VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY
INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

KONSTRUKCE ROBOTICKÉHO OBKLADAČE STĚN

DESIGN OF ROBOTIC WALL TILER

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE — Bc. Patrik Dostál
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — Ing. Petr Kočiš
SUPERVISOR

BRNO 2022

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student:	**Bc. Patrik Dostál**
Studijní program:	Výrobní stroje, systémy a roboty
Studijní obor:	bez specializace
Vedoucí práce:	**Ing. Petr Kočiš**
Akademický rok:	2021/22

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Konstrukce robotického obkladače stěn

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Úkolem studenta je vytvořit konstrukční návrh robotického zařízení na obkládání stěn stavebních objektů keramickými nebo slinutými obklady. Zařízení musí být schopno pracovat s různými velikostmi obkladů.

Cíle diplomové práce:

Rozbor současného stavu vědy a techniky u řešené problematiky.
Systémový rozbor řešené problematiky, návrh a zdůvodnění zvoleného způsobu řešení zadaného úkolu.
Nejméně 3 návrhové varianty, jejich zhodnocení a výběr vhodné varianty pomocí multikriteriální analýzy.
Konstrukční návrh vybrané varianty.
Potřebné strojírenské výpočty.
Výkresová dokumentace.
Ekonomické zhodnocení.
Závěr a doporučení pro praxi.

Seznam doporučené literatury:

KOLÍBAL, Zdeněk. Roboty a robotizované výrobní technologie. Brno: Vysoké učení technické v Brně - nakladatelství VUTIUM, 2016. ISBN 978-80-214-4828-5.

MAREK, Jiří. Konstrukce CNC obráběcích strojů III. Praha: MM publishing, 2014, 684 s. : il. ISBN 978-80-260-6780-1.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2021/22

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D. ředitel ústavu	doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D. děkan fakulty

ABSTRAKT

Cílem diplomové práce je návrh konstrukce robotického obkladače stěn. Rešeršní část práce se skládá ze dvou pasáží. První pasáž shrnuje jak základní znalosti z průmyslové robotiky, tak již realizovaná řešení robotických obkladačů. Druhá pasáž se zabývá popisem procesu manuálního obkládání zdí. Informace získané rešerší byly aplikovány v systémovém rozboru problematiky. Ze 3 návrhových variant byla pomocí multikriteriální analýzy vybrána vítězná varianta, která byla konstrukčně zpracována. Součástí práce je zároveň i návrh řízení robotu a popis pracovního postupu robotického obkladače. Na závěr práce byla zhodnocena ekonomičnost konstrukce robotu a výhodnost automatizace procesu obkládání zdí.

ABSTRACT

The goal of this diploma thesis is the design of a new robotic wall tiler. The research part of the thesis consists of two parts. The first part encompasses basic principles of industrial robotics and of already designed robotic wall tilers. The second part describes the process of manual wall tiling. The information acquired from this research has been applied in the systemic analysis of the problem. From three proposed variants, one has been chosen for further design work. The thesis also includes a proposal of robot control and a description of robot's work procedure. In the end, the robot, and the process of automation of wall tiling were economically analysed.

KLÍČOVÁ SLOVA

Obkládání zdí, automatizace stavebních postupů, mobilní robot, robotický obkladač

KEYWORDS

Wall tiling, automation of construction processes, mobile robot, wall tiler

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

DOSTÁL, Patrik. Konstrukce robotického obkladače stěn. Brno, 2022. Dostupné také z: https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/136936. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Petr Kočiš.

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu práce Ing. Petru Kočišovi za cenné rady a odbornou pomoc při vypracování bakalářské práce.

ČESTNÉ PROHLÁŠ ENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Petra Kočiše a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 5.3.2022 ……

Patrik Dostál

OBSAH

1. ÚVOD 15

2. SOUČASNÝ STAV POZNÁNÍ 17

2.1. Kinematické struktury robotů 17
2.2. Mobilní roboty 20
2.2.1. Lokomoční ústrojí mobilních robotů 21
2.2.2. Kolový mechanismus lokomočního ústrojí 22
2.2.3. Pásové lokomoční ústrojí 26
2.3. Technologie manuálního obkládání zdí 29
2.3.1. Technologie keramických obkladů 29
2.3.2. Keramické obkladačky, značení a rozdělení 32
2.3.3. Typy používaných pojiv, jejich rozdělení 34
2.3.4. Spárování 35
2.4. Robotizace stavebních postupů 37
2.4.1. Mobilní robotický obkladač zdí Technical Research Centre of Finland 37
2.4.2. Mobilní robotický pokladač dlaždic 40
2.5. Současný stav poznání – závěr 41

3. MULTIKRITERIÁLNÍ ANALÝZA 43

3.1. Výběr robotického podvozku 44
3.2. Výběr robotického ramene 45
3.3. Přehled variant 46
3.4. Hodnocení – závěr 55

4. SYSTÉMOVÝ ROZBOR 57

5. NÁVRH KONSTRUKCE ROBOTU 61

5.1. Návrh výměny nástrojů 61
5.2. Návrh gripperu pro uchopení obkladačky 62
5.3. Návrh trysky a rozvodů pro nanášení adheziva 66
5.4. Návrh trysky a rozvodů pro nanášení spárovacího tmelu 75
5.5. Výsledná sestava robotu 77
5.6. Řídící systém 78

6. PRACOVNÍ POSTUP 81

6.1. Orientace robotu v prostoru, bezpečnost 81
6.2. Popis jednotlivých kroků 86
6.3. Parametry procesu 88

7. EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ 93

7.1. Odhad ceny robotu 93
7.2. Ekonomické zhodnocení procesu robotizace obkládání 93

8. ZHODNOCENÍ A DISKUZE 95

9. ZÁVĚR 97

10. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ 99

11. SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK 103

12. SEZNAM PŘÍLOH 107

1. ÚVOD

Cílem této práce je navrhnout konstrukci robotického obkladače stěn. Základní podmínkou návrhu robotu je, že musí obsahovat všechny základní technologické funkce – to znamená nanášení adheziva, pokládání obkladaček a spárování. Z rešerše uvedené níže vyplývá, že žádný takový stroj v době psaní práce není na trhu.

V rámci rešerše budou shrnuty základní znalosti o robotice a manuálním postupu obkládání zdí. Druhou částí rešerše bude pojednání o existujících strojích, které vykonávají operace jako je pokládání obkladaček a nanášení adheziva. V systémovém rozboru se spojí znalosti získané rešerší s požadavky na pracovní proces.

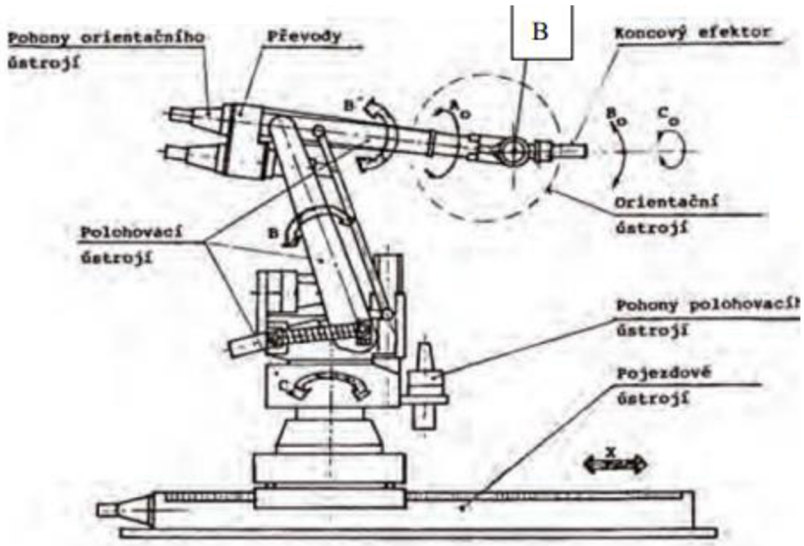
Vzhledem k absenci komplexního řešení, obsahující proces obkládání, nanášení adheziva a spárování, bude snaha o navrhnutí konstrukce unikátního stroje a celého automatizovaného procesu obkládání.

Základní motivací pro návrh tohoto stroje je automatizace namáhavého, neergonomického procesu. Dalším důvodem pro automatizaci procesu obkládání je nedostatek pracovníků, kteří absolvovali obor obkladač nebo zedník – obkladač. Očekávaným přínosem práce primárně není zrychlení procesu, ale právě náhrada kvalifikovaných pracovníků, kterých je nedostatek. Případné zrychlení procesu lze očekávat tak, že robot dokáže pracovat bez přestávky, 24 hodin denně.

2. SOUČASNÝ STAV POZNÁNÍ

2.1. Kinematické struktury robotů

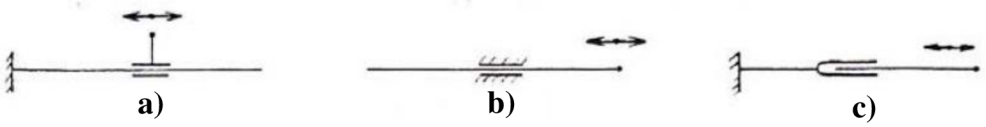
Základní kinematický řetězec má zásadní vliv na vzhled, stavbu a funkčnost jednotlivých typů robotů. Robot se skládá z orientačního a polohového ústrojí. Mezi těmito ústrojími se nachází referenční bod B. Tento bod zakončuje základní kinematický řetězec, který obsahuje polohovací ústrojí a někdy zasahuje i do lokomočního ústrojí robotu. Na základní kinematický řetězec navazuje orientační ústrojí a výstupní hlavice (koncový efektor). Celek obsahující základní kinematický řetězec, orientační ústrojí a výstupní hlavici se nazývá kinematický řetězec [1].



Obrázek 1 Popis kinematického řetězce robotu (převzato a upraveno z [1])

Kinematický řetězec robotu je tvořen kinematickými dvojicemi. Kinematické dvojice přenášejí jeden stupeň volnosti. Ve stavbě průmyslových robotů se nejčastěji využívají rotační a translační kinematické dvojice. Kinematické dvojice s více stupni volnosti (válcová, rovinná) se ve stavbě průmyslových robotů příliš nepoužívají. Většinou se využívají kinematické dvojice, které jsou na sobě sériově napojené. Tyto kinematické dvojice jsou vůči sobě většinou pootočené, zpravidla o 90 °. Využívají se i paralelní struktury (nejčastěji využívaným příkladem je delta robot), jsou ale mnohem méně časté [1].

Translační kinematická dvojice znázorňuje lineární posuv dvou těles po sobě. Translační kinematické dvojice se mohou dále dělit dle jejich konstrukčního provedení. Na obrázku 2 níže jsou uvedena tři nejčastější konstrukční řešení translační kinematické dvojice [1].

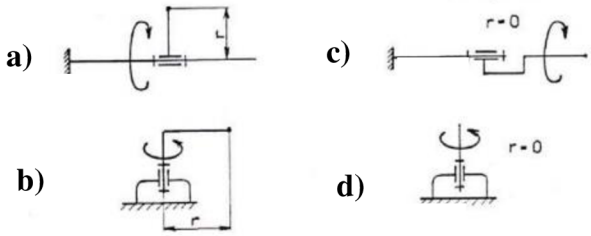


Obrázek 2 Konstrukční provedení translační kinematické dvojice ([1], upraveno)

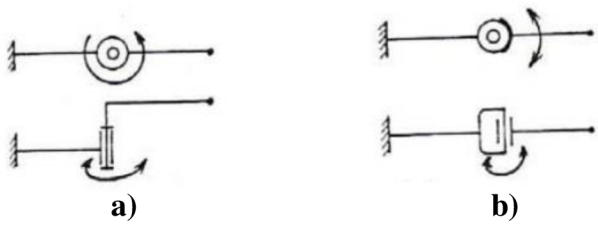
Provedení a) je provedení suportové (saňové), kde se po delším vedení posouvá kratší těleso. Opakem je pak provedení b), kde se v kratším vedení posouvá delší těleso. Provedení b) se nazývá smykadlovým provedením. Poslední provedení je výsuvné (teleskopické). U všech těchto provedení (a standardně u všech translačních vazeb) se předpokládá, že se nemohou zároveň i otáčet [1].

Kinematické dvojice rotační mohou provádět rotaci buď kolem vlastní osy nebo rotaci ramene (o určité délce) kolem výstředné osy. Rotace může být určitým způsobem omezena (tj. těleso nemůže provádět rotaci o plných 360 °). Na obrázcích níže jsou uvedeny příklady. Obrázek 3 uvádí rotační kinematické dvojice bez omezení úhlu otáčení. Varianty a) a c) znázorňují provedení s ramenem o délce r, naopak varianty b) a d) provádějí rotaci kolem vlastní osy [1].

Na obrázku 4 jsou všechny rotační vazby s ramenem. Varianty a) nemají omezen úhel otáčení, zatímco varianty b) jsou omezeny. Omezení vyplývá z konstrukčního provedení samotné vazby – po otočení o určitý úhel je pohyblivé těleso omezeno tělesem statickým [1].



Obrázek 3 Rotační KD bez omezení úhlu otáčení (převzato a upraveno z [1])



Obrázek 4 Rotační KD s omezením úhlu otáčení (převzato a upraveno z [1])

2.1.1. Uspořádání kinematických dvojic v polohovacím ústrojí

Uspořádání kinematických dvojic v základním kinematickém řetězci má zásadní vliv na konstrukční provedení robotů. Polohovací ústrojí slouží k nastavení polohy

referenčního bodu B (bod mezi polohovacím a orientačním ústrojím) [1]. Pro posuv referenčního bodu pouze po jednorozměrné dráze se využívá pouze jedna kinematická dvojice. Jedná se buď o posuv po přímce (translační kinematická dvojice) nebo po kružnici (rotační kinematická dvojice). Stačí tedy pouze jeden stupeň volnosti [1].

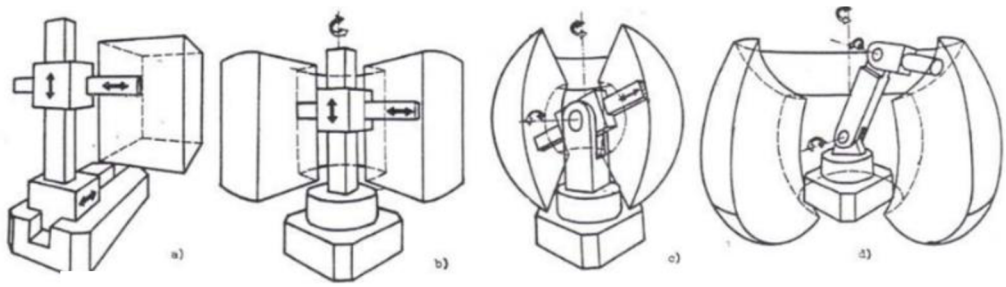
K polohování bodu B v rovině (po ploše) jsou třeba dvě kinematické dvojice. Kombinací různých typů kinematických dvojic lze tvořit různé typy rovin. Například spojením dvou kinematických dvojic translačních se bod B bude pohybovat po rovinném obdélníku, po spojení rotační a translační kinematické dvojice vznikne kruhová výseč nebo válcová plocha (zde už záleží na uspořádání kinematických dvojic). Při spojení dvou rotačních kinematických dvojic se bod B pohybuje po kulové ploše [1].

Po přidání třetí kinematické dvojice je možné pohybovat s bodem B v prostoru. Typ pracovního prostoru je závislý na typu použitých kinematických dvojic a na jejich pořadí a prostorovém uspořádání. Pro příklad jsou uvedeny čtyři nejčastější provedení (R – rotační vazba, T – translační vazba) [1].

Tabulka 1 Příklady uspořádání 3 kinematických dvojic v polohovacím ústrojí robotu [1]

Popis vazby	Pracovní prostor	Souřadný systém
TTT	Kvádr	Kartézský
RTT	Válec	Cylindrický
RRT	Kulový	Sférický
RRR	Torusový	Složený

Příklady užití těchto základních uspořádání jsou uvedeny na obrázku 5 níže.



Obrázek 5 Základní uspořádání polohovacích ústrojí se třemi stupni volnosti (převzato a upraveno z [1])

Při navrhování polohovacího ústrojí je kromě typu a pořadí kinematických dvojic nutné také řešit uspořádání jednotlivých kinematických dvojic v prostoru [1].

Pro kinematický řetězec je žádoucí, aby každá následující kinematická dvojice zvyšovala účelnost navrhované soustavy. Platí proto dvě základní podmínky [1]:

1) Translace ve směru jedné osy se smí vyskytovat pouze jedenkrát.

2) Rotace kolem rovnoběžných os se smí vyskytovat pouze dvakrát

2.1.2. Orientační ústrojí

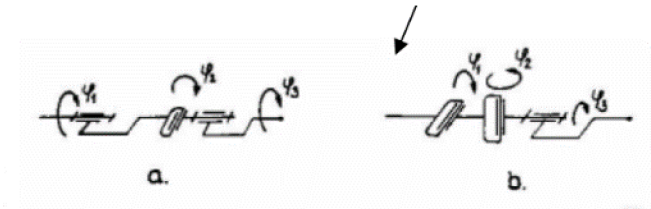
Polohovací ústrojí slouží k uvedení referenčního bodu B do chtěné pozice. Další manipulaci a zajištění přesné polohy koncového efektoru zajišťuje orientační ústrojí. Toto ústrojí už nemá zásadní vliv na architekturu robotu, na rozdíl od polohového ústrojí [1].

Orientační ústrojí robotu bývá převážně konstruováno za využití rotačních kinematických dvojic. Existují i výjimky, záleží ale na konkrétním využití robotu [1].

Pro prostorové provedení robotu (tj. tři stupně volnosti v polohovém ústrojí) se nejčastěji používají 2 nebo 3 stupně volnosti v ústrojí orientačním. Šestý stupeň volnosti robotu se využívá pro přesné natočení uchopovaného předmětu kolem vlastní osy. Tento poslední stupeň volnosti tak není třeba vždy využívat a užívá se pouze ve specifických případech (například montáž čepu s drážkováním). Obecně lze opět říct, že se uspořádání kinematických dvojic volí dle využití robotu [1].

Není už však tolik nutné sledovat souřadnicové osy – předpokládá se činnost orientačního ústrojí v různých polohách. Stejně jako u polohovacího ústrojí by se měla střídat orientace rotačních pohybů, typicky o 90 ° [1].

Na obrázcích níže jsou uvedeny nejčastější příklady uspořádání kinematických dvojic. U těchto dvou základních variant na obrázku 6 si lze povšimnout, že můžeme první a poslední rotaci orientovat buď rovnoběžně (varianta a) nebo lze každou kinematickou dvojici orientovat jinak (varianta b) [1].



Obrázek 6 Orientační ústrojí se třemi stupni volnosti [1]

2.2. Mobilní roboty

Mobilní roboty jsou konstrukčně velmi rozmanitá zařízení. Jejich způsob pohybu, velikost a tvar vyplývá z požadavků pro jejich aplikaci. Mobilní roboty jsou tak většinou velmi specifické a nevyrábějí se většinou sériově [1].

Pro svoji mobilitu se tyto roboty často využívají v prostředí, která nejsou pro člověka dostupná. Jedná se tak například o roboty pracující v chemicky nebo radiačně zamořených prostředích. Dále nacházejí uplatnění v různých servisních úlohách, jako je manipulace s předměty, transport předmětů a rozličné technologické procesy. Tyto roboty tak musí být dovybaveny manipulačními nástavbami, zásobníky nástrojů a dalšími nástavbovými moduly [1].

Mobilní roboty tak mohou nahradit monotónní činnosti (popř. činnosti v nebezpečném prostředí) v nestrojírenských oblastech. Mohou nacházet užití v oblastech jako je zemědělství, stavebnictví nebo kosmický výzkum [1].

Mobilní robot lze rozdělit do následujících subsystémů:

SUBSYSTÉM PRACOVNÍHO EFEKTORU

Jedná se o pracovní hlavici (koncový efektor) pro výkon zadané úlohy. Může tak jít například o různá uchopovací zařízení (chapadla, přísavky). Subsystém je přímo spojen se subsystémem akční nástavby [1].

SUBSYSTÉM AKČNÍ NÁSTAVBY

Subsystém akční nástavby je kinematický řetězec, který je užíván k polohování subsystému pracovního efektoru do požadované pozice. Může být realizován například jako robotické rameno [1].

SUBSYSTÉM VNITŘNÍCH SENZORŮ

Skládá se ze senzorů, které monitorují stav prvků subsystému akční nástavby, mobility a pracovního efektoru. Rovněž snímají informace potřebné pro automatické řízení robotu. Musí tak být kompatibilní se systémem řízení a navigace [1].

SUBSYSTÉM VNĚJŠÍCH SENZORŮ

Subsystém vnějších senzorů je soubor vnějších senzorů, které snímají a vyhodnocují okamžitou polohu robotu v operačním prostoru. Zároveň monitorují stav pracovního prostoru (například výskyt překážek nebo spolupracujících objektů). Nakonec monitorují výsledek pracovní úlohy při styku s vnějším prostředím. Subsystém musí být kompatibilní se subsystémem řízení a navigace [1].

SUBSYSTÉM ŘÍZENÍ A NAVIGACE

Subsystém řízení a navigace je systémem pro programové ošetření automatického řízení chování a navigace robotu tak, aby mohl plnit zadanou pracovní úlohu v daném operačním prostoru [1].

SUBSYSTÉM ENERGETICKÉHO ZABEZPEČENÍ

Jde o sestavu potřebných zdrojů elektrického proudu a napětí (u pneumatických a hydraulických systémů i tekutých médií), jejich rozvodů, prvků a uzlů včetně energetické zálohy. Energie může být přivedena zvenku (externí zdroj) nebo z vnitřního zdroje (energie uchovávaná v akumulátoru) [1].

SUBSYSTÉM OPERÁTORA

Obsahuje hardwarové a softwarové prvky zajišťující komunikaci mezi operátorem a mobilním robotem [1].

2.2.1. Lokomoční ústrojí mobilních robotů

Dle lokomočního ústrojí lze rozdělit mobilní roboty následovně:

1) Biologické soustavy – vycházejí z pozorování organismů v přírodě [1].

- Kráčející soustavy
- Šplhavé soustavy
- Plovoucí soustavy
- Plazivé soustavy
- Létající soustavy
- Kulhavé soustavy

2) Nebiologické soustavy – vycházejí z využití kol [1].

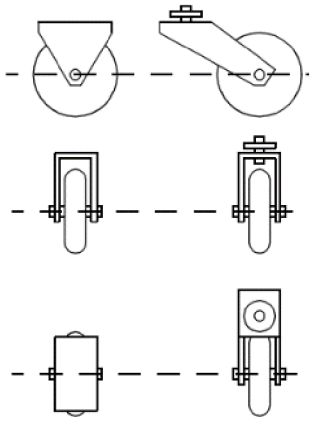
- Kolové soustavy
- Pásové soustavy

Nejčastěji se používají nebiologické (umělé) soustavy. Biologické soustavy se využívají pouze pro speciální aplikace. Další text se tak bude zabývat pouze nebiologickými soustavami.

Součástí každého lokomočního systému je karoserie. Karoserie zajišťuje krytování a ochranu jednotlivých prvků lokomočního systému. Zásadně ovlivňuje vzhled robotu. Součástí lokomočního ústrojí jsou senzory. Vnější senzory monitorují interakci lokomočního ústrojí s okolním prostředím. Vnitřní senzory měří parametry uvnitř samotného stroje. Informace z těchto senzorů jsou užity řídícím systémem pro řízení stroje. Nejdůležitější součástí lokomočního systému stroje je jeho podvozek, který se skládá ze dvou částí – rámu a vlastního mechanismu lokomočního ústrojí [1].

2.2.2. Kolový mechanismus lokomočního ústrojí

Nejčastěji používaným prostředkem pohybu pro mobilní roboty jsou lokomoční ústrojí s koly. Dva nejčastěji používané typy kol jsou uvedeny na obrázku 8. První typ je standardní kolo, které se otáčí okolo své osy. Otočné kolo funguje podobně pouze s tím rozdílem, že jej lze otáčet okolo osy čepu umístěného nad kolem. Rotace kola může být buď řízená, nebo se kolo může otáčet volně [2].



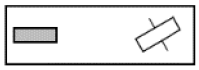
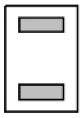
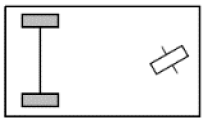
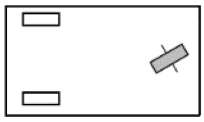
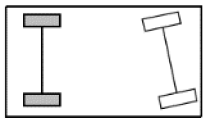
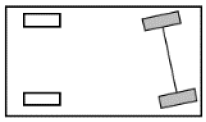
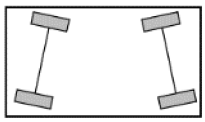
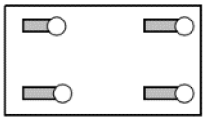
Obrázek 7 Základní provedení kol (převzato a upraveno z [2])

Podvozky mobilních robotů s různým počtem a typem kol se liší svými trakčními a lokomočními schopnostmi. Počet kol a typ řízení má zásadní vliv na stabilitu a manévrovatelnost robotu. Podvozek je tedy nutné optimalizovat pro zadanou aplikaci mobilního robotu. Při navrhování robotu je nejčastěji vhodné hodnotit tyto znaky [1]:

- Počet kol podvozku
- Počet řízených náprav na podvozku (tj. aktivně natáčená kola)
- Počet hnacích náprav na podvozku (tj. počet poháněných kol)
- Způsob řízení robotu
- Povrch běhounové části kola (hladký/dezénový profil)
- Příčný průřez kola (čtverec, obdélník, popř. jiný tvar)

Několik řešení podvozku je uvedeno v tabulce níže:

Tabulka 2 Příklady provedení náhonu koly [3]

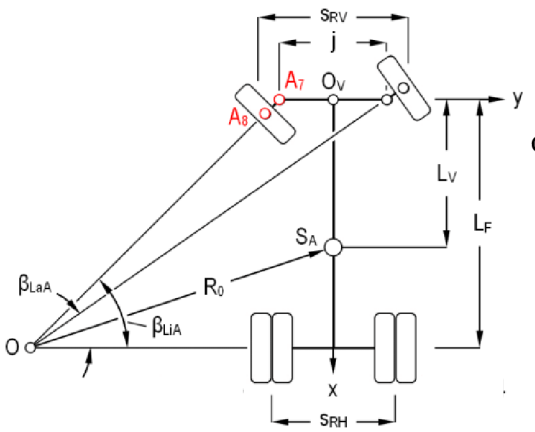
Počet kol	Vizualizace	Popis
2		Jedno směrové kolo vpředu, jedno hnací kolo vzadu
		Dvě diferenčně řízená kola
3		Dvě diferenčně řízená spojená hnací kola vzadu, jedno volné směrové kolo vepředu
		Dvě volná kola vzadu, jedno směrové hnací kolo vpředu
4		Dvě spojená hnací kola vzadu, dvě směrová spojená kola vpředu
		Dvě spojená hnací směrová kola vpředu, dvě volná kola vzadu
		Čtyři hnací směrová kola
		Čtyři hnací směrová otočná kola

Jedno a dvoukolové koncepce jsou staticky nestabilní. Směr pohybu se mění změnou otáček jednoho kola (dvoukolové podvozky) nebo nakloněním podvozku (jednokolové podvozky). Při pohybu se musí řešit dynamická stabilita podvozku (je ho třeba vyvažovat tak, aby se nepřeklopil) [1].

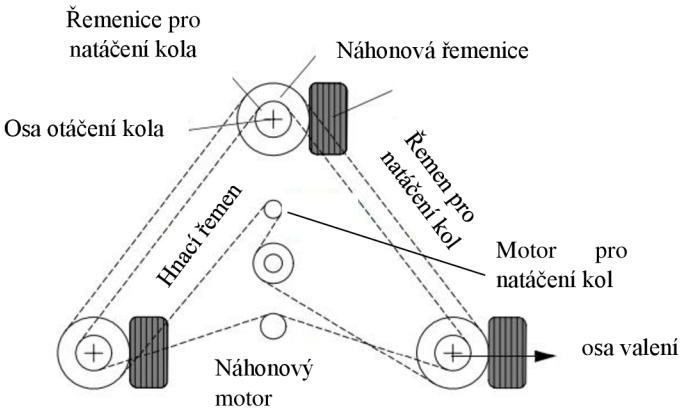
Diferenčně řízené roboty mají dvě nezávislá poháněná kola a nepoháněné, volně otočně směrové kolo (popřípadě kola). Otáčení podvozku je způsobeno rozdílnou rychlostí otáčení poháněných kol. Robot se tak může otáčet kolem osy procházející středem rozchodu poháněných kol. Robot je tedy schopen otáčení na místě a je vhodný pro práci v těsných prostorách. Existují tří i čtyřkolové varianty tohoto typu řízení [1].

Synchronně řízené mobilní roboty mají tři nebo čtyři kola, která jsou poháněna společnými řetězy na náhon a otáčení kol. Celý podvozek tedy potřebuje pouze dva pohony – jeden pro otáčení kol a jeden pro náhon kol. Kola mají vždy vzájemně stejné natočení a rychlost. Výhodou tohoto pohonu je jeho relativně jednoduchá konstrukce a dobré manévrovací schopnosti [1].

Ackermanovo řízení lze použít u tří a čtyřkolových podvozků. Čtyřkolová varianta má dvě poháněná kola vybavena diferenciálem (elektrickým nebo mechanickým). Druhý pár kol není poháněn. Kola jsou při natáčení otáčena tak, že jestli od všech středů kol vedeme přímku, získáme jejich průsečík. Tento bod je zároveň středem kružnice, kolem které se robot otáčí (viz obrázek 8, průsečík os všech kol je bod O, kolem kterého se podvozek zároveň také otáčí. [1].

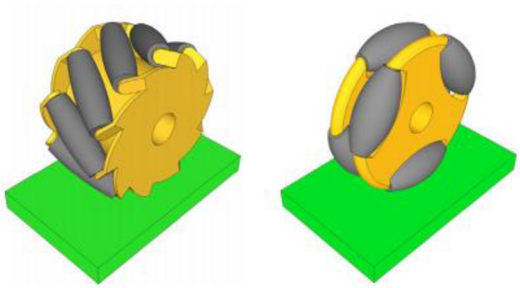


Obrázek 9 Ackermanovo řízení robotu ([4], upraveno)



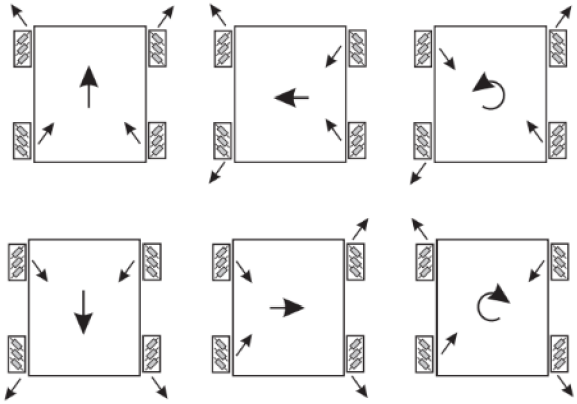
Obrázek 8 Synchronní řízení robotu ([3], upraveno)

Předchozí uvedené příklady zvládají pouze valení kola ve směru svojí orientace. Všesměrová kola se dokážou valit ve více směrech, aniž by bylo třeba změnit orientaci kola. Pohyb ve více směrech je umožněn válečky (popř. soudečky) osazenými po obvodu kola. Směr valení těchto válečků je vychýlen od směru valení hlavního kola, nejčastěji o 45 °. Příklad je uveden na obrázku (jedná se o tzv. Mecanum kolo). Válečky lze také vychýlit o jiný úhel než o 45 °, viz obrázek, kde jsou vychýleny o 90 °. Existuje mnoho kombinací, které se obecně liší počtem valivých prvků na obvodu kola a jejich orientací vůči hlavnímu kolu. [5] Všesměrová kola jsou náchylná na vnik nečistot mezi valivý prvek a hlavní kolo. Pokud se zasekne jeden valivý prvek, nemůže se hýbat celý podvozek [1].



Obrázek 10 Všesměrová kola [5]

Pohyb platformy lze řídit regulováním orientace otáčení a velikosti rychlosti otáčení jednotlivých kol. Každé jednotlivé kolo tak má svůj individuální pohon. Na obrázku 11 je vysvětleno řízení platformy se čtyřmi Mecanum koly (šipka uprostřed platformy znázorňuje směr pohybu platformy, šipka u kola znázorňuje směr rotace válečků). Kola umístěná naproti sobě mají opačnou orientaci válečků. Pohyb dopředu/dozadu je realizován nastavením stejné rychlosti rotace na všech kolech (síly způsobené rotací válečků se vzájemně vyruší a platforma se tak pohybuje dopředu). Pohyb do boku je způsobován rozdílnou orientací rychlostí rotace kol na diagonálách (tj. kola na jedné diagonále se otáčejí na opačnou stranu oproti kolům na druhé diagonále). Rotace platformy je dosažena rozdílnou orientací otáčení kol na obou stranách platformy [5].



Obrázek 11 Řízení robotu s všesměrovými koly [5]

Návrh rámu podvozku robotu závisí na počtu volně otočných a hnacích kol, způsobu řízení a na terénu, ve kterém je robot provozován. Nejjednodušeji lze řešit rámy tříkolových podvozků, kde stačí pouze navrhnout desku s koly, na kterou se nainstalují pohony a všechny další důležité prvky. Čtyřkolové podvozky bývají podstatně složitější. Je totiž třeba správně odpružit celou konstrukci. Rám lze řešit jako vícepatrovou (sendvičovou) konstrukci, do vnitřního prostoru konstrukce lze nainstalovat například pohon manipulačních zařízení [1].

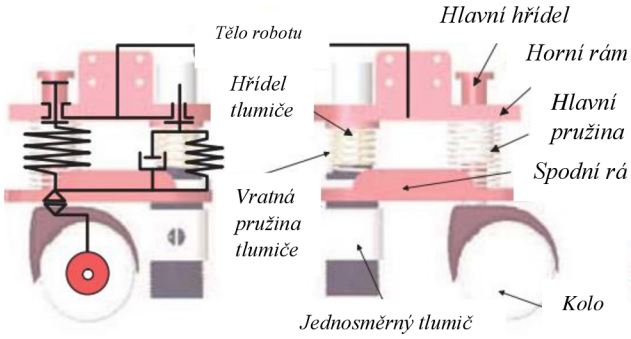
Odpružení podvozku robotu je důležité pro pohyb po členitém terénu. Pro udržení stability je nutné, aby byla všechna kola robotu neustále v kontaktu s podkladem. Vliv na stabilitu robotu má i poloha těžiště – roboty s vysoko položeným těžištěm mohou mít tendence k překlápění. Všechny tyto vlivy lze omezit správným odpružením podvozku. Při navrhování podvozku je nutné vzít v potaz povrch, po kterém se robot bude pohybovat (členitost povrchu, přítomnost překážek a přítomnost sklonu povrchu) a rozložení hmotnosti robotu [6].

Odpružení lze realizovat aktivně, tj. za užití aktivních pohonů. Nejjednoduššího odpružení lze však dosáhnout pomocí sestav pružin a tlumičů (pasivní odpružení podvozku, nejčastěji využívané v automobilech). Při použití pasivního odpružení podvozku lze utlumit otřesy při překonávání členitějších povrchů, což má pozitivní vliv na životnost jak mechanických, tak elektronických prvků [6].

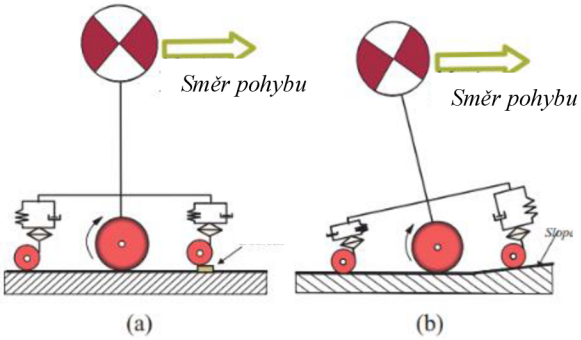
Na obrázku 12 je uveden příklad odpružení robotu s diferenčním řízením. Pro odpružení kol slouží sestava pružiny a tlumiče. Jako první příklad využití tlumení je uvedeno překonávání malé překážky (např. práh dveří). Po najetí na překážku se pružiny ve přední části podvozku stlačí působením hmotnosti robotu. Pokud by se na překážku najelo bez odpružení, robot by se mohl překlopit směrem dozadu.

Podobný princip funguje při najíždění na nakloněnou plochu. Pružiny v zadní části podvozku se působením tíhy robotu stlačí, zatímco pružiny ve přední části robotu se roztáhnou. Tak se zaručí, že všechna kola zůstanou v kontaktu s podložkou a nedojde k překlopení robotu. Konstrukce odpružení podvozku je přiblížena na obrázku 13 [6].

Pro dosažení nejlepších vlastností je třeba minimalizovat hmotnost rámu lokomočního ústrojí. Často se pro konstrukci rámů využívají hliníkové nebo ocelové profily. Rám je možné svařit nebo smontovat z jednotlivých dílů (popř. je možné podvozek odlít z lehké slitiny). Rozebíratelný rám je jednodušší konstrukce bez tepelného ovlivnění materiálu svařováním. U rozebíratelné konstrukce lze navíc dosáhnout určité modulárnosti konstrukce, tj. konstrukci lze rozebrat a některé součásti snadno nahradit jinými [1].



Obrázek 12 Konstrukce odpružení podvozku ([6], upraveno)



Obrázek 13 Princip odpružení podvozku ([6], upraveno)

2.2.3. Pásové lokomoční ústrojí

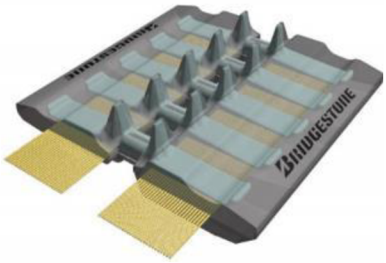
Mobilní roboty s pásovým lokomočním ústrojím se využívají především pro práci v náročném prostředí a členitém terénu. Jedná se například o aplikace v jaderném průmyslu, stavebnictví, armádě nebo použití ve speciálním výzkumu (např. vesmírný výzkum). Uplatňují se tam, kde roboty s jiným podvozkem mají problém s překonáváním terénních překážek. Obecně mají také vyšší nosnost a stabilitu než kolové systémy. Řízení směru jízdy robotu s pásovým lokomočním ústrojím bývá mnohem méně přesné než u systému s kolovým lokomočním systémem [1].

Pásové podvozky se řídí diferenčně, tj. otáčení robotu je dosaženo rozdílnou rychlostí (popř. opačným směrem otáčení) pásů [1].

U pásových podvozků je stejně jako u kolových podvozků nutné zajistit odpružení. Odpružení zajistí neustálý kontakt pásu s jízdním povrchem. Dobré odpružení má vliv na životnost pásu, na který působí menší rázy. Odpružení je většinou realizováno za pomoci pružin a tlumičů [7].

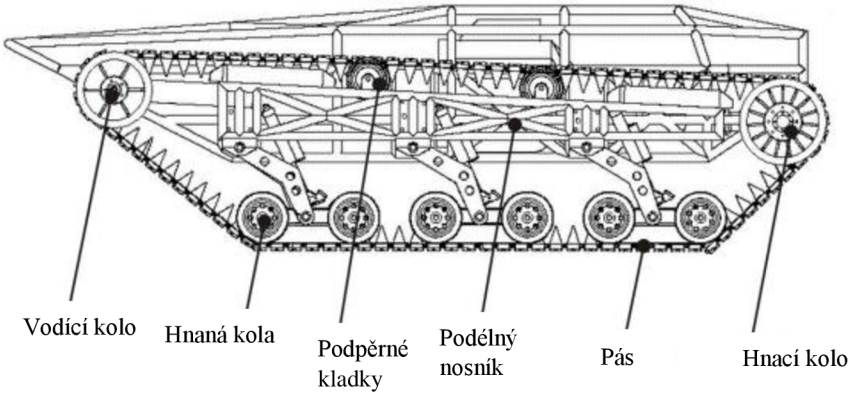
Pás je prvek, který je vždy v kontaktu s povrchem podložky, kterému se dokáže přizpůsobovat. Má zásadní vliv na trakční vlastnosti navrhovaného podvozku [1]. Kovové pásy jsou složeny z mnoha článků, spojenými pomocí čepů. Mají velmi dobrou životnost a dokážou pracovat na jakémkoli terénu. Oproti gumovým pásům jsou však velmi těžké a hlučné. Gumové pásy se nevyrábějí z článků, jsou realizovány v jednom kuse (nejsou zcela gumové, pro zpevnění jsou vybaveny vnitřní výztuží z plastu nebo kovu). Jejich hlavní výhodou je fakt, že nepoškozují jízdní povrch, jsou tiché a velmi lehké. V závislosti na terénu však může snadno dojít k jejich poškození a je třeba je pravidelně dopínat, protože se v průběhu času povolují. Příklad struktury gumového pásu je uveden na obrázku 14.

Podélné vyztužení zabraňuje poškození pásu a zajišťuje lepší záběr hnacího kola, které zabírá do výběžků na vnitřní straně pásu. Lze také zkombinovat gumové a kovové pásy. Velmi často se využívá gumových vložek, které zabraňují poškození vozovky kovovými pásy [7].



Obrázek 14 Struktura gumového pásu

Pásová vozidla disponují několika typy kol. Hnací kolo přenáší výkon z pohonného agregátu na pás. Kolo má po obvodu zuby nebo lopatky, kterými zabírá za čepy nebo lopatky pásu. Hnací kolo bývá často umísťováno do zadní části vozidla, jelikož se tak pás lépe napíná a kolo se méně zanáší nečistotami. Hnané kolo má za úkol vést pást a zajišťovat jeho dostatečnou tuhost. K otáčení hnaného kola dochází při kontaktu s pásem, není poháněno přímo pohonným agregátem [1]. Vodící kolo se nachází na opačné straně pásu, než je hnací kolo. Slouží k udržení pásu v požadované poloze. Na rozdíl od hnacího kola není ozubené, je pouze opatřeno vedením, aby pás nesklouzl [7].



Obrázek 15 Koncepce pásového pohonu (převzato a upraveno z [7])

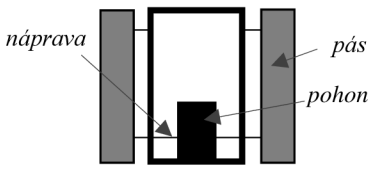
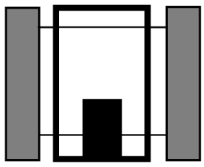
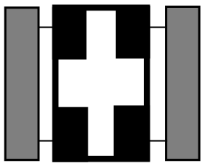
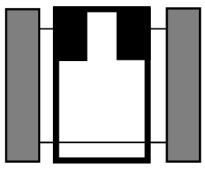
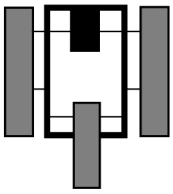
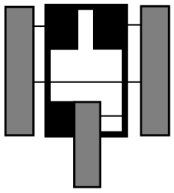
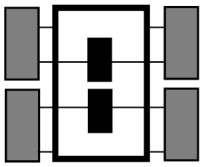
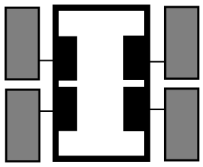
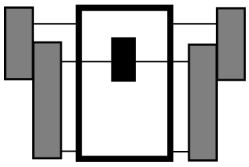
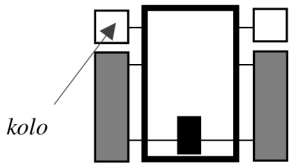
Pro maximální účinnost je nutné pás napnout (při nedostatečném napnutí hrozí prokluzování nebo sesmeknutí pásu). Pás však nesmí být příliš napnutý, rychleji by se opotřebil. Pro tento účel je lokomoční ústrojí vybaveno napínacím mechanismem. Může jít o napínací mechanismus nebo speciální napínací kolo. Mezi často využívané mechanismy patří závitová tyč (u malých podvozků), tlačná pružina nebo hydraulický píst [7].

Jednotlivé koncepce pásového lokomočního ústrojí se liší především počtem pásů a náprav. Dvojpásová koncepce je založena na minimálním počtu pásů nutných pro statickou stabilitu robotu. Je však nutné věnovat pozornost dynamické stabilitě robotu [1].

Třípásová koncepce je budována tak, že je mezi dva hlavní pásy zařazen třetí pás (může být uložen i výkyvně). Tento třetí pás pomáhá při překonává překážek, zároveň činí celou konstrukci stabilnější. Čtyřpásová konstrukce může mít dvojice pásů uspořádány paralelně (čtyřstopý podvozek) nebo sériově (dvoustopý podvozek). K ovládání třípásových nebo čtyřpásových konstrukcí se může využít diferenční řízení, popřípadě se může využít řízeného pohybu výkyvných pásů vzhledem k rámu podvozku.

Několik možných uspořádání pásů a náprav je uvedeno v tabulce 3 (jde jen o několik příkladů, existuje mnoho různých kombinací). V tabulce je uveden i příklad kolopásové koncepce podvozku. Kola se využívají pro zlepšení manévrovacích schopností robotu. Mají zároveň dobrý vliv na stabilitu robotu. Kombinace počtu pásů, náprav a pohonů se volí dle zdolávaného terénu a dle celkové stability robotu [1].

Tabulka 3 Příklady konstrukce pásového podvozku [1]

Popis varianty	Vizualizace	Popis	Vizualizace
Dvojpásový, dvounápravový podvozek, hnaná náprava je dělená, hnací náprava tuhá		*Dvojpásový, dvounápravový podvozek, hnaná náprava je tuhá, hnací náprava tuhá*	
Dvojpásový, dvounápravový, podvozek, obě hnací nápravy jsou dělené		*Dvojpásový, dvounápravový, podvozek, hnaná náprava je tuhá, hnací náprava dělená*	
Třípásový, třínápravový podvozek, hnací náprava tuhá, jedna hnaná náprava dělená, druhá tuhá		*Třípásový, třínápravový podvozek, jedna hnací náprava dělená, druhá tuhá, hnaná náprava tuhá*	
Čtyřpásový, dvojstopý podvozek, dvě hnací nápravy tuhé, hnané nápravy dělené		*Čtyřpásový, dvojstopý podvozek, obě hnací nápravy dělené*	
Čtyřpásový čtyřstopý, hnací náprava tuhá, hnané nápravy dělené		*Kolopásový podvozek dvojstopý, hnací náprava tuhá, hnané nápravy dělené*	

2.3. Technologie manuálního obkládání zdí

Obklady plní nejčastěji estetickou funkci. Zároveň také mohou plnit funkci hygienickou (snadno se udržují, jsou tedy často využívány v prostorách, kde jsou vysoké požadavky na čistotu), akustickou a izolační [8].

Vnitřní obklady jsou povrchovou úpravou svislých stavebnických konstrukcí. Při obkládání stěn se vytváří obal kolem stěn nebo sloupů, který je k nim připevněn buď plošně, nebo bodově. Plošné připevnění obkladů se provádí pomocí plastických prostředků – adheziv (malty, lepidla či tmely). K bodovému upevnění obkladů dochází pomocí mechanických prostředků (skoby nebo příponky). Tato práce se soustředí na technologii provádění keramických obkladů. U této technologie se zpravidla používá plošné připevnění obkladů [8].

2.3.1. Technologie keramických obkladů

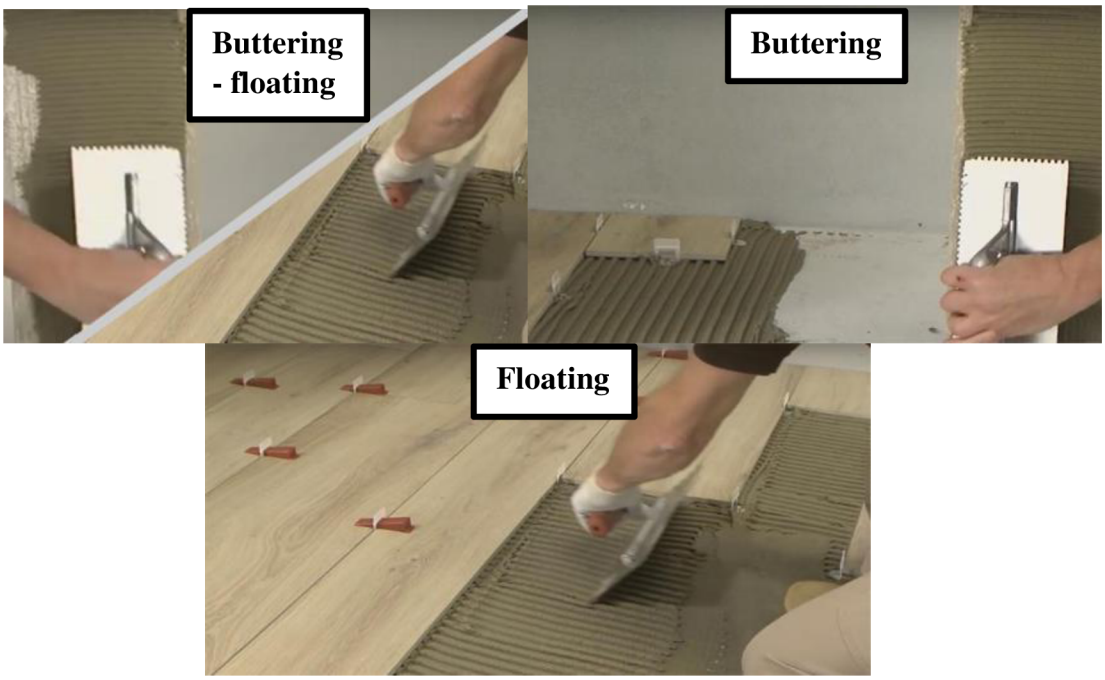
Obkládání zdí je dokončovací technologií. Před zahájením obkládání tedy musí být na stavbě zajištěny a zkontrolovány následující podmínky [8]:

- Dokončení všech omítek
- Dokončení všech rozvodů, provedení zkoušky rozvodů
- Osazení okenních rámů, dveřních zárubní
- Osazení zařízení, jejichž styk se stěnami má obklad překrývat

Před pokládáním musí být pro zajištění bezproblémového a kvalitního obkladu zkontrolována obkládaná konstrukce. Důraz se klade na následující podmínky [8]:

- Obkládaná konstrukce musí být pevná, nesmí být zdeformovaná
- Povrch konstrukce musí být rovný – jsou připuštěny rozdíly v rovinnosti maximálně 5 mm v celé ploše (při tenkovrstvém lepení je tolerance rovinnosti ± 1 mm)
- Musí být vyloučeno hromadění vlhkosti (nesmí se tvořit vzduchové dutiny)
- U obkladů, které přicházejí do styku s vodou, musí být podklad opatřen vodotěsnou izolací (obecně většinou obklady nejsou vodotěsné – např. pro využití v koupelnách je třeba kombinovat podklad s izolační směsí)

Původní metodou obkládání keramickými obkladačkami byla tlustovrstvá metoda kladení do vápenocementové malty. Tato metoda s sebou přinášela mnoho nevýhod. Technologie požadovala velké množství pojícího materiálu (minimální tloušťka vrstvy malty byla cca 15 mm). Malta se musela míchat přímo na stavbě a při její přípravě se často využíval písek s nesprávnou zrnitostí, což negativně ovlivňovalo vlastnosti malty. Celkově tato metoda vyžaduje vysoké nároky na odbornou způsobilost obkladače, zároveň ale nabízí velmi nízkou efektivitu práce [8].



Obrázek 16 Metody nanášení adheziva (převzato, upraveno z [9],[10],[11])

Přibližně od začátku 90. let se začala rozšiřovat tenkovrstvá technologie lepení obkladů. Tato technologie se dnes využívá nejčastěji, tlustovrstvá technologie se využívá již jen zřídka. Tloušťka vrstvy lepícího lože je maximálně 5 milimetrů. Adheziva pro tenkovrstvou technologii lepení obkladů mají lepší fyzikální a mechanické vlastnosti než malta. Tím se i rozšiřují možnosti využitelných podkladů, obkladačky lze lepit na sádrokarton, dřevotřísku, beton nebo ocel (dle použitého adheziva). Příprava adheziva je mnohem snazší a mnohem méně časově náročná než u tlustovrstvé metody kladení. Všechny tyto výhody přispívají ke zvýšení rychlosti a přesnosti práce a zvýšení efektivity. Jedinou nevýhodou oproti tlustovrstvé metodě je nutnost kladení vyšších požadavků na kvalitu podkladu [8].

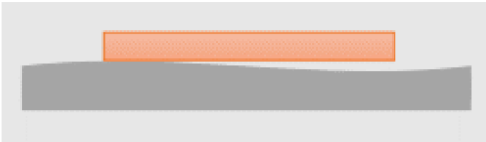
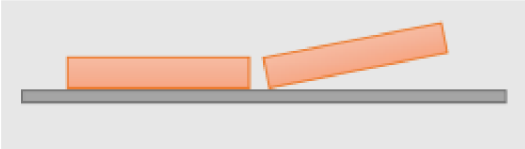
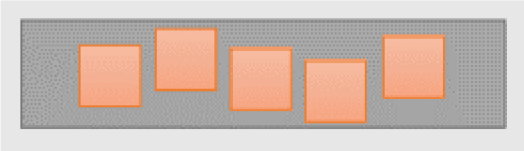
U tenkovrstvého způsobu lepení se nejčastěji používají tři metody nanášení adheziva. První z nich je metoda nanášení zubovým hladítkem (tzv. floating). Na podklad se nejdříve nanese lepící hmota a v druhém kroku se rovnoměrně rozetře zubovou stěrkou. Lepící hmota se nanáší pouze na plochu, kterou je obkladač schopen obložit za tzv. otevřený čas lepidla (čas, po jehož vypršení už není možné na danou vrstvu pokládat další obkladačky) [8].

Druhý způsob nanášení adheziva se nazývá natírání (buttering) Na samotný podklad se nanese velmi tenká vrstva lepidla, většina lepící hmoty se nanáší na obkladačku. Tato metoda se uplatňuje u soklových obkladaček (tj. obkladačky umisťované dole, u podlahy), zárubní a oprav obkladu [8].

Poslední metoda nanášení adheziva kombinuje první dva zmíněné způsoby. Při kombinované metodě (buttering-floating) se nanáší lepidlo zubovou stěrkou jak na obkladačku, tak na podklad. Tímto se dosáhne bezdutinového položení obkladu, které je třeba využít u obkládání náročných ploch (např. bazény) [8].

Obkládání se provádí z dolního rohu směrem nahoru. Mezi obkladačky se umisťují spárové kříže, díky kterým se zajistí rovnoměrnost spárových prostor. Během korekčního času lepidla se musí zkontrolovat správná poloha obkladačky a rovinnost obkládané plochy. Před uplynutím korekčního času se musí provést všechny případné opravy polohy [8]. Kontrolují se následující vlastnosti [12]:

Tabulka 4 Tolerance pro pokládání obkladaček [12]

Vizualizace	Popis	Doporučená tolerance dle ISO/TR 17870-1:2015(en)
	Plochost	≤ 3 mm / 2 m
	Přiléhavost na podklad	≤ 1 mm pro spáry <6 mm ≤ 2 mm pro spáry 6 ≥ mm
	Vyrovnanost	≥ L/600 L = naměřená délka mezi dvěma měřenými body
	Šířka spáry	≤ 2 mm
	Vychýlení obkladaček z řady	≤ 3 mm / 5 m

Při obkládání je třeba tvarově upravovat obkladačky. To se může provádět buď ručně (naříznutím a následným dolomením kleštěmi) nebo za pomoci speciálních strojů [8].

2.3.2. Keramické obkladačky, značení a rozdělení

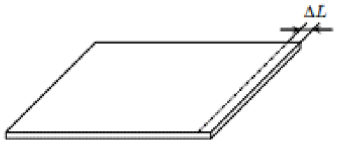
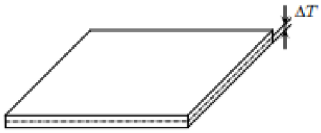
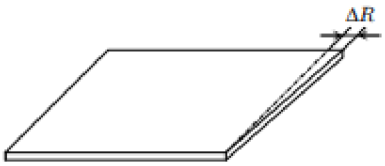
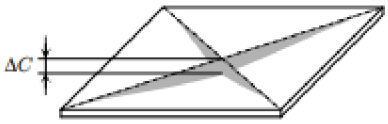
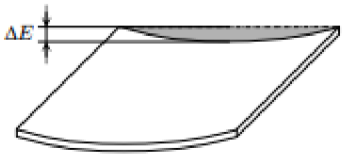
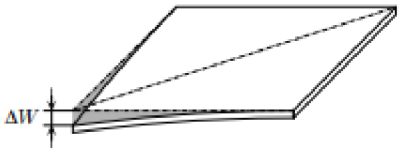
Keramické obkladačky se vyrábějí z jílů a hlíny, popřípadě podobných anorganických surovin. Tyto suroviny slouží jako základní matrice obkladačky, do které se ještě přidávají další ostřiva, která mají zásadní vliv na mechanické vlastnosti obkladačky. Jako ostřiva se používá například křemičitý písek. Dále se přidává tavivo (často například živec a znělec), které zajišťuje správný průběh vypalování keramické obkladačky [13].

Výběr a poměr obsahu materiálů záleží na požadovaných vlastnostech výsledné obkladačky. Směs se dále míchá do homogenního stavu a tvaruje se na protlačovacím lisu (popř. se vyrábí tažením). Směs je zbavována přebytečné vlhkosti a je zasypána granulátem, který je nalisován do jílové směsi. Obkladačka je dále dle potřeby opět vysušována. Poslední operací je vypalování, které má zásadní vliv na mechanické vlastnosti obkladačky. Pokud je obkladačka glazovaná, provádí se dvojí vypalování (nejdříve první vypalování a následně se provede glazování a pak druhý výpal). Po vypalování je možné provádět nanášení dekoru například formou barevného postřiku. Dle potřeby lze neglazované obkladačky dále leštit a brousit [13].

Povrch glazovaných obkladaček je pokryt tenkou vrstvou barevného skla. Toto zajišťuje hladký, lesklý povrch obkladačky. Glazované obkladačky se využívají většinou v interiérech kvůli jejich atraktivnímu vzhledu (glazovaní má ale i pozitivní dopad na tvrdost obkladačky) [13]. Glazované obkladačky se značí písmeny GL, neglazované písmeny UGL. [14]

Obkladačky jsou následně kontrolovány. Parametry obkladaček mají zásadní vliv na jejich pokládání [13]. Dle normy EN-14411 se musí parametry obkladaček vejít do následujících tolerancí (tolerance vyjadřuje odchylku od ideálního stavu):

Tabulka 5 Tolerance pro výrobu obkladaček [15]

Vizualizace	Popis	Tolerance dle EN-14411
	Šířka a délka	± 0,5 %
	Tloušťka	± 5 %
	Pravoúhlost	± 0,6 %
	Prohnutí středu obkladačky	± 0,5 %
	Prohnutí hrany obkladačky	± 0,5 %
	Zkřivení rohu obkladačky	± 0,5 %

Dle evropských norem se obkladačky dělí dle nasákavosti a způsobu výroby. Nasákavost obkladačky je velmi důležitou vlastností, ze které jsou odvozeny další mechanické, fyzikální a chemické vlastnosti (např. pevnost nebo odolnost proti mrazu) [13]. Nasákavost je definovaná jako přírůstek hmotnosti po nasycení vodou (v procentech). Obkladačky se dle tohoto kritéria dělí do tří kategorií [16]:

Tabulka 6 Rozdělení obkladaček dle nasákavosti [16]

Nasákavost (E)	Popis	Použití
E > 10 %	Interiérové obkladačky	Pouze vnitřní obklady stěn
0,5 % < E ≤ 3 %	Glazované obkladačky	Univerzální použití, mrazuvzdorné obklady podlah, stěn, interiérů a fasád
E ≤ 0,5 %	Vysoce slinuté obkladačky, dlaždice	Obkladačky, dlaždice namáhané otěrem, určené pro interiéry i exteriéry

Dle evropské normy lze obkladačky dále rozdělit dle typu jejich výroby [13].

- Postup A – tažené obkladačky prvky
- Postup B – za sucha lisované obkladačky
- Postup C – jiným způsobem vyráběné obkladačky

Tato dvě rozdělení jsou pouze základní a obkladačky se dále rozdělují dle jejich rozměrů, jakosti povrchu a fyzikálních a chemických vlastností (dle normy ČSN EN 14 411) [14].

Důležité údaje o výrobcích a pokyny pro obkládání jsou uváděny v technických listech obkladaček. Jedná se o parametry jako je typ povrchové úpravy, otěruvzdornost nebo odolnost proti mrazu. Dle ČSN EN 14 411 je doporučeno používat symboly (příklady jsou uvedeny na obrázku 17) [14].

Výrobek vhodný ke zhotovení obkladu | **Odolnost proti vlivu mrazu** | **Odolnost proti náhlým změnám teploty**

Obrázek 17 Symboly pro popis vlastností obkladaček ([14], upraveno)

2.3.3. Typy používaných pojiv, jejich rozdělení

Lepidla se dělí na tři základní skupiny. Cementové lepidlo (C) je směsí hydraulických pojiv, kameniva a organických přísad. Bezprostředně před použitím se musí mísit s vodou nebo jinou kapalinou (dle typu pojiva). Lepidlo musí být vždy skladováno v suchu na paletě. Obal musí být nepoškozený a před použitím musí vždy proběhnout jeho kontrola (u lepidla v poškozeném obalu nelze zaručit mechanické vlastnosti). Pokud se vlivem vlhkosti začnou objevovat hrudky, je doporučeno lepidlo nezpracovávat [17].

Disperzní lepidlo (označované písmenem **D**) je směs organických pojiv ve formě vodné polymerní disperze. Disperzní lepidla jsou ihned připravena k použití (v případě jednosložkového lepidla), tvrdnou tak, že se z nich postupně vypařuje voda obsažená přímo v lepidle [18]. Stejně jako u lepidel cementových by se disperzní lepidla měla skladovat v suchu, přebytečná vlhkost výrazně ovlivňuje vlastnosti lepidla. Disperzní lepidla mají mnohem lepší mechanické vlastnosti než lepidla cementová, jsou však zároveň i nákladnější. Jednou z nevýhod je jejich náchylnost k poškození změnou teploty, většinou není doporučeno jejich užití v teplotách pod bodem mrazu [17].

Posledním typem lepidla je lepidlo na bázi reakčních pryskyřic (**R**). Jedná se o směs syntetické pryskyřice, minerálních plniv a organických přísad. Vytvrzuje se chemickou reakcí (kontaktem s tvrdidlem, urychlovačem či jinou polymerní hmotou [18]). Stejně jako lepidla disperzní mají reakční pryskyřice velmi dobré mechanické vlastnosti za cenu vyšších nákladů [17].

Lepidla se dále rozdělují podle jejich třídy. Lepidla se tedy standardně značí typem (C, D nebo R) a třídou lepidla. Pro označení se používají následující znaky [17]:

- **1** – standardní lepidlo
- **2** – zlepšené lepidlo
- **F** – rychletvrdnoucí lepidlo
- **T** – lepidlo se sníženým skluzem
- **E** – lepidlo s prodlouženou dobou deformace
- **S** – deformace

Znak S se využívá buď ve tvaru S1 (deformovatelné lepidlo s příčnou deformací ≥ 2,5 mm) nebo ve tvaru S2 (vysoce deformovatelné lepidlo s příčnou deformací ≥ 5 mm). Například lepidlo C1T je standardně tvrdnoucí cementové lepidlo se sníženým skluzem, D2E je zlepšené disperzní lepidlo s prodlouženou otevřenou dobou [17].

Dle normy ČSN EN 12004 musí být lepidlo označeno názvem, označením výrobce, datem výroby, skladovatelností, typem a třídou lepidla návodem k použití. Návod k použití je pro správnou montáž obkladaček nutné dodržet. Návod k použití nejčastěji obsahuje následující informace [17]:

- Směšovací poměr (u vícesložkových lepidel)
- Doba zrání (po smíchání složek)
- Doba zpracovatelnosti
- Oblast použití (interiér/exteriér, zeď/podlaha)
- Doporučený způsob nanášení
- Otevřená doba
- Prodleva před spárováním

2.3.4. Spárování

Spárování má dle [19] dvojí význam – praktický a estetický. Z estetického hlediska spáry pomáhají podtrhnout vizuální dojem ze skladby obkladů a dlažeb.

Praktické důvody ke spárování obkladů jsou následující [19]:

- Spára umožňuje zakrýt výchylky z povolené tolerance v přesnosti výroby obkladaček
- Vyplnění spáry vhodnou hmotou může zaručit vodotěsnost, popřípadě odolnost proti chemickým látkám

Spárovací hmota se vybírá především dle funkce, kterou má spára plnit. Dále samozřejmě i podle celkového estetického vzhledu obkladu. Výběr spárovací hmoty úzce souvisí s typem použitého adheziva (spáry může například ovlivnit tepelná dilatace adheziva). Obecně se nejčastěji na nezatěžované obklady a dlažby v interiérech nejčastěji využívají cementové spárovací hmoty. Pro spárování kuchyní, koupelen a obecně často čištěných obkladů se čím dál častěji používají spárovací hmoty na bázi polymerů, popřípadě cementové spárovací hmoty s vodoodpudivým účinkem [19].

Při spárování se zajišťuje šířka spáry obkladačskými křížky. Obkladačské křížky se vyrábějí v šířkách 1,5; 2; 2,5; 3; 4; 5 a 8 mm. Při volbě šířky spáry se musí počítat s odchylkami rozměrů obkladu od rozměrů deklarovaných v materiálovém listu. Pro korigování těchto odchylek je vhodnější volit širší spáru [19].

Pro spárování obecně existují dva postupy – celoplošné spárování a aplikace spárovací hmoty přímo do spárové mezery. Pro oba postupy platí, že se spárovací hmota musí aplikovat vždy až po zaschnutí adheziva [19].

Celoplošné spárování se používá především pro spárování hmotami na bázi cementu. Spárovací hmota se rozetře po celé ploše obkladu a následně se očistí obklady. Spárovací hmota se rozetře po celé ploše obkladu a po krátkém časovém intervalu se plocha navlhčenou molitanovou houbou očistí. Tímto očištěním spárovací hmota zůstane ve spárách a přebytečná spárovací hmota je z obkladu odstraněna. Spára se nanáší spárovací gumovou stěrkou směrem šikmo přes spáry oběma směry – takto se zaplní celá spára bez vzniku dutin. Před zahájením celoplošného spárování je nutné vždy zkontrolovat, že je možné snadno otřít spárovací hmotu z použitého obkladu. Pokud ne, je nutné využít aplikace spárovací hmoty přímo do spáry. [19].

Pro necementové spárovací hmoty je typická aplikace přímo do spáry. Často se využívá speciální aplikační pistole. Pro usnadnění následující práce je vhodné oblepit okolí spárovací mezery papírovou páskou. Zabrání se tak znečištění obkladu. Pro dotvarování ještě měkké spárovací hmoty lze využít silikonové stěrky, popř. navlhčeného prstu [19].

Obrázek 18 Celoplošné spárování a aplikace spárovací hmoty přímo do spáry [20]

2.4. Robotizace stavebních postupů

Obkládání je odbornou prací, která vyžaduje vyučené pracovníky. Obkladač by měl být absolvent učebního oboru obkladač nebo zedník-obkladač. V dnešní době se díky nedostatku takto kvalifikovaných dělníků využívají k obkládání často zedníci, kteří nejsou na tuto činnost přímo kvalifikovaní a kteří by se mohli věnovat jiným činnostem na stavbě. Směsi pro upevňování obkladaček jsou často toxické a kontakt s nimi je zdraví nebezpečný. Práce obkladače je navíc velmi neergonomická, vyžaduje klečení a časté změny polohy, což může dále negativně ovlivňovat zdraví obkladače [8].

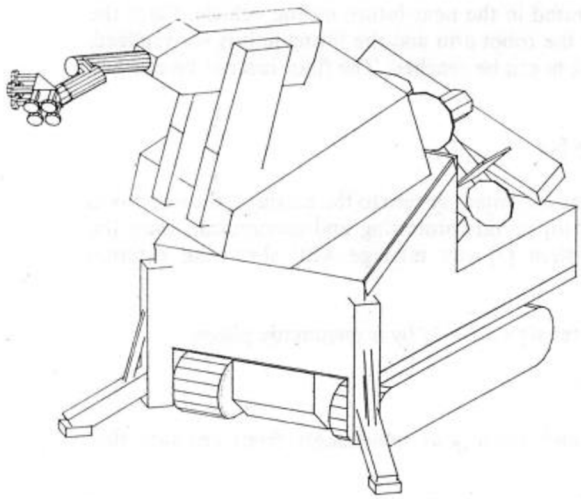
S ohledem na výše uvedené důvody dochází ke snaze o robotizaci obkládacího procesu. Robotizace může rovněž zvýšit efektivitu procesu obkládání. Dle [21] trvá průměrnému obkladači položit jednu obkladačku přibližně 24 až 48 sekund. Robotizace obkládání může tento čas zkrátit dvakrát až pětkrát. Robotizace obkládání může zvýšit přesnost a kvalitu procesu. Při automatickém procesu se používají optická čidla, která přesně zaměří polohu obkladačky. Naopak při manuálním obkládání se obkladači spoléhají na vlastní zrak a měřidla, při posuzování kvality a měření tak velmi záleží na zkušenostech dělníka [21].

2.4.1. Mobilní robotický obkladač zdí vyvinutý v Technical Research Centre of Finland

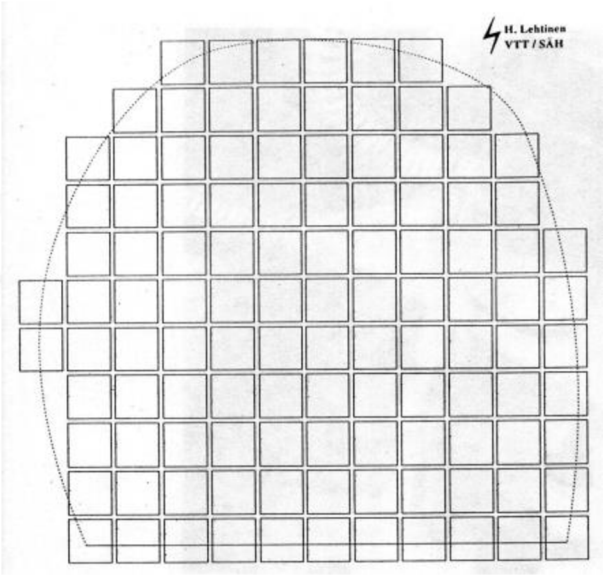
Tento robot byl navrhnut pro pokládání obkladaček v interiérech. Jedná se pouze o návrh, fyzicky bylo realizováno jen lokomoční ústrojí robotu. Robot je schopen obkládat zdi o výšce až 3 m. Obsluhovaná plocha je uvedena na obrázku 19. Robot je uzpůsoben náročným podmínkám na stavbě. V potaz byly brány vlivy jako je prašnost prostředí, časté změny teploty a vlhkosti vzduchu a pohyb na nerovném povrchu [22].

Robotický obkladač se převážně sestaven z komerčně dostupných komponent. Pro lokomoci slouží hydraulické pásové vozidlo Lastbärare HLB 9389 Comatech AB. Pásy jsou výhodnější pro prostředí stavby, které bývá špinavé a na kterém by se kolové vozidlo mohlo snadno zasekávat. Vozidlo je poháněno hydraulickým čerpadlem, poháněným elektromotorem. Hydraulický obvod vozidla je rovněž využit pro zdvihací mechanismus a zajišťovací nohy [22].

Zdvihací mechanismus lokomočního ústrojí je vidět na obrázku 19. V tomto případě se jedná o nakloněnou plošinu pod robotickým ramenem. Plošina se může naklánět pomocí hydraulického pístu a může tak ramenu umožnit dosažení podlahy a nižších částí zdí [22].



Obrázek 19 Schéma finského robotického obkladače zdí [22]



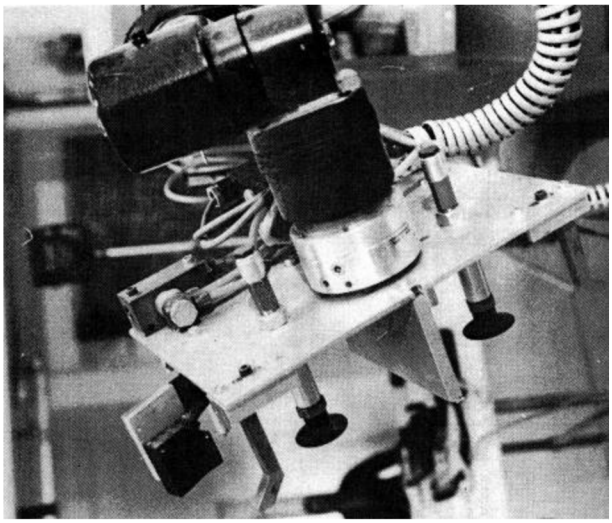
Obrázek 20 Plocha obsluhovatelná finským obkladačem [22]

Na pásové vozidlo je přimontován průmyslový robot Nokia NRS 10. Na vozidlo je instalován pouze samotný robot, řídící systém musí být instalován mimo robot (nevejde se na lokomoční ústrojí robotu). Řízení a napájení robotu je tedy realizováno tak, že je robot připojen k řídící a napájecí jednotce pomocí 20m kabelu [22].

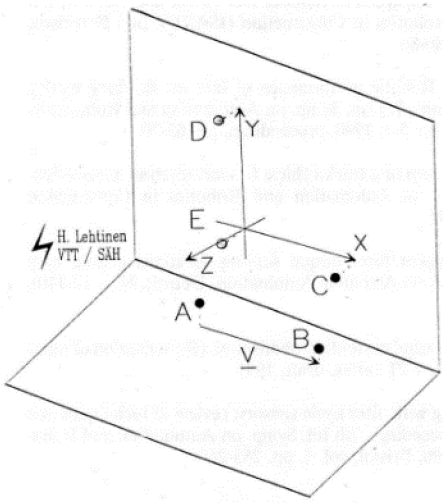
Pro uchopení obkladaček je na robotické rameno instalován koncový efektor. Jedná se o přísavkový gripper, viz obrázek 21. Tímto gripperem mohou být uchopovány dvě obkladačky zároveň. Správná poloha uchopovaných obkladaček je zajišťována třemi piny. Tyto piny lze přenastavit, jde tedy uchopovat různé velikosti obkladaček [22].

Na efektoru jsou ještě instalovány tři ultrazvuková polohová čidla (zajištění správné polohy) a šestiosý senzor síly a momentu. Senzor pro sil a momentů je použit pro detekci kolizí a ujištění se, zda obkladačka na zdi řádně drží. Pokud by obkladačka nedržela, senzor by detekoval malou přídržnou sílu. Pokud by senzor detekoval jakékoli silové momenty, mohlo by to znamenat, že je právě instalovaná obkladačka pokládána na druhou obkladačku [22].

Souřadný systém je odměřován tak, že si robot najde dva body na podlaze (A a B na obrázku 22) a jeden bod na zdi (C na obrázku 22) Z vektoru mezi body A a B (vektor **v** na obrázku 22) a z bodu C jsou vypočítány body E a D. Samotný souřadný systém je nakonec definován body C, D a E na zdi. Body D a E jsou vypočítávány z bodů na podlaze proto, aby byly výsledné spáry mezi obkladačkami vždy zaručeně rovnoběžné s podlahou [22].



Obrázek 21 Gripper finského obkladače [22]



Obrázek 22 Definice souřadného systému [22]

Proces pokládání začíná tak, že se robot dopraví do požadované polohy. Rameno robotu je složeno do „transportní polohy“ tak, aby při přepravě nedošlo k jeho poškození. Po dosažení pozice se vysunou zajišťovací nohy, které mají zajistit větší přesnost procesu pokládání utlumením vnějších vlivů. Robotické rameno si následně definuje souřadný systém [22].

Po zjištění polohy a definování souřadného systému robot uchopí z nakloněného skladovacího stojanu obkladačku a přejede s ní přes trysku. Pomocí trysky se na obkladačku nanese adhezivum (malta), množství nanesené malty záleží na rychlosti pohybů přes trysku. Obkladačka je robotem následně dopravena do požadované polohy. Poloha dalších obkladaček je zajišťována polohovými čidly na koncovém efektoru robotu. Polohová čidla vždy vyhledávají hrany předcházejících obkladaček. Po položení všech obkladaček, které lze v pracovním prostoru robotu položit, dojde ke kontrole pozice obkladaček pomocí polohových čidel. Pokud se robot dále přemístí, je nutné znova definovat souřadný systém, přičemž se musí brát v potaz poloha již položených obkladaček [22].

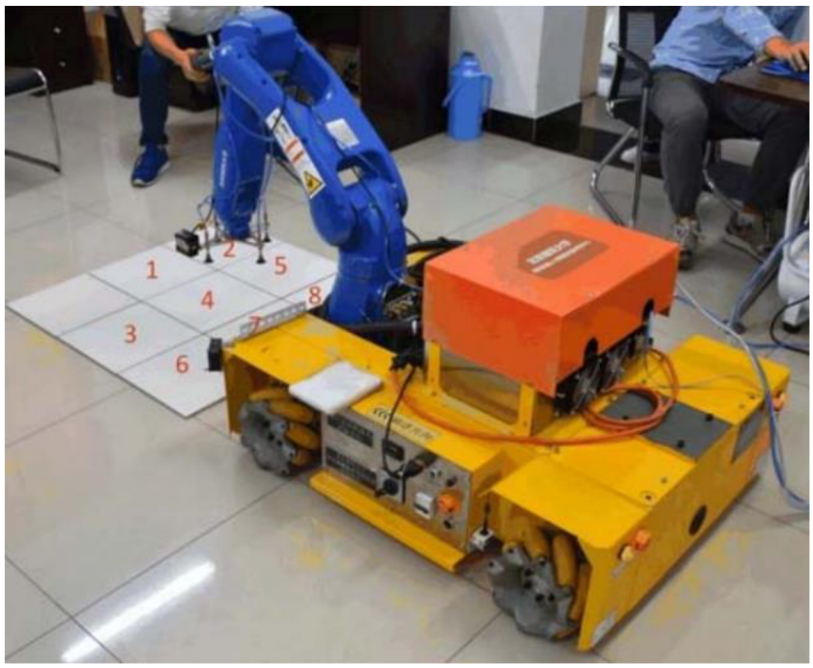
Malta je čerpána přes míchačku do trysky. Přes trysku přejíždí efektor s obkladačkami. Malta je aplikována přes hranu trysky (slouží jako náhrada zubové stěrky), která lepidlo rovnoměrně rozetře po povrchu obkladačky [22].

Jedním z největších problémů při realizaci tohoto robotu byla minimalizace hmotnosti. Nakoupené komponenty jsou velice hmotné (především míchačka) a je nutné je vybírat tak, aby je lokomoční ústrojí bylo schopné uvézt. Zároveň je nutné minimalizovat hmotnost tak, aby stroj nepřekročil povolené maximální zatížení podlahy [22].

2.4.2. Mobilní robotický pokladač dlaždic

Mobilní robotický pokladač dlaždic popsaný v této podkapitole byl vyvinut a zkonstruován v Číně. Slouží pouze pro pokládání dlaždic na podlahu a nelze jej použít pro obkládání zdí. Slouží pouze jako pokladač, nedokáže nanášet lepidlo [23].

Robotický pokladač se skládá z ramene a mobilní plošiny. Jako rameno robotu byl použit průmyslový robot Yaskawa GP7. Robotické rameno má šest stupňů volnosti a unese až 7kg zátěž [23].

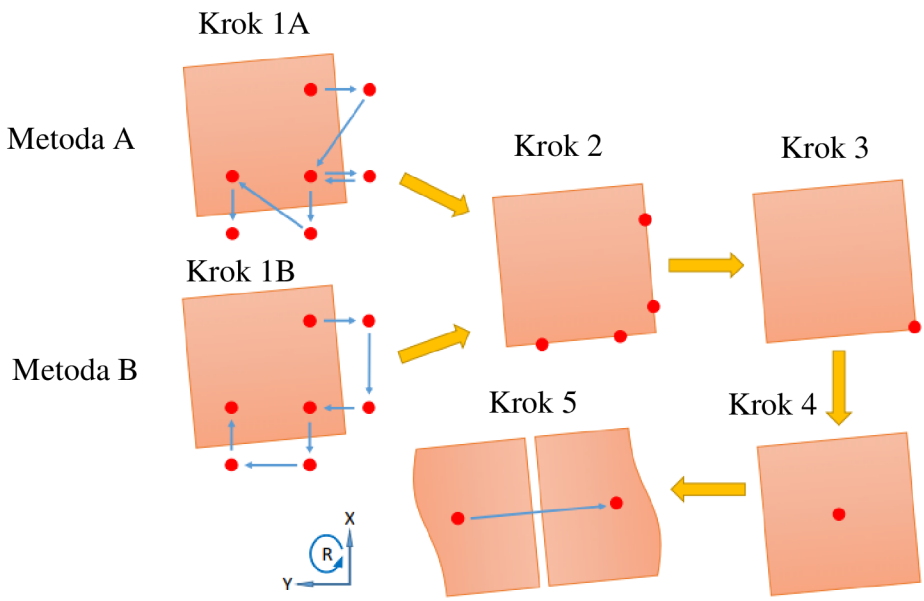


Obrázek 23 Robotický pokladač dlaždic [23]

Mobilní plošina má nosnost až 200 kg. Pohybuje se za pomoci čtyř všesměrových kol. Všesměrová kola jsou využívána pro dosažení přesného polohování plošiny. Robot se tak dokáže snadno otáčet (minimální poloměr otáčení je 0 mm). Každé kolo je poháněno zvlášť svým servopohonem. Do servopohonů jsou posílány příkazy řídícím systémem, který dle programu koriguje rychlost a trajektorii robotu [23].

Pro uchopení dlaždice robot využívá gripper se čtyřmi přísavkami o průměru 25 mm. Gripper může uchopovat pouze dlaždice o velikosti 300 x 300 mm a není přestavitelný. Tlak v přísavkách je stále monitorován a v případě potřeby jej lze regulovat upouštěcími ventily [23].

Pro zaměření pozice jsou užity dva laserové senzory nainstalované na koncovém efektoru robotu. Na obrázku 24 je uvedena metoda zaměřování středu dlaždice. Senzor vrací zpět digitální signál (např. dlaždice – 1, okolí – 0), dle využití signálu lze využít dvě metody zaměřování pozice (obrázek). Metoda A využívá pouze sestupné hrany signálu. Metoda B využívá jak sestupné, tak náběžné hrany signálu a je efektivnější, není potřeba několikrát přecházet mezi některými body. Po zaměření několika bodů na dlaždici a mimo ni (krok 1) jsou nalezeny body na hraně dlaždice (krok 2). Body na hraně dlaždice procházejí přímky, jejichž průsečík tvoří roh dlaždice (krok 3). Z rozměrů dlaždice (vždy je pokládána dlaždice 300 mm x 300 mm) a z pozice rohu dlaždice je vypočtena pozice středu dlaždice (krok 4). Vzdálenost od již položených dlaždic je vypočtena z velikosti dlaždice a šířky spáry (krok 5). Na obrázku 24 je pouze popsán princip za použití jednoho senzoru. Při použití více senzorů (tento robot využívá dva) stoupá efektivita zaměřování a tím i efektivita pokládání dlažby [23].



Obrázek 24 Zaměření středu dlaždice [23]

2.5. Současný stav poznání – závěr

Ve výše sepsané rešerši byly shrnuty základní znalosti o kinematické struktuře robotů a jejich lokomočních ústrojích. Dle zadání diplomové práce bude navržen stroj, který bude schopen nanášet adhezivum, pokládat obkladačky a spárovat. Musí tak být vybrán robot, který je schopen provádět základní pick & place operace a zároveň tryskání adheziva a spárovací hmoty (v praxi srovnatelné s operací lakování). Bude tak vybráno konvenční šestiosé rameno standardně používané právě pro pick & place operace a lakování.

Z rešerše vyplývá, že návrh lokomočního ústrojí robotu a návrh jeho řízení je velmi složitý. V rámci diplomové práce by tak pravděpodobně nebylo možné z časových důvodů zkonstruovat vlastní řešení. Bude tak snaha o vybrání adekvátního off-the-shelf řešení.

V době psaní diplomové práce nebylo nalezeno kompletní řešení robotizace obkládacího procesu (obsahující funkce obkládání, nanášení adheziva a spárování). Při návrhu robotizace procesu se tak bude především vycházet z již zažitých manuálních postupů shrnutých v rešerši výše.

3. MULTIKRITERIÁLNÍ ANALÝZA

V následujícím textu jsou navrženy jednotlivé varianty konstrukce robotu pro obkládání zdí. Varianty se vždy liší výčtem technologických operací, které jsou schopny provádět. V tabulce níže se nachází výčet možných operací (a případné alternativní varianty):

Tabulka 7 Výčet možných technologických operací

Uchopení obkladačky	
Uchopení obkladačky	Operace uchopení obkladačky ze zásobníku. Je stejná pro všechny konstrukční varianty.
Adhezivum	
Nádoba na adhezivum	Využití míchačky uložené na podvozku robotu – adhezivum je mícháno přímo na stroji
	Využití nádoby na adhezivum – adhezivum je mícháno mimo stroj a je doplňováno do nádoby
Nanášení adheziva	Floating – adhezivum je nanášeno pouze na zeď
	Buttering, buttering-floating -- adhezivum je nanášeno na zeď a na obkladačku
Spárovací hmota	
Nádoba na spárovací hmotu	Spárovací hmota je čerpána z nádoby na spárovací hmotu
	Spárovací hmota je čerpána z míchačky uložené na podvozku robotu (určeno především pro spárovací hmoty na bázi cementu)
Způsob nanášení spárovací hmoty	Nanášení přímo do spárové mezery
	Plošné nanášení na celý obklad
Zubová stěrka	
Zubová stěrka	Adhezivum na zdi musí být uhlazeno zubovou stěrkou. Tento postup je pro všechny varianty stejný
Další funkce	
Očištění obkladaček	Koncovým efektorem se mohou očistit zbytky lepidla, popř. obkládací hmoty na obkladačkách
Nanesení penetračního podkladu	Některá adheziva požadují nanesení penetračního podkladu na zeď. Podklad by mohl být na zeď natryskáván automaticky pomocí koncového efektoru.

Bylo rozhodnuto, že jednotlivé varianty se budou lišit svým výčtem technologických operací. Základní součástí všech variant bude robotické rameno a podvozek. Výše bylo rozhodnuto, že bude využito komerčně dostupných variant.

3.1. Výběr robotického podvozku

Robot je určen pro obkládání rodinných domů a podobných obytných prostor. Hlavním omezujícím faktorem je šířka dveří (standardně 800 mm). Zároveň musí být brána v potaz maximální nosnost podlah. Budou tedy preferovány varianty s menší hmotností.

V tabulce níže jsou uvedeny tři příklady autonomních robotických podvozků. Tento typ robotů bývá většinou uzpůsoben práci ve skladě nebo převážení břemen v automobilkách. Pro zlepšení manévrovatelnosti těchto robotů bývají podvozky většinou opatřeny všesměrovými koly. (což je příklad robotů WAYPOINT a ASTI v tabulce). Využití všesměrových kol ale není pro obkládací robot ideální. V prostředí stavby se pravděpodobně budou na zemi nacházet nečistoty, které mohou kola postupně zablokovat. Podvozek MiR250 byl jeden z mála podvozků o vyhovujících rozměrech, který nevyužívá řízení všesměrovými koly. Právě proto byl vybrán, zároveň je také relativně lehký a dosahuje i přesto vysoké nosnosti.

Tabulka 8 Výběr robotického podvozku

MiR250	
Obrázek 25 MiR250, převzato z [25]	
Hmotnost	330 kg
Nosnost	250 kg
Rozměry	580 x 800 x 330 mm
WAYPOINT Vector	
Obrázek 26 Waypoint Vector, převzato z [26]	
Hmotnost	315 kg
Nosnost	272 kg
Rozměry	508 x 762 x 292 mm

ASTI Platform	
Obrázek 27 ASTI Platform, převzato z [27]	
Hmotnost	400 kg
Nosnost	350 kg
Rozměry	660 x 1052 x 352 mm

3.2. Výběr robotického ramene

Bylo vybíráno z šestiosých variant. Jako priorita je brána malá hmotnost, malá zástavbová plocha a pokud možno co největší dosah. Vzhledem k relativně malé nosnosti vybraného podvozku byla ale hlavní prioritou co nejmenší hmotnost – u jednotlivých výrobců (ABB, KUKA, FANUC a YASKAWA) tak byly vybírány nejlehčí varianty s dosahem minimálně 800 mm.

Tabulka 9 Výběr robotického ramene

ABB IRB 1300		KUKA KR CYBERTECH nano	
Obrázek 28 ABB IRB 1300 [28]		*Obrázek 29 KUKA KR CYBERTECH nano[29]*	
Hmotnost	74,5 kg	**Hmotnost**	168 kg
Zástavbová plocha	220 x 220 mm	**Zástavbová plocha**	333,5 x 307 mm
Max. dosah	900 mm	**Max. dosah**	1820 mm
Nosnost	11 kg	**Nosnost**	6 kg

FANUC m-10iD/12		YASKAWA MOTOMAN GP7	
Obrázek 30 Fanuc M-10Id/12 [30]		*Obrázek 31 YASKAWA MOTOMAN GP7 [31]*	
Hmotnost	145 kg	**Hmotnost**	34 kg
Zástavbová plocha	340 x 340 mm	**Zástavbová plocha**	198 x 194 mm
Max. dosah	1441 mm	**Max. dosah**	927 mm
Nosnost	12 kg	**Nosnost**	7 kg

Z navržených variant bylo vybráno rameno YASKAWA MOTOMAN GP7. Dosah 927 mm je pro obkládání vnitřních prostor rodinných domů dostačující a hmotnost robotu je mnohonásobně menší než hmotnost ostatních variant. Díky malé hmotnosti a zástavbové ploše robotu tak umožněna větší volnost při návrhu ostatních komponent robotu.

3.3. Přehled variant

Níže je uveden přehled navržených variant robotu. Umístění a velikost komponent je pouze orientační – slouží pouze k představení varianty. Díky relativně malé nosnosti robotického ramene (7 kg) bude muset před jednotlivými technologickými operacemi dojít k výměně nástroje. Efektor pro uchopování efektoru a roztírání zubovou stěrkou je pro každou variantu stejný.

Popis jednotlivých variant

Varianta 1

Varianta 1 obsahuje všechny základní technologické operace – možnost floatingu i butteringu a spárování. Spárovací tmel i adhezivum jsou čerpány z nádob, konstrukce neobsahuje žádné míchačky. Adhezivum a spárovací tmel se tak budou muset připravit mimo stroj. Varianta 1 neposkytuje žádné další funkce. Tato varianta byla zamýšlena jako „základní“ – zvládá všechny základní obkladačské operace. Nedisponuje ale míchačkou ani neautomatizuje žádné doplňkové práce.

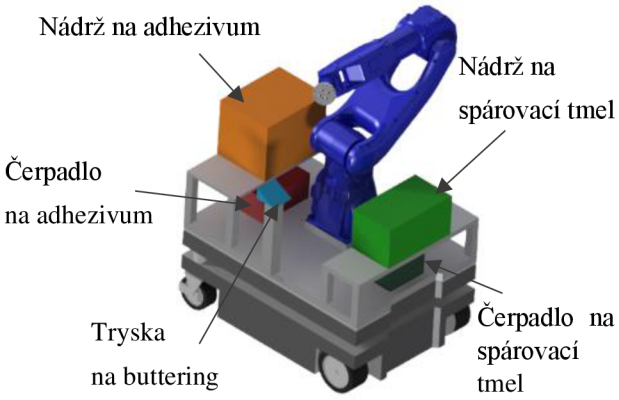
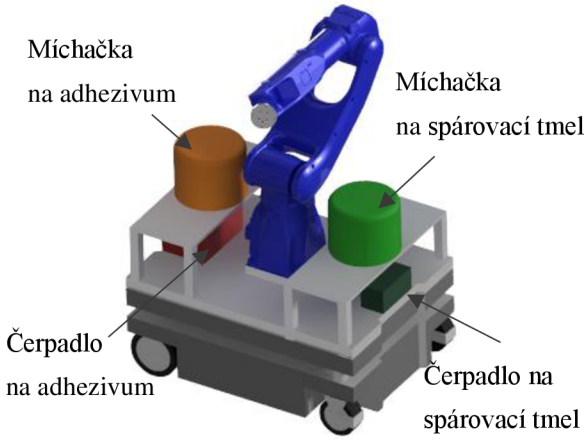
Varianta 2

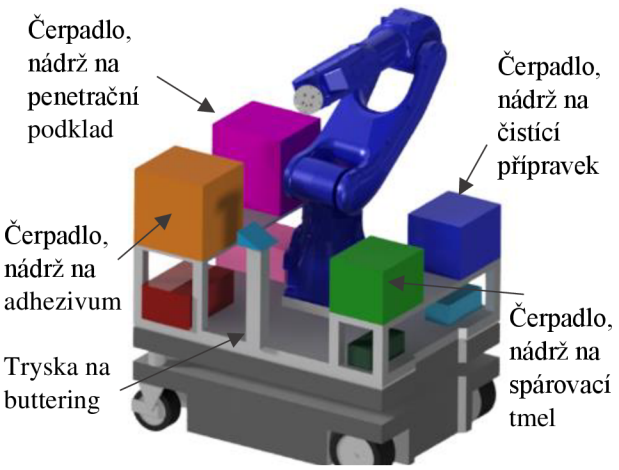
Ve variantě 2 jsou všechny kapaliny čerpány z míchaček. Na rozdíl od varianty 1 se uplatňuje plošná metoda spárování, která je pro toto řešení ideální (pro plošnou metodou se většinou používají spárovací hmoty na bázi cementu, které se smíchají v míchačce). Míchačky budou s největší pravděpodobností mnohem těžší než samotné nádoby. Tento rozdíl se (částečně) kompenzuje odstraněním trysky pro buttering. Varianta 2 slouží k zamyšlení nad užitečností míchání adheziva/spárovacího tmelu přímo na robotu. Základní myšlenkou je, že se do stroje pouze nasypou ingredience těchto kapalin; po promíchání budou připraveny k použití.

Varianta 3

Varianta 3 je velmi podobná variantě 2 s tím rozdílem, že obsahuje další funkce. Konkrétně se jedná o očištění obkladaček po spárování a nanesení penetračního podkladu. Dojde tak k větší automatizaci celého procesu obkládání.

Tabulka 10 Výčet navržených variant

Varianta 1		Varianta 2	
 *Obrázek 32 Konstrukční varianta 1*		 *Obrázek 33 Konstrukční varianta 2*	
Nádoba na adhezivum	Adhezivum doplňováno do nádoby	**Nádoba na adhezivum**	Míchačka
Nanášení adheziva	Floating, buttering	**Nanášení adheziva**	Floating
Nádoba na spárovací hmotu	Spárovací hmota doplňována do nádoby	**Nádoba na spárovací hmotu**	Míchačka
Způsob nanášení spárovací hmoty	Přímo do spárové mezery	**Způsob nanášení spárovací hmoty**	Plošný
Další funkce	N/A	**Další funkce**	N/A

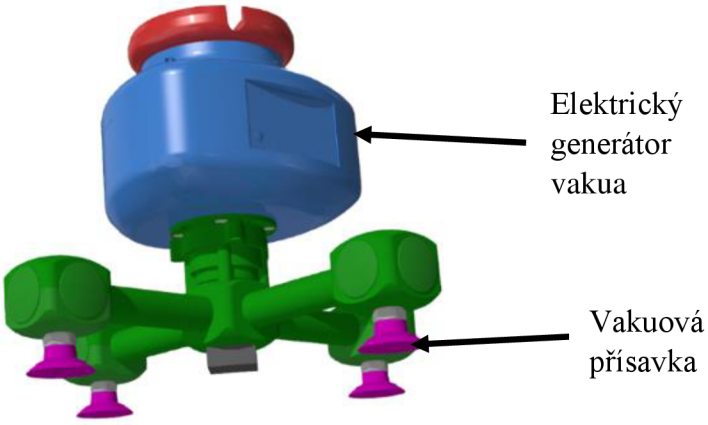
Varianta 3	
 *Obrázek 34 Konstrukční varianta 3*	
Nádoba na adhezivum	Adhezivum doplňováno do nádoby
Nanášení adheziva	Floating, buttering
Nádoba na spárovací hmotu	Spárovací hmota doplňována do nádoby
Způsob nanášení spárovací hmoty	Přímo do spárové mezery
Další funkce	Očištění obkladaček, nanesení penetračního podkladu

Přehled variant koncových efektorů

Jak bylo stanoveno výše, bude navrženo více koncových efektorů, které se budou v průběhu procesu vyměňovat. V následujícím textu bude vysvětlen princip jednotlivých efektorů.

Gripper pro uchopení obkladačky

Užité ve variantách: Varianta 1, Varianta 2, Varianta 3



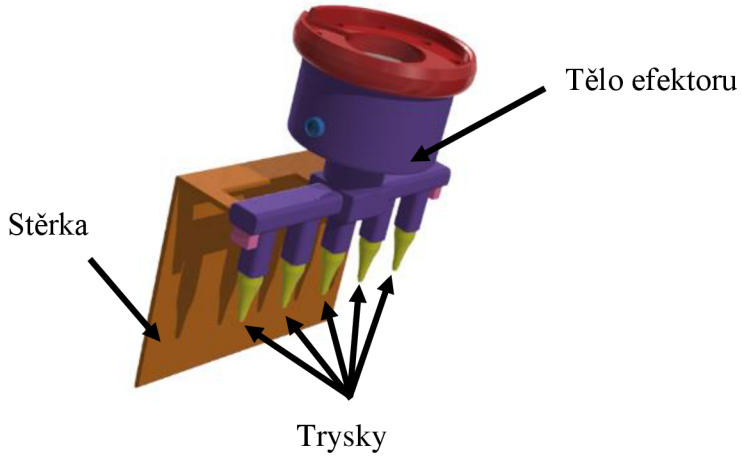
Obrázek 35 Návrh gripperu

Popis:

Jednotlivé obkladačky se budou uchopovat pomocí vakuových přísavek. Pro uchopení obkladačky byly zvoleny 4 přísavky. Vakuum je generováno elektrickým generátorem vakua – toto řešení je pro mobilní robot ideální, protože na stavbě není možnost připojení ke zdroji stlačeného vzduchu. Generátor vakua tak stačí pouze připojit k zdroji elektrické energie a efektor je provozuschopný.

Efektor pro nanášení adheziva

Užité ve variantách: Varianta 1, Varianta 2, Varianta 3



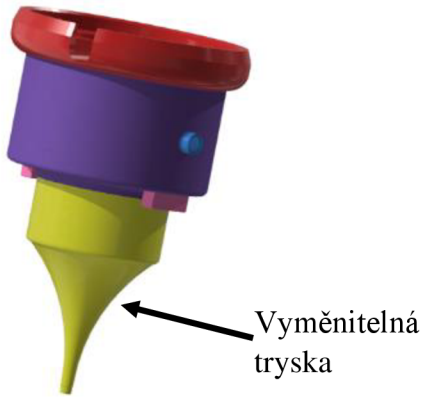
Obrázek 36 Návrh trysky na nanášení adheziva

Popis:

Základní částí efektoru je jeho tělo (fialová barva), které obsahuje všechny rozvody nutné pro dopravení adheziva z přívodního konektoru do trysek. Pro rovnoměrnější nanesení adheziva bylo zvoleno 5 trysek. Po nanesení adheziva se lepidlo rozetře pomocí stěrky do požadované výšky. Efektor najede do základní pozice a následně jede konstantní rychlostí. Při tomto pohybu za sebou zároveň stírá adhezivum (stěrka nahrazuje rovnou stěrku při manuálním postupu).

Tryska pro nanášení spárovacího tmelu

Užitá ve variantách: Varianta 1, Varianta 3

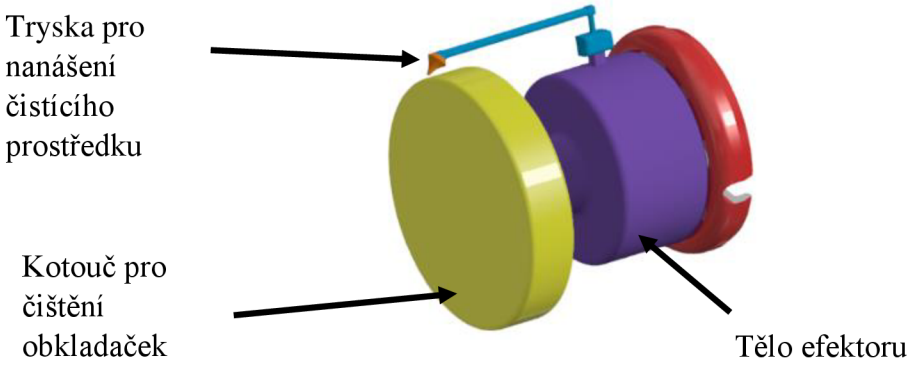


Obrázek 37 Návrh trysky na nanášení spárovacího tmelu

Popis:

V těle efektoru se nachází všechny rozvody nutné pro dopravu tmelu do trysky. Samotná tryska je vyměnitelná – efektor tak lze přizpůsobit pro různé šířky spáry.

Efektor pro očištění obkladaček



Obrázek 38 Návrh efektoru pro očištění obkladaček

Užité ve variantách: *Varianta 3*

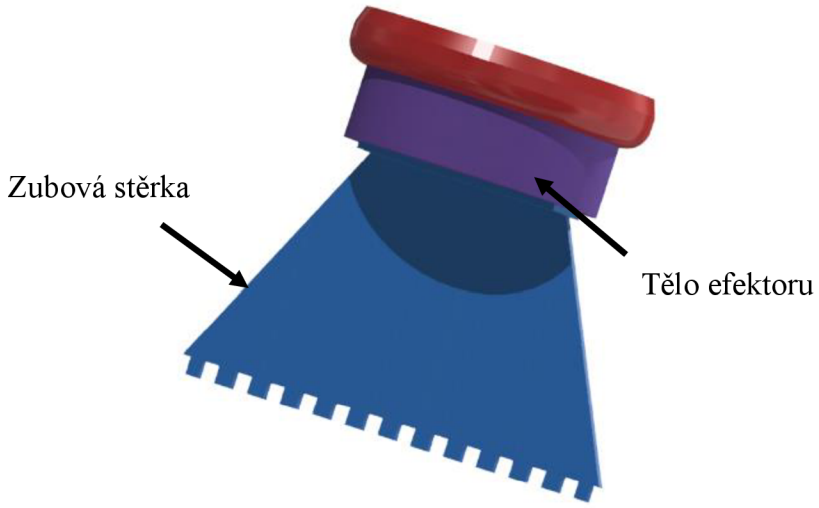
Popis:

Obkladačky se tímto efektorem budou čistit až po úplném zaschnutí spárovací hmoty a lepidla – efektor tedy bude sloužit k odstranění všech nečistot (zaschlé lepidlo, spárovací hmota). Pro čištění budou sloužit abrazivní účinky kotouče pro čištění, spolu s účinky čistícího prostředku. Kotouč bude rotovat a bude poháněn motorem umístěným v těle efektoru.

K čištěnému prostoru bude zároveň lehce rozprašován čistící prostředek, který bude do efektoru pumpován čerpadlem umístěným na podvozku robotu.

Zubová stěrka

Užité ve variantách: *Varianta 1, Varianta 2, Varianta 3*



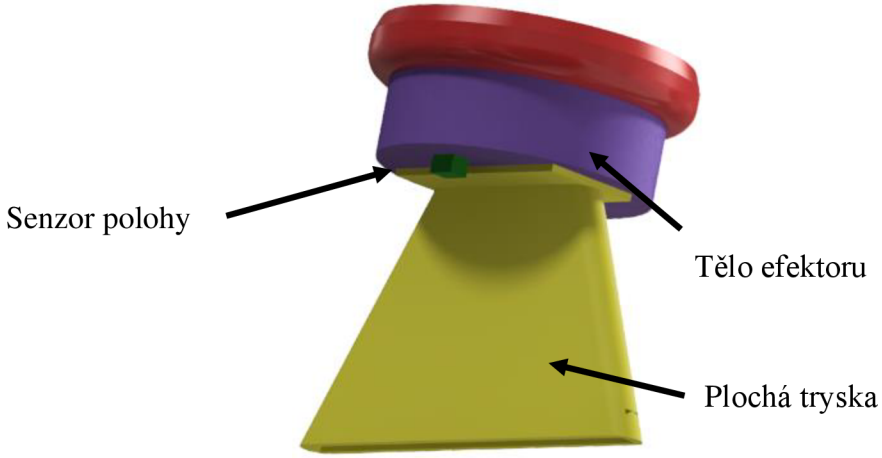
Obrázek 39 Návrh zubové stěrky

Popis:

Efektor se skládá z příruby a ze základního těla efektoru. Pro různé typy obkladaček se musí používat různé typy zubové stěrky (záleží na šířce zubu). Proto je samotná stěrka vyměnitelná. Samotný pracovní postup probíhá stejně jako při manuálním postupu – stěrka stírá adhezivum, přičemž postupuje po stejné trase, jako efektor pro nanášení adheziva.

Tryska pro nanášení penetračního podkladu

Užité ve variantách: Varianta 3



Obrázek 40 Návrh trysky pro nanášení penet. podkladu

Popis:

Penetrační nátěr je rozstřikován pomocí ploché trysky na zeď. Kapalina je čerpána z čerpadla umístěného na podvozku.

Efektor pro plošné nanášení spárovací hmoty

Užité ve variantách: Varianta 2

Popis:

Spárovací hmota je čerpána z nádoby na podvozku do ploché trysky. Pomocí stěrky je poté roztírána směrem do spár (tak, aby co nejvíce hmoty zůstalo ve spárách). Efektor může v podstatě vypadat stejně jako efektor pro nanášení adheziva (viz obrázek 36) s tím rozdílem, že stěrka musí být vyrobena z poddajného materiálu tak, aby mohla „vtlačit“ tmel do spáry.

Jsou hodnocena následující kritéria:

Tabulka 11 Kritéria hodnocení

Název kritéria	Váha kritéria (0÷1)	Poznámka
Hmotnost	1,0	Hmotnost ovlivňuje mobilitu a ovladatelnost robotu. Velmi hmotné konstrukce jsou limitovány nosností podlahy. Podvozek má velmi omezenou nosnost, a proto má tento faktor maximální váhu. ***Pozn.:*** *Čím menší hmotnost, tím vyšší hodnocení*
Jednoduchost konstrukce	0,6	Faktor popisující to, jak je složitá konstrukce – čím větší počet efektorů a komponent robotu, tím nižší hodnocení
Nanášení adheziva – floating	1,0	Kritérium popisující, zda robot dokáže nanášet adhezivum na zeď. Každá varianta musí mít funkci nanášení adheziva na zeď, váha kritéria je tedy maximální.
Nanášení adheziva – buttering	0,8	Nanášení adheziva na obkladačku není nutnou funkcí, dokáže ale zásadně zvýšit funkčnost robotu – adhezivum jak na obkladačce, tak na zdi zvyšuje těsnost spoje.
Nanášení spárovací hmoty – plošné	0,6	Plošné nanášení spárovací hmoty je náročnější na robotizaci – při roztírání je třeba spárovací hmotu důkladně „zapracovat“ do spáry
Nanášení spárovací hmoty – přímo do spáry	1,0	Nanášení hmoty přímo do spáry má vyšší váhu – spárovací hmotu stačí pouze vtlačit do spárové mezery, je tedy jednodušší na robotizaci
Využitelnost stroje – další funkce	0,1	Faktor poukazující na fakt, zda robot dokáže provádět další funkce. Přídavné funkce definované výše jsou triviální a dokáže je rychle provést i nekvalifikovaný pracovník -- kritériu byla tedy přiřazena velmi malá váha.

V tabulce výše bylo navržena dílčí hodnocení jednotlivých kritérií. Jednotlivá kritéria (jako například funkčnost jednotlivých částí robotu) nejsou kvantifikovatelná, jednotlivá hodnocení tedy budou vysvětlena níže. Zároveň kritérium „*Hmotnost*“ nelze v této fázi návrhu jednoznačně určit, hodnotí se tedy relativně vůči variantě 1, která je nejlehčí (má tedy plný počet bodů). Hodnocení se pohybují v rozpětí 1 ÷ 5.

Hodnocení – varianta 1

Tabulka 12 Vysvětlení hodnocení -- varianta 1

Varianta 1		
Kritérium	**Hodnocení**	**Vysvětlení hodnocení**
Hmotnost	5	Maximální hodnocení – varianta 1 je nejlehčí
Jednoduchost konstrukce	5	Maximální hodnocení – varianta 1 je nejjednodušší
Nanášení adheziva – floating	5	Maximální hodnocení – varianta 1 obsahuje trysku pro floating
Nanášení adheziva – buttering	5	Maximální hodnocení – varianta 1 obsahuje trysku pro buttering
Nanášení spárovací hmoty – plošné	1	Minimální hodnocení – varianta 1 neobsahuje možnost plošného spárování
Nanášení spárovací hmoty – přímo do spáry	5	Maximální hodnocení – varianta 1 obsahuje možnost nanášení spárovací hmoty přímo do spáry
Využitelnost stroje – další funkce	1	Minimální hodnocení – varianta 1 neobsahuje žádné další funkce

Tabulka 13 Vysvětlení hodnocení -- varianta 2

Varianta 2		
Kritérium	**Hodnocení**	**Vysvětlení hodnocení**
Hmotnost	3	Na hmotnosti se oproti první variantě znatelně projeví přítomnost míchaček a jejich pohonů
Jednoduchost konstrukce	4	Přítomnost míchaček ovlivní složitost robotu (napájení atd.), zároveň se ale naopak na robotu nenachází tryska pro buttering
Nanášení adheziva – floating	5	Maximální hodnocení – varianta 2 obsahuje trysku pro floating
Nanášení adheziva – buttering	1	Minimální hodnocení – varianta 2 neobsahuje trysku pro buttering
Nanášení spárovací hmoty – plošné	5	Maximální hodnocení – varianta 2 provádí plošné nanášení spárovací hmoty
Nanášení spárovací hmoty – přímo do spáry	1	Minimální hodnocení – varianta 2 neprovádí nanášení spárovací hmoty přímo do spáry
Využitelnost stroje – další funkce	1	Minimální hodnocení – varianta 2 neobsahuje žádné další funkce

Tabulka 14 Vysvětlení hodnocení -- varianta 3

Varianta 3		
Kritérium	**Hodnocení**	**Vysvětlení hodnocení**
Hmotnost	3	Nejhmotnější varianta – musí obsahovat nádrže a čerpadla na penetrační podklad a čistící prostředek na obkladačky
Jednoduchost konstrukce	2	Varianta je zdaleka nejsložitější – obsahuje 2 čerpadla navíc a musí být navrženy efektory pro nanášení penetračního podkladu a čištění obkladaček
Nanášení adheziva – floating	5	Maximální hodnocení – varianta 3 obsahuje trysku pro floating
Nanášení adheziva – buttering	5	Maximální hodnocení – varianta 3 obsahuje trysku pro buttering
Nanášení spárovací hmoty – plošné	1	Minimální hodnocení – varianta 3 neprovádí plošné nanášení spárovací hmoty
Nanášení spárovací hmoty – přímo do spáry	5	Maximální hodnocení – varianta 3 provádí nanášení spárovací hmoty přímo do spáry
Využitelnost stroje – další funkce	5	Maximální hodnocení – varianta 3 obsahuje všechny navržené přídavné funkce

Výpočet výsledného hodnocení v podstatě funguje jako vážený průměr. Výsledky pro jednotlivé varianty jsou vypočteny v tabulce níže:

Tabulka 15 Hodnocení kriteriální analýzy

	Varianta 1	Varianta 2	Varianta 3
Hodnocení	3,2	2,2	2,75

3.4. Hodnocení – závěr

Ze tří navržených variant byla vybrána varianta číslo 1. Základní myšlenkou bylo, že varianta 1 sloužila jako „základ“, ke kterému se postupně v dalších dvou variantách přidávaly další funkce. Z kriteriální analýzy vyplývá, že základní varianta je nejvýhodnější. Je mnohem jednodušší, aby robot pracoval například s jedním operátorem, než aby byly složitě automatizovány jednoduché úkony, jako je čištění obkladaček. S největší pravděpodobností by se tyto funkce uplatnily při obsluhování větších ploch. Například míchačka se při míchání malého množství adheziva (při obkládání malých prostor) nevyplatí; takové množství adheziva lze namíchat manuálně (navíc se nějaká míchačka v případě potřeby většinou na stavbě nachází).

4. SYSTÉMOVÝ ROZBOR

Multikriteriální analýzou byla vybrána varianta 1. Pro systémový rozbor byly definovány základní parametry, které budou ovlivňovat další konstrukci jednotlivých částí robotu. Jsou uvažovány jak technické požadavky na samotnou technologii obkládání, tak možné vlivy pracovního prostředí robotu. Tabulky slouží k identifikaci a návrhu řešení všech možných vlivů, které mohou ovlivnit konstrukci robotu, ještě před započetím samotného konstrukčního návrhu. Jednotlivé požadavky na části stroje mohou mít vliv na ostatní komponenty – tato provázanost jednotlivých komponent je nejlépe viditelná v myšlenkové mapě v příloze.

Tabulka 16 Rozbor automatické výměny efektoru

Rozbor automatické výměny efektorů		
Požadavek na výměnu/vliv prac. prostředí	**Technické řešení požadavku/problému**	**Vliv na ostatní komponenty robotu**
Schopnost připojení: • Stlač. vzduch – gripper • Adhezivum – tryska • Spárovací hmota – tryska • Snímačů polohy	Realizace přípojek na konstrukci	N/A
Minimální hmotnost prvků výměny	Při výběru komponent bude nutné koupit/konstruovat co nejmenší možné varianty	Všechny koncové efektory – čím větší bude hmotnost systémů výměny, tím větší může být hmotnost efektorů (celková limitní nosnost robotu 7 kg)
Výměna nástrojů omezuje průtok jednotlivých médií	Koncové efektory musí být navrženy tak, aby vyhovovaly limitacím výměny nástrojů	Gripper, efektory pro nanášení tmelu a adheziva

Tabulka 17 Rozbor gripperu pro uchopení obkladaček

Rozbor gripperu pro uchopení obkladaček		
Požadavek na efektor/vliv prac. prostředí	**Technické řešení požadavku/problému**	**Vliv na ostatní komponenty robotu**
Schopnost uchopit obkladačky různých velikostí	Přestavitelná poloha přísavek (pro různé velikosti obkladaček)	Zubová stěrka – musí být navrhnuta tak, aby šířka zubů vždy odpovídala velikosti obkladačky
Schopnost uchopit různé typy obkladaček (glazurované/s „texturou“ povrchu)	Výběr adekvátních přísavek	N/A
Schopnost položit obkladačku tak, aby do adheziva dosedla rovnoměrně	Přestavitelná poloha přísavek (pro různé velikosti obkladaček)	N/A
Schopnost funkce bez externího přívodu stlačeného vzduchu	V konstrukci je připojen elektrický generátor vakua	N/A
Schopnost zjistit, zda je obkladačka umísťována na své místo	V konstrukci bude zahrnut senzor pro snímání přítlačné síly	N/A
Schopnost zjistit, zda obkladačka není umisťována na jinou obkladačku	V konstrukci bude zahrnut senzor pro snímání momentu – při určité hodnotě se vyhodnotí, že je obkladačka pokládána „nakřivo“	N/A

Tabulka 18 Rozbor trysky pro nanášení adheziva

Rozbor trysky a stěrky pro nanášení adheziva		
Požadavek na efektor/vliv prac. prostředí	**Technické řešení požadavku/problému**	**Vliv na ostatní komponenty robotu**
Schopnost nanášení konstantního množství adheziva	Výběr čerpadla a jeho pohonu tak, aby bylo dodáváno konstantní množství adheziva	Čerpadlo adheziva
Nanesení co největšího množství adheziva najednou, zároveň zachovat rovnoměrnost	Adhezivum bude aplikováno plochou tryskou	N/A
Schopnost nanášení vysoce viskózního, abrazivního média	Dimenzování, výběr čerpadla tak, aby bylo schopno čerpat adhezivum Komponenty přenášející adhezivum musí být vyrobeny z materiálu snášejícího abrazivní působení média	Čerpadlo adheziva
Schopnost uhlazení adheziva	V konstrukci je připojena hladká stěrka	N/A
Šířka a hloubka zubu stěrky musí odpovídat velikosti obkladačky	Zubová stěrka bude vyměnitelná	N/A

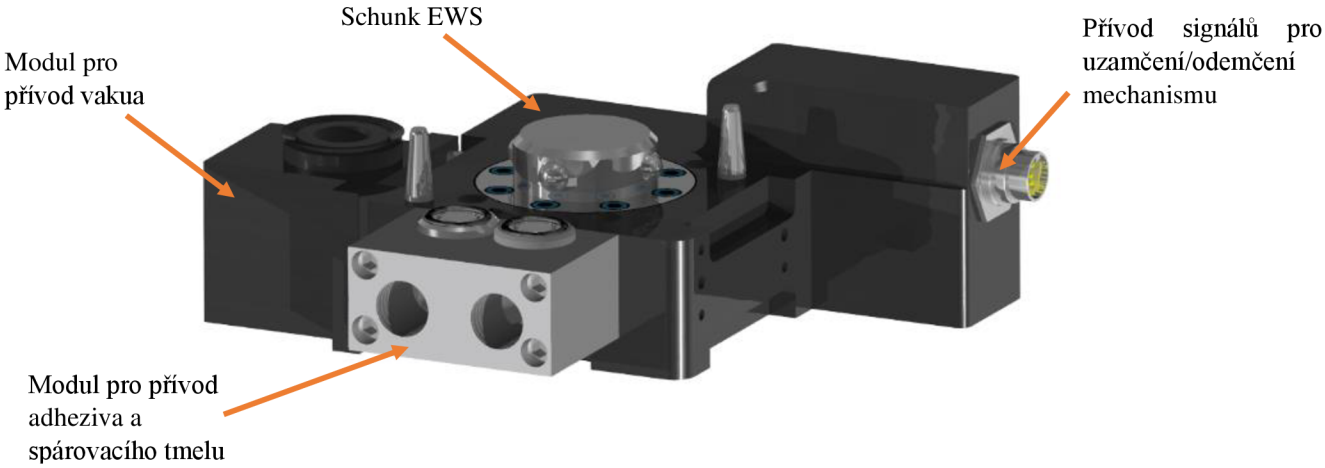
Tabulka 19 Rozbor trysky pro nanášení spárovací hmoty

Analýza trysky pro nanášení spárovací hmoty		
Požadavek na trysku/vliv prac. prostředí	**Technické řešení požadavku/problému**	**Vliv na ostatní komponenty robotu**
Schopnost nanášení konstantního množství spárovací hmoty	Výběr čerpadla a jeho pohonu tak, aby bylo dodáváno konstantní množství spárovací hmoty	Čerpadlo spárovací hmoty
Schopnost nanášení vysoce viskózního média	Dimenzování čerpadla, výběr tak, aby bylo schopno čerpat spárovací hmotu	Čerpadlo spárovací hmoty

5. NÁVRH KONSTRUKCE ROBOTU

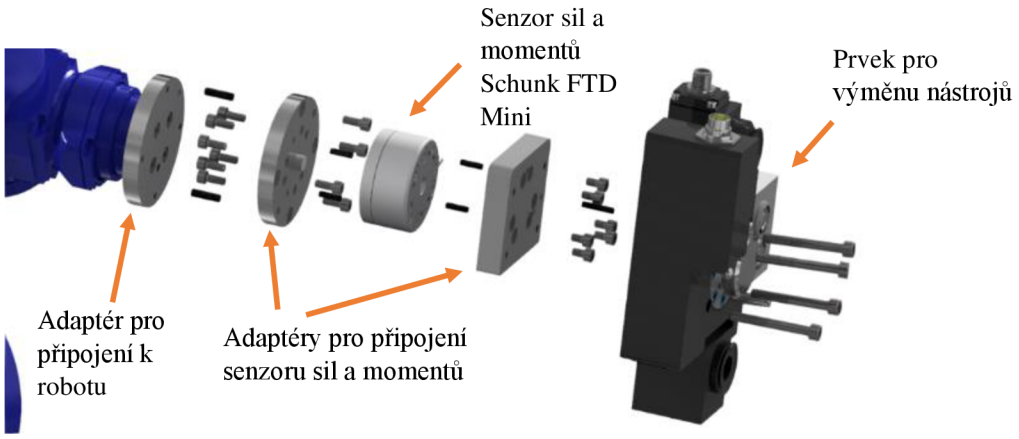
5.1. Návrh výměny nástrojů

Pro výměnu nástrojů byl vybrán prvek EWS od firmy Schunk. Prvek byl vybrán, protože pro jeho funkci není potřeba (na rozdíl od většiny jiných prvků pro výměnu) přívod stlačeného vzduchu. Po přívodu signálu sjedou písty, které uzamknou mechanismus a spojí obě části prvku pro výměnu nástrojů. Na obrázku níže je zobrazena část prvku, která je umístěna na robotu. Na základní prvek EWS jsou namontovány vstupy pro přívod kapalin a pro přívod vakua.



Obrázek 41 Prvek pro výměnu nástrojů

Níže je na obrázku uveden postup montáže prvku EWS Schunk. Do sestavy byl zahrnut senzor sil a momentů Schunk FTD Mini, který bude sloužit pro kontrolu správnosti montáže obkladaček. Pro upevnění senzoru sil a momentů a systému pro výměnu nástrojů byly navrženy tři adaptéry, viz obrázek níže. Součásti jsou vzájemně spojeny šrouby, jejich vzájemná poloha je zajištěna kolíky. Celková hmotnost systému (i s adaptéry) je přibližně 3,5 kg. Tato hmotnost



Obrázek 42 Montáž prvku pro výměnu nástrojů

musí být vzata v potaz při návrhu efektorů, nosnost robotu je pouze 7 kg. Maximální hmotnost efektorů tak může být 3,5 kg.

5.2. Návrh gripperu pro uchopení obkladačky

Pro určení základních parametrů gripperu byly určeny limitní rozměry uchopovaných obkladaček:

- **Nejmenší uchopovaná obkladačka:** 100 x 100 mm
- **Největší uchopovaná obkladačka:** 300 x 300 mm

Rozměry byly vybrány tak, aby zahrnovaly nejčastěji používané formáty obkladaček. Velkoformátové obklady (a celkově všechny obklady s rozměry většími než 300 x 300 mm) nejsou uchopovány kvůli jejich vysoké hmotnosti.

Nejčastěji se tloušťka obkladačky pohybuje kolem 10 mm. Z těchto parametrů byla vypočítána limitní hmotnost obkladaček. Dle [24] se hustota lisovaných obkladaček může pohybovat mezi 1 800 a 2 200 kg/m^3. Pro účely výpočtu byla brána horní hodnota.

$$m_{max} = 0{,}3\ \mathrm{m} \cdot\ 0{,}3\ \mathrm{m}\ \cdot 0{,}01\ \mathrm{m}\ \cdot\ 2\,200\,\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3} = 1{,}98\ \mathrm{kg} \tag{1}$$

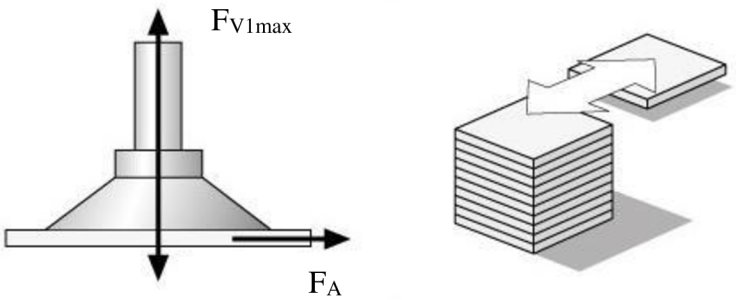
Tato hmotnost je brána jako hraniční – tj. robot není navržen pro zvedání těžších obkladaček. Hmotnost prvku pro výměnu nástrojů je 3,5 kg. Efektor tak bude muset mít maximálně hmotnost 1,5 kg, aby vyhovoval nosnosti robotu (7 kg).

Z hmotnosti byly vypočteny přibližné přidržovací síly. Ty budou následně využity pro návrh samotného efektoru. Výpočty byly provedeny dle [32].

Jako součinitel tření byl zvolen μ = 0,5 (hodnota doporučovaná pro kov, sklo, kámen a podobné materiály). Hmotnost (m_{max}) byla určena výpočtem výše, byla zaokrouhlena nahoru na hodnotu 2 kg.

Gripper nejdříve uchopí obkladačku ze zásobníku směrem vzhůru (vizualizace tohoto procesu viz obrázek níže). Teoretická síla, působící při tomto zdvihu, se vypočte jako:

$$F_{V1max} = m_{max} \cdot (g + a_V) \cdot S = 2\ \mathrm{kg} \cdot \left(9{,}81\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2} + 5\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}\right) \cdot 2 = 59{,}24\ \mathrm{N} \tag{2}$$

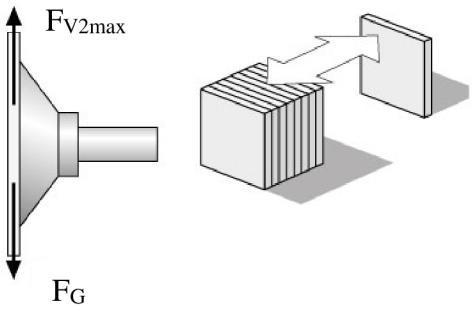


Obrázek 43 Síla působící při zdvihu obkladačky (převzato z [25], upraveno)

Jako hodnota bezpečnosti *S* byla zvolena hodnota 2 (dle zdroje se bezpečnost 1,5 volí pro hladké povrchy a hodnota 2 se volí pro hrubé povrchy). Velikost 2 byla zvolena kvůli tomu, aby šly spolehlivě uchopovat ozdobné, popř. neglazurované obkladačky s hrubším povrchem. Velikost zrychlení efektoru byla prozatím zvolena jako 5 m/s^2.

Dále byla vypočtena síla před pokládáním obkladačky do vertikální polohy (tj. přídržnou sílu těsně před tím, než je pokladačka položena na adhezivum – viz vizualizace níže). Pro pokládání bylo zvoleno menší zrychlení. Všechny ostatní parametry jsou stejné, jako v předchozím výpočtu.

$$F_{V2max} = \frac{m_{max}}{\mu} \cdot (g + a_V) \cdot S = \frac{2\ \text{kg}}{0{,}5} \cdot \left(9{,}81\frac{m}{s^2} + 2\frac{m}{s^2}\right) \cdot 2 = 94{,}48\ \text{N} \tag{3}$$



Obrázek 44 Síly působící těsně před pokládáním obkladačky (převzato z [32], upraveno)

Při navrhování efektoru byla uvažována větší ze sil, tj. $F_{V2max} = 94{,}48$.

Pro rovnoměrné „usazení“ obkladačky do adheziva byly zvoleny 4 přísavky. Jedna přísavka tedy bude obkladačku držet silou:

$$F_i = \frac{F_{V2max}}{4} = 23{,}62\ \text{N} \tag{4}$$

Tuto sílu využiji pro výběr přísavky. Přísavná síla musí přesahovat sílu, která byla vypočtena výše. Byla vybrána přísavka PFYN 25 FPM-65 G1/8-AG od firmy SCHMALZ:

Tabulka 20 Parametry zvolených přísavek

Přísavka SCHMALZ PFYN 25 FPM-65 G1/8-AG		
Obrázek 45 Přísavka Schmalz [40]	**Přísavná síla**	26,5 N (při -0,6 bar)
	Poloměr přísavky	25 mm
	Hmotnost	7,2 g
	Doporučený vnitřní průměr přípojné hadičky	4 mm
	Závit pro připojení	G1/8"-M

Dle [33] je pro přísavky do průměru 60 mm nutná rychlost sání 8,3 l/min. Pro generování adekvátního vakua je tedy potřeba rychlost sání:

$$V = 4 \cdot 8{,}3 \frac{\mathrm{l}}{\mathrm{min}} = 33{,}1\ \mathrm{l/min} \tag{5}$$

Pro generování vakua tak není možné použít elektrickou vývěvu umístěnou přímo na efektoru robotu, jak bylo uvažováno výše (dosahuje rychlosti sání pouhých 12 l/min). To znamená, že se vývěva musí umístit na podvozek.

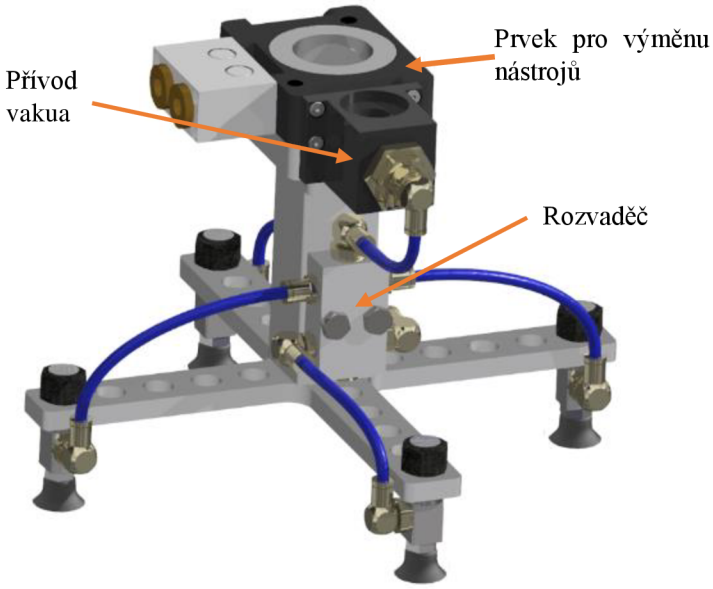
Standardně se pro uchopovací aplikace jako zdroj vakua využívá vakuový ejektor, který je připojen ke zdroji stlačeného vzduchu. Je předpokládáno, že toto řešení nelze v tomto případě využít – na stavbě nebude možné připojení ke zdroji stlačeného vzduchu. Další možností by bylo využití zdroje stlačeného vzduchu na podvozku. Stlačený vzduch by byl dopravován do ejektoru. Nakonec byla zvolena varianta, kdy je na podvozek umístěna vývěva. Tato varianta je nejjednodušší, nevyžaduje přítomnost žádných dalších komponent.

Byla vybrána následující vývěva, především kvůli svým kompaktním rozměrům a malé hmotnosti:

Tabulka 21 Parametry vybrané vývěvy

Vývěva Vuototecnica VTS2		
Obrázek 46 Vývěva VTS2 [41]	**Nominální rychlost sání**	33,1 l/min
	Přípojka vzduchu	G1/4”
	Hmotnost	5,5 kg
	Výkon	0,12 kW
	Napájení	230V/400A, 50 Hz

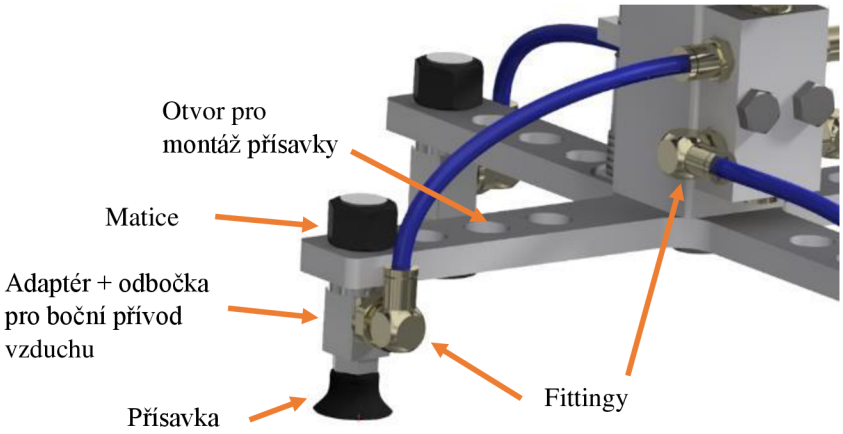
Na obrázku níže je přiblížena finální konstrukce vakuového gripperu. Hlavní částí gripperu je tělo, které je pomocí šroubů připevněno k prvku pro výměnu nástrojů. K tělu je šroubem připevněn „kříž“, ke kterému lze připevnit přísavky.



Obrázek 47 Konstrukce vakuového gripperu

Přísavky lze přemístit do jiné pozice (na každé straně jsou 4 otvory pro montáž přísavek), ke kříži jsou připevněny maticí s fitinkem. Přívod vakua je přerozdělený pomocí rozdělovače, ke kterému jsou připojeny šrouby s fitinky.

Připojení přísavky k efektoru bylo navrženo tak, aby bylo kdykoli snadno přestavitelné. Byla vybrána odbočka pro boční připojení vakua. Odbočka je přišroubována k adaptéru, na jehož konci je provedený závit. Adaptér je k efektoru připevněn pomocí matice. K odbočce je přišroubována přísavka, k přísavce je vakuum přiváděno pomocí fitinku. Celá soustava s přísavkou se dá odmontovat/přimontovat pomocí matice, není tak nutné odpojovat zdroj vakua.



Obrázek 48 Montáž přísavky

Odfuk (při potřebě „vypnutí“ přísavek) musí být realizován mimo efektor (v systému pro výměnu efektorů není místo pro další vstup). Pro odfuk byl vybrán následující ventil:

Tabulka 22 Vlastnosti ventilu pro odfuk vakua

Ventil IV 3 3/2 G3/8-IG G3/8-AG 24V-DC		
Obrázek 49 Ventil pro odfuk vakua [42]	**Nominální rychlost sání**	33,1 l/min
	Přípojka vzduchu	G3/8"
	Hmotnost	0,07 kg
	Napájecí napětí	24V – DC

Ventil je umístěn hned na přívodu vakua do efektoru. V případě potřeby „upuštění“ obkladačky je do ventilu poslán signál a ventil přeruší obvod.

5.3. Návrh trysky a rozvodů pro nanášení adheziva

Robot je navržen na provádění tenkostěnného obkládání – dle rešerše je tak uvažováno, že tloušťka malty bude 5 milimetrů (hodnota je pouze přibližná, v praxi se neměří – hlavním parametrem je rovnoměrnost vrstvy adheziva).

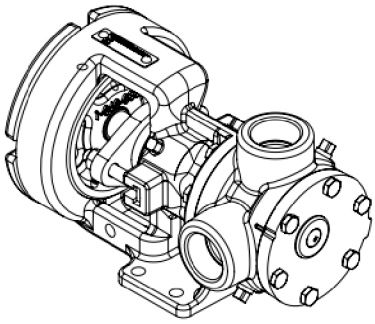
Pro výběr čerpadla je potřeba znát viskozitu adheziva. Viskozita nelze obecně stanovit, vždy záleží na typu adheziva, popř. na poměrech při míchání adheziva. Dle [34] se dynamická viskozita moderních adheziv pohybuje mezi 10 Pa·s a 70 Pa·s. Hustota čerstvě namíchaného adheziva se pohybuje mezi 1 700 kg/m^3 a 1950 kg/m^3.

Pro dimenzování bylo využito maximální hodnoty dynamické viskozity a hustoty (tak, aby se předešlo poruchám a spolehlivě se dala čerpat většina adheziv). Pro výběr čerpadla je třeba vypočítat hodnotu kinematické viskozity (v praxi se prakticky nikdy nedosáhne přesně těchto hodnot viskozit a hustot – nejvyšší hodnoty byly pouze vybírány tak, aby bylo možné čerpat co největší škálu adheziv):

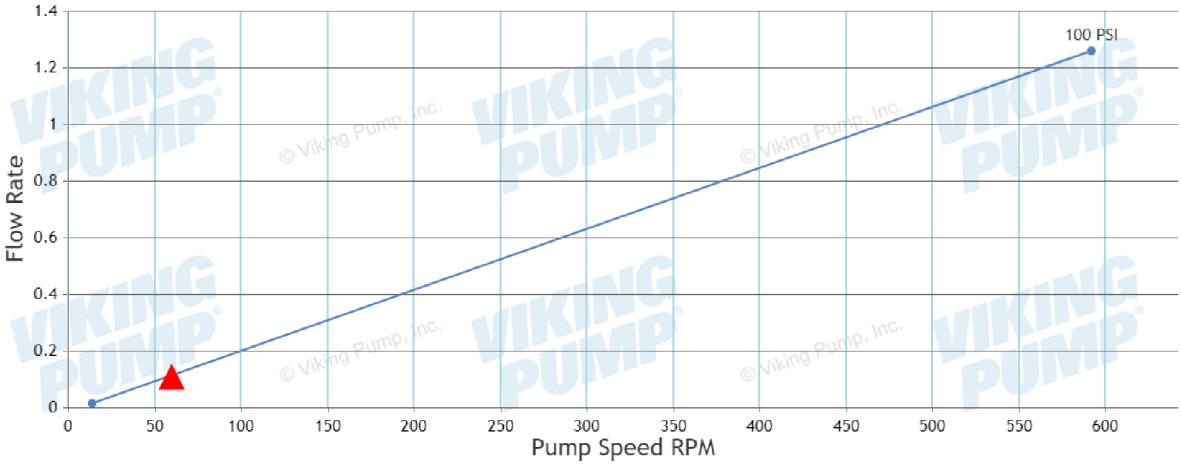
$$\vartheta = \frac{\mu}{\rho} = \frac{70\ \mathrm{Pa \cdot s}}{1950\ \mathrm{kg/m^3}} = 0{,}0359\,\frac{\mathrm{m^2}}{\mathrm{s}} = 359\ \mathrm{St} \tag{6}$$

Čerpadlo bylo vybráno z řady 4124 B od společnosti Viking Pump. Tato čerpadla jsou navržena pro čerpání vysoce viskózních adheziv, zároveň jsou vysoce odolná proti abrazivním účinkům médií (což je ideální pro čerpání adheziv na bázi malty – mohou obsahovat ostřiny). Konkrétně bylo vybráno čerpadlo H4124B. Jedním z důvodů pro výběr tohoto čerpadla jsou jeho kompaktní rozměry; pro potřeby čerpání adheziva bude potřeba relativně malý průtok. Čerpadla z této řady jsou navržena pro čerpání kapalin s viskozitou od 1 do 55 000 cSt. Výše vypočtená hodnota 35 900 cSt tak spadá do tohoto intervalu. Čerpadlo by tak mělo být schopné čerpat většinu moderních adheziv.

Tabulka 23 Parametry vybraného čerpadla

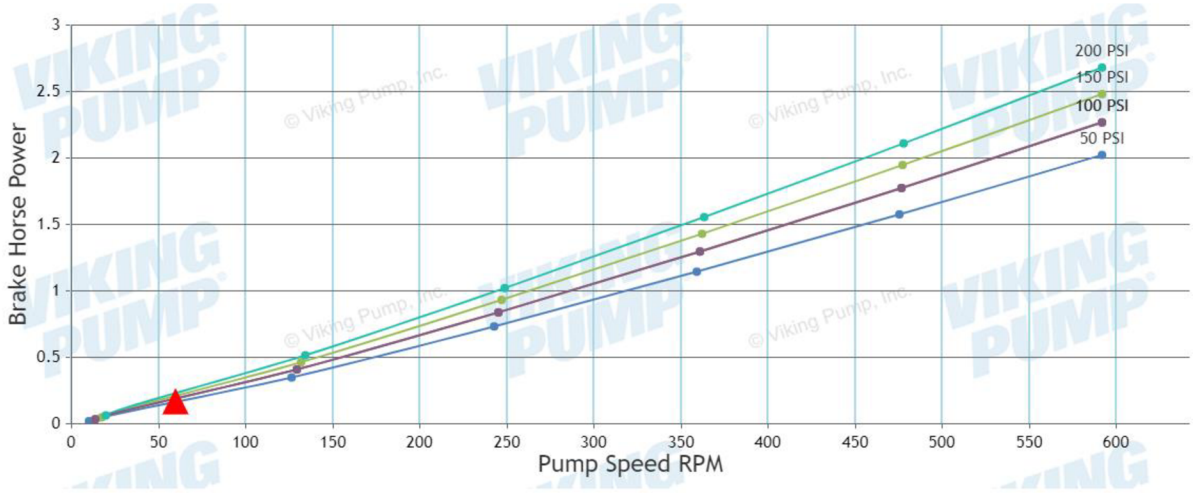
Čerpadlo Viking Pump H4124 B		
 *Obrázek 50 Čerpadlo Viking Pump H4124 [43]*	**Maximální průtok**	3,4 m^3/h
	Vstup/výstup	1,5“ NPT
	Maximální otáčky	1750 min^{-1}
	Maximální tlak	14 bar
	Hmotnost	17 kg

Dle online utility firmy Viking Pumps (viz [35]) byl optimalizován průtok vzhledem k vybranému čerpadlu a k vysoké viskozitě média. Pro konstantní průtok 0,11 m3/h je třeba 60 otáček za minutu. Výrobcem je uváděno, že tlak odčerpávaného média (na výstupu čerpadla) je přibližně 100 PSI (přibližně 6,89 bar).



Obrázek 51 Výběr čerpadla -- graf průtok – otáčky čerpadla

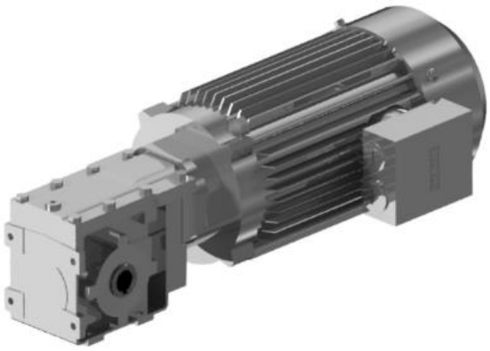
Z vygenerovaných grafů bylo odvozeno, že pro čerpání daného množství adheziva je třeba výkon 0,23 BHP, tj. přibližně 0,17 kW. Vygenerované křivky byly využity pro výběr elektromotoru.



Obrázek 52 Výběr čerpadla -- graf výkon – otáčky čerpadla

Z požadavků na čerpadlo byl vybrán následující motor (parametry byly vybírány tak, aby byly co nejblíže požadované hodnotě a zároveň aby byl motor co nejlehčí):

Tabulka 24 Pohon čerpadla pro čerpání adheziva

Motor pro pohon čerpadla		
 *Obrázek 53 Motor pro pohon čerpadla*	**Kuželová převodovka B19**	
	Převodový poměr	22,78
	Motor LE63ZMH4E	
	Napájení	230 V / 50 Hz
	Stupeň krytí	IP 65 (úplná ochrana proti prachu, tryskající vodě)
	Výkon motoru	0,180 kW
	Celkové vlastnosti systému	
	Hmotnost	10,0 kg
	Otáčky na výstupu	60,8 min^{-1}

Původně bylo zamýšleno, že pro rozvod adheziva bude použita hadice konvenčně používána pro rozvod malty (a podobných adheziv) ve stavebním průmyslu. Tato varianta však byla zavržena – průměry hadic jsou pro relativně malou konstrukci robotu příliš velké a pro použití jsou nepraktické. Navíc jsou navrženy pro velmi velké průtoky.

Zamýšlená konstrukce bude spíše spoléhat na přesnou aplikaci adheziva na zamýšlené místo – tak, aby byla vrstva adheziva co možná nejrovnoměrnější a zároveň aby nedošlo ke zbytečnému znečištění pracovního prostoru.

Z výše uvedených důvodů byla vybrána hydraulická hadice. Hadice je přizpůsobena vysokým tlakům a je odolná vůči abrazivním účinkům protékajících médií. Specifikace jsou uvedeny níže:

Tabulka 25 Specifikace hadice pro čerpání adheziva

Hadice TAMESON 2SN		
Obrázek 54 Hadice pro čerpání adheziva [44]	**Maximální tlak**	275 bar
	Připojení	M36x2 závit
	Materiál	Pryž vyztužená dvěma ocelovými vložkami
	Průměr	28/20 mm

Standardně je pro vodní čerpadla dodávána dopravní výška, z níž lze odvodit, zdali je čerpadlo schopno dodávat kapalinu do požadované výšky. Tato hodnota však u tohoto konkrétního typu čerpadla chybí (není určena pro jeden konkrétní typ kapaliny, jako je například voda – dopravní výška se bude lišit pro každý typ kapaliny).

Proto byl proveden výpočet za pomocí Bernoulliho rovnice pro nestlačitelnou viskózní kapalinu. V podstatě se jedná o rovnici zachování energie pro kapaliny v gravitačním poli Země, přičemž při proudění dochází k hydraulickým ztrátám [36]. Tento typ rovnice byl vybrán proto, aby bylo možno zhodnotit účinky vysoké viskozity adheziva na proudění.

$$\frac{p_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2} + gh_1 = \frac{p_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2} + gh_2 + Y_z \tag{7}$$

Člen Y_z představuje hydraulické ztráty (měrnou ztrátovou energii). Nejčastěji se objevují dva typy ztrát – místní a délkové. Pro účely této práce byly uvažovány pouze délkové ztráty. V průběhu práce se robot bude ohýbat a nešlo by jednoznačně určit ztráty v jednotlivých ohybech. Pro určení ztrát ve vedení se používá Darcyho-Weisbachův vztah [36]:

$$Y_z = \sum_i \xi_i \frac{v_i^2}{2} \tag{8}$$

Délkové ztráty jsou způsobeny třením viskózní kapaliny o stěny trubičky. Ztrátový součinitel lze určit ze vztahu [36]:

$$\xi_l = \lambda \frac{l}{d} \tag{9}$$

Obecně lze třecí součinitel λ závislý na drsnosti potrubí. V praxi se však u turbulentního proudění určuje z Moodyho nebo Nikuradseho diagramu. Pro účely výpočtu vedení adheziva bylo předpokládáno laminární proudění. Pro laminární proudění lze třecí součinitel stanovit analyticky [36]:

$$\lambda = \frac{64}{Re} \tag{10}$$

Reynoldsovo číslo bylo vypočteno z výše určené dynamické viskozity:

$$Re = \frac{\rho \cdot d \cdot v}{\mu} \tag{11}$$

Zároveň byla pro výpočet využita i rovnice kontinuity – tj. je předpokládáno, že vedení je naprosto těsné, adhezivum se nikde neztrácí ani nehromadí.

$$Q = v \cdot S = \text{konst.} \tag{12}$$

Pro přehlednost jsou všechny vstupy a výstupy rovnic uspořádány v tabulce níže. Jako bod **1** je uvažován bod na výstupu z čerpadla. Jako bod **2** je uvažován bod, kde adhezivum vstupuje do efektoru. V této části návrhu jsou všechny údaje odhadnuty (ještě nejsou vybrány všechny komponenty a není určeno jejich uspořádání na robotu) a jsou spíše naddimenzovány. Výpočet slouží k orientačnímu ověření, že vybrané čerpadlo dokáže čerpat adhezivum do určité výšky přes vybranou hadičku.

Tabulka 26 Vypočtené veličiny při čerpání adheziva

Veličina	Hodnota v bodě 1	Hodnota v bodě 2	Poznámka
Q	0,11 m^3/h		Průtok doporučený dle výrobce čerpadla výše
v	94,3 mm/s		Rychlost vypočtená z průtoku (konstantní průřez)
p	6,89 bar	1,27 bar	Tlak v bodě 1 dle křivek výše, tlak v bodě 2 byl vypočten
h	0 mm	927 mm	Hodnota v bodě 2 odpovídá max. dosahu robotu, bod 1 je brán jako nulová hladina
l	1000 mm		Celková délka hadice byla odhadnuta (skládá se z celkové délky na robotickém rameni a rozvodů na podvozku)
Re	0,054		Hodnota Reynoldsova čísla určená z výše uvedené dynamické viskozity

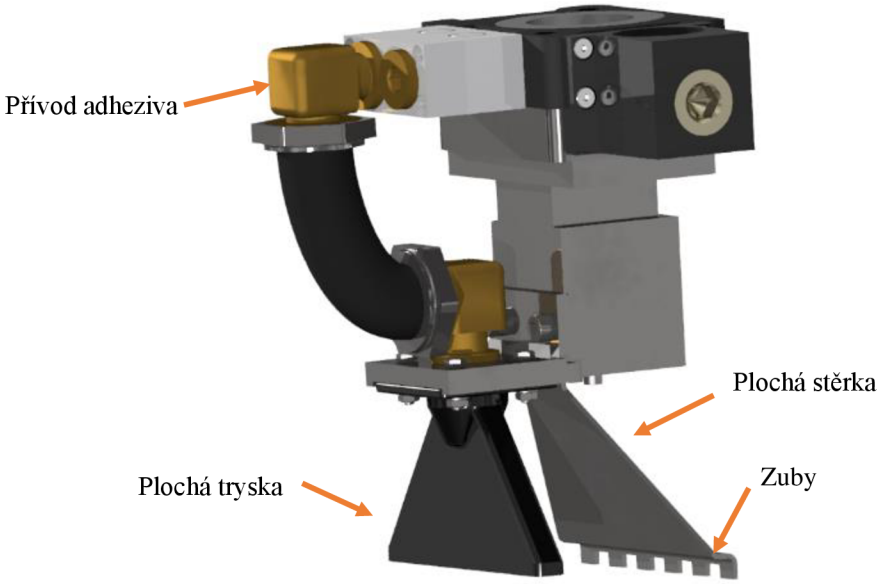
Tlak p_2 na vstupu do efektoru se rovná přibližně 1,27 bar. Kritérium pro správnost výpočtu bylo, že tlak musí být kladný – pokud by byl záporný, bylo by nutné změnit průtok, popřípadě změnit průměr hadičky tak, aby čerpadlo bylo schopno čerpat adhezivum přes požadovanou délku a do požadované výšky.

Pro monitorování průtoku byl vybrán průtokoměr KEYENCE FD-Q20C. Průtokoměr pracuje na principu ultrazvuku a je připevňován na vnější průměr monitorované trubky. Nijak tak neovlivňuje průtok média. Výstupem je analogový signál znázorňující momentální průtok snímaného média.

Průtokoměr slouží pouze k přibližnému monitoringu průtoku adheziva. Průtokoměr kontroluje, jestli nemohlo dojít k poruše (tj. hlídá, jestli se průtok adheziva pohybuje v určitých mezích) nebo jestli nedošlo adhezivum v nádobě (v tomto případě by průtok postupně klesal k nule). Robot tak bude schopen varovat obsluhu, která může provést nápravná opatření.

Obrázek 55 Průtokoměr KEYENCE FD-Q20C [50]

Návrh modelu efektoru pro nanášení adheziva je uveden na obrázku níže. Adhezivum je pomocí fittingů a hadice dopraveno do ploché trysky. Plochá tryska byla zvolena proto, aby adhezivum bylo nanášeno na co největší plochu a zároveň aby vrstva adheziva byla rovnoměrná. Původně zamýšlená varianta s několika tryskami byla zavržena – tok adheziva by s největší pravděpodobností nebyl dostatečně rovnoměrný. Následně byla zamýšlená varianta, kdy do ploché trysky bylo přiváděno několik přívodů adheziva – bylo by tak sice možné nanášet adhezivum na větší plochu, průtok ale stále nebyl dostatečně rovnoměrný.



Obrázek 56 Konstrukce trysky adheziva

Tryska je k efektoru připojena pomocí šroubů, mezi spoj je umístěno těsnění tak, aby adhezivum nemohlo při práci unikat. Plochá stěrka je k efektoru připevněna pomocí šroubů, jedná se o jednoduchý ohnutý plech, který vyrovnává případné nerovnosti při nanášení lepidla.

Na konci ploché stěrky jsou vyhotoveny zuby, která vrstvu adheziva „dohladí“ do požadovaného stavu (podobně, jako při manuálním postupu). Původní koncepce (navržená v systémovém rozboru), při které se adhezivum stíralo odděleným efektorem byla zavržena. Adhezivum rovnou setře zubová stěrka na efektoru s tryskou adheziva. Ušetří se tak manipulační časy, kdy by se musel zbytečně měnit nástroj.

Dle [39] záleží šířka ozubení stěrky na rozměrech obkladačky:

Tabulka 27 Závislost velikosti zubu na velikosti obkladačky

Délka největší hrany obkladačky	Velikost ozubení
Menší než 10 cm	6 mm
10 až 20 cm	8 mm
20 až 30 cm	8–10 mm
Větší než 30 cm	10–15 mm

Při návrhu vakuového gripperu byly stanoveny velikosti největší a nejmenší uchopované obkladačky. Z těchto parametrů bylo určeno, že budou zkonstruovány 2 stěrky s hranatým ozubením o velikosti zubu 8 milimetrů a 10 milimetrů.

Nanášení adheziva bude probíhat odspodu nahoru. Z obrázku je viditelné, že nanášení adheziva nebude možné provádět od úplného okraje spodní strany – v přístupu k spodní stěně „zavazí“ plochá stěrka. Možností, jak tuto skutečnost obejít by bylo udělat 2 oddělené efektory – trysku a plochou stěrku. Kombinované řešení je však pro nanášení vrstvy adheziva vhodnější. Nanesené adhezivum je prakticky okamžitě setřeno a vrstva adheziva tak nemá čas k okapávání/odpadávání. Vrstva na spodním okraji zdi tak bude muset být nanesena manuálně.

Pro účely čerpání adheziva nebyla v době psaní práce nalezena žádná vhodná tryska. Plochá tryska tak byla navržena v rámci práce. V programu ANSYS Fluent byla provedena simulace, jejímž účelem bylo vyhodnocení rovnoměrnosti nanášení adheziva a vypočtení tlaku/rychlosti na výstupu trysky. Jako vstup do simulace byl použit model všech vnitřních stěn rozvodů adheziva, viz obrázek níže.

Jako počáteční podmínka byla definována vstupní rychlost a vstupní tlak (oba parametry byly vypočteny výše). Zároveň byl definován konstantní průtok 0,11 m^3/h.

Pro ověření rovnoměrnosti výtoku byla vykreslena animace toku adheziva. Screenshot z této animace je uveden níže. Barevné čáry reprezentují trajektorii jednotlivých částic adheziva.

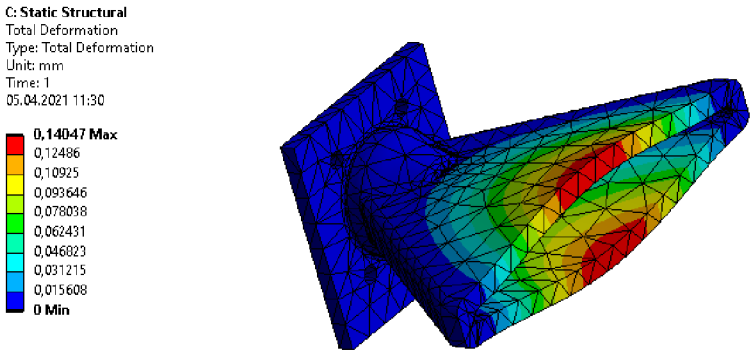
Odlišné barvy čar slouží pouze k odlišení jednotlivých trajektorií. Z animace bylo usouzeno, že výtok je dostatečně rovnoměrný (i z níže uvedeného obrázku je viditelné, že se všechny částice rovnoměrně přerozdělí do celého průřezu trysky). Případné drobné nerovnosti vyrovná stěrka.

Obrázek 57 Ověření rovnoměrnosti toku adheziva

Průměrná rychlost částic na výtoku je dle simulace 0,122 ms^{-1}. Tlak u výstupu průměrně činí cca 0,612 bar (tlak ani rychlosti na výstupu nejsou stálé, na okrajích trysky jsou drobné odchylky).

Kvůli svému specifického tvaru bude tryska vyrobena z plastu vstřikolisem. Pro ověření, zda tryska ustojí tlak kapaliny, byla provedena mechanická simulace v programu ANSYS. Jako zatížení bylo definováno vstupních 1,27 bar na vnitřních stranách trysky. Zatížení bude sice pravděpodobně nižší (viz výsledky z ANSYS Fluent výše), zvolením vyššího zatížení se však alespoň zaručí pokrytí případných výchylek. Horní strana trysky (s dírami pro montáž šroubů) je definována jako vetknutí.

Jako materiál pro výrobu trysky byl zvolen polyfenylensulfid s 40% výplní skleněných vláken. Materiál byl vybrán pro svoje velmi dobré mechanické vlastnosti. Mechanické vlastnosti, které sloužily jako vstup do simulace, byly čerpány z [37].

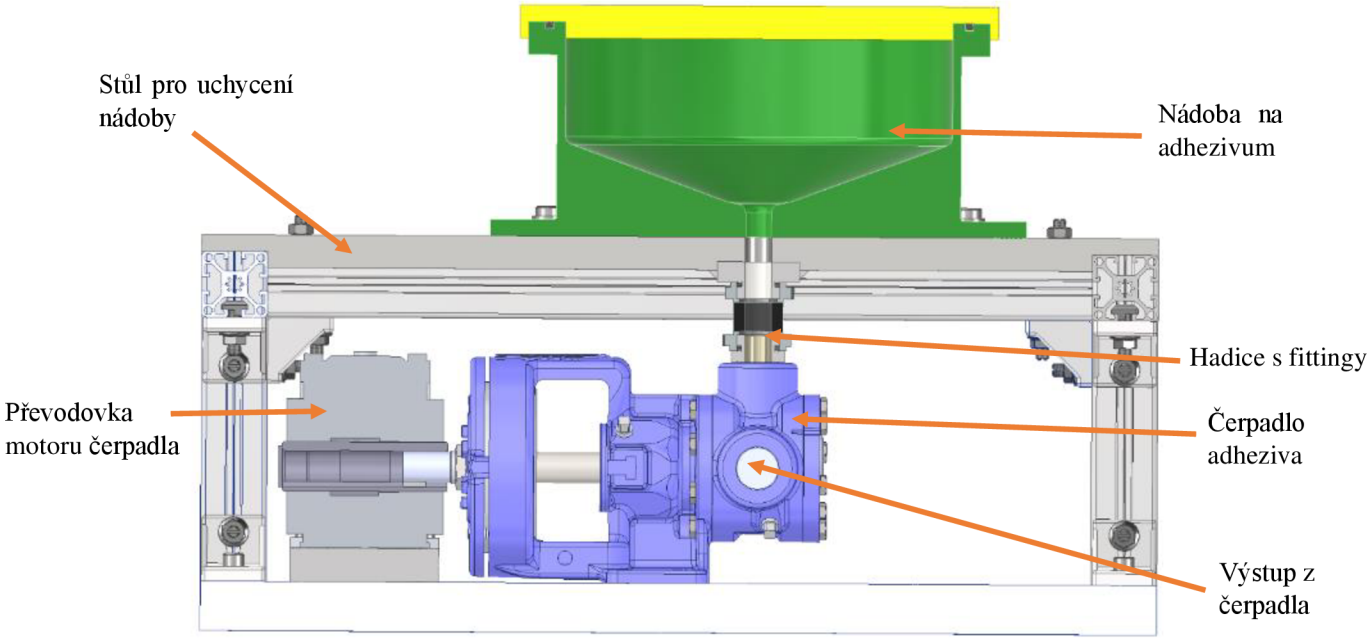


Obrázek 58 Deformace trysky

K maximální elastické deformaci na trysce dochází na jejím otevřeném konci – deformace má velikost maximálně 0,14 mm. Napětí v trysce ve většině jejího objemu nepřesahuje 7 MPa. Návrh trysky byl shledán jako vyhovující.

Potřebná výška vrstvy adheziva je 5 mm, pro pokrytí 1 m^2 adhezivem je tedy potřeba 5 l adheziva. Adhezivum je na zeď nanášeno průtokem o velikosti 0,031 l/s tryskou, jejíž průřez na výstupu je roven 250 mm^2 (šířka trysky je 100 mm). Tj. načerpat 5 litrů adheziva (pro 1 m^2 zdi) trvá 161 sekund. Pro nanesení požadované vrstvy adheziva se efektor musí pohybovat rychlostí 63 mm/s.

Adhezivum (popř. spárovací hmota, viz odstavce níže) je čerpáno z nádoby na podvozku robotu. Nádoba má zatěsněné víko tak, aby se co nejvíce zamezilo přístupu vzduchu a předčasnému ztuhnutí adheziva. Stěny nádoby jsou zkosené tak, aby adhezivum mohlo za pomoci gravitace ztékat rovnou do čerpadla, odkud je pomocí hadic čerpáno do efektoru. Nádoba je umístěna na stole z hliníkových profilů. Kapacita nádoby je přibližně 3,9 litrů. Jedna nádoba tedy dle výše uvedených výpočtů bude stačit na cca 0,8 m^2 zdi. Z důvodu omezeného prostoru na podvozku robotu není možné zajistit nádobu o větší kapacitě. Bude třeba zajistit časté doplňování nádoby operátorem.



Obrázek 59 Sestava čerpání spárovací hmoty

5.4. Návrh trysky a rozvodů pro nanášení spárovacího tmelu

Žádný výrobce neuvádí hodnoty viskozity a hustoty spárovací hmoty. V době psaní práce nebyly nalezeny žádné relevantní zdroje, které tato data uvádějí. Je tedy předpokládáno, že hmota pro spárování má podobnou hustotu a viskozitu, jako adhezivum (obě látky mají podobnou „pastovitou“ strukturu; v případě neshod se v praxi mohou upravit např. otáčky čerpadla). Proto bude využito stejné čerpadlo a hadička pro rozvod. Tmel bude nanášen tryskou přímo do spáry (podobně se tmel nanáší v praxi pomocí aplikátoru).

Veškeré využité rovnice jsou stejné jako při návrhu rozvodů pro nanášení adheziva. Při návrhu trysky pro nanášení spárovacího tmelu nebyla provedena simulace v ANSYS Fluent. Z tvaru trysky (viz níže) je předpokládáno, že výtok bude rovnoměrný.

Dle katalogů (viz například [38]) se velikost šířky spáry pohybuje mezi 3 a 6 milimetry. Tloušťka vrstvy spárovacího tmelu není předepsána žádnou normou. Pro účely návrhu bylo určeno, že tloušťka vrstvy bude 5 milimetrů. Takto malé množství adheziva není možné čerpat (efektor by se musel pohybovat buď velmi rychlou rychlostí, nebo by se čerpadlo muselo otáčet velmi malými otáčkami). Nejjednodušší alternativou by bylo čerpání adheziva z nádrže umístěné přímo na efektoru. Toto řešení však nelze v tomto případě realizovat – koncový efektor je limitován hmotností 3,5 kg. Šířka vrstvy tak bude optimalizována dle minimálního použitelného průtoku.

Z utility Viking Pumps ([35]) byl zjištěn nejmenší použitelný průtok. Nejmenší průtok je 0,1 m^3/h. Tento průtok je podobný jako průtok 0,11 m^3/h použitý v předchozích výpočtech. Bude tedy použit stejný motor jako u předchozí trysky.

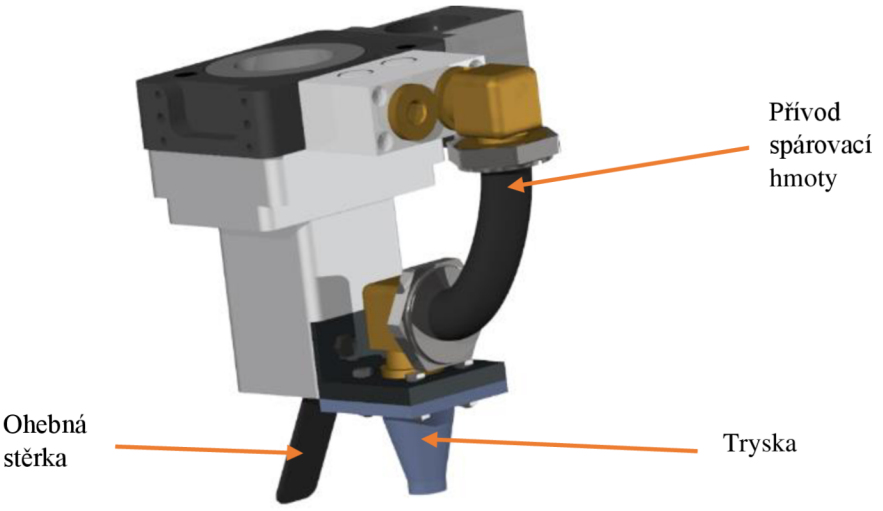
Při šířce vrstvy 15 milimetrů a tloušťce 5 milimetrů je na jeden metr spáry třeba 0,075 litrů spárovacího tmelu. Přebytečný tmel bude muset manuálně zapracovat/odstranit operátor. Efektor musí dosáhnout rychlosti 373 mm/s.

Výpočty jsou opět provedeny pomocí Bernoulliho rovnice se zahrnutím účinků viskózního tření (viz výpočty trysky pro nanášení adheziva výše). Do délky vedení byla zahrnuta oproti předchozím výpočtům i délka samotné trysky a vedení na efektoru (tato část v tomto případě není totiž simulována ve Fluentu). Bod 1 opět leží na výstupu z čerpadla. Bod 2 leží na výstupu z trysky.

Tabulka 28 Hodnoty pro čerpání spárové hmoty

Veličina	Hodnota v bodě 1	Hodnota v bodě 2	Poznámka
Q	0,11 m^3/h		Průtok doporučený dle výrobce čerpadla výše
v	94,3 mm/s	**353,7 mm/s**	Rychlost vypočtená z průtoku
p	6,89 bar	**1,02 bar**	Tlak v bodě 1 dle křivek výše, tlak v bodě 2 byl vypočten
h	0 mm	927 mm	Hodnota v bodě 2 odpovídá max. dosahu robotu, bod 1 je brán jako nulová hladina
l	1150 mm		Celková délka hadice byla odhadnuta (skládá se z celkové délky na robotickém rameni a rozvodů na podvozku)

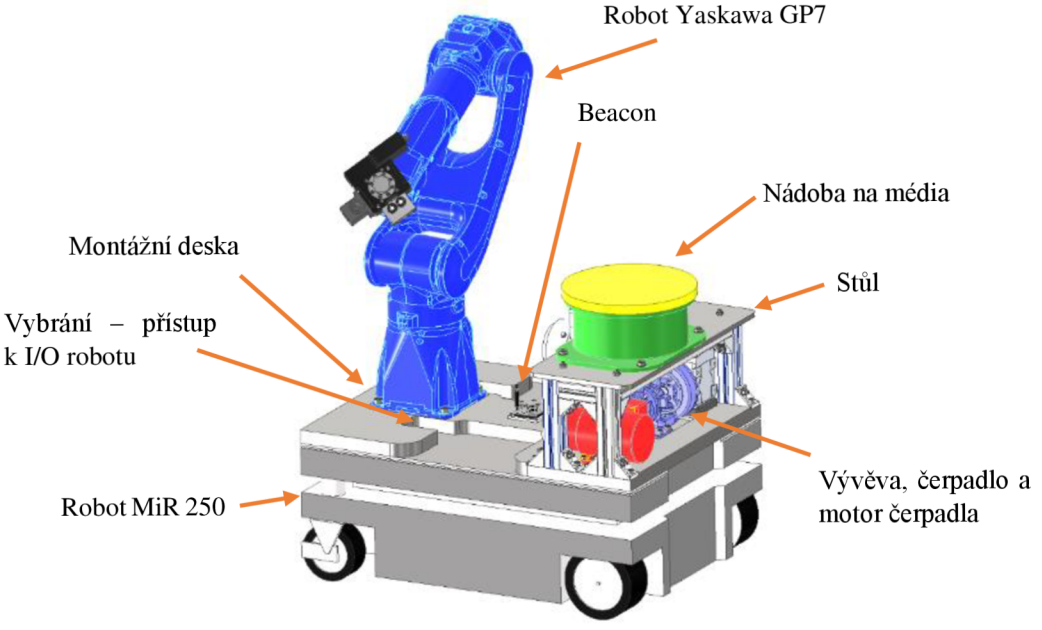
Konstrukce efektoru vychází z konstrukce trysky pro nanášení adheziva. Konstrukce obsahuje ohebnou plastovou stěrku. Tato stěrka se opře o obkladačky obklopující spáru a zatlačí tak natryskanou spárovou hmotu do spáry. Tryska je opět připevněna šrouby (mezi spojem je umístěno těsnění).



Obrázek 60 Konstrukce efektoru pro nanášení spárovací hmoty

Spárovací tmel je z nádoby čerpán stejným způsobem jako adhezivum – viz předchozí podkapitola

5.5. Výsledná sestava robotu



Obrázek 61 Sestava robotu

Výsledná sestava je popsána na obrázku 61. Roboty Yaskawa GP7 a MiR 250 jsou propojeny montážní deskou. Na montážní desce jsou upevněny veškeré další periferie – vývěva, čerpadlo, motor čerpadla a nádoba na média. Na desce je rovněž upevněn beacon pro řízení motoru – viz kapitoly níže. Na desce jsou vyhotovena dvě obdélníková vybrání – získá se tak přístup k datovým vstupům a výstupům podvozku MiR 250.

5.6. Řídící systém

Pro řízení robotu byl zvolen řídící systém YRC 1000 od firmy Yaskawa [45]. Řídící systém slouží primárně pro řízení robotů Yaskawa, disponuje ale standardními I/O připojeními (celkově v základu podporuje 40 vstupních a 40 výstupních signálů) a je tak schopen zároveň fungovat jako standardní PLC. V případě potřeby je možné zapojit rozšiřující karty pomocí 2 PCIe a 2 PCI slotů. Řídící systém je napájen standardním trojfázovým 380 V / 50 Hz zdrojem

Obrázek 62 Řídící systém YRC 1000 [45]

Řídící systém bude umístěn mimo podvozek robotu na stojanu. Všechny kabely vystupující z robotu do řídícího systému budou uspořádány do svazku tak, aby co nejméně vadily práci robotu.

Pro ochranu a uspořádání kabelů nemůže být použit tradiční energetický řetěz – robot by se nemohl pohybovat ve všech potřebných směrech. Vhodné jsou například řetězy typu ROTOTRAX [46]. Robot tak bude schopný vykonávat pohyby ve všech potřebných osách a kabely budou zároveň chráněny před vnějšími vlivy.

Obrázek 63 Energetický řetěz ROBOTRAX [46]

Níže jsou popsány jednotlivé vstupy / výstupy PLC. Součástí práce není podrobný popis programování a funkce PLC (náplň práce je primárně konstrukční). Popis funkce robotu (z kterého by vyplynul postup programování robotů/PLC) je uveden v příští kapitole.

Tabulka 29 Výpis signálů PLC

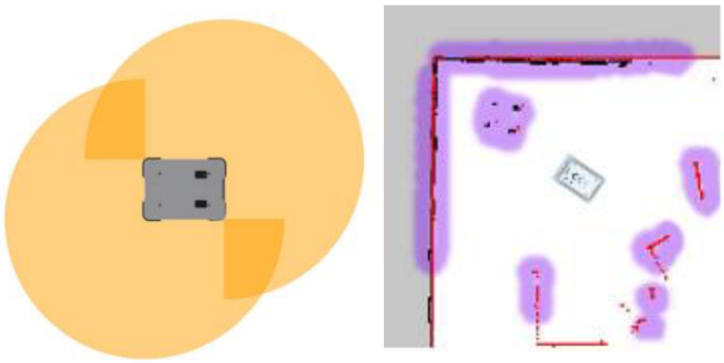
PLC – vstupní signály	
Signál	**Poznámka**
Signály měřiče sil/momentů	Slouží k vyhodnocení správnosti položení obkladačky – při překročení dané hodnoty PLC zastaví proces
Signál z podvozku	Podvozek odešle signál z podvozku při dojetí do požadované polohy
Signál z podvozku – SAFETY	Podvozek odešle signál z podvozku při nebezpečí kolize
Signály z majáčků	Signály zajišťují orientaci robotického ramene v prostoru – viz kapitola níže
Signály z průtokoměru	Pokud dojde k fluktuaci průtoku adheziva, PLC vyhodnotí signál a zastaví proces
PLC – výstupní signály	
Pokyn pro spuštění motoru čerpadla	-
Pokyn pro spuštění vývěvy	-
Pokyny pro podvozek	Po dokončení operací využívajících rameno – pokyn pro podvozek, aby se začal pohybovat do další pozice
Pokyn pro ventil – odfuk vzduchu	Při potřebě položení obkladačky se otevře ventil, který zamezí přístupu vakua na efektor – obkladačka se „odlepí“
Pokyn pro otevření/uzavření mechanismu prvku pro výměnu nástrojů	-

6. PRACOVNÍ POSTUP

6.1. Orientace robotu v prostoru, bezpečnost

Robot MiR 250 disponuje dvěma laserovými senzory. Těmito lasery je schopen pokrýt 360 °kolem vozíku. Lasery doplňují dvě 3D kamery umístěny na přední straně robotu. Před samotným začátkem procesu bude robot mapovat pracovní prostor tak, aby byl schopen detekovat všechny překážky. Statickým překážkám se bude po naskenování místnosti automaticky vyhýbat [47]. Příklad takto naskenovaného prostoru je na obrázku níže – červenými linkami jsou reprezentovány překážky, kterým se robot bude automaticky vyhýbat.

Robot je rovněž vybaven infračervenými senzory umístěnými v rozích přístroje, které směřují směrem dolů – zabrání tak kolizi s nízkými předměty (palety apod.). Mají relativně krátký dosah a zachycují pouze předměty, které unikly laserovým senzorům.



Obrázek 64 Orientace podvozku v prostoru [47]

Robotu je po naskenování prostoru možné vyznačit jednotlivé zóny – viz obrázek níže. Lze tak označit pracovní prostor (podél obkládané zdi a cesty zeď → paleta s obkladačkami a zeď → stojan s nástroji) a například zakázaný prostor (prostor na stavbě kde probíhají jiné práce a kde by robot mohl zbytečně kolidovat s operátory).

Obrázek 65 Vyznačení zón mobilního robotu [47]

Další definování prostoru pro podvozek probíhá za pomoci tzv. markerů. Markery jsou značky, které určí bod v prostoru, v němž probíhá určitá operace. Systém MiR obsahuje celkem 3 markery – V marker, VL marker a L marker.

Obrázek 66 Markery podvozku MiR 250 [47]

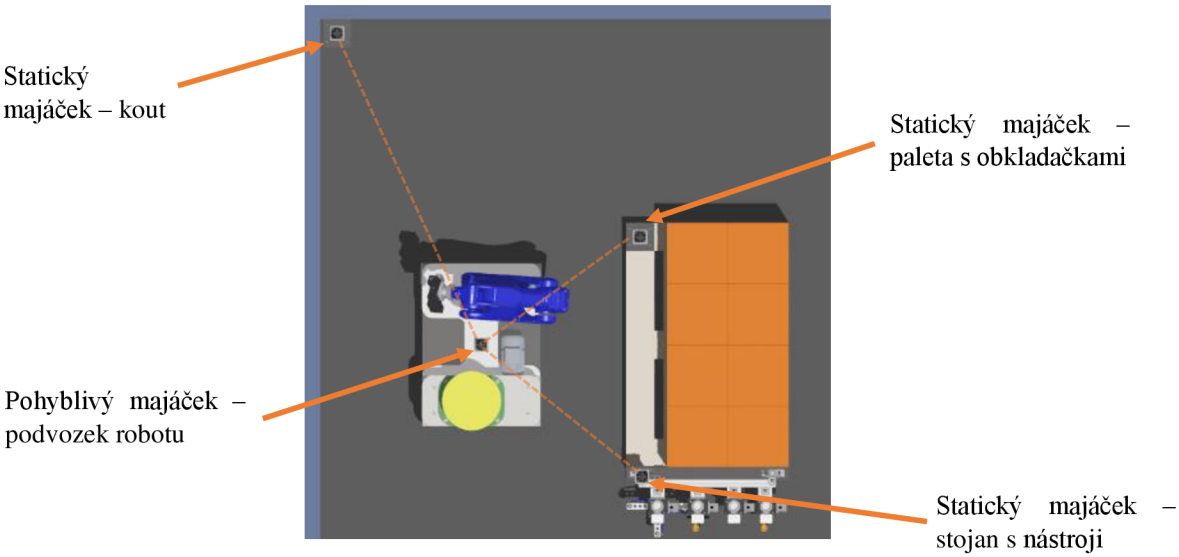
V marker je nejjednodušší – označuje pozici, ke které robot pouze přijede. Nezáleží při tom na přesnosti a orientaci robotu v prostoru. VL marker je podobný, zadává se ale orientace v prostoru – úhel vůči souřadnému systému. L marker funguje stejně, nezadávají se ale žádné úhly. Robot je automaticky orientován „bokem“ k definovanému bodu.

Markery definují základní body pracovního procesu. Bude označen roh místnosti (počáteční bod obkládání), paleta s obkladačkami a zásobník s efektory.

Pro navádění robotického ramene budou použity majáčky od firmy Marvelmind robotics [48]. Celkově se použijí dva typy majáčků – mobilní (na podvozku) a statický (v pracovním prostoru). Po spuštění statické majáčky (napájené bateriemi) navážou kontakt a určí vzájemnou polohu všech majáčků pomocí ultrazvukových signálů. Pro mapování 3D prostoru jsou třeba 3 statické majáčky (pro 2D tracking stačí pouze 2), mezi kterými je volný prostor, kde nedojde k přerušení signálu. Poloha mobilního majáčku je určena ze zpoždění dopadu signálů na mobilní majáček.

Obrázek 67 Majáček pro navigaci robotického podvozku [48]

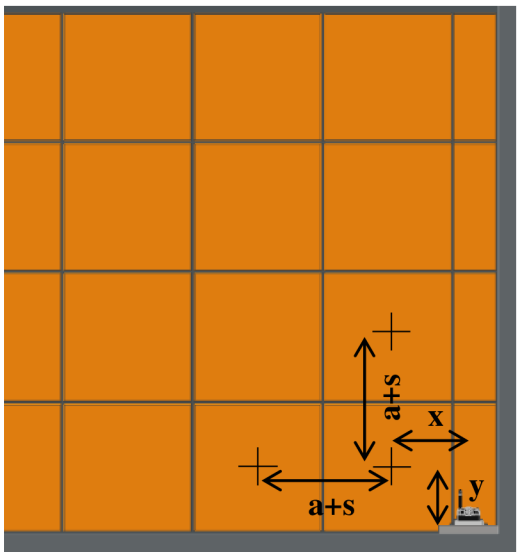
Majáčky budou použity dle obrázku níže. Použity budou celkem 3 statické a 1 pohyblivý majáček.



Obrázek 68 Majáčky pro navigaci ramene

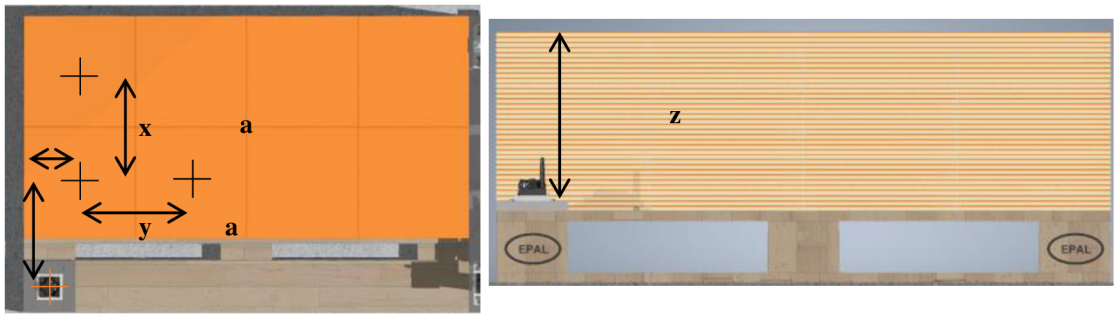
Níže jsou popsány jednotlivé majáčky:

- **Statický majáček – kout místnosti** majáček bude použit pro prvotní orientaci v prostoru a vytyčí se jím základní pracovní prostor ramene. Z polohy majáčku se vypočte prvotní bod, od kterého budou probíhat další operace. Polohy dalších obkladaček jsou vypočteny ze šířky spáry (označeno jako s, standardně 5 mm, pokud bude spárováno efektorem navrženým v této práci) a velikosti obkladačky (velikost obkladačky označena jako **a**, viz obrázek níže



Obrázek 69 Statický majáček – kout místnosti

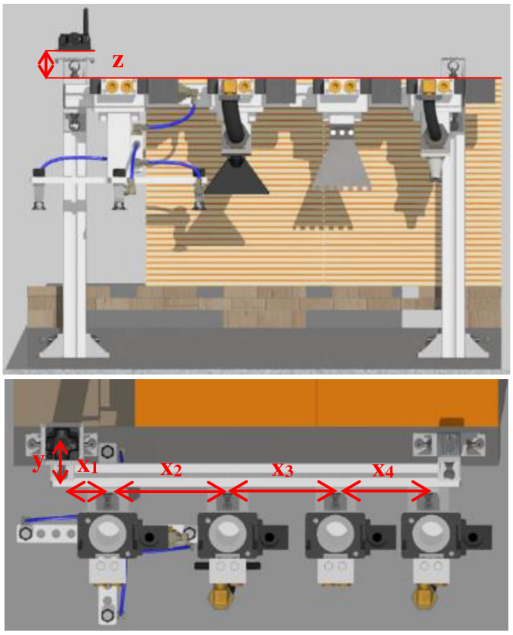
- **Statický majáček – paleta s obkladačkami**. Majáček bude použit pro nalezení obkladaček na paletě. Úspěšné uchopení bude potvrzeno senzorem sil a momentů na efektoru robotu. Vzdálenost středů jednotlivých obkladaček (na obrázku níže definována jako **a** je určena jako velikost strany obkladačky.



Obrázek 70 Statický majáček – paleta s obkladačkami

- **Statický majáček – stojan s nástroji**. Majáček bude využit pro nalezení nástrojů. Od tohoto majáčku bude vypočtena poloha jednotlivých nástrojů pro výměnu.

- **Pohybující se majáček – majáček přímo na podvozku**. Od tohoto majáčku budou počítány vzdálenosti mezi jednotlivými statickými majáčky



Obrázek 71 Statický majáček – stojan s nástroji

Celkový robot bude řízen jako kombinace řízení podvozku a ramene, tj. bude muset být zajištěno propojení mezi PLC, robotem a ramenem. Při dosažení požadované polohy např. podvozek vyšle signál PLC, že dorazil do požadované polohy a lze započnout proces obkládání. Po přijetí signálu se napolohuje rameno a položí obkladačku do požadované polohy.

Bezpečnost je zabezpečena bezpečnostními senzory zmíněnými výše. Samotný podvozek má bezpečnostní PLC, které vyhodnocuje bezpečnostní rizika. Při přiblížení personálu do určité vzdálenosti se vozík zpomalí. Pokud personál překročí kritickou vzdálenost a přiblíží se příliš, vozík se zastaví. Do PLC bude vozík vysílat SAFETY výstupy – pokud se personál příliš přiblíží, zastaví se tak nejen vozík, ale i robotické rameno.

6.2. Popis jednotlivých kroků

A) PŘÍPRAVA PRACOVIŠTĚ

- Operátor zkontroluje zdi – musí být čisté, rovné, nesmí se na nich hromadit vlhkost (hrozí vznik bublin). Případné specifické požadavky na kvalitu zdi jsou uvedeny v materiálovém listu adheziva – operátor musí zkontrolovat i tyto požadavky.
- Operátor dopraví jednotlivé komponenty na pracoviště – konkrétně robot, paletu s obkladačkami, stojan s efektory.
- Operátor umístí laserové majáčky do předepsaných pozic (viz předchozí podkapitola)
- V manuálním módu se „projede“ místnost – robot si naskenuje obrys místnosti a překážky
- V programu robotického vozíku se zvýrazní jednotlivé důležité body (kout místnosti, pozice palety s obkladačkami, stojanu s nástroji) pomocí markerů. Dále je zvýrazněn pracovní prostor (zóna kolem zdi, palety a stojanu s nástroji) a zakázané zóny.
- Do nádoby pro adhezivum musí být doplněno dostatečné množství adheziva.

B) POLOŽENÍ KRAJNÍHO SLOUPCE OBKLADAČEK

- Krajní sloupec obkladaček na začátku a na konci pokládání musí být položen manuálně – robot není schopen oříznout obkladačku na požadovaný rozměr.

C) UPŘESNĚNÍ PRACOVNÍCH PODMÍNEK, SPUŠTĚNÍ PROGRAMU

- V programu je upřesněn počet a formát obkladaček (ve formátu **A** x **B** obkladaček). Velikost spáry je vždy dána – hodnota 5 mm. Z programu jsou z daných parametrů vypočítány jednotlivé souřadnice obkladaček a velikost plochy, na kterou se nanáší adhezivum.
- Po vykonání všech předchozích kroků je program spuštěn

D) VÝMĚNA EFEKTORŮ

- Mezi jednotlivými operacemi musí být vždy vyměněn efektor. Výměna probíhá pomocí nástroje EWS od firmy Schunk
- Pro jednotlivé nástroje je zkonstruován stojan, na němž je umístěn majáček pro orientaci (viz předchozí podkapitola).

E) NANÁŠENÍ ADHEZIVA

- Adhezivum je nanášeno od spodního okraje zdi (tj. od „nulového bodu“ daného majáčkem). Nejdříve jede tryska, za ní adhezivum „uhlazuje“ rovná stěrka
- Až bude adhezivum naneseno do požadované výšky, robot započne nanášení dalšího „sloupce“. Takto bude pokračovat, dokud vhodně dosáhne na zeď. Jakmile nedosáhne, vyšle signál a podvozek popojede rovnoběžně se směrem nanášení adheziva.
- V případě kolize s nerovností na zdi detektor sil a momentů zaznamená impuls a proces se zastaví (zabrání se tak poškození efektoru a robot zároveň varuje obsluhu, že je zeď vypouklá; zabrání se tak případným vypouklinám).
- Robot musí nanést jen takové množství adheziva, které je následně schopen před vytvrdnutím obložit. Záleží na typu adheziva, při obkládání menších místností se tento problém většinou nemusí uvažovat.
- V průběhu (např. po doplnění adheziva) a na konci procesu operátor kontroluje kvalitu pokrytí adhezivem, případné nekonzistentnosti může „zamáznout“ stěrkou.

F) UHLAZENÍ ADHEZIVA ZUBOVOU STĚRKOU

- Efektor se zubovou stěrkou jede stejnou dráhou, jako efektor pro nanášení adheziva.
- Stejně jako v předchozím kroku jsou případné kolize snímány senzorem sil a momentů.

G) OBKLÁDÁNÍ ZDI

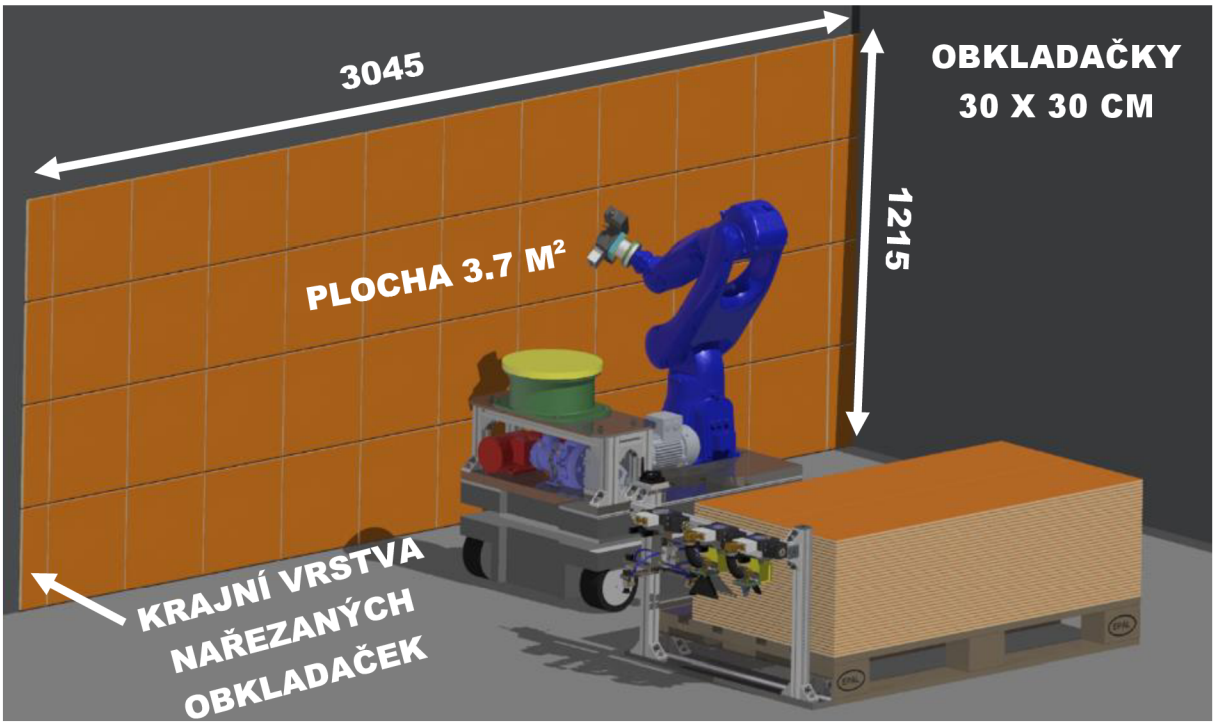
- Robot položí první obkladačku dle pozice majáčku, poloha zbylých obkladaček je odvozena od polohy první obkladačky a šířky spáry (ZAMĚŘOVÁNÍ VIZ OBRÁZEK)
- Obkladačky jsou uchopovány z palety
- Při pokládání obkladačky do adheziva musí působit určitý odpor proti efektoru – tato síla bude změřena senzorem sil a momentů (zaručí se tak, že obkladačka opravdu „zapadne“ do adheziva a nespadne na zem)
- Při nesprávném položení obkladačky (kdy se například nedopatřením položí obkladačka na okraj jiné obkladačky) senzor sil a momentů detekuje moment – po detekování tohoto momentu se zastaví proces.
- Pro případnou kontrolu obkladu se doporučuje kontrola v tzv. otevřené době lepidla – aby mohla proběhnout případná oprava

H) SPÁROVÁNÍ

- Proces spárování probíhá až po úplném zaschnutí adheziva
- Místo adheziva je do nádoby doplněna spárovací hmota
- Pozice jednotlivých spár je daná pozicí jednotlivých obkladaček (viz obrázek), spárová hmota je nanášena odspodu nahoru podobně jako adhezivum

6.3. Parametry procesu

Pro odhadnutí procesních časů bude použita místnost dle obrázku níže. Časy budou pouze odhadnuty – v rámci této práce není možné určit jednotlivé časy. Zároveň předpokládám, že nedojde k žádné poruše a robot nebude mít důvod ke zpomalování (např. z důvodu přítomnosti obsluhy). Časy pro obkládání jsou počítány pro velikost obkladaček 30x30 cm (maximální možná velikost, kterou je robot schopen unést). Pro menší obkladačky se mohou časy obkládání lišit.



Obrázek 72 Vzorová místnost

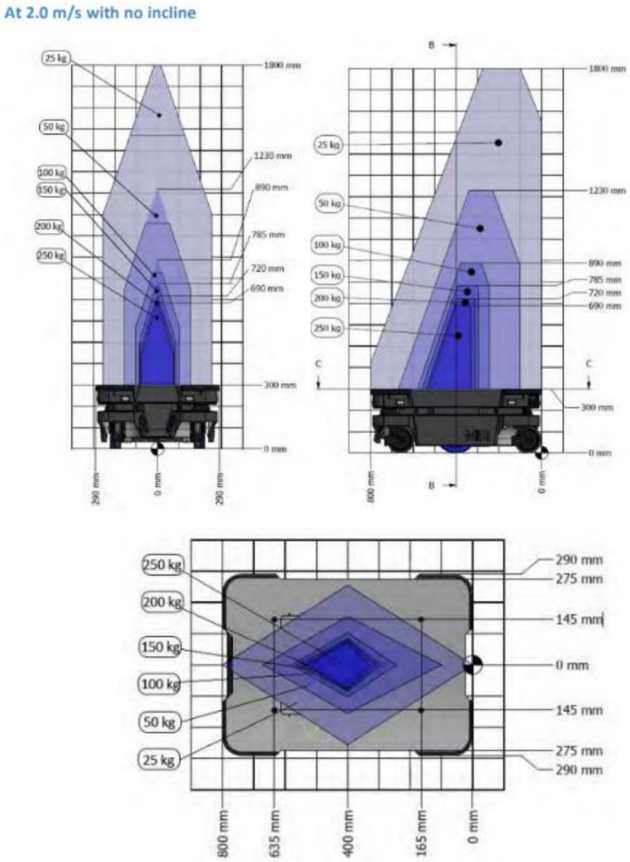
ČAS NANÁŠENÍ ADHEZIVA:

V předchozí kapitole byla navržena rychlost nanášení adheziva 1 m^2 za 161 sekund. Jednoduchým výpočtem lze odvodit, že výše určená plocha 3,7 m^2 bude pokryta za 596 sekund. Nádoba na adhezivum má kapacitu na pokrytí přibližně 0,8 m^2. Na plochu vzorové místnosti bude tedy třeba 5x doplnit adhezivum. Pro doplnění adheziva byly vyčleněny přibližně 2 minut (za předpokladu, že adhezivum je připraveno a operátor pouze dojde k robotu a doplní jej).

Maximální možná rychlost robotu je závislá na poloze těžiště nákladu [47]. Při přepravování větších břemen o velké hmotnosti se tak zabrání převážení robotického podvozku.

Z aplikace Autodesk Inventor bylo zjištěno, že těžiště nákladu robotického podvozku se nachází přibližně 518 milimetrů nad podkladem robotu. Těžiště se zároveň nachází přibližně v samotném středu robotického podvozku. Celková hmotnost nákladu je 178 kg. Tyto poznatky byly srovnány s manuálem robotického podvozku MiR 250 [47]. Bylo zjištěno, že robot může dosáhnout rychlosti 2 ms^{-1}. Povolené polohy těžiště pro jednotlivé hmotnosti při rychlosti 2 ms^{-1} jsou uvedeny na obrázku níže.

Přejetí celkové délky obkládané plochy (3045 mm) tak trvá přibližně 2 sekundy (jde jen o aproximaci, pokud by byla započítávána akcelerace/decelerace při změnách poloh, byl by čas větší; tyto údaje však nebyly dostupné).



Obrázek 73 Poloha těžiště nákladu vozíku

Celková rychlost nanášení je vypočtena jako:

Tabulka 30 Procesní parametry – nanášení adheziva

Popis	Čas
Doplňování adheziva	600 s
Přejíždění do polohy	2 s
Nanášení adheziva	596 s
Celkový čas na nanesení	1198 s

Toto platí pro nanesení adheziva na plochu 3,7 m^2. Přepočtem bylo odvozeno, že přibližná doba nanesení adheziva na 1 m^2 odpovídá:

Tabulka 31 Doba nanesení adheziva na 1m²

Odvozená odhadnutá doba na nanesení 1 m²	5,4 min

Pokládání obkladaček

Při uchopování obkladačky si robot musí vždy dojet k paletě s obkladačkami a zpět do polohy pro obkládání. Z geometrie definované na obrázku je odvozena střední vzdálenost, kterou robot musí urazit na položení jedné obkladačky (tj. průměrná vzdálenost, kterou robot musí urazit na uchopení jedné obkladačky).

Střední vzdálenost je přibližně 762 mm (za předpokladu, že paleta se nachází na středu obkládané plochy se potřebná vzdálenost rovná celkové délce obkládané zdi podělené 4). Je pokládáno celkem 40 obkladaček. To znamená, že střední vzdálenost budu muset urazit 80x. Za předpokladu, že vzdálenost budu projíždět rychlostí 2 m/s, je celkový dopravní čas 122 s.

Pro samotné obkládání byly odhanuty následující časy:

- Otočení robotu k paletě – 2 s
- Přesné najetí na pozici obkladačky – 5 s
- Otočení robotu ke zdi – 2 s
- Přesné umístění obkladačky do pozice na zdi – 5 s

Pozn.: *Časy jsou pouze přibližné, musely by se odladit přímo při práci s robotem. Časy byly ověřeny podle manuálu YASKAWA GP7, robot je schopen tyto pohyby vykonávat. V podstatě se jedná o „rychloposuv“ (natočení ke zdi nebo k paletě) a přesné zapozicování robotu na obkladačku.*

Tj. k uchopení a umístění jedné obkladačky v součtu potřebuji 14 sekund. Na obložení celé zdi budu potřebovat:

Tabulka 32 Procesní parametry – pokládání obkladaček

Popis	Čas
Čas potřebný na obložení navrhnuté zdi	560 s
Čas přepočtený na 1 m^2	2,6 min

Spárování

Spárování je v rámci práce definováno jako proces oddělený od procesu obkládání. Musí totiž probíhat až po obložení zdi a zaschnutí adheziva. Nikdy tak přímo nenavazuje.

Z konstrukční práce vyplývá rychlost nanášení spárovací hmoty 373 mm/s. Navržená zeď obsahuje přibližně 23 metrů spár. Teoreticky by tedy trvalo 62 sekund, než by byla vyspárována celá zeď.

Na vyspárování této délky spár je třeba přibližně 0,6 litru spárovacího tmele. Tmel tedy stačí do nádoby doplnit pouze jednou. Na doplnění tmelu jsou podobně jako při doplňování adheziva vyčleněny 2 minuty.

Celková rychlost nanášení spárovacího tmelu odpovídá:

Tabulka 33 Procesní parametry – spárování

Popis	Čas
Doplňování tmele	120 s
Přejíždění do polohy	2 s
Nanášení tmelu	62 s
Celkový čas spárování	184 s

Vyspárování 1 m spáry, včetně doplnění tmelu trvá přibližně 2 minuty.

7. EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

7.1. Odhad ceny robotu

Pro odhad ceny robotu byly sečteny ceny všech komponent robotu (jak nakupovaných, tak vyrobených). Níže se nachází tabulka s výpočtem přibližné ceny, v příloze jsou rozepsány podrobné protokoly s odhadem ceny všech komponent. Ceny byly odhadnuty v dubnu 2022 a do budoucna se mohou změnit.

Tabulka 34 Odhad ceny zařízení

Název komponenty	Odhadnutá cena [EUR]
Hlavní sestava robotu (rob. podvozek, rameno a jejich příslušenství)	83 087
Efektor – gripper	2 840
Efektor – stěrka a tryska adheziva	2 653
Efektor – tryska spárovací hmoty	2 660
Rám – výměna nástrojů	442
PLC, řídící systém	22 000
CELKOVÁ CENA ZAŘÍZENÍ	91 682

Pozn.: *Cena PLC (a celkově celé řídící části stroje) je pouze odhadnuta. V době psaní práce nebyl nalezen spolehlivý zdroj, který by mohl dostatečně přiblížit cenu této části obkladače.*

7.2. Ekonomické zhodnocení procesu robotizace obkládání

Pro ekonomické zhodnocení procesu bude opět použit příklad z podkapitoly 6.3. Tj pro pokládání keramického obkladu o velikosti 300x300 mm. Při ekonomickém zhodnocení jsou uvažovány pouze procesy nanášení adheziva, pokládání obkladaček a spárování.

Pro srovnání manuálního a automatizovaného procesu byla zjištěna následující cena obložení 1 m2 zdi (cena zahrnuje nanesení adheziva a spárování a nezahrnuje přípravné práce). Cena byla čerpána z [49]; byla zjištěna k dubnu 2022 a může se změnit.

Tabulka 35 Cena manuálního obkladu

Cena manuální montáže keramického obkladu vč. spárování (velikost obkladaček 300x300 mm)	675 Kč / m^2

Vzhledem k tomu, že robot nepracuje v nepřetržitém provozu (na rozdíl od průmyslových robotů), lze návratnost robotu pouze odhadnout. Pokud robot bude pracovat za stejnou cenu, jako je cena manuální montáže (dle tabulky výše), náklady za stroj se vrátí po obložení přibližně 3 333 m^2.

Pro další ekonomické výpočty bylo předpokládáno, že rok má 250 pracovních dnů a zařízení pracuje v jednosměnném provozu a je obkládána jedna místnost denně. Za jeden den je tedy robot dopraven na pracoviště, je připraven dle postupu výše. Zeď je připravena tak, aby na ni robot mohl spolehlivě nanášet adhezivum a pokládat obkladačky.

Pro účely odhadu byla stanovena velikost obkládané zdi 5 m^2. Při výpočtech návratnosti pro firmu zabývající se obklady by se pro výpočet návratnosti mohla využít průměrná velikost obkládaných zdí, které byly do té doby obkládány manuálně.

Za předpokladů definovaných výše vyjde, že se robot zaplatí za přibližně 2,7 roku.

8. ZHODNOCENÍ A DISKUZE

Navržený robot automatizuje proces, který je neergonomický a který může způsobit dlouhodobé zdravotní problémy. Při práci robotu musí být na pracovišti přítomen operátor, který ale není 100% vytížen a nemusí být vyučeným zedníkem. Robot tak může nahradit obtížně dostupnou (v době psaní práce) kvalifikovanou pracovní sílu silou nekvalifikovanou.

Robot je schopný vykonávat všechny potřebné technologické operace – tj. nanášení adheziva, obkládání a spárování.

V rámci práce byla navržena samotná koncepce robotu, všechny efektory a pracovní proces automatického obkládání zdí. Žádné podobné zařízení poskytující možnost kompletní automatizace procesu obkládání zdí nebylo nalezeno. Navržený postup sice není ověřený v praxi, nabízí ale základní unikátní myšlenku, která může být ověřena v dalších, praktičtěji orientovaných pracích.

Hlavní nevýhodou robotu je, že není úplně autonomní. Jedním ze způsobů, jak zvýšit míru autonomnosti robotu, by bylo navržení lepšího způsobu orientace robotu v prostoru – tak, aby robot byl schopen zaměřit všechny potřebné body bez zásadnějších zásahů obsluhy. K dalšímu přispění k samostatnosti robotu by mohlo přispět zvýšení kapacity nádoby na adhezivum a spárovací tmel. Současná kapacita nevystačí ani na pokrytí 1 m^2 zdi. Při použití většího zásobníku by se ale musel použít větší podvozek (tak, aby se nádoba vešla na robot).

Robot s vyšší nosností by se mohl využít při pokládání velkoformátových obkladů. Velkoformátové obkladačky jsou velmi náročné na manuální manipulaci a je tak relativně obtížné je přesně položit na požadované místo.

Místo robotického podvozku MiR 250 by stál za zvážení návrh vlastní konstrukce podvozku. Podvozek by tak mohl přesně vyhovovat potřebám procesu obkládání (např. větší prostor pro nádobu na adhezivum, viz odstavec výše). Jednou z možností úpravy konstrukce by mohla být změna napájení stroje. První možnou variantou je akumulátor umístěný na podvozku, který by napájel jak podvozek, tak všechny ostatní komponenty (v současné době je akumulátorem napájen jenom podvozek, zbylé komponenty jsou napájeny externě). Zvýší se tak manévrovatelnost robotu („nepotáhne“ za sebou kabel) a odpadne nutnost zajištění zdroje elektrické energie na stavbě. Druhou variantou je externí napájení všech komponent, tj. jak podvozku, tak všech ostatních prvků. Odebráním akumulátorů z konstrukce by se tak značně snížila hmotnost celé konstrukce.

Robot může nalézt větší využití ve velkých prostorách. Z textu výše je patrné, že robot je schopen obkládat velmi rychle. Kvůli potřebnému dlouhému času na přípravu robotu a zmapování pracovního prostoru tato vlastnost robotu není dostatečně využita.

Při obsluhování velkých prostor by bylo dobré uvažovat o větší míře automatizace robotu. Mohly by se tak robotizovat činnosti jako je řezání krajních obkladaček, nanášení penetračního obkladu na zeď nebo čištění obkladaček po vyspárování zdi.

Tato práce měla primárně konstrukční charakter (tj. řešila se primárně „hardwarová“ část). Dalším krokem při realizaci stroje je návrh řízení („softwarovou část“). V práci je nastíněn hrubý princip fungování robotu, tj. při dalším řešení by bylo třeba vytvořit PLC program a řešit propojení PLC, robotu Yaskawa a podvozku.

9. ZÁVĚR

Cílem této práce bylo navrhnout robot pro obkládání zdí. V rámci práce byl vytvořen model a kompletní výrobní dokumentace vítězné návrhové varianty, která byla vybrána pomocí multikriteriální analýzy. Hlavní součástí obkladače stěn je robot Yaskawa Motoman GP7 a robotický podvozek MiR 250. Všechny efektory byly navrženy v průběhu práce. Robotické rameno je k podvozku připevněno pomocí desky, na které je umístěno čerpadlo adheziva, nádoba pro adhezivum a vývěva. Zařízení je koncipováno tak, aby mohlo pracovat s různými velikostmi obkladů. Zařízení slouží primárně pro obkládání malých prostor. Pro plynulý provoz robotu je sice potřeba operátor, nemusí se ale jednat o vyučeného obkladače nebo zedníka-obkladače. Robot tak ušetří kvalifikovanou pracovní sílu, která může (v případě zedníka) vykonávat práci jinde.

Robot je schopen uchopovat obkladačky o velikosti 10 x 10 cm až 30 x 30 cm. Všechny nástroje jsou uzpůsobeny práci s těmito formáty obkladaček.

Práce obsahuje stručný popis řízení robotu a samotného pracovního postupu. Pracovní postup obkládání není plně automatizován a stále je potřeba přítomnost operátora, který pomáhá robotu definovat pracovní prostor, musí řezat a položit obkladačky na krajní straně stěny a zároveň musí doplňovat adhezivum do příslušné nádoby.

Bylo odhadnuto, že robotu trvá položit 1 m^2 obkladu o velikosti 30 x 30 mm za přibližně 8 minut (za tento čas nanese adhezivum a položí všechny obkladačky). Pokud by robot obkládal každý den alespoň 5 m^2 zdi, zaplatil by se přibližně za 2,7 roku.

Z odhadu ceny bylo vypočteno, že se stroj zaplatí po obložení 3 333 m^2. Návratnost robotu nelze jednoznačně určit. Samotná návratnost (tj. za jaký časový úsek se robot zaplatí) totiž závisí na tom, jak často a kolik m^2 se robotem bude obkládat.

Z textu práce je patrné, že robotické obkládání zdí má potenciál. Robotizace šetří nedostupnou kvalifikovanou pracovní sílu a je relativně rychlá. Všechny konstrukční a procesní parametry jsou ale pouze teoretické. V této fázi práce není jednoznačně možné určit, zda se robotizace vyplatí; nelze zjistit, jaká je reálná spolehlivost obkládání a jestli je stroj skutečně schopen provádět dané úlohy.

10. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

[1] KOLÍBAL, Zdeněk. *Roboty a robotizované výrobní technologie*. Brno: Vysoké učení technické v Brně – nakladatelství VUTIUM, 2016. ISBN 978-802-1448-285.

[2] BÖTTCHER, Sven. Principles of robot locomotion. In: *Computer Science | Southern Illinois University* [online]. [cit. 2020-08-02]. Dostupné z: http://www2.cs.siu.edu/~hexmoor/classes/CS404-S09/RobotLocomotion.pdf

[3] SIEGWART, Roland a Illah R. NOURBAKHSH. *Autonomous Mobile Robots*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press, 2004. ISBN 9781417561810.

[4] TOPAÇ, Mehmet Murat, Uğur DERYAL, Egemen BAHAR a Güven YAVUZ. Optimal kinematic design of a multi-link steering system for a bus independent suspension: An application of response surface methodology. *Mechanics* [online]. 2015, **21**(5), 404-413 [cit. 2020-08-30]. DOI: 10.5755/j01.mech.21.5.11964. ISSN 2029-6983. Dostupné z: http://mechanika.ktu.lt/index.php/Mech/article/view/11964

[5] KLANČAR, Gregor, Andrej ZDEŠAR, Sašo BLAŽIČ a Igor ÁKRJANC. *Wheeled Mobile Robotics: From Fundamentals Towards Autonomous Systems*. Oxford, United Kingdom: Butterworth-Heinemann, 2017. ISBN 978-0-12-804204-5.

[6] SE-GON ROH, BOKMAN LIM, HYUNPIL MOON, JUNG-SUB LEE, JAE HOON PARK, JA CHOON KOO a HYOUK RYEOL CHOI. Flexible suspension mechanism for stable driving of a differential drive mobile robot. *2013 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems* [online]. IEEE, 2013, 2013, , 5518-5523 [cit. 2020-08-30]. DOI: 10.1109/IROS.2013.6697156. ISBN 978-1-4673-6358-7. Dostupné z: http://ieeexplore.ieee.org/document/6697156/

[7] CHLUD, M. Kinematické struktury pásových podvozků. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, *2017. 50 s.* Vedoucí bakalářské práce Ing. Jiří Tůma.

[8] *TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH PRACÍ II: MODUL 7 - PROCESY VNITŘNÍ A DOKONČOVACÍ - OBKLADY*. Brno: VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ, FAKULTA STAVEBNÍ, 2005.

[9] Buttering Floating. In: *LevelLo* [online]. [cit. 2020-08-30]. Dostupné z: https://levello.cz/blog/detail/buttering-floating-pojem-nejen-pro-nivelacni-system

[10] *Buttering* [online]. In: [cit. 2020-08-30]. Dostupné z: https://levello.cz/blog/detail/buttering-pojem-nejen-pro-nivelacni-system

[11] *Floating* [online]. In: [cit. 2020-08-30]. Dostupné z: https://levello.cz/blog/detail/floating-pojem-nejen-pro-nivelacni-system

[12] LIU, Tianyu, Huixing ZHOU, Yanan DU, Junjie ZHANG, Jianping ZHAO a Yang LI. A Brief Review on Robotic Floor-Tiling. *IECON 2018 - 44th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society* [online]. IEEE, 2018, 2018, , 5583-5588 [cit. 2020-08-30]. DOI: 10.1109/IECON.2018.8591123. ISBN 978-1-5090-6684-1. Dostupné z: https://ieeexplore.ieee.org/document/8591123/

[13] SVOBODA, Luděk. *Stavební hmoty*. 3. vydání. Praha: Luboš Svoboda, 2013. ISBN 978-80-260-4972-2.

[14] Označení keramických obkladů a dlažeb. *Cech obkladačů České republiky* [online]. [cit. 2020-08-30]. Dostupné z: https://www.cech-obkladacu.cz/informace/oznaceni-keramickych-obkladu/

[15] JONGENEEL, J.P.R. *Robotic tiling of rough floors: A design study*. Eindhoven, 2010. Master's thesis. Eindhoven University of Technology, Department of Mechanical Engineering. Vedoucí práce Prof.dr. H. Nijmeijer.
[16] Co je nasákavost obkladových materiálů. *Tzbinfo* [online]. LASSELSBERGER, s.r.o. - značka RAKO [cit. 2020-08-30]. Dostupné z: https://stavba.tzb-info.cz/podlahy-pricky-povrchy/121410-nasakavost-obkladovych-materialu
[17] Označení lepících hmot. *Cech obkladačů České republiky* [online]. [cit. 2020-08-30]. Dostupné z: https://www.cech-obkladacu.cz/informace/znaceni-lepicich-hmot/
[18] LEPÍCÍ HMOTY. *Obklady.cz: Vše, co potřebujete vědět o obkladech* [online]. 2010 [cit. 2020-08-30]. Dostupné z: http://www.obklady.cz/top10/9-SPOJOVACI-MATERIALY/25-LEPICICI-HMOTY
[19] SPÁROVÁNÍ. *Obklady.cz* [online]. [cit. 2021-03-27]. Dostupné z: http://www.obklady.cz/top10/7-POKLADKA-OBKLADU-A-DLAZEB/22-SPAROVANI
[20] Obkládání koupelny krok za krokem. *Český kutil* [online]. [cit. 2021-03-27]. Dostupné z: https://ceskykutil.cz/clanek-10368-obkladani-koupelny-krok-za-krokem
[21] LIU, Tianyu, Huixing ZHOU, Yanan DU, Junjie ZHANG, Jianping ZHAO a Yang LI. A Brief Review on Robotic Floor-Tiling. *IECON 2018 - 44th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society* [online]. IEEE, 2018, 2018, , 5583-5588 [cit. 2020-08-30]. DOI: 10.1109/IECON.2018.8591123. ISBN 978-1-5090-6684-1. Dostupné z: https://ieeexplore.ieee.org/document/8591123/
[22] LEHTINEN, Hannu, Lauri KOSKELA, Hannu SAINIO, Mika MATIKAINEN, Karl-Johan SEREN a Taisto KEMPPAINEN. Development of mobile tile cladding robot system. *8th International Symposim on Automation and Robotics in Construction - Stuttgart, Germany* [online]. 1991, , 919-928 [cit. 2020-08-30]. Dostupné z: https://pdfs.semanticscholar.org/3ffe/7cccd0587cdf60a990b931efaa58beb9e311.pdf
[23] LIU, Tianyu, Huixing ZHOU, Haiming LAN, Yang LI, Qingsheng WANG a Xuena CHE. Robotic floor-tiling platform system design. *IECON 2019 - 45th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*. IEEE, 2019, 2019, , 5269-5274. DOI: 10.1109/IECON.2019.8927700. ISBN 978-1-7281-4878-6. Dostupné také z: https://ieeexplore.ieee.org/document/8927700/
[24] Revel, G.M. Measurement of the Apparent Density of Green Ceramic Tiles by a Non-contact Ultrasonic Method. Exp Mech 47, 637–648 (2007). https://doi.org/10.1007/s11340-006-9032-6
[25] MiR250. *Mobile Industrial Robots* [online]. [cit. 2022-04-06]. Dostupné z: https://www.mobile-industrial-robots.com/solutions/robots/mir250/
[26] Vector - Autonomous Mobile Robot. *Waypoint Robotics* [online]. [cit. 2022-04-06]. Dostupné z: https://waypointrobotics.com/vector-robotic-mobility-platform/
[27] Platform line. *ASTI Mobile Robotics* [online]. [cit. 2022-04-06]. Dostupné z: https://www.astimobilerobotics.com/products/platform-over-1000
[28] IRB 1300. *ABB* [online]. [cit. 2022-04-06]. Dostupné z: https://new.abb.com/products/robotics/cs/prumyslove-roboty/irb-1300
[29] KR CYBERTECH nano. *KUKA* [online]. [cit. 2022-04-06]. Dostupné z: https://www.kuka.com/cs-cz/produkty,-slu%C5%BEby/robotick%C3%A9-syst%C3%A9my/pr%C5%AFmyslov%C3%A9-roboty/kr-cybertech-nano
[30] M-10iD/12. *Fanuc* [online]. [cit. 2022-04-06]. Dostupné z: https://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty/str%C3%A1nka-filtru-robot%C5%AF/%C5%99ada-m-10/m-10id-12

[31] GP7. *Yaskawa Europe* [online]. [cit. 2022-04-06]. Dostupné z: https://www.yaskawa.eu.com/products/robots/handling-mounting/productdetail/product/gp7_692

[32] Theoretical Holding Force of a Suction Cup. Schmalz [online]. [cit. 2021-04-03]. Dostupné z: https://www.schmalz.com/en/vacuum-knowledge/the-vacuum-system-and-its-components/system-design-calculation-example/theoretical-holding-force-of-a-suction-cup/

[33] Vacuum Generator Selection [online]. [cit. 2021-04-03]. Dostupné z: https://www.schmalz.com/en/vacuum-knowledge/the-vacuum-system-and-its-components/system-design-calculation-example/vacuum-generator-selection/

[34] PICHNIARCZYK, Paweł a Małgorzata NIZIURSKA. Properties of ceramic tile adhesives modified by different viscosity hydroxypropyl methylcellulose. *Construction and Building Materials* [online]. **2014**(12), 227-232 [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: doi: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.12.110

[35] Curve Generator. *Viking Pump* [online]. [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: https://curve.vikingpump.com/

[36] ŠOB, František. *Hydromechanika*. Vyd. 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2008. ISBN 978-80-214-3578-0.

[37] *TECATRON GF40 black: PPS FILLED WITH 40% GLASS FIBRE* [online]. [cit. 2021-04-05]. Dostupné z: https://www.ensingerplastics.com/en/shapes/products/tecatron-gf40-black#/product-technical-detail-collapse-item-0-lvl-1

[38] Katalogy RAKO [online]. [cit. 2021-04-07]. Dostupné z: https://www.rako.cz/cs/ke-stazeni/katalogy-rako

[39] *Obkládání v interiéru: Obkládání obytných místností* [online]. [cit. 2021-04-05]. Dostupné z: https://www.knauf.cz/file/3407

[40] PFYN 25 FPM-65 G1/8-AG. *Schmalz* [online]. [cit. 2022-04-06]. Dostupné z: https://www.schmalz.com/en-fi/vacuum-technology-for-automation/vacuum-components/vacuum-suction-cups/suction-cups-for-the-electronics-industry/flat-suction-cups-pfyn-304939/10.01.01.00185

[41] Vacuum pumps and pumpsets. *Vuototecnica* [online]. [cit. 2022-04-06]. Dostupné z: https://www.vuototecnica.biz/products.php?cat=111&lang=en

[42] *IV 3 3/2 G3/8-IG G3/8-AG 24V-DC* [online]. [cit. 2022-04-06]. Dostupné z: https://www.schmalz.com/en/vacuum-technology-for-automation/vacuum-components/valve-technology/solenoid-valves/inline-valves-iv-308658/10.05.01.00172/

[43] 4124A SERIES. *VIKING PUMP* [online]. [cit. 2022-04-06]. Dostupné z: https://www.vikingpump.com/pumps/universal/4124a-series

[44] Hydraulic hoses with fittings. *TAMESON* [online]. [cit. 2022-04-06]. Dostupné z: https://tameson.com/tubes-hoses/hydraulic/with-fitting/

[45] YRC1000. *Yaskawa Europe* [online]. [cit. 2022-04-06]. Dostupné z: https://www.cz.yaskawa.eu.com/products/robots/controller/productdetail/product/yrc1000_583

[46] *ROBOTRAX* [online]. [cit. 2022-04-06]. Dostupné z: https://www.grainger.com/product/ROBOTRAX-Cable-and-Hose-Carrier-R100-4NGC2

[47] *MiR250 Quick Start Manual*, 07/2020

[48] Beacon HW v4.9. *Marvelmind Robotics* [online]. [cit. 2022-04-06]. Dostupné z: https://marvelmind.com/product/beacon-hw-v4-9/#technical-details

[49] Obkladači. *Ceníky řemesel* [online]. [cit. 2022-04-09]. Dostupné z: https://www.cenikyremesel.cz/ceniky/obkladaci

[50] *Keyence Clamp-On Sensor Catalogue: FD-Q Series*. 2016

11. SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

11.1. Seznam tabulek

Tabulka 1 Příklady uspořádání 3 kinematických dvojic v poloh. ústrojí robotu [1].... 19
Tabulka 2 Příklady provedení náhonu koly [3]... 23
Tabulka 3 Příklady konstrukce pásového podvozku [1]... 28
Tabulka 4 Tolerance pro pokládání obkladaček [12]... 31
Tabulka 5 Tolerance pro výrobu obkladaček [15]... 33
Tabulka 6 Rozdělení obkladaček dle nasákavosti [16]... 34
Tabulka 7 Výčet možných technologických operací... 43
Tabulka 8 Výběr robotického podvozku... 44
Tabulka 9 Výběr robotického ramene... 45
Tabulka 10 Výčet navržených variant... 47
Tabulka 11 Kritéria hodnocení... 52
Tabulka 12 Vysvětlení hodnocení -- varianta 1... 53
Tabulka 13 Vysvětlení hodnocení -- varianta 2... 54
Tabulka 14 Vysvětlení hodnocení -- varianta 3... 54
Tabulka 15 Hodnocení kriteriální analýzy... 55
Tabulka 16 Rozbor automatické výměny efektoru... 57
Tabulka 17 Rozbor gripperu pro uchopení obkladaček... 58
Tabulka 18 Rozbor trysky pro nanášení adheziva... 59
Tabulka 19 Rozbor trysky pro nanášení spárovací hmoty... 60
Tabulka 20 Parametry zvolených přísavek... 63
Tabulka 21 Parametry vybrané vývěvy... 64
Tabulka 22 Vlastnosti ventilu pro odfuk vakua... 66
Tabulka 23 Parametry vybraného čerpadla... 67
Tabulka 24 Pohon čerpadla pro čerpání adheziva... 68
Tabulka 25 Specifikace hadice pro čerpání adheziva... 69
Tabulka 26 Vypočtené veličiny při čerpání adheziva... 70
Tabulka 27 Závislost velikosti zubu na velikosti obkladačky... 72
Tabulka 28 Hodnoty pro čerpání spárové hmoty... 76
Tabulka 29 Výpis signálů PLC... 80
Tabulka 30 Procesní parametry – nanášení adheziva... 89
Tabulka 31 Doba nanesení adheziva na 1m^2... 90
Tabulka 32 Procesní parametry – pokládání obkladaček... 90
Tabulka 33 Procesní parametry – spárování... 91
Tabulka 34 Odhad ceny zařízení... 93
Tabulka 35 Cena manuálního obkladu... 93

11.2. Seznam obrázků

Obrázek 1 Popis kinematického řetězce robotu (převzato a upraveno z [1]) 17
Obrázek 2 Konstrukční provedení translační kinematické dvojice ([1], upraveno) 18
Obrázek 3 Rotační KD bez omezení úhlu otáčení (převzato a upraveno z [1]) 18
Obrázek 4 Rotační KD s omezením úhlu otáčení (převzato a upraveno z [1]) 18
Obrázek 5 Základní uspoř. Poloh. ústrojí se 3 stupni volnosti (převz. a upr. z [1]) 19
Obrázek 6 Orientační ústrojí se třemi stupni volnosti [1] 20
Obrázek 7 Základní provedení kol (převzato a upraveno z [2]) 22
Obrázek 8 Synchronní řízení robotu ([3], upraveno) 24
Obrázek 9 Ackermanovo řízení robotu ([4], upraveno) 24
Obrázek 10 Všesměrová kola [5] 24
Obrázek 11 Řízení robotu s všesměrovými koly [5] 25
Obrázek 12 Konstrukce odpružení podvozku 26
Obrázek 13 Princip odpružení podvozku 26
Obrázek 14 Struktura gumového pásu 27
Obrázek 15 Koncepce pásového pohonu (převzato a upraveno z [7]) 27
Obrázek 16 Metody nanášení adheziva (převzato, upraveno z [9],[10],[11]) 30
Obrázek 17 Symboly pro popis vlastností obkladaček ([14], upraveno) 34
Obrázek 18 Celoplošné spárování a aplikace spárovací hmoty přímo do spáry [20] ... 36
Obrázek 19 Schéma finského robotického obkladače zdí [22] 38
Obrázek 20 Plocha obsluhovatelná finským obkladačem [22] 38
Obrázek 21 Gripper finského obkladače [22] 39
Obrázek 22 Definice souřadného systému [22] 39
Obrázek 23 Robotický pokladač dlaždic [23] 40
Obrázek 24 Zaměření středu dlaždice [23] 41
Obrázek 25 MiR250, převzato z [25] 44
Obrázek 26 Waypoint Vector, převzato z [26] 44
Obrázek 27 ASTI Platform, převzato z [27] 45
Obrázek 28 ABB IRB 1300 [28] 45
Obrázek 29 KUKA KR CYBERTECH nano[29] 45
Obrázek 30 Fanuc M-10Id/12 [30] 46
Obrázek 31 YASKAWA MOTOMAN GP7 [31] 46
Obrázek 32 Konstrukční varianta 1 47
Obrázek 33 Konstrukční varianta 2 47
Obrázek 34 Konstrukční varianta 3 48
Obrázek 35 Návrh gripperu 48
Obrázek 36 Návrh trysky na nanášení adheziva 49
Obrázek 37 Návrh trysky na nanášení spárovacího tmelu 49
Obrázek 38 Návrh efektoru pro očištění obkladaček 50
Obrázek 39 Návrh zubové stěrky 50
Obrázek 40 Návrh trysky pro nanášení penet. podkladu 51
Obrázek 41 Prvek pro výměnu nástrojů 61
Obrázek 42 Montáž prvku pro výměnu nástrojů 61
Obrázek 43 Síla působící při zdvihu obkladačky (převzato z [25], upraveno) 62
Obrázek 44 Síly působící těsně před pokládáním obkladačky (převzato z [25]) 63
Obrázek 45 Přísavka Schmalz [40] 63

Obrázek 46 Vývěva VTS2 [41] ... 64
Obrázek 47 Konstrukce vakuového gripperu ... 65
Obrázek 48 Montáž přísavky ... 65
Obrázek 49 Ventil pro odfuk vakua [42] ... 66
Obrázek 50 Čerpadlo Viking Pump H4124 [43] ... 67
Obrázek 51 Výběr čerpadla -- graf průtok – otáčky čerpadla ... 67
Obrázek 52 Výběr čerpadla -- graf výkon – otáčky čerpadla ... 68
Obrázek 53 Motor pro pohon čerpadla ... 68
Obrázek 54 Hadice pro čerpání adheziva [44] ... 69
Obrázek 55 Průtokoměr KEYENCE FD-Q20C [50] ... 71
Obrázek 56 Konstrukce trysky adheziva ... 71
Obrázek 57 Ověření rovnoměrnosti toku adheziva ... 73
Obrázek 58 Deformace trysky ... 74
Obrázek 59 Sestava čerpání spárovací hmoty ... 75
Obrázek 60 Konstrukce efektoru pro nanášení spárovací hmoty ... 77
Obrázek 61 Sestava robotu ... 77
Obrázek 62 Řídící systém YRC 1000 [45] ... 78
Obrázek 63 Energetický řetěz ROBOTRAX [46] ... 79
Obrázek 64 Orientace podvozku v prostoru [47] ... 81
Obrázek 65 Vyznačení zón mobilního robotu [47] ... 82
Obrázek 66 Markery podvozku MiR 250 [47] ... 82
Obrázek 67 Majáček pro navigaci robotického podvozku [48] ... 83
Obrázek 68 Majáčky pro navigaci ramene ... 83
Obrázek 69 Statický majáček – kout místnosti ... 84
Obrázek 70 Statický majáček – paleta s obkladačkami ... 84
Obrázek 71 Statický majáček – stojan s nástroji ... 85
Obrázek 72 Vzorová místnost ... 88
Obrázek 73 Poloha těžiště nákladu vozíku ... 89

12. SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1……Výkresová dokumentace
Příloha 2…… Myšlenková mapa systémového rozboru
Příloha 3…….. 3D modely
Příloha 4……Protokol nacenění robotu