou trvání projektu a počtem pracovníků při použití robotů?



Graf 10: Dotazníkové šetření - otázka 6 [45]

Cílem bylo zjistit, zda podle názoru veřejnosti, použití robotů zkrátí dobu trvání projektu a zmenší počet pracovníků. Podle 69 osob ano, 6 osob je toho názoru že doba trvání i počet pracovníků bude stejný.

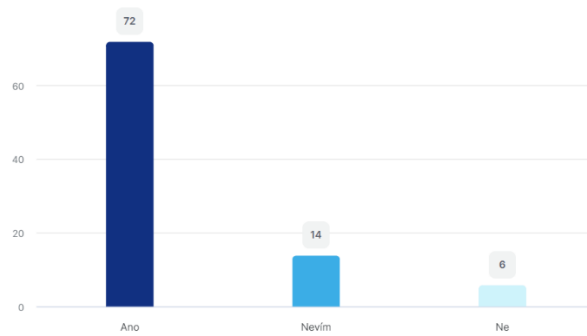
7. Jak náročná je podle Vás doprava robotů na stavbu?



Graf 11: Dotazníkové šetření - otázka 7 [45]

48 osob si myslí, že doprava robotů na stavbu je náročná, a 22 si myslí že nenáročná.

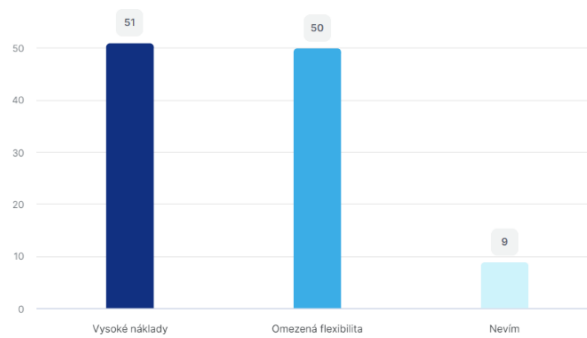
8. Myslíte si, že použití robotů ve stavebnictví zlepší produktivitu?



Graf 12: Dotazníkové šetření - otázka 8 [45]

Skoro jednoznačně je použití robotů ve stavebnictví produktivnější podle 72 osob, 6 si myslí že ne.

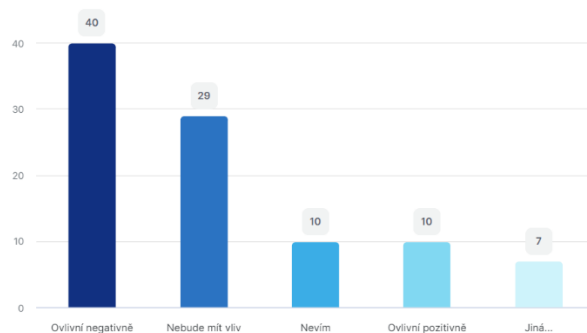
9. Co je podle vás největší nevýhodou použití robotů ve stavebnictví?



Graf 13: Dotazníkové šetření - otázka 9 [45]

Největší nevýhoda použití robotů ve stavebnictví jsou podle veřejnosti vysoké náklady i omezená flexibilita.

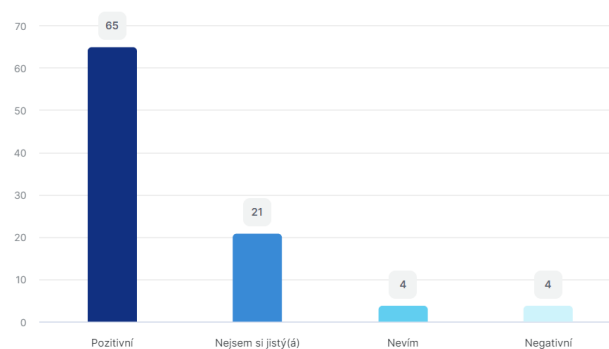
10. Jakou si myslíte, že robotizace bude mít vliv na nezaměstnanost?



Graf 14: Dotazníkové šetření - otázka 10 [45]

Podle 40 osob robotizace ovlivní negativně nezaměstnanost, 29 si myslí, že robotizace nebude mít vliv na nezaměstnanost, a pouhých 10 osob je toho názoru že vliv bude pozitivní.

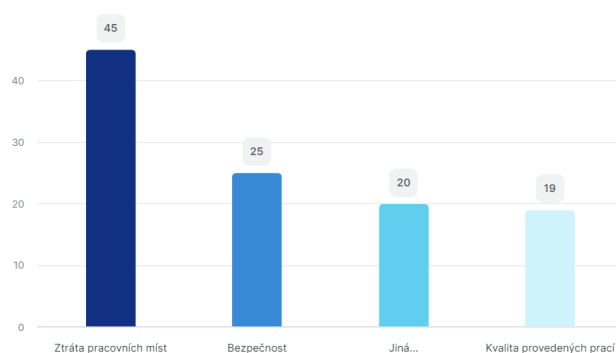
11. Jaký je váš názor na budoucnost robotizace ve stavebnictví?



Graf 15: Dotazníkové šetření - otázka 11 [45]

Většina dotazovaných má pozitivní názor na budoucnost robotizace ve stavebnictví.

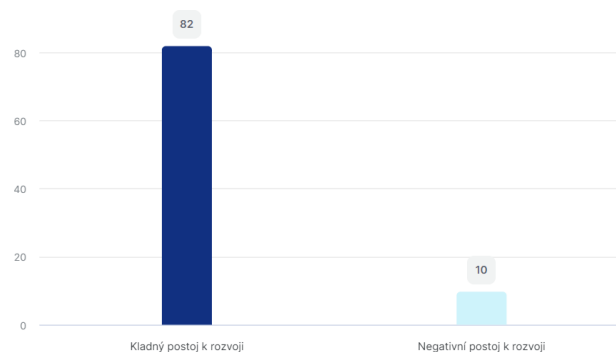
12. Jaké jsou vaše největší obavy ohledně používání robotů ve stavebnictví?



Graf 16: Dotazníkové šetření - otázka 12 [45]

Z 92 dotazovaných, má 45 osob největší obavu, ohledně používání robotů ve stavebnictví, ze ztráty pracovních míst. Zbývající dotazovaní se obávají bezpečnostního rizika či rizika kvality provedených prací.

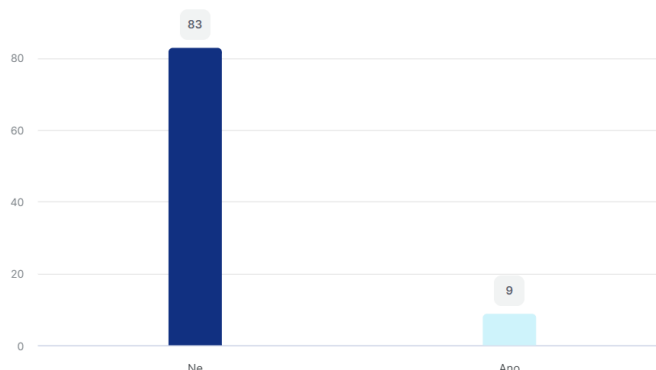
13. Jaký je Váš osobní postoj k robotizaci ve stavebnictví?



Graf 17: Dotazníkové šetření - otázka 13 [45]

82 dotazovaných podporuje robotizaci ve stavebnictví.

14. Máte nějakou osobní zkušenost s využitím robotů na stavbě?



Graf 18: Dotazníkové šetření - otázka 14 [45]

Pouhých 9 dotazovaných má osobní zkušenost s využitím robotů na stavbě, naopak většina (83 osob) takovou zkušenost nemá.

V závěru dotazníku se mohli respondenti v otevřené otázce vyjádřit se svými dalšími poznatky k problematice robotického zdění, nebo podotknout něco v předchozím otázkám či jejich odpovědím:

„Rád bych viděl rozvoj robotizace ve stavebnictví, ale sám bych to neimplementoval kvůli vysokým nákladům a ohraničené mému využití. Kromě toho, lidi jsou konzervativní, proto jestli chceme vidět reálný rozvoj robotizace, mělo by zavádění robotů být poměrně jednoduché, velmi užitečné a výnosové. Dobrým příkladem je zavádění AutoCadu a jiných elektronických nástrojů.“

„Osobně pracuji jako stavbyvedoucího u společnosti KONSIT šestnáctým rokem a nesetkal jsem se s žádným použitím robotů na stavbě. Snad jedině aplikační jeřáb na vápenopískové cihly VAPIS. Ten ale plně fyzicky obsluhuje člověk.“

„Největší úskalí vidím v konkrétním řízení robotů (to je celý obor). Pokud bude dobře nastaveno, může mít samé pozitiva, pokud špatně samé negativa. Důležitá je také stránka human-robot collaboration, ta by měla být v tomto oboru studována obzvlášť.“ - Pohled studenta AI

„Masovější zavádění robotů bude mít dopad na další vývoj a snižování nákladů. Na zaměstnanost to nebude mít podstatný vliv, dojde k změně pracovní náplně pracovníků (některé profese zaniknou, vzniknou nové). Největší přínos vidím

ve snižování nákladů a vyšší produktivitě práce. Poznatky získané v robotizaci stavebnictví budou uplatněny v jiných oborech. Rozvoj robotizace obecně bude mít dopad na vzdělanost populace.“

„Jsem skeptický co se týče 3D robotů a používání drahých tekutých materiálů. Tyto materiály jsou drahé a zbytečně vyčerpáváme na planetě nenahraditelné přírodní zdroje. Zbytečné plýtvání je ale také u staveb konvenčních, ať už bouráním ŽB skeletů starých několik desítek let, výstavbu skleněných pekel náročných na chlazení i vytápění, atd.“ [45]

Někteří lidé vidí využití robotů jako příležitost ke zvýšení produktivity a bezpečnosti ve stavebnictví. Roboti mohou provádět nebezpečné nebo fyzicky náročné úkoly, které by byly pro lidské pracovníky náročné, a tím minimalizovat riziko pracovních úrazů. Navíc roboti mohou pracovat nepřetržitě a s vysokou přesností, což může vést ke zkrácení času výstavby a snížení nákladů.

Existuje obava, že rozšíření robotů ve stavebnictví může mít negativní dopad na zaměstnanost. Lidé se obávají, že roboti nahradí manuální práci a mohou způsobit ztrátu pracovních míst. Tato obava je však vyvážena argumentem, že roboti mohou také vytvářet nové pracovní příležitosti v oblasti údržby, programování a správy robotů.

Někteří lidé se obávají, že roboti nemusí být schopni dosáhnout stejné kvality a spolehlivosti jako lidská práce. Mají obavy z technických problémů, poruch, nebo chyb v programování, které by mohly mít negativní dopad na výslednou kvalitu stavebních projektů. Avšak, pokrok v robotice a umělé inteligenci posiluje schopnosti robotů a snižuje pravděpodobnost takových problémů.

S rozvojem robotiky se objevují etické a sociální otázky. Lidé se zajímají o důsledky používání robotů ve stavebnictví na lidskou interakci, mezilidskou spolupráci a přístupnost pracovních míst. Je důležité, aby byly respektovány práva pracovníků, bezpečnost a sociální soudržnost v kontextu rostoucího využití robotů.

Celkově lze říci, že veřejnost má smíšené pocity ohledně používání robotů ve stavebnictví. Zatímco někteří lidé vidí robotiku jako inovativní a efektivní způsob zlepšení produktivity a bezpečnosti v tomto odvětví, jiní mají obavy ohledně dopadu na zaměstnanost a kvalitu výsledných projektů. Důležité je zohlednit etické a sociální otázky spojené s využíváním robotů a zajistit, aby technologický pokrok šel ruku v ruce s odpovídajícími opatřeními a regulacemi. Celkový názor veřejnosti na roboty ve stavebnictví se tak může dále vyvíjet a měnit v závislosti na dalším rozvoji technologií a zkušenostech s jejich použitím v praxi.

Závěr

Problematika robotického zdění je významným tématem, které se dotýká mnoha oblastí naší společnosti.

Od dávné historie se vývoj robotiky posunul dopředu a přinesl nám neuvěřitelné technologické pokroky. Roboty dnes můžeme definovat jako automatické zařízení, které je schopno vykonávat programovatelné úkoly nebo operace.

Legislativa v oblasti robotiky se stále vyvíjí, aby se přizpůsobila novým výzvám a rizikům spojeným s rozvojem robotů. Zákony a předpisy se snaží řešit otázky týkající se bezpečnosti, zodpovědnosti a etiky využívání robotů. Je důležité, aby právní předpisy reflektovaly nové technologie a zároveň chránily zájmy lidí.

Dotazníkové šetření, které jsem provedla, mi poskytlo cenné poznatky a pohledy respondentů na problematiku robotického zdění. Získala jsem informace jejich vnímání bezpečnosti, etiky a přínosů robotů, stejně jako o obavách spojených s jejich rozšířením. Tato data mi umožňují lépe porozumět veřejnému mínění a přispět k budování informované debaty a rozhodování v této oblasti.

Celkově lze konstatovat, že problematika robotického zdění je rozsáhlá a komplexní. Při řešení této problematiky je klíčové zohlednit bezpečnostní a etické aspekty, zodpovědnost výrobců a uživatelů a zajistit adekvátní vzdělávání a odbornou přípravu. Pouze tak můžeme zajištěním správného rámce a regulace zajistit udržitelný a prospěšný rozvoj robotických technologií.

Vzhledem k rychlému vývoji technologií je důležité sledovat a reagovat na nové výzvy, které se v této oblasti objevují. Práce výzkumných institucí a univerzit, firem a vládních organizací je nezbytná pro další pokrok v oblasti robotického zdění. Pouze společným úsilím a spoluprací můžeme dosáhnout optimálního využití robotických technologií a maximálně využít jejich potenciálu pro společnost jako celek.

Zdroje a použitá literatura

Použité elektronické dokumenty

- [1] Robot - Wikipedia. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco: Wikimedia foundation, 2018 [cit. 2023-05-09]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Robot&oldid=16775820>
- [2] Robotika průmyslové roboty. In: *Docplayer: Prezentace Bc. Ludvík Kochaniček* [online]. Česko: docplayer, 2014 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/108801670-Robotika-prumyslove-roboty-vypracoval-bc-ludvik-kochanicek-kod-prezentace-opvk-tbdv-autorob-ke-3-stz-koh-002.html>
- [3] 3 zákony robotiky. *3 zákony robotiky* [online]. Anglie: Encyclopaedia Britannica, 2022 [cit. 2023-05-02]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/technology/rehabilitation-robot>
- [4] NIHF Inductee George Devol the Industrial Robot. *NIHF Inductee George Devol the Industrial Robot* [online]. London: Grada, 2011 [cit. 2023-05-02]. Dostupné z: <https://www.invent.org/inductees/george-devol>
- [5] Unimate. *Joseph Engelberger* [online]. Anglie: automate, 2020 [cit. 2023-05-02]. Dostupné z: <https://www.automate.org/a3-content/joseph-engelberger-unimate>
- [6] Robotika. *Robotika - Wikipedie* [online]. Česko: Creative Commons, 2023 [cit. 2023-05-02]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Robotika#Historie_pr%C5%AFmyslov%C3%A9_robotiky
- [7] CyberKnife. *Fno.cz* [online]. Ostrava: Fakultní nemocnice Ostrava, 2023 [cit. 2023-05-02]. Dostupné z: <https://www.fno.cz/novinky/cyberknife-dava-nadeji-onkologickym-pacientum>
- [8] Obrázek Cybrknife. *Clinicalgate.com* [online]. Standford: iknowledge, 1994 [cit. 2023-05-02]. Dostupné z: <https://clinicalgate.com/image-guided-robotic-radiosurgery/>
- [9] Shakey the robot. *SRI international* [online]. USA: SRI international, 2022 [cit. 2023-05-03]. Dostupné z: <https://www.sri.com/hoi/shakey-the-robot/>
- [10] ASEA robot. *History information* [online]. USA: Jeremy Norman, 2010 [cit. 2023-05-03]. Dostupné z: <https://www.historyofinformation.com/detail.php?entryid=4352>

- [11] SCARA robot. *Robot hall of fame* [online]. Pittsburgh: Carnegie Mellon University, 2006 [cit. 2023-05-03]. Dostupné z: <http://www.robothalloffame.org/inductees/06inductees/scara.html>
- [12] International federation of robotics. *IRF* [online]. Frankfurt: VDMA, 2021 [cit. 2023-05-09]. Dostupné z: <https://ifr.org/news/robot-density-nearly-doubled-globally>
- [13] Definice. In: *AUTOMA* [online]. VUT v Brně: prof. Ing. František Šolc, CSc., Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2020 [cit. 2023-05-18]. Dostupné z: https://automa.cz/cz/casopis-clanky/ke-stoletemu-vyroci-slova-robot-2020_04_0_12871/
- [14] Stavební výroba. In: *Novinky.cz* [online]. Česko: ČSÚ, 2023 [cit. 2023-05-21]. Dostupné z: <https://www.novinky.cz/clanek/ekonomika-stavebni-vyroba-klesla-o-sest-procent-40430962>
- [15] Průmyslová výroba. In: *Novinky.cz* [online]. Česko: ČSÚ, 2023 [cit. 2023-05-21]. Dostupné z: <https://www.novinky.cz/clanek/ekonomika-prumyslova-vyroba-mezirocne-vzrostla-40430961>
- [16] Revoluce průmyslu. In: *Datamix.eu* [online]. Olomouc: DATAMIX Solutions, 2017 [cit. 2023-05-21]. Dostupné z: <https://www.datamix.eu/blog/nova-prumyslova-revoluce-prumysl-4-0/>
- [18] Stavebnictví 4.0. In: *Earch.cz: KOVÁŘÍK Michal, SVOBODA Pavel, ŠTEMBERK Petr* [online]. Fakulta stavební ČVUT v Praze: Beton TKS, 2018 [cit. 2023-05-21]. Dostupné z: <https://www.earch.cz/technologie/clanek/technologie-3d-tisku-v-architekture-a-stavebnictvi>
- [19] Digitalizace a). In: *Cohesive BIM Wiki* [online]. Wiki: Designing Buildings Ltd. 2023, 2022 [cit. 2023-05-21]. Dostupné z: https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Level_of_detail_for_BIM
- [20] Digitalizace b). In: *IoTPORT* [online]. Česko: České Radiokomunikace, 2020 [cit. 2023-05-21]. Dostupné z: <https://www.iotport.cz/digital-twin-uz-jste-nekdy-potkali-digitalni-dvojce>
- [21] A short history of "brick laying robots." In: *TheB1M* [online]. United Kingdom: The B1M by Fred Mills, 2017 [cit. 2023-05-17]. Dostupné z: <https://www.theb1m.com/video/a-short-history-of-bricklaying-robots>
- [22] SAM 100. In: *Born to engineer* [online]. London: The ERA Foundation, 2017 [cit. 2023-05-17]. Dostupné z: <https://www.borntoengineer.com/semi-automated-mason-construction-robotics-bricks>

- [23] In-situ Fabricator. In: *Robohub* [online]. Switzerland: ROBOTS Association, 2015 [cit. 2023-05-17]. Dostupné z: <https://robohub.org/in-situ-fabricator-an-autonomous-construction-robot/>
- [25] Noví roboti pro zdění. In: *Cambridge university press* [online]. 2017 [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: <https://www.cambridge.org/core/books/construction-robots/BCA613ACE148774DA57A94393D11ED99>
- [26] Robot ROCCO - obrázek. In: *Robotics lab* [online]. [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: <http://roboticslab.uc3m.es/roboticslab/content/eu-rocco-robot>
- [27] Hadrian X. In: *Business news australia* [online]. Australia: Business News Australia Pty, 2022 [cit. 2023-05-17]. Dostupné z: <https://www.businessnewsaustralia.com/articles/fbr-assembles-next-gen-bricklaying-robot-capable-of-building-house-structure-in-just-one-day.html>
- [28] Hadrian X obrázek. In: *The BIM* [online]. 2019 [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: <https://www.theb1m.com/video/inside-hadrianx-bricklaying-robot>
- [29] Hadrian X new. In: *The Market Herald* [online]. Australia: ASX News, Industrial, 2023 [cit. 2023-05-17]. Dostupné z: <https://themarketherald.com.au/fbrs-asxfbr-next-gen-hadrian-x-lays-first-blocks-autonomously-2023-02-28/>
- [30] Wienerberger - mobilní robot pro zdění. In: *Wienerberger* [online]. Česko, 2021 [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: <https://www.wienerberger.com/en/stories/2021/20211117-robotics-czech-republic.html>
- [31] KUKA agilus. In: *Robostav.cz* [online]. ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra technologie staveb, 2023 [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: <http://www.robostav.cz/robostav-foto-video>
- [33] Porotherm - postup zdění. In: *Wienerberger.cz: Podklad pro provádění zdění* [online]. 2017 [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: https://www.wienerberger.cz/content/dam/wienerberger/czech-republic/marketing/documents-magazines/instructions-guidelines/CZ_Podklad_pro_provedeni.pdf
- [34] Ytong - postup zdění. In: *Stavebniny-janik.cz: Pracovní postup Ytong* [online]. [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: <https://www.stavebniny-janik.cz/files/uploads/Produkty/Ytong/pracovni-postupy-www-09.pdf>
- [36] KUKA příručka. *Wtech.com* [online]. KUKA manuál [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: <http://www.wtech.com.tw/public/download/manual/kuka/KUKA%20KR%20QUANT%20extra%20.pdf>

[37] Zákon 309/2006. *Zákony pro lidi* [online]. Česko, 2006 [cit. 2023-05-21]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2006-309>

[44] Zákon č. 183/2006 Sb.: Zákon o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon). *Zákon č. 183/2006 Sb.* [online]. Česko [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2006-183>

[45] Dotazník. *My survio* [online]. [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: <https://my.survio.com/X0N2Q8M1I3DOU5N8T4D1/results>

Použitá tištěná literatura

[17] VLADIMÍR, MAŘÍK. *Průmysl 4.0: výzva pro Českou republiku*. 1. Praha: Management Press, 2016. ISBN 978-80-7261-440-0.

[24] ILLETŠKO, Jan. *Modelování technologických procesů za účelem robotického zdění*. Fakulta stavební ČVUT v Praze, 2019. Diplomová práce.

[32] HŮRKA, Václav. *Návod k obsluze část strojní (mechanická)*. Praha: BLUMENBECKER PRAG, 2018.

[35] KYNZL, Dominik. *Komplexní analýza zavedení robotických technologií do stavebnictví*. Fakulta stavební ČVUT v Praze, 2023. Diplomová práce.

[38] ČSN 730202: *Geometrická přesnost ve výstavbě. Základní ustanovení*. Česká technická norma. Česko, 1995.

[39] ČSN 730205: *Geometrická přesnost ve výstavbě. Navrhování geometrické přesnosti*. Česká technická norma. Česko, 1995.

[40] ČSN 730212-1: *Geometrická přesnost ve výstavbě. Kontrola přesnosti. Část 1: Základní ustanovení*. Česká technická norma. Česko, 1996.

[41] ČSN 730212-3: *Geometrická přesnost ve výstavbě. Kontrola přesnosti. Část 3: Pozemní stavební objekty*. Česká technická norma. Česko, 1997.

[42] ČSN 730212-5: *Geometrická přesnost ve výstavbě. Kontrola přesnosti. Část 5: Kontrola přesnosti stavebních dílců*. Česká technická norma. Česko, 1994.

[43] Vyhláška č. 268/2009 Sb.: *Vyhláška o technických požadavcích na stavby*. Česko, 2009.

Seznam zkratek

BIM – Building Information Model

TAČR – Technologická agentura České republiky

IRF – Mezinárodní federace robotiky

CAD – Computer Aided Design

LOD – Leve Of Detail

FBR – Fastbrick Robotics

IFC formát – Industry Foundation Classes

Seznam obrázků

Obrázek 1: Unimate - první průmyslově tovární robot [5]	12
Obrázek 2: Robot Cyberknife z roku 1994 [8]	13
Obrázek 3: Shakey the robot – 1966 [9].....	14
Obrázek 4: Robot ASEA IRb6 – 1975 [10].....	14
Obrázek 5: Robotická paže SCARA [11].....	15
Obrázek 6: Revoluce průmyslu [16]	22
Obrázek 7: "Motor Mason" - v akci s pomocí zedníků - rok 1967 [21]	26
Obrázek 8: zařízení na zdění v roce 1904 patentované Johnem Thomsonem [21]	27
Obrázek 9: robot SAM100 [22].....	28
Obrázek 10: In-Situ Fabricator [23]	29
Obrázek 11: Robot BRONCO [24]	30
Obrázek 12: Stavební robot ROCCO [26]	31
Obrázek 13: Robot Hadrian X při práci [28]	32
Obrázek 14: Wienerberger - mobilní robot pro zdění [30]	33
Obrázek 15: Wienerberger - mobilní robot pro zdění [30]	33

Obrázek 16: Robot KUKA, Laboratoř pro robotizaci stavebních procesů na Fakultě stavební [31].....	34
Obrázek 17: Zdící robot KUKA Agilus KR10 R110 a jeho příslušenství [32] 1 – robot; 2 – greifer - přísavka 3 – greifer - nanášec malty; 4 – dokovací stanice 5 – pila; 6 – stavěná zeď; 7 – paleta s tvárnicemi.....	34
Obrázek 18: Rychlovýměna robota KUKA [24], [32] 1 – robot 2 - rychlovýměnná část robota 3 - slučovač s ventily 4 - držák s ventily.....	35
Obrázek 19: Přísavka - jeden z greiferů robota KUKA [24], [32] 1 – přísavka 2 – rám 3 - příruba přísavky 4 – rychlovýměna 5 - tlumící prvek 6 - elektrický modul 7 - připojení vakua 8 - spínač vakua 9 - těsnící guma	36
Obrázek 20: Přísavka - jeden z greiferů robota KUKA [31]	37
Obrázek 21: Příprava maltového lože na položení první vrstvy cihel [33].....	37
Obrázek 22: Nastavení přípravku vyrovnávací vrstvy [33].....	38
Obrázek 23: Přemísťování nastavitelných přípravků [33]	38
Obrázek 24: Položení první vrstvy cihel [33].....	39
Obrázek 25: Nanášení malty na žebra cihel v ložné ploše [33].....	39
Obrázek 26: Nanášení malty na žebra cihel v ložné ploše [33].....	40
Obrázek 27: Zdění na zdící pěnu Dryfix [33]	40
Obrázek 28: Stabilizace uložené tvárnice [33] kontrola rohových tvárnic [33]	41
Obrázek 29: Výšková kontrola rohových tvárnic [33]	41
Obrázek 30: Založení první řady pomocí zednické šňůry [34] Obrázek 31: Pokládka první řady tvárnic [34]	42
Obrázek 32: Přesah tvárnice o 100 mm [34].....	43
Obrázek 33: BIM model s přesnou lokací tvárnic [31]	43
Obrázek 34: Postup zdění robotem [31]	44
Obrázek 35: Robot po přesunu, při zdění další části objektu [31]	44

Obrázek 36: Celkový vývojový diagram zdění [autor].....	45
Obrázek 37: Detailní vývojový diagram robotického zdění [autor]	47
Obrázek 38: Převozní poloha pŕmyslového robota [36]	50
Obrázek 39: Pŕíklad rozsahu osy [36].....	54
Obrázek 40: Studie Pŕelíč	60
Obrázek 41: Studie Pŕelíč - Pohled	62
Obrázek 42: Studie Pŕelíč - Situace osazení	63
Obrázek 43: Studie Pŕelíč - Pŕdorys 1NP.....	63
Obrázek 44: Studie Pŕelíč - Pŕdorys 2NP.....	64

Seznam grafŕ

Graf 1: Počet robotŕ ve vŕrobním pŕmyslu pŕipadající na 10 tisíc zaměstnancŕ v jednotlivých státech v roce 2021 [12].....	16
Graf 2: pokles stavební vŕroby k roku 2023 - Český statistický ŕřad [14].....	21
Graf 3: vzŕst pŕmyslové vŕroby k roku 2023 - Český statistický ŕřad [15].	21
Graf 4: rozdělení nákladŕ během životního cyklu stavby [autor]	24
Graf 5: Dotazníkové šetŕení - otázka 1 [45].....	65
Graf 6: Dotazníkové šetŕení - otázka 2 [45].....	66
Graf 7: Dotazníkové šetŕení - otázka 3 [45].....	66
Graf 8: Dotazníkové šetŕení - otázka 4 [45].....	67
Graf 9: Dotazníkové šetŕení - otázka 5 [45].....	67
Graf 10: Dotazníkové šetŕení - otázka 6 [45]	68
Graf 11: Dotazníkové šetŕení - otázka 7 [45]	68
Graf 12: Dotazníkové šetŕení - otázka 8 [45]	69
Graf 13: Dotazníkové šetŕení - otázka 9 [45]	69

Graf 14: Dotazníkové šetření - otázka 10 [45]	70
Graf 15: Dotazníkové šetření - otázka 11 [45]	70
Graf 16: Dotazníkové šetření - otázka 12 [45]	71
Graf 17: Dotazníkové šetření - otázka 13 [45]	71
Graf 18: Dotazníkové šetření - otázka 14 [45]	72