



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 DOPRAVNÍKOVÉ NÁSTAVBY MOBILNÍHO ROBOTU MIR

CONSTRUCTION OF CONVEYOR SUPERSTRUCTURE OF MOBILE ROBOT MIR

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Tomáš Adámek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Radek Knoflíček, Dr.

BRNO 2021

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student: **Bc. Tomáš Adámek**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Výrobní stroje, systémy a roboty
Vedoucí práce: **doc. Ing. Radek Knoflíček, Dr.**
Akademický rok: 2020/21

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 dopravníkové nástavby mobilního robotu MiR

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Záměrem závěrečné VŠ práce je zcela nový návrh konstrukčního řešení dopravníkové nástavby pro mobilní robot MiR, který tak bude schopen zajistit autonomní logistický proces, při převážení PCB magazínu do SMT výrobní linky.

Cíle diplomové práce:

Návrh konstrukčního řešení dopravníkové nástavby robotu MiR, při dodržení požadavků na maximální zátěž robotu a pokud možno převozu dvou plných PCB magazínů s těmito parametry:

Rešerše dané problematiky se zaměřením na autonomní robotická vozidla a PCB zásobníky.

Návrh vlastního řešení konstrukce dopravníku v podobě dvou variant řešení.

Vyhodnocení variant z hlediska technické a ekonomické náročnosti a realizovatelnosti (multikriteriální metodou).

Návrhové výpočty.

Výkresová dokumentace vybrané varianty (sestava, podsestavy, 5 dílenských výkresů).

Komentáře k výkresové dokumentaci.

Odhad nákladů na výrobu prototypu nebo série.

Vlastní závěry a doporučení pro praxi.

Seznam doporučené literatury:

MAREK, J. a kol. Konstrukce CNC obráběcích strojů III. Třetí vydání. Praha: MM publishing, s. r. o. ISBN- 978-80-260-6780-1.

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

SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHKE a Richard G. BUDYNAS, VLK, Miloš (ed.).
Konstruování strojních součástí. 1. vyd. Přeložil Martin HARTL. V Brně: VUTIUM, 2010. Překlady
vysokoškolských učebnic. ISBN 978-80-214-2629-0.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

.....
doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
ředitel ústavu

.....
doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Předmětem této diplomové práce je návrh dopravníkové nástavby kolaborativního mobilního robotu MiR. První část je teoretický rešeršní základ zaměřený na mobilní spolupracující technologie a informace související se společností Mobile industrial Robots. Následuje praktická část vystavěná na předchozích nabytých znalostech. Stěžejní problematiku řešení tvoří logistický transport PCB magazínu na poli SMT průmyslu. Jsou zde vytvořeny dvě konstrukční návrhové varianty uspořádání nástavby pro převoz dvou pořadačů a na základě multikriteriální bazické metody je vybrána nejvhodnější varianta. Zvolená alternativa dopravníkového topmodulu je poté podrobena návrhovým výpočtům. Za účelem získání komplexního přehledu pro výrobu prototypu obsahuje navazující část výkresovou dokumentaci včetně příslušných komentářů, ekonomický odhad nákladů a analýzu rizik.

ABSTRACT

The subject of this diploma thesis is the design of a conveyor superstructure of a collaborative mobile robot MiR. The first part is a theoretical research basis focused on mobile collaborative technologies and information related to Mobile industrial Robots. The following is a practical part built on previous acquired knowledge. The key issue of the solution is the logistics transport of the PCB magazine in the field of SMT industry. There are created two structural design variants of the superstructure arrangement for the transport of two binders and the most suitable variant is selected on the basis of the multicriteria basic method. The selected alternative of the conveyor top module is then subjected to design calculations. In order to obtain a comprehensive overview of the prototype production, the following section contains drawing documentation, including relevant comments, an economic cost estimate and a risk analysis.

KLÍČOVÁ SLOVA

MiR, AMR, kolaborativní mobilní robot, PCB magazín, dopravníková nástavba, automatizace procesu, SMT průmysl

KEYWORDS

MiR, AMR, collaborative mobile robot, PCB magazine, conveyor superstructure, process automation, SMT industry

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ADÁMEK, Tomáš. *Konstrukce dopravníkové nástavby mobilního robotu MiR* [online]. Brno, 2021 [cit. 2021-04-20]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/135127>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Radek Knoflíček.

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu této diplomové práce doc. Ing. Radku Knoflíčkoví, Dr. za odborné vedení, cenné rady a obrovskou míru ochoty při zpracování této diplomové práce. Zároveň bych chtěl poděkovat své rodině a nejbližším za trpělivost a podporu po dobu studia.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 20. dubna 2021

.....

Adámek Tomáš

OBSAH

1	ÚVOD	19
2	POPIS PROBLEMATIKY	21
2.1	Výrobní proces v lince	21
2.2	Výrobní proces z pozice operátora	22
2.3	Automatizace manipulačních činností operátora	23
2.3.1	Dopravníková nástavba	23
2.4	Shrnutí stěžejních požadavků	23
3	ŘEŠERŠE DANÉ PROBLEMATIKY SE ZAMĚŘENÍM NA AUTONOMNÍ ROBOTICKÁ VOZIDLA A PCB ZÁSOBNÍKY	25
3.1	Kolaborativní robotika	25
3.1.1	Charakteristické atributy	25
3.1.2	Aplikace pro kolaborativní roboty	26
3.1.3	Budoucí vývoj kolaborativní robotiky	26
3.1.4	Významní výrobci	26
3.2	Automatizace logistiky	29
3.2.1	Roboty v logistice	29
3.3	Mobilní roboty	30
3.3.1	Autonomní lokomoční robotické systémy (ALR) a mobilní robotické systémy (MRS) 30	
3.3.2	Generace a klasifikace mobilních robotů	32
3.3.3	Příklady robotických platforem	33
3.4	Odometrie	36
3.4.1	Auto	36
3.4.2	Ackermanovo řízení	37
3.4.3	Tank	38
3.4.4	Všesměrové řízení	38
3.5	Současnost	39
3.5.1	Automaticky naváděná vozidla (AGV)	39
3.5.2	Autonomní mobilní roboty (AMR)	39
3.6	Stručně o Mobile industrial robots	41
3.6.1	Historie	41
3.6.2	Roboty MiR (AMR)	42
3.6.3	Top moduly	50
3.6.4	Software	51
3.6.5	Navigace a mapování	52
3.6.6	Plánování cest a vyhýbání překážek	54
3.6.7	Komunikace a interface robotu	54
3.6.8	Dokování	55
3.6.9	Bezpečnost	57
3.6.10	MiRGO	59
3.7	PCB Magazín	60
3.7.1	Popis konstrukce magazínu	60
3.7.2	Typy PCB magazínu	62
4	NÁVRH KONSTRUKČNÍHO ŘEŠENÍ DOPRAVNÍKOVÉ NÁSTAVBY ROBOTU MIR, PŘI DODRŽENÍ POŽADAVKŮ NA MAXIMÁLNÍ ZÁTĚŽ	

ROBOTU A POKUD MOŽNO PŘEVOZU DVOU PLNÝCH PCB MAGAZÍNŮ S POTŘEBNÝMI PARAMETRY	65
4.1 Systémový rozbor problematiky.....	65
4.1.1 Použití robotu	66
4.2 Interakce s Nutek Unloader/ Loader.....	67
4.2.1 Konvenční vstup/výstup pro 2 a více magazínů Nutek NTA multi magazine line loader	67
4.2.2 Vstup/výstup pro mobilní roboty NTA Nutek magazine line loader (AGV ready) 69	
4.3 Volba robotu MiR.....	71
4.4 Volba typu dopravníku nástavby	72
4.5 Konstrukční podmínky	72
4.5.1 Sériová koncepce.....	73
4.5.2 Paralelní koncepce.....	74
4.6 Návrh podmínek sensoriky.....	75
4.7 Podmínky řízení a ovládání nástavby	75
4.8 Shrnutí stěžejních požadavků	75
5 NÁVRH VLASTNÍHO ŘEŠENÍ KONSTRUKCE DOPRAVNÍKU V PODOBĚ DVOU VARIANT ŘEŠENÍ	76
5.1 Charakteristika struktury Box on Box	76
5.1.1 Komunikační box	77
5.1.2 Dopravníkový box.....	79
5.1.3 Sensorika	81
5.1.4 Aretace	87
5.1.5 E-Stop a tlačítko „Pokračovat“	88
5.1.6 Komunikace a řízení.....	89
5.2 Konstrukční varianta 1 – Sériová koncepce	90
5.3 Konstrukční varianta 2 – Paralelní koncepce	92
6 VYHODNOCENÍ VARIANT Z HLEDISKA TECHNICKÉ A EKONOMICKÉ NÁROČNOSTI A REALIZOVATELNOSTI (MULTIKRITERIÁLNÍ METODOU)	94
6.1 Multikriteriální analýza	94
6.1.1 Bazická bodovací metoda.....	95
6.2 Volba konstrukčního návrhu dopravníkové nástavby robotu MiR	96
6.2.1 Posuzované parametry.....	96
7 NÁVRHOVÉ VÝPOČTY.....	99
7.1 PCB deska	99
7.2 Celkový náklad.....	100
7.3 Návrh dopravníku.....	100
7.3.1 Délka	100
7.3.2 Šířka	100
7.3.3 Výška.....	100
7.4 Volba válečků.....	101
7.4.1 Hnací válec	101
7.4.2 Hnaný válec.....	102
7.5 Výpočet válečkového dopravníku	102
7.5.1 Množství válečků	102
7.5.2 Rozteč válečků	102
7.5.3 Otáčky válečků	102

7.5.4	Zatížení jednotlivého válečku.....	103
7.5.5	Odpory působící na jeden váleček.....	104
7.5.6	Celkový odpor v rámci jednoho válečku.....	105
7.5.7	Síla transponovaná smykovým třením na předmět.....	105
7.5.8	Podmínka pohybu PCB magazínu bez prokluzu válečků.....	105
7.5.9	Výkon pro rovnoměrný pohyb předmětu	106
7.6	Návrh pohonu	106
7.6.1	Kontrola pohonu	107
7.6.2	Vyhodnocení pohonu dopravníku	110
7.7	Řemenový převod.....	110
7.7.1	Parametry řemenu.....	111
7.7.2	Kontrola řemenu	111
7.7.3	Podmínka pro přenos točivého momentu	114
7.7.4	Maximální dovolená tahová síla v řemenu.....	114
7.7.5	Počáteční předpětí.....	115
7.7.6	Prokluz řemenu.....	115
7.7.7	Bezpečnost.....	116
7.7.8	Průvės řemenu	116
7.8	Výdrž baterie.....	117
7.8.1	Teoretická výdrž baterie robotu.....	117
7.8.2	Reálná výdrž baterie robotu.....	118
8	KOMENTÁŘE K VÝKRESOVÉ DOKUMENTACI	119
9	ODHAD NÁKLADŮ NA VÝROBU PROTOTYPU.....	121
10	ANALÝZA RIZIK	127
10.1	Metodický přístup.....	127
10.2	Systémová analýza.....	129
10.2.1	Základní blokové schéma	129
10.2.2	Blokový diagram	130
10.3	Identifikace relevantních nebezpečí.....	131
10.4	Analýza významných nebezpečí.....	133
10.5	Identifikace závažných nebezpečí	137
10.6	Formuláře pro snížení rizik.....	139
11	VLASTNÍ ZÁVĚRY A DOPORUČENÍ PRO PRAXI.....	155
12	ZÁVĚR.....	157
13	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	159
14	SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK.....	165
14.1	Seznam tabulek	165
14.2	Seznam obrázků.....	166
14.3	Seznam použitých zkratk a veličin v textu.....	169
14.4	Seznam použitých symbolů	170
15	SEZNAM PŘÍLOH	173

1 ÚVOD

Moderní doba a s ní spojené trendy ve strojírenském průmyslu kladou důraz na kvalitu, rychlost a spolehlivost. Jako stinnou stránku v tomto ohledu lze shledat stále neutuchající poptávku po kvalifikované i nekvalifikované pracovní síle, ze které vyvstává základní otázka, jestli automatizovat výrobu a její přílehlé procesy, a zároveň v jaké míře se do této problematiky pustit. Proto jsou inženýři nuceni vyvíjet stále progresivnější koncepce, tak aby vyhověli požadavkům zákazníků a do budoucna udrželi konkurenceschopnost na trhu.

Robotizace nebo integrace obslužných robotů v procesu výroby je zcela reálná a během posledních let si vydobyla své pevné místo s reálnými obrysy. To, že jsou roboti schopni ošetřit monotónní, nebezpečné, opakující se činnosti anebo např. činnosti, jenž vyžadují zvýšenou preciznost a sílu je již zcela běžný fakt. Nákladná počáteční investice do této technologie se vzhledem k velké sériovosti a téměř nepřerušované pracovní době vyplatí. Zvýší se efektivita, produktivita a současně také dojde k posunu v kvalitě zpracování.

Ocitáme se na prahu čtvrté průmyslové revoluce zvané taktéž jako Průmysl 4.0, zahrnující digitalizaci, propojení, kontrolu skrze internet a změny na trhu práce. Myšlenka „chytré továrny“ řídicí se heslem: „Práci, kterou mohou dělat stroje, by měly vykonávat stroje“ již přestává v určité míře vyznívat jako science fiction. Jako příklad lze uvést automobilní svařovací linky, kde za jediný den robotická ramena zvládnou vyhotovit několik set tisíc svárů s přesností na desetinu milimetru. Dochází zde k propojení komunikací tří stěžejních faktorů, a to lidé, stroje a zdroje. Na druhé straně, však vzniká otázka, jestli při takto neúprosně nastavenému směru modernizace, nenastane negativní jev v podobě znehodnocení lidské práce nebo dokonce k zánikům určitých pracovních míst.

Jednou z technologií, která má potenciál na tomto poli silně zasáhnout do děje je kolaborativní robotika. Koncepce jejíž hlavní ideou je společná interakce člověka a robotu během pracovního procesu nebo jeho přidružených činností. Toto pojetí výroby je však poněkud problematičtější z pohledu bezpečnosti. Nicméně ani tento momentálně poněkud sporný bod nezabraňuje v dalším vývoji těchto technologií nebo alespoň v pokusech o její mnohdy úspěšnou integraci. Tento atraktivní způsob využití průmyslových robotů již přesahuje pouze samotnou manipulaci a prolíná se např. i do logistických procesů, což se prolíná i do tématu této diplomové práce, jejíž předmětem je vyhotovení konstrukce dopravníkové nástavby kolaborativního mobilního autonomního robotu MiR. A tímto způsobem zlepšit kvalitu automatizace dodávky materiálu k SMT (surface mounted technology) pájecí lince. Úkolem robota je dopravit PCB (printed circuit board) magazín osazený deskami pro pájení plošných spojů k již výše zmíněné SMT lince, zde tento magazín pomocí dopravníku vyložit na konkrétní místo, kde si jej pájecí stroj převezme a dále jednotlivé desky zpracuje.

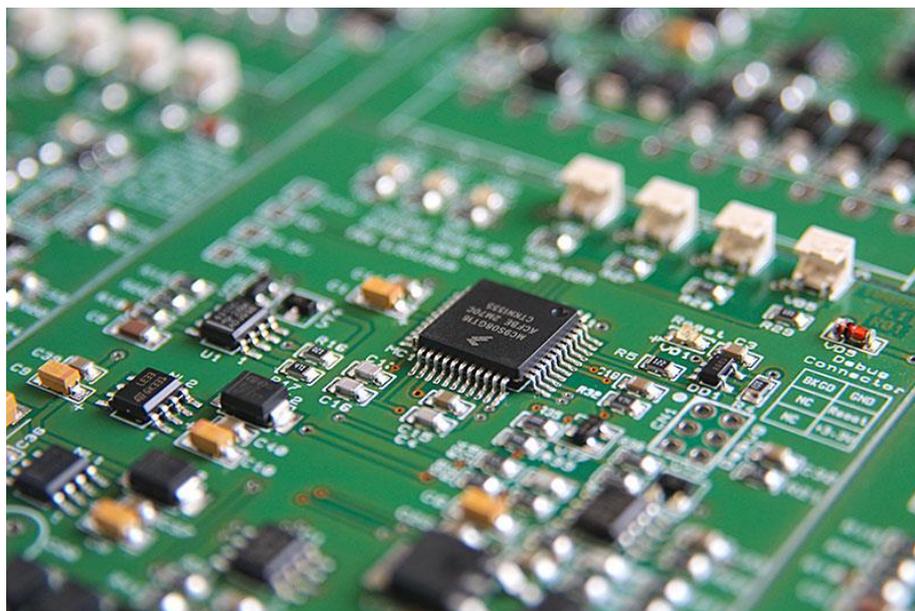
Diplomová práce se zabývá v první části teoretickou rešerší dané problematiky z pohledu SMT pájecích technologií, autonomních robotických „vozítek“, technických specifikací robotu MiR a PCB magazíny. V další části jsou vyhotoveny dva koncepty dopravníkové nástavby, společně s jejich evaluací, konstrukčním řešením dané problematiky, výpočty s příloženou výkresovou dokumentací k vybrané finální variantě. Závěrem je proveden odhad nákladů na výrobu prototypu s doporučením pro praxi.

2 POPIS PROBLEMATIKY

Surface mounting technology dále jen SMT je anglický termín, který lze do českého jazyka přeložit jako technologie pro osazování plošných spojů neboli povrchová montáž. Jedná se o výrobní postup, kdy se elektronické SMD (Surface Mounted Device) součástky osazují přímo na povrch plošného spoje pomocí pájení. Tento typ produkce nabyl popularity především v průběhu 80. let 20. století vlivem miniaturizace elektroniky a dnes je již zcela běžnou součástí sériově vyráběné elektroniky. [1]

Jednotlivé SMD dílce jsou propojovány s vodiči, vytvořenými v tenké kovové vrstvičce tzv. PCB desky (Printed Circuit Board = deska tištěných plošných spojů) na jejím povrchu. Tato deska se vyrábí z izolačního sklolaminátového materiálu s názvem FR-4, opatřené z jedné nebo obou stran měděnou fólií. Na tuto vrstvu se přenáší grafický nástin rozmístění součástek a jejich konektivity např. tiskem, proto se ujal také název tištěný spoj. Takto využitá měď je ošetřena leptáním vzdornou vrstvou z toho důvodu, že přebytek, jenž nebyl uplatněn v předchozím procesu tisku se právě leptáním z povrchu odstraní. [2]

Mechanické spojení součástek k desce je realizováno prostřednictvím cínové pájky. [2]



Obr. 1) Ilustrativní ukázka osazené PCB desky [3]

SMT výrobní technologie se v současnosti neobejdou bez asistence lidského faktoru v podobě fyzické manipulace u dílčích produkčních operací. Snahou do budoucna je tuto aktuálně nepostradatelnou zaměstnaneckou sílu redukovat, zefektivnit a v návaznosti z ekonomického hlediska šetřit náklady.

2.1 Výrobní proces v lince

Konvenční výroba má následující podobu.

Jakmile je přítomen magazín plný desek na začátku stroje (na vstupu), zahajuje linka svou výrobní posloupnost prací. Jako první je pořadač pomocí dopravníku přesunut do „magazínového výtahu“, který se buďto postupně spouští nebo naopak stoupá v ose Z,

záleží na přesné konfiguraci linky. Každá jednotlivá deska znamená zastavení vertikálního pohybu na přesně dané souřadnici a je postupně pomocí pístnice pneumatického válce vytlačena z magazínu ven. Prázdný šanon stroj vyselektuje na místo počátku vtoku materiálu.

Následující operace lze stručně sumarizovat jako osazení desky SMD komponenty a jejich zapájení.

Finální operace v pořadí má opačnou logiku jako operace první.



Obr. 2) Nutek multi magazine line loader s magazínem [4]

2.2 Výrobní proces z pozice operátora

SMT produkční linky (pro potřeby této diplomové práce zvoleny od firmy Nutek) vykazují značnou míru samostatnosti. Člověk zde zastává pouze funkci „překladače“ a logistického manipulanta, kdy během pracovního procesu plní linku na vstupu materiálem v podobě kompletně obsazených PCB pořadačů deskami. Jakmile jsou desky pojaty do stroje, odkládá operátor prázdný šanon, který zůstává na vstupu na předem určené místo a následně po uplynutí určité doby dodává další – plně obsazený.

Nemá-li tento osazovací výrobní stroj vstup a výstup materiálu na stejné straně. Je zapotřebí, aby na opačném konci (na výstupu z linky) byl další operátor, jehož stěžejní úkol opět spočívá v ručním překládání magazínů. Na rozdíl od vstupu jsou desky uloženy v magazínech již opatřené součástkami z procesu pájení. Po odejmutí naplněného pořadače, umístí se prázdný šanon určený k zaplnění na jeho místo.

Produkční mezidobí absolutně naplněné výrobní kapacity linky je z hlediska operátora využíváno k logistickému transportu nového materiálu. Nebo je zapotřebí dalšího člověka, jenž se o tyto záležitosti stará.

2.3 Automatizace manipulačních činností operátora

Problém, jak zredukovat nebo i eliminovat nadměrnou potřebu nekvalifikované pracovní síly u tohoto pracovního procesu lze vyřešit pomocí mobilního robotu, který nahradí operátora jak ve smyslu manipulačním, tak v transportu materiálu.

Zcela zásadním je, aby byl robot schopen logisticky manipulovat s magazíny, dokázal unést zátěž dvou kompletních pořadačů s osazenými deskami a zároveň byl schopen manipulovaný objekt předat, potažmo vyjmout z výrobní operace.

Implementace robotu musí být slučitelná s dynamickým prostředím SMT výroby, kde robot zcela jistě bude v interakci s ostatními vlivy okolí jako jsou lidé pohybující se ve výrobních prostorách, překážky v podobě materiálu a produkčních strojů.

Všechny tyto požadavky musí být dodrženy z hlediska zajištění maximální bezpečnosti.

2.3.1 Dopravníková nastavba

Velice jednoduchý a současně efektivní způsob, jak ošetřit onen vstup a výstup materiálu (magazínů s PCB deskami) nabízí řešení v podobě „obohacení“ konstrukce mobilního robotu o dopravník, který by zajistil funkci „vyložení – naložení“ a zároveň by při transportu dokázal zajistit solidní základovou platformu.

Jelikož struktura žádného z manipulovaných objektů nemá sypký charakter, představuje nevhodnější volbu válečkový dopravník.

2.4 Shrnutí stěžejních požadavků

- Kolaborativní mobilní robot s kvalitní možností zatížení pro převoz nejlépe dvou plně obsazených PCB magazínů,
- schopnost robotu reagovat na měnící se prostředí,
- možnost doplnění robotu o konstrukční dopravníkovou nastavbu pro „vyložení a naložení“ PCB magazínů,
- konstrukční návrh dvou dopravníkových nástaveb k lince Nutek Loader / Unloader,
- posouzení vhodnosti aplikace.

3 ŘEŠERŠE DANÉ PROBLEMATIKY SE ZAMĚŘENÍM NA AUTONOMNÍ ROBOTICKÁ VOZIDLA A PCB ZÁSOBNÍKY

3.1 Kolaborativní robotika

Význam slova kolaborativní lze v robotice definovat jako spolupracující nebo kooperující roboty. Jak již z názvu vyplývá, jedná se o roboty, při jejichž provozu v pracovním procesu dochází k interakci s člověkem. Jejich úkolem je většinou pomáhat při operacích, kde je zapotřebí zvýšené přesnosti a zachování dlouhodobé úrovně kvality. Používají se zejména při činnostech svařování, šroubování, lepení, umísťování předmětů, leštění nebo odměřování přesných měr například u míchání barev. Stejně jako jejich větší „bratři“ v podobě klasických průmyslových robotů může i kolaborativní odnož pracovat téměř bez přestávky a prakticky do nekonečna opakovat monotónní úkony. [5] [6] [7]

3.1.1 Charakteristické atributy

Bezbariérovost

Pracovní činnost v rámci výrobních linek může být prováděna přímo vedle člověka. Vyčerpávající rutinní práce společně s manipulačními úkony na pracovních stanicích, kde je operátor vystavován nepříznivým ergonomickým podmínkám, vytváří pro kolaborativní roboty naopak ideální prostředí. Člověk takto spolupracující s robotem se zaměřuje na užívání svých kognitivních schopností k činnosti robota, což má za následek mnohem efektivnější výkon. [5] [6] [7]

Bezpečnost

Při takto víceméně nijak omezeném vzájemném působení člověka a robotu je velký důraz kladen na zvýšenou bezpečnost. Kolaborativní robot disponuje v mnoha případech pryžovým obložení, ale také inteligentním senzorickým systémem, pomocí něhož se vlivem dotyku zastaví. Není zapotřebí mechanických bariér ani vyloženě jiného oddělení člověka a robota. Standardy výrobců spolupracujících robotů na bezpečnost se liší dle jejich interní politiky. Avšak základní požadavky vycházejí z normy ČSN EN ISO 10218. [5] [6] [7]

Snadné programování

Ruční navádění neboli Hand guiding, jedná se o způsob „programování“, který je typicky využíván k tomu, aby se robot jednoduše naučil trajektorii úlohy. Spočívá v ruční manipulaci s šasi robotu – trasování jednotlivých bodů a jejich ukládání do programu. Opačném případě lze využít běžného offline nebo online programovacího rozhraní dle výrobce robotu. [5] [6] [7]

3D vize a funkce náhlého zastavení

Nejmodernější roboty disponují ve své výbavě také funkcí vidění, která obsahuje senzory 3D strojového vidění. Z tohoto důvodu je robotu umožněno sbírat různé typy součástek a vkládat je přímo do rukou lidského pracovníka. Funkce collision stop neboli funkce okamžitého zastavení způsobuje okamžitou reakci v podobě přerušení činnosti robotu při střetu. [5] [6] [7]

Power and force limiting (PFL)

Konstrukci robotů pro tento mód umožnil výzkum, jenž vyústil v technickou specifikaci ISO/TS 15066, což doplňuje již výše uvedený standard ČSN EN ISO 10218. Tento popis velmi zjednodušeně udává, jaká síla (spíše mechanický tlak) a rychlost při nárazu robotu způsobuje snesitelnou bolest na různých částech lidského těla. Je zde uvažováno i prostředí, ve kterém se robot nachází. Náraz ve volném prostoru (transientní kontakt) nebo přitlačení na pevnou překážku (kvazi statický kontakt). Samotný robot by měl být zkonstruován tak, aby tyto hodnoty nepřekročil. [5] [6] [7]

3.1.2 Aplikace pro kolaborativní roboty

Spolupracující roboty jsou bezpochyby v kurzu a spousta pokrokových firem se snaží o to, aby je mohla integrovat – minimálně do své produkce. V tomto případě je, ale bezpochyby velice důležité zvážit, zdali požadovaná aplikace splňuje podmínky, které jsou vhodné pro tento typ automatizace. V mnoha případech totiž nastává negativní jev v podobě zvýšení investice a snížení produktivity výroby nebo dokonce k přepnutí robotu do zcela běžného režimu a jeho následného „zaklecování“.

Výskyt tohoto fenoménu způsobuje s největší pravděpodobností to, že současná kolaborativní robotika je pouze v prvopočátcích naplnění svého budoucího potenciálu. V určitých oblastech dochází k výraznému pokroku v podobě celkem reálného nasazení (například robotické automobily), jinde však správná cesta stanovená není. [5] [6] [7]

3.1.3 Budoucí vývoj kolaborativní robotiky

Momentálně se pokrok v oblasti kolaborativní robotiky soustřeďuje především na zvýšení produktivity v mezích platných bezpečnostních standardů. Mezi hlavní témata patří zlepšení koordinace při střídání pohybu člověka a robotu, nebo optimalizace prostojů lidského pracovníka společně s robotem při konkrétních operacích.

V nepříliš vzdálené budoucnosti však robotika sebou přinese spoustu dalších témat k prozkoumání, a to především díky obohacení těchto strojů umělou inteligencí, což bude mít za následek přehodnocení bezpečnostních stanov v rámci spolupráce s člověkem, jak již naznačuje např. již výše zmíněná oblast autonomních robotických vozidel. [5] [6] [7]

3.1.4 Významní výrobci

Výrobci robotů s touto koncepcí se za poslední léta na trhu výrazně rozšířili. Rozvoj těchto strojů a neutuchající snaha o pokrok, jak najít řešení v problematických otázkách takto pojeté výroby i souvisejících činností se nevytrácí. Investice do kolaborativních robotů zkráceně „kobotů“ a do automatizace posiluje světovou ekonomiku. Zároveň producenti nebo

i distributoři této technologie vykazují nárůst obrátů svých firem, což potvrzuje její ekonomicky rostoucí potenciál. [5] [6] [7]

Avšak tato technologie se zdánlivě nevztahuje pouze na konvenční robotická ramena, která jsou upravena tak, aby vyhovovala požadavkům interakce stroje a člověka. Tyto manipulátory sice tvoří pomyslnou největší část, ale do této oblasti lze zařadit i autonomní kolaborativní mobilní roboty nebo dílčí doplňková zařízení jako jsou např. kolaborativní koncové efektory. Viz příklady:

Kolaborativní manipulační roboty:

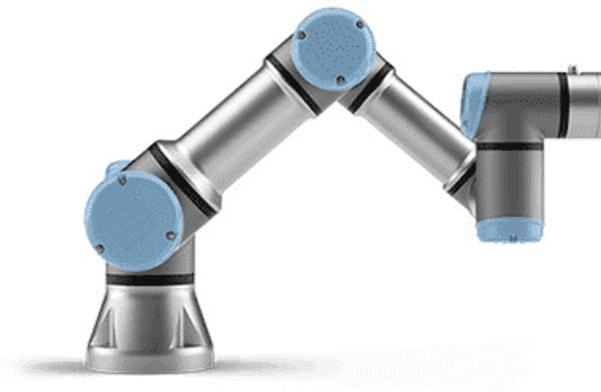
Universal robots

Fanuc

ABB

YuMi

Techman



Obr. 3) Kolaborativní robot UR3 [8]

Kolaborativní autonomní mobilní roboty:

MiR

Omron

Kuka mobile robotics



Obr. 4) Kolaborativní autonomní mobilní robot Omron LD 250 [9]

Doplňkové kolaborativní technologie:

RobotiQ

OnRobot

Pick-it



Obr. 5) Koncový efektor kolaborativního robotu UR [10]

3.2 Automatizace logistiky

Aplikace automatizace na poli logistiky je poněkud složitější, protože zde dochází k manipulaci s různorodými předměty v nekonečném množství kombinací, a to na velmi omezeném prostoru. Náklady na tyto typy technologií ovšem pozvolna klesají, vlivem několika jevů jako jsou nepříznivý demografický vývoj, klesající počet zaměstnanců a stárnoucí obyvatelstvo. S rozmachem elektronických transakcí přibývá i množství přepravovaných zásilek, či zboží. Toto všechno podporuje uplatnění robotizace v odvětví logistiky – při vychystávání, balení, transportu nebo doručování. [11]

S nástupem robotizace lze očekávat komplexní rozkvět celého odvětví, které se tak stane ještě mnohem produktivnějším a ekonomičtějším. Logistické řetězce takto nabudou zcela jiného rozměru. [11]

3.2.1 Roboty v logistice

V tomto případě lze hovořit o široké škále uplatnění. Celá řada činností se přímo nabízí k automatizaci. Např.:

- Nakládání a vykládání návěsů kontejnerů – integrací počítače, jenž dokáže analyzovat různé rozměry zásilek a na tomto základě určit optimální pořadí,
- Vychystávání ze skladu,
- Balení,
- Automatizované doručování koncovým adresátům. [11]



Obr. 6) Ilustrační obrázek robotu MiR v logistice [12]

Z výše uvedených bodů se poslední operace zcela ztotožňuje s nasazením autonomního mobilního robotu (AMR). V následující kapitole je problematika těchto strojů podrobně rozebrána.

3.3 Mobilní roboty

V určité době platilo, že každý vyrobený mobilní robot je ve své podstatě unikát, tj. jediný výrobek svého druhu a největší uplatnění tato technologie našla především na půdě univerzit po celém světě, kde sloužila převážně k výuce. Jen velice sporadické množství mobilních robotů našlo uplatnění v praxi, zejména z těchto důvodů: [13]

- Levná lidská pracovní síla, nedůvěra v nové zařízení a snaha o udržení nízkého procenta nezaměstnanosti.
- Vysoké náklady na řídicí systém mobilních robotů, software a značně drahá senzorka.

Z dějepisného hlediska tvořili výjimku automatické dopravní vozíky (ADV), v určitých závodech při přepravě materiálu, polotovarů nebo výrobků aj. Další uplatnění našli mobilní roboty při drobných opravách nebo inspekci v životu nebezpečném prostředí (jaderné elektrárny, vesmírný výzkum), nebo při vojenských operacích, kde je život člověka taktéž v ohrožení (protiteroristické akce, odminovávání území apod.). Dle okolí, ve kterém se pohybují se dají tyto roboty rozdělit do dvou významných skupin pro indoor (vnitřní) a outdoor (venkovní) aplikace. Roboty určené interní prostředí se pohybují převážně uvnitř továrních hal, místností, kde se nenachází příliš vysoké překážky (cca do 5 cm). V rámci této skupiny lze hovořit i o podrobnějším dělení na automatické dopravníky (ADV) a autonomní lokomoční roboty (ALR). Venkovní použití mobilních robotů je problematické z hlediska členitého terénu a překonávání hloubkových či výškových překážek. Roboty, operující v takto uspořádané krajině se od indoorových liší zejména robustností celé konstrukce, výkonnějšími pohonnými jednotkami, složitostí navigačního systému (mohou být i dálkově řízeny lidským operátorem – – superviseorem), rozdílným způsobem napájení a celou škálou věcí vycházejících z prostředí, ve kterém jsou determinovány. [13]

3.3.1 Autonomní lokomoční robotické systémy (ALR) a mobilní robotické systémy (MRS)

Využívání ALR soudobě probíhá především v obslužných procesech převážně v průmyslu, v zemědělství, v kontaminovaném prostředí nebo chemicky agresivním environmentu. Lídry v konstruování a uplatňování autonomních lokomočních robotů do praxe jsou USA, Japonsko, Francie a momentálně i Dánsko, tedy země s rozvinutou a prosperující ekonomikou, poněvadž tato moderní robotika jde ruku v ruce se složitými a finančně nákladnými prvky umělé inteligence. Ve vybavení ALR se tyto prvky společně s elementy lokomočnosti uplatňují v uskutečňování (interpretace, plánování a realizace) cílových úloh ve vymezených prostředích se stacionárními a dynamickými překážkami. Jejich provoz je řízen palubním řídicím systémem bez zásahu člověka. Konstrukce těchto robotů vychází z prostředí, která lze členit na známá, částečně známá či neznámá. Hlavní přerozdělení ovšem opět opírá o termíny indoor (průmyslové zóny, banky, nemocnice aj.) a outdoor koncepci (silniční, terénní). [13]

Podmínky definující návrh mobilních robotů:

- Environment
- Funkce
- Řešená úloha

Činnost řešených úloh daných robotů může probíhat v částečně známých a neznámých prostředích, s měnícími se scénami. Charakteristický je autonomní provoz, jenž je zakořeněn ve využití rozvinutých rozhodovacích (Fuzzy, neuronová síť) procesech a supervizorového nebo adaptivního řízení. Plnohodnotná funkce vyžaduje zpracování informací od vnější senzoričké sub soustavy. Samotné řízení lokomočních robotů může být pojato dvěma způsoby. Za prvé roboty dráhového typu s lokálním řízením v reálném čase. Za druhé roboty terminálového typu s globálním řízením v reálném čase. Jejich konání vychází z nutné přípravy a analýzy dostatečně přesných matematických modelů pro definované prostředí a čas činnosti. Schopnosti robotických soustav, které dnes vyžadujeme např. vyhýbání se náhodným překážkám, kopírování terénu konkrétní třídy, transport do stěžejního uzlového bodu nebo terminálového bodu dráhy s požadovanou přesností, počítačová rozbor prostředí v uzlovém bodu nebo terminálovém bodu. [13]

ALR lze definovat jako soustavy schopné interpretovat, projektovat a zrealizovat zadanou úlohu na základě funkce svého integrovaného řídicího systému nebo, částečně neseného řídicího systému a přidružené senzoričky. Podstatné znaky autonomnosti realizace úlohy:

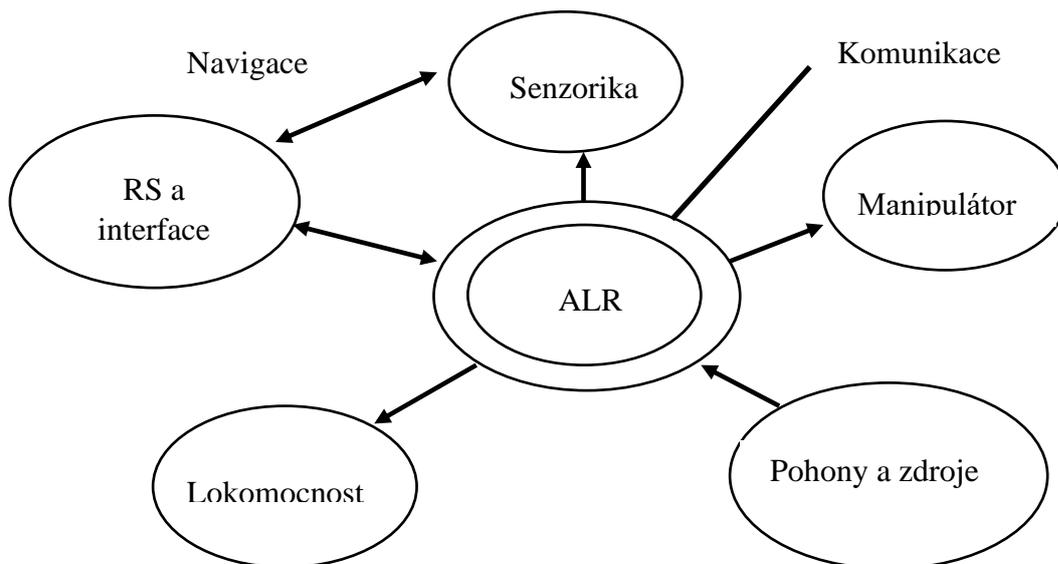
- V neznámém, eventuálně částečně známém environmentu bez intervence člověka,
- Vyvarování se kolizím se stacionárními bariérami a objekty v pohybu,
- Nezávislá manévrovatelnost,
- Výbava manipulátory. [13]

Zužitkovávají mohutnou sdruženou senzoričkou sub soustavu k vytvoření modelu prostředí, jenž nemusí být v zásadě plnohodnotný, avšak musí být dostatečně propracovaný pro registraci svých pohybů, určení polohy v závislosti na dráhové rychlosti robotu, protože je nezbytné, aby zpracování dat a nezbytné výpočty byly zrealizovány v reálném čase. [13]

Mezi fundamentální konstrukční části ALR patří podsoustavy pohonů a zdrojů elektrické energie, snímačů, řízení, manipulátoru a lokomočnosti.

Lokomoční roboty lze aplikovat pro:

- **Manipulaci** – mezioperační doprava materiálu, skladové hospodářství, revize a separace obrobků,
- **Montáž** – odejmutí součástí ze zásobníku a jejich zabudování na určené místo,
- **Identifikace prostředí** – pohyb v nebezpečném okolí a v případě havárie, snaha o rozlišení změn oproti dřívějšímu stavu,
- **Servisní činnost** – revizní funkce s možností eliminace eventuální poruchy nebo nesrovnalosti, tato činnost probíhá např. ve skladech s nebezpečným odpadem,
- **Inspekční činnost** – jedná se pouze o kontrolní úkon, dozor při nebezpečných technologických procesech. [13]



Obr. 7) Subsystemy ALR [13]

3.3.2 Generace a klasifikace mobilních robotů

Následující tabulka vyobrazuje přehled pěti aktivních generací mobilních robotů a jejich zevrubný popis z hlediska řízení, mobility, využití a data zhotovení.[13]

Tab 1) Přehled generací mobilních robotů [13]

Generace	Název	Řízení	Mobilita	Aplikace	Datace
I	Výběr a místo	Pevný stop, naučené body	Žádná	Manipulace s materiálem, strojová kontrola	1982
II	Servo	Naučená cesta, která je kontrolována servořízením a proporcionálními senzory	Může být spojován v posuvné celky	Bodové svařování	1984
III	Montáž	Přesné servo řízení pomocí vidění, nebo taktilními senzory, nebo off-line programováním	Posuvný robot (housenka)	Montáž	1988-1990
IV	Mobilní	Inteligentní senzory	Pásový, kolový nebo kráčejí	Použití v továrnách při revizích	1995-2000
V	Speciální	Řízené umělou inteligencí	Kráčejí, hybridní, létající	Vojenské využití, vesmírné podvozky	2005-2010

3.3.3 Příklady robotických platforem

Je zapotřebí věnovat taktéž pozornost lokomočnímu ústrojí mobilních robotů, tj. technickým aparátům, které zprostředkovávají pohyb – mnohdy označované jako podvozky mobilních robotů, jejichž rozdělení zobrazuje následující Obr. 8). [13]



Obr. 8) Rozdělení mobilní robotů dle druhu podvozku [13]

3.3.3.1 Kráčivá platforma

Nápadný vzhled těchto robotů a jejich způsob pohybu může imitovat člověka, zvířata nebo hmyz. Mobilitu podvozku zajišťují končetiny, které jsou uloženy na kloubech, kde způsob chůze je přímo závislý na počtu pohyblivých končetin, zpravidla v párových číslech 2, 4, 6 až 8 noh. Tato konstrukce disponuje obrovskou výhodou, a to ve schopnosti překonávání schodovitých překážek, avšak v podstatě bodovitý kontakt s plochou nese určitá úskalí v podobě neohrabaného přesunu po hladkém povrchu. Mezi další nevýhody patří složitost kostry a problematické energeticky náročné řízení. [13] [14]



Obr. 9) Boston Dynamics – Spot Robot [15]

3.3.3.2 Pásová platforma

Konstrukce pásového šasi je realizována dvěma pásovými skupinami. Jedna na každé straně robotu. Kompletace těchto skupin se skládá z pásu např. z gumového materiálu, hnacího kola s motorem, volného napínacího kola a vodicích kol. Mezi jednoznačné výhody patří poměrně jednoduchá konstrukce a snadná průchodnost obtížným terénem. V indoor prostředí zvládne tento typ robotu i jízdu do/ze schodů. Změna směru spočívá v přibrzdění jedné z pásových skupin – smykové řízení. Avšak pro tento typ řízení platí, že rozvor mezi pásy a jejich délka má přímý vliv na jejich manévrovatelnost, což má za následek značnou nepřesnost, a to i z důvodu prokluzu pásu na hladkém nebo sypkém povrchu. [13] [14]



Obr. 10) Průzkumný pásový solární robot – NASA Grover [16]

3.3.3.3 Kolová platforma

Jak již z názvu vypovídá součástí tohoto podvozku jsou kola, která v interakci s podkladem zajišťují minimální třecí odpor. Případné tlumení v podobě tlumiče a pružin slouží ke kompenzaci nárazů a pohlcení jejich energie. Existují mobilní roboty, jenž využívají od jednoho až po šest či více kol.

Koncepce uspořádání kol a hnacího ústrojí bývá stěžejním problémem, a to z důvodu rozvržení počtu kol, rozložení hnacích, hnaných a směrových kol. Následně určení vhodného kroutícího momentu a výkonu pohonné jednotky.

Tříkolové podvozky jsou konstrukčně poměrně jednoduché a určené obzvláště pro hladké povrchy bez větších nerovností. Jejich největší výhodou vyplývá ze snadného zatáčení, což zabezpečuje jedno ze tří kol napojené na servomotor, zbylá kola zpravidla mají na starosti pohon.

Čtyřkolové podvozky disponují větší stabilitou především při pohonu všech čtyř kol, avšak realizace bývá často složitá. Nejčastěji se tato koncepce opírá o systém dvou náprav, kdy jedna náprava zajišťuje pohon a druhá zatáčení (natáčecí může být přední i zadní).

Šesti a více kolové podvozky nejlépe fungují v těžších terénech. Funkce zatáčení je řešena pomocí jedné nebo dvou náprav, zatímco zbylá opět pohání robot. Konstrukčně se jedná o velice složité pojetí. [13] [14]



Obr. 11) Mobilní robot Land Rover v terénu a laboratorním prostředí [17]

3.4 Odometrie

Aby robot získal zřetelnou představu o svém pohybu za pomoci dat získaných z enkodérů (otáčky koleček) je zapotřebí využití Odometrie. Jedná se o proces, který popisuje transformaci dat poskytnutých enkodéry na změnu pozice a orientace robotu. Slovo odometrie je složeno ze dvou řeckých termínů hodos (cestovat, cesta) a metron (měřit). Základní princip vyplývá ze znalosti geometrického modelu robotu. Různé modely se liší zejména schopností vykonávat tím, jaké pohyby dokážou vykonávat. Viz následující podkapitoly.

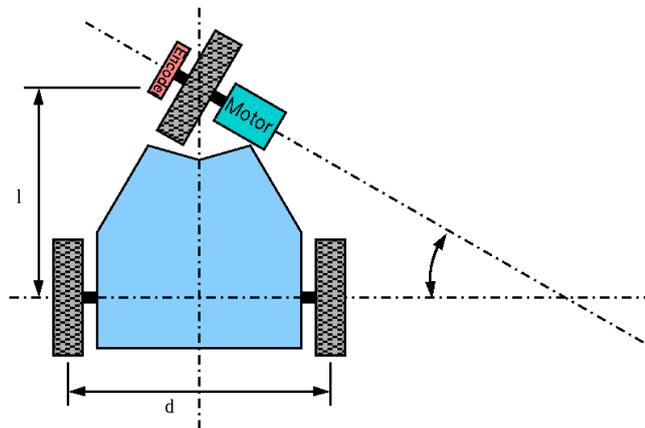
3.4.1 Auto

Do kategorie auto spadají roboty, jenž svým konstrukčním řešením připomínají automobil. Nedokážou se otočit na místě a změny směru nebo orientace mohou dosáhnout pouze příslušným natočením kola či nápravy a následně pohonem vpřed nebo vzad, taktéž označováno jako Ackermannovo řízení. Tyto roboty nejsou schopny nezávisle měnit svou orientaci na pozici, proto je řadíme do skupiny robotů neholomních.

Jako nejjednodušší demonstrativní ukázkou lze uvést tříkolku. Tříkolka disponuje jedním říditelným kolečkem a dvěma pevnými, typicky na jedné nápravě. Řídící kolečko udává směr pohybu.

V závislosti na natočení říditelného kolečka se buďto tříkolka pohybuje po přímce, je-li zmíněné kolečko rovnoběžně s osou robotu, anebo po kružnici. K rozpoznání této změny orientace je zapotřebí dvou údajů – orientace řídicího kolečka a jeho ujetá vzdálenost.

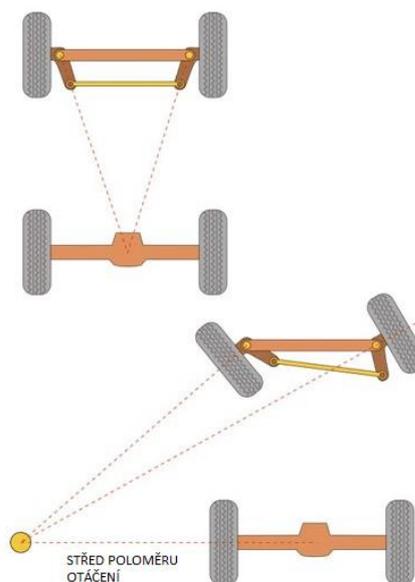
Jestliže je jako referenční bod určen střed nápravy poháněných kol, při nenulovém natočení kol bude předmětem zájmu střed a poloměr této kružnice, po které se tento bod pohybuje. Střed kružnice leží na ose pevné nápravy viz Obr. 11) níže (vlevo, či vpravo od referenčního bodu dle smyslu otáčení). V teoretické rovině lze říct, že referenční bod je totožný se středem kružnice v případě, že říditelné kolečko se natočí o 90° a přitom je na něm umístěn pohon. [14] [18]



Obr. 12) Princip tříkolky s natočením kola [18]

3.4.2 Ackermanovo řízení

Ackermanův způsob řízení vychází ze čtyřkolového podvozku. Jestliže je správně definován střed otáčení – žádné kolečko není ve smyku, musí se dodržet podmínka, aby vnitřní kolo zatáčelo více než vnější, což má za následek, že obě kola říditelné osy se odvalují po kružnicích se stejným středem a nedochází tak k nechtěnému tření mezi povrchem vozovky a koly robotu. Protože je střed obou kružnic shodný lze tento model řízení značně zjednodušit na případ výše zmíněné tříkolky. [14] [18]



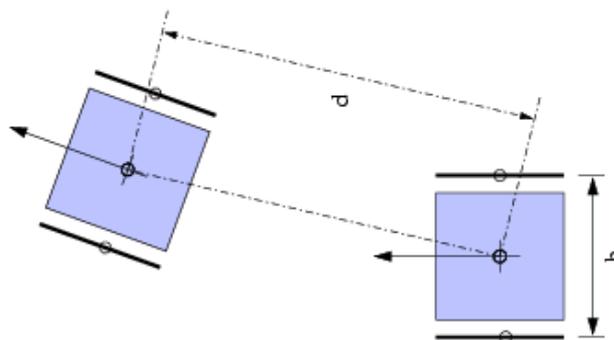
Obr. 13) Ackermanovo řízení [19]

3.4.3 Tank

Transparentním příkladem nonholomních robotů je tzv. koncepce tank neboli diferenciálně řízený robot.

Podstatným parametrem tohoto modelu jsou dvě nezávisle poháněná kola/nápravy. V případě, že se obě točí stejně rychle stejným směrem – robot se pohybuje rovně. Pokud se však každé točí opačným směrem, dochází k rotaci celého robotu na místě kolem středu mezi nápravami, kde se nejčastěji nachází referenční bod.

Pokud není rozdíl mezi nápravami nulový a obě nápravy se točí na stejnou stranu, dochází v tomto důsledku pohybu po kružnici. Poloměr této kružnice závisí na rozdílu rychlosti kol. [14] [18]

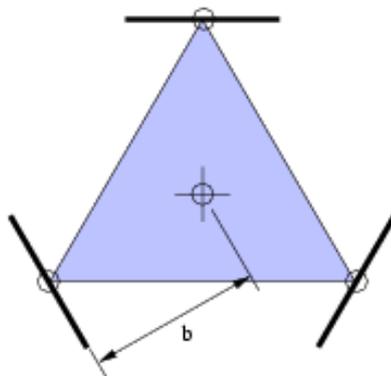


Obr. 14) Ilustrace diferenciálního robota [18]

3.4.4 Všesměrové řízení

Výše uvedené typy vozidel patří všechny mezi nonholonomní. Holonomní vozidlo se definuje tak, že počet stupňů volnosti odpovídá počtu stupňů volnosti pozice. Zjednodušeně řečeno, holonomní vozidlo je schopno měnit svou rychlost nezávisle ve všech směrech. Jako typický příklad se uvádí vznášedlo, protože není nijak omezeno v pohybu do stran.

V případě aplikace všesměrového řízení u robota na kolovém podvozku musí být robot osazen všesměrovými koly. Nejprostší konstrukční řešení této problematiky je do tvaru rovnostranného trojúhelníku.



Obr. 15) Konstrukce všesměrového robota [18]

3.5 Současnost

V okamžiku, kde se produkčním závodům podaří eliminovat prostoje ve výrobě, zpravidla zjistí, že dalším úzkým místem v pořadí se staly dlouhé mezioperační časy v souvislosti s logistikou výrobního materiálu. Hledají tedy řešení, která by jim pomohla umožnit zautomatizovat manipulaci s materiálem za cílem urychlení, zpřesnění a snížení přebytečných stavů pracovníků. V tomto ohledu se nabízí dvě alternativy. Za prvé investovat do technologií automaticky naváděných vozidel (AGV = automatically guided vehicle nebo ADV = automatické dopravní vozíky), jež jsou již poměrně tradiční metodou automatizované přepravy, nebo za druhé zvolit autonomní (či kolaborativní) mobilní roboty (AMR). Tyto stroje jsou více uzpůsobeny potřebám moderní výroby postavené na vysoce individualizované poptávce, flexibilitě a často se měnícím uspořádání dílenských pracovišť. [14]

Flexibilní produkce a měnící se požadavky trhu mají za následek, že uspořádání zařízení se dynamicky přenastavuje s tím, jak vstupují nové procesy a zároveň vznikají nová pracoviště. Lidé, stroje, přepravní palety a další překážky se neočekávaně objevují na místech sloužících jako přepravní koridory. Z toho vyplývá, že systémy automatizovaného transportu materiálu musí být pružné a schopné se přizpůsobit novým situacím, a to nehledě na přísné požadavky bezpečnosti práce. Operace automatizované manipulace s materiálem by proto měla být velice lehce naprogramovatelná, snadno nastavitelná, a co v nejkratším čase uvedená do provozu. Případně přemístěná jinam v rámci výrobního zařízení. [14]

3.5.1 Automaticky naváděná vozidla (AGV)

Konvenční AGV systémy přepravují materiál s využitím fixně uloženého trasování, jež vede vozidlo s využitím pevných vodičů v podobě magnetických pásků, či senzorů integrovaných v podlaze výrobních prostor. Avšak pokud se tento proces, jakkoliv změní, musí být celé schéma pracně předěláno a vybudováno znovu. Pokud dráhu dočasně zablokuje člověk nebo např. materiál, vozidlo se zastaví a po uvolnění cesty se opět uvede do pohybu. [13]

3.5.2 Autonomní mobilní roboty (AMR)

Mobilní roboty jsou přímo určeny pro velmi dynamická prostředí. Disponují platformou kombinující flexibilitu, bezpečnost a efektivní cenové náklady, které umožňují podnikům automatizovat a optimalizovat manipulaci s výrobním materiálem. [13]

Navigace je zprostředkována pomocí senzorů, kamer a sofistikovaně propracovaného softwaru, jenž je integrován do samotného robota, aniž by potřeboval externí snímače či vodící systémy. Jakmile robot zpracuje své okolí (buďto s pomocí nahraných schémat výrobního prostředí nebo zmapováním reálného uspořádání), je schopen autonomně vyhodnotit nejefektivnější trasu do destinace při maximální bezpečnosti během objíždění překážek a vyhýbání se lidem. Podniky díky tomu nemusí instalovat do svých prostor žádné další opatření zajišťující plnohodnotnou funkci např. vodiče či senzory, a roboty jsou tak připraveny ve velice krátkém časovém úseku k práci. [13]

Po AGV vozidlech jsou tak autonomní mobilní roboty následujícím krokem kupředu na poli pružnosti, efektivity, návratnosti investic a produktivity. [13]

Významným protagonistou v oblasti kolaborativní mobilní robotiky je dánská společnost Mobile Industrial Robots (MiR), která již zcela běžně dodává své výrobky i na český trh.



Obr. 16) Ilustrační obrázek mobilního robotu MiR v provedení MirHook [20]

3.6 Stručně o Mobile industrial robots

Dánská společnost Mobile industrial Robots zkráceně MiR patří v současnosti mezi leadery trhu mobilních kolaborativních robotů.

3.6.1 Historie

V roce 2011 byl položen základní kámen robotu MiR. Jednalo se pouze o konceptuální model sestavený z kostek LEGO zakladatelem společnosti Neilem Julem Jacobsenem. Ten pomocí tohoto geniálně jednoduchého nástroje dokázal transformovat svou myšlenku v budoucího robota MiR.



Obr. 17) Koncept robotu MiR – Lego stavebnice [21]

Oficiální založení společnosti MiR datujeme do května roku 2013 v dánském městě Odense. Prapůvodní myšlenkou byla globální optimalizace logistiky.

Během roku 2015 byly vyrobeny a obratem prodány první roboty typu MiR100 (s nosností nákladu do 100 kg).

V následujícím roce 2016 se společnost zaměřila na rozšíření portfolia příslušenství svých produktů – projekt MiR Hook viz Obr. 16), a také došlo k expanzi této firmy mimo Dánsko konkrétně do USA město New York.

Navazující léta znamenaly pro MiR opětovné rozšiřování na poli svých produktů a celosvětovém rozmachu firmy. Formální čísla uvádí sedm poboček s počtem více než 220 zaměstnanců a 167 distributorů ve 48 zemích. [22]

3.6.2 Roboty MiR (AMR)

Roboty MiR jsou primárně určeny k interní přepravě. Modely se od sebe liší především nosností přepravovaného nákladu, který jsou schopny pojmout v hodnotách 100 kg, 200 kg, 250 kg, 500 kg, a 1000 kg. Pohon robotu je zajištěn pomocí lithiové baterie s dobou provozu na jedno nabití (8-10 hod \ 20 km). Maximální rychlost, kterou je robot se schopen bez nákladu pohybovat je 2 m/s. Tato technologie nevyžaduje žádné strukturální změny budovy (tj. dráty v podlaze nebo senzory ve stropě). Řídící systém funguje na bázi softwarového PLC a lze jej ovládat za pomoci smartphonu nebo počítače přes WiFi. Orientaci v prostoru zajišťuje řada 2D, 3D skenerů a kamer. [22]

3.6.2.1 MiR 100

Určené použití pro tento typ robotu jsou transportní úkoly v rámci interní průmyslové logistiky a zdravotnictví. Zdroj energie robotu je 24 V baterie Li – NMC. Existují dvě možnosti, jak robot dobíjet, a to kabelem s dobou trvání 4,5 hodiny nebo dobíjecí stanicí až 3 hodiny. Aktivní provoz robotu při maximálním zatížení činí 10 hodin.

Bezpečnost je zajištěna pomocí SICK safety scannerů S300, které zajišťují vizuální ochranu kolem robotu, dále pomocí 3D kamery Intel RealSense, jejíž funkce dokáže detekovat objekty před robotem a ve vzdálenosti 50–1800 mm nad podlahou. [23]



Obr. 18) MiR100 – Ilustrační obrázek [23]

Tab 2) Rozměrová a váhová specifikace robotu MiR 100 [23]

Parametr	Hodnota	Jednotka [-]
Délka	890	[mm]
Šířka	580	[mm]
Výška	352	[mm]
Váha (bez nákladu)	70	[kg]
Světlá výška	50	[mm]
Šaši	Plastové	-
Průměr kola (hnacího)	125	[mm]
Průměr kola (otáčecího)	125	[mm]
Barva RAL 9010	Bílá	-
Maximální náklad	100	[kg]
Maximální náklad v tahu	300	[kg]

Tab 3) Rychlost a výkon MiR 100 [23]

Parametr	Hodnota	Jednotka [-]
Vpřed*	1,5	[m/s]
Zpět*	0,3	[m/s]
Maximální šířka chodby pro otočení (kolem středu)	520	[mm]
Přesnost polohování	+/- 50	[mm]
Přesnost polohování k dokovací značce	+/- 10	[mm]
Minimální šířka chodby	1	[m]

**Maximální rychlost při maximálním zatížení na rovném povrchu*

Detailní produktový list viz příloha č. 1.

3.6.2.2 MIR 200

Tento robot stejně jako předchozí model MiR100 je určen pro malé až střední transportní úkoly v průmyslové logistice a medicínském prostředí. Napájení obstarává 24 V baterie Li – NMC s kapacitou 40 Ah. Nabíjení pomocí kabelu (4,5 hod) nebo MiR dobíjecí stanice (3 hod). Doba provozu včetně maximálního zatížení činí 10 hod.

Bezpečnost zajišťuje osazení robotu safety prvky jako SICK S300, podporující bezpečnost z optického hlediska kolem robotu a 3D kamery RealSense, která i v této konfiguraci detekuje objekty před robotem ve vzdálenosti 50–1800 mm nad podlahou. [24]



Obr. 19) MiR 200 – Ilustrační obrázek [24]

Tab 4) Rozměrová a váhová specifikace robotu MiR 200 [24]

Parametr	Hodnota	Jednotka [-]
Délka	890	[mm]
Šířka	580	[mm]
Výška	352	[mm]
Váha (bez nákladu)	70	[kg]
Světlná výška	50	[mm]
Šaši	Plastové	-
Průměr kola (hnacího)	125	[mm]
Průměr kola (otáčecího)	125	[mm]
Barva RAL 7011	Železná šedá	-
Maximální náklad	200	[kg]
Maximální náklad v tahu	500	[kg]

Tab 5) Rychlost a výkon MiR 200 [24]

Parametr	Hodnota	Jednotka [-]
Vpřed*	1,1	[m/s]
Zpět*	0,3	[m/s]
Maximální šířka chodby pro otočení (kolem středu)	520	[mm]
Přesnost polohování	+/- 50	[mm]
Přesnost polohování k dokovací značce	+/- 10	[mm]
Minimální šířka chodby	1	[m]

*Maximální rychlost při maximálním zatížení na rovném povrchu

Detailní produktový list viz příloha č. 2.

3.6.2.3 MiR 250

Nejnovější zástupce z flotily robotů společnosti Mobile industrial Robots – MiR 250 je zařazením vymezen pro interní transport materiálu a automatizaci logistiky. Obnovení energetických zásob robotu lze standardně provést dvěma způsoby skrze MiR charger (dobíjecí stanici) nebo pomocí kabelu. Kdy dobu dobíjení z úrovně 10 % na 90 % kapacitu baterie deklaruje výrobce za 70 min. Robot je napájen pomocí baterie 48 V Li – NMC. Aktivní čas provozu robotu při plné zátěži činí 13 hod bez zátěže 17,4 hod.

Vstupy pro bezpečnost zajišťují SICK nanoScan3 (ve předu a vzadu), které provádí 360° vizuální kontrolu kolem robotu. Dále 3D kamery Intel RealSense D435, jenž jsou schopny detekovat objekty 1800 mm vysoké ve vzdálenosti 1200 mm před zařízením. Tento systém je ještě navíc doplněn o 8 přibližovacích senzorů. Celkový horizontální pohled - 114°. Minimální vzdálenost pro rozlišení objektů od země se nachází ve výšce 250 mm. [25]



Obr. 20) MiR 250 – Ilustrační obrázek [25]

Tab 6) Rozměrová a váhová specifikace robotu MiR 250 [25]

Parametr	Hodnota	Jednotka [-]
Délka	800	[mm]
Šířka	580	[mm]
Výška	300	[mm]
Váha (bez nákladu)	83	[kg]
Světlá výška	25-28	[mm]
Šaši	Eloxovaný hliník	-
Průměr kola (hnacího)	200	[mm]
Průměr kola (otáčecího)	125	[mm]
Barva RAL 7011	Železná šedá	-
Maximální náklad	250	[kg]

Tab 7) Rychlost a výkon MiR 250 [25]

Parametr	Hodnota	Jednotka [-]
Maximální rychlost*	2,0	[m/s]
Přesnost polohování	+/- 20	[mm]
Přesnost polohování k dokovací značce	+/- 10	[mm]
Minimální šířka chodby	1 300	[mm]

*Maximální rychlost při maximálním zatížení na rovném povrchu

Detailní produktový list viz příloha č. 3.

3.6.2.4 MiR 500

MiR 500 je navržen pro automatický transport palet a těžkých nákladů napříč různými typy průmyslu. Celé zařízení je poháněno 48 V baterií Li-NMC (41,6 Ah) při dvojitým způsobu nabití MiR Charge „dokovačkou“ nebo kabelem. Nabití z úrovně 10 % kapacity baterie na 90 % výrobce deklaruje za časový interval 1 hod. Vzhledem k velice těžce odhadnutelné maximální délce provozu při maximálním zatížení uvádí společnost MiR u tohoto modelu pouze dobu bez zatížení, která dělá 15 hod provozu.

Rizikové podněty jsou vyhodnocovány na základě SICK microScan3, umístěného ve předu a vzadu na robotu, jenž zajišťují 360° vizuální záštitu bezpečí. Dále je šasi robotu osazeno 3D kamerami RealSense D435, včetně osmi přibližovacích senzorů. Detekce objektů se pohybuje v rozmezí 1 700 mm do výšky ve vzdálenosti 950 mm před robotem. Celkový horizontální pohled – 114°. Minimální distance předmětu od země 250 mm.[26]



Obr. 21) MiR 500 – Ilustrační obrázek [26]

Tab 8) Rozměrová a váhová specifikace robotu MiR 500 [26]

Parametr	Hodnota	Jednotka [-]
Délka	1350	[mm]
Šířka	910	[mm]
Výška	320	[mm]
Váha (bez nákladu)	226	[kg]
Světlá výška	40	[mm]
Průměr kola (hnacího)	200	[mm]
Průměr kola (otáčecího)	100	[mm]
Barva RAL 7011	Železná šedá	-
Maximální náklad	500	[kg]

Tab 9) Rozměrová a váhová specifikace robotu MiR 500 [26]

Parametr	Hodnota	Jednotka [-]
Maximální rychlost*	2,0	[m/s]
Přesnost polohování	+/- 20	[mm]
Přesnost polohování k dokovací značce	+/- 10	[mm]
Minimální šířka chodby	1 950	[mm]

**Maximální rychlost při maximálním zatížení na rovném povrchu*

Detailní produktový list viz příloha č. 4.

3.6.2.5 MiR 1000

Konstrukce MiR 1000 byla navržena k transportu těch nejtěžších břemen, nákladů a palet. Jedná se o nejvýkonnější robot MiR, který svou funkcí dokáže přepravovat tyto náklady i ve vysoce dynamickém prostředí bez jakýchkoliv vnějších zásahů do bezpečnostních opatření.

Robot je opět poháněn 48 V baterií s kapacitou 40 Ah. Jeho bezpečnostní sensorika je totožná s dvěma předchozími modely MiR 250 a MiR 500. Garantovaná doba provozu bez zatížení je 15 hod. [27]



Obr. 22) MiR 1000 – Ilustrační obrázek [27]

Tab 10) Rozměrová a váhová specifikace robotu MiR 1000 [27]

Parametr	Hodnota	Jednotka [-]
Délka	1350	[mm]
Šířka	910	[mm]
Výška	320	[mm]
Váha (bez nákladu)	231	[kg]
Světlá výška	40	[mm]
Průměr kola (hnacího)	200	[mm]
Průměr kola (otáčecího)	100	[mm]
Barva RAL 9005	Signální černá	-
Maximální náklad	1000	[kg]

Tab 11) Rozměrová a váhová specifikace robotu MiR 1000 [2]

Parametr	Hodnota	Jednotka [-]
Maximální rychlost*	1,2	[m/s]
Přesnost polohování	+/- 20	[mm]
Přesnost polohování k dokovací značce	+/- 10	[mm]
Minimální šířka chodby	2600	[mm]

*Maximální rychlost při maximálním zatížení na rovném povrchu

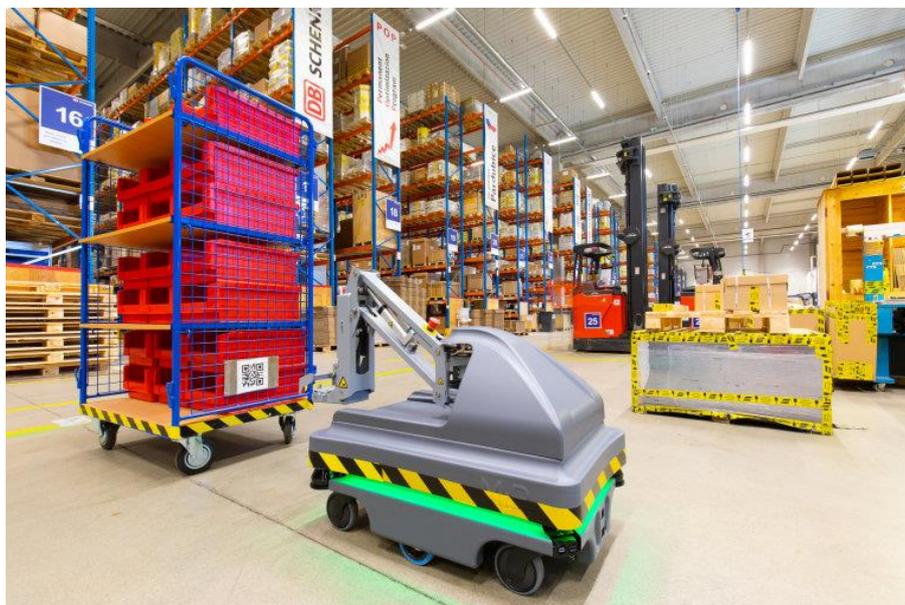
Detailní produktový list viz příloha č. 5.

3.6.3 Top moduly

MiR poskytuje několik možností, jak navýšit funkcionalitu svých robotů, které tak mohou táhnout vozíky neb např. převážet palety.

3.6.3.1 MiR Hook

Tato aplikace je dostupná pro roboty MiR 100 a MiR 200 umožňuje robotu zapojit a táhnout vozíky. Táhnoucí kapacita u prvně zmiňovaného robotu je 300 kg a u druhého 500 kg. [28]



Obr. 23) MiR Hook aplikace v DB Schenker Pardubice [29]

3.6.3.2 MiR Pallet lifts

The EU Pallet lift a rack

Tento topmodul dává možnost robotu MiR 500 nebo MiR 1000 vyzvednout a odložit autonomně paletu o půdorysných rozměrech 1200 mm x 800 mm.

Doručovací nebo i odběrovou stanicí zde zastává paletový stojan (rack) kotvený do podlahy. Konstrukce se skládá ze dvou částí a ve své podstatě se jedná pouze o jednoduchý svařenec vyhotovený v přesně daných rozměrech a zároveň zakrytovaný plechy.

Robot je schopen výškově kompenzovat vzdálenost 60 mm. Z toho velice jednoduše vyplývá, že celý proces odkládání a vyzvednutí palety probíhá následujícím způsobem. V modelovém případě nachystané palety na stojanu robot podjede samotnou paletu odloženou na stojanu, zastaví se a následně provede vertikální zdvih o zmíněných 60 mm. Spodní strana palety takto ztrácí kontakt s odkládací plochou „racku“ a je uvolněna k transportu do další destinace. Položení palety na stojan funguje zcela obdobně s tím rozdílem, že paleta je vyzvednuta nad plochu stojanu a dále vertikálně spuštěna v záporném smyslu osy Z. [30]



Obr. 24) MiR EU Pallet lift a odkládací konzole [31]

The Shelf Pallet lift a rack

Obdobný druh paletového topmodulu, jenž zprostředkovává manipulaci netypickými paletami pro evropský region. Způsob odkládání a vyzvednutí funguje na totožném principu jako v předešlém případě. Jiný typ „paletového zdvihu“ je zde zvolen pouze vzhledem k nestejným půdorysným rozměrům a nejednotné koncepci spodní strany palety. [30]



Obr. 25) MiR pallet shelf lift a odkládací konzole [32]

3.6.4 Software

Řídicí systém robotu je založen na platformě ROS (Robot Operating System), což je open source flexibilní framework pro vytváření robotických aplikací. Jedná se o sbírku nástrojů, knihoven jejichž hlavním cílem je simplifikace úkolů pro vytváření komplexních a robustních robotických chování přes širokou škálu prostředků. [33] [34]

Od svého prvopočátku byl ROS stavěn pro podporu rozmachu kooperace v robotických softwarech. Kupříkladu, jedno ze strategických robotických středisek se bude věnovat vývoji mapování interních prostor, a tím pádem má potenciál se stát dodavatelem kvalitního systému pro produkci map. Jiné středisko bude disponovat odborníky na využití map pro navigaci a další zase experty pro robotické vidění. Všechny tyto střediska tak mohou být pracovně propojeny a těžit ze své tvorby navzájem. [33] [34]

ROS, jak již bylo zmíněno je open source software poskytující servis, který lze očekávat od operačního systému jako hardware abstrakce, low – level ovládání zařízení, provedení běžně používaných funkcí, přejímání zpráv mezi procesy a správu balíků. Má k dispozici nástroje a knihovny pro získání, vytváření, psaní a spouštění kódů na vícero počítačích. [33] [34]

Stěžejní klientské knihovny ROS jsou zaměřeny na unixový systém, především kvůli jejich závislosti na rozsáhlých sbírkách softwaru open-source. V rámci těchto knihoven je předním podporovaným systémem Linux a jiné frakce jako Fedora Linux, macOS a Microsoft Windows jsou označeny jako „experimentální“, avšak podporované komunitou. [33] [34]

Společnost Mobile industrial Robots vyvinula dva softwarové systémy pro komunikaci s jejich produkty. V prvním případě se jedná o komunikační rozhraní pro jednotlivé roboty. V případě druhém hovoříme o tzv. řešení MiR Fleet (flotila), která nabízí možnost ovládání skupiny robotů z jednoho centralizovaného umístění. [33] [34]

3.6.5 Navigace a mapování

Roboty MiR musí mít přehled o prostředí, ve kterém se pohybují, proto aby mohli plánovat trajektorie pohybu. Ve vnitřním prostředí se však nelze spoléhat na satelitní signály. Autonomní roboti tak potřebují přesnější údaje o poloze, než poskytuje GPS.

Namísto klasické GPS používají tyto roboty technologii SLAM (Simultaneous Localization And Mapping) k vytvoření mapy a současné lokace, zobrazení prostředí, již zmíněné plánování trajektorie a vyhýbání se neočekávaným překážkám. [35] [36]



Obr. 26) Demonstrativní obrázek mapy vytvořené technologií SLAM [37]

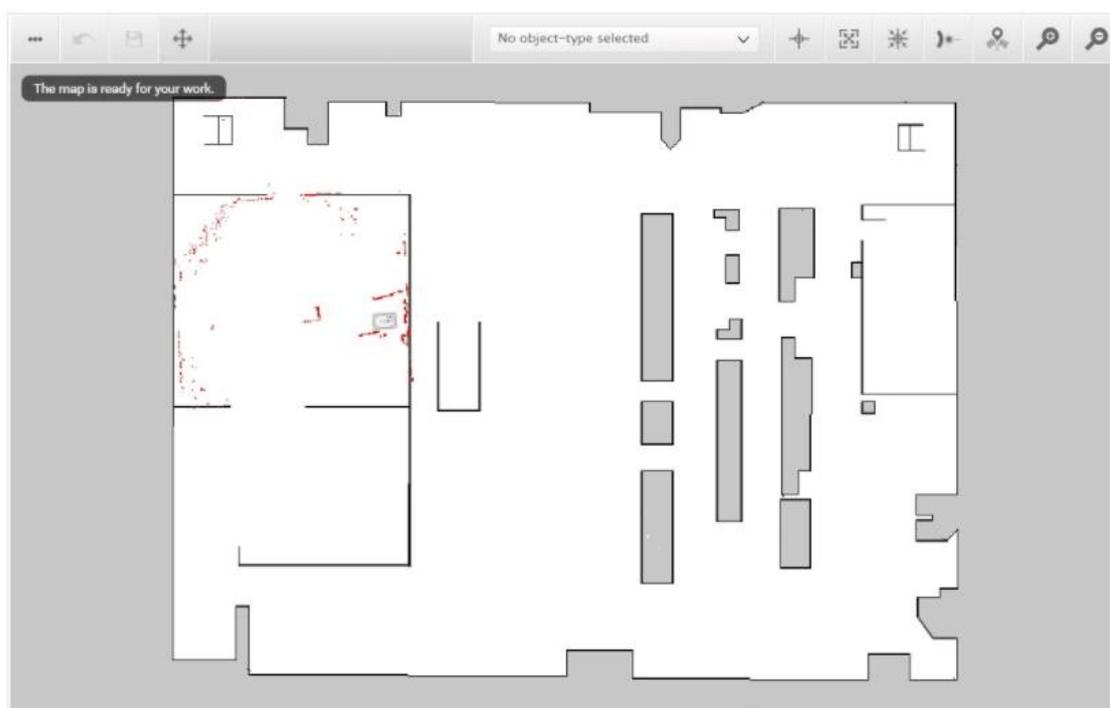
Algoritmy typu SLAM jsou souborem technik, jejichž hlavním výsledkem je zpracovávat vícerozměrné signály z vhodných senzorů takovým způsobem, že je při pohybu prostorem tvořena mapa a zároveň i aktualizována informace o poloze snímače.

V praxi to tedy vypadá tak, že robot při mapovacím procesu opatrně projíždí prostor, do kterého je aplikován. Sensory robotu průběžně shromažďují a interpretují data ze svého okolí, tak aby určit svou vlastní pozici a orientaci v prostředí. V rámci pohybu také skenuje objekty potenciální kolize a vyhodnocuje jejich budoucí vyhnutí. Robot vidí svět ve 2D, čili v rámci procesu skenování a detekce objektů nad podlahou, stále promítá data do dvou dimenzionální

roviny, čímž účinně zplošťuje každou překážku a činí jí součástí podlahy. Toto prostředí je analyzováno za pomoci laserových skenerů a kamer v kombinaci s odometrií získanou z enkodérů motoru a jednu IMU (Inertial Measurement Unit), která poskytuje údaje o ujeté vzdálenosti a orientaci robotu.

Další možností „namapování“ terénu je importovat mapu přímo do robotu jako soubor s příponou PNG.

V případě použití většího množství robotů v totožném prostředí lze využít již vytvořené mapy na jednom robotu a následný kopírovací transfer souboru do několika dalších robotů. [35] [36]



Obr. 27) Příklad vytvářené mapy [35]

3.6.5.1 Statické prostředí

Mezi statické orientační body patří stěny sloupy, dveře, části budov jako např. stěny (budou vždy na stejném místě) pevné stroje, paletové regály nebo cokoli, co nelze snadno přemístit. Stěny a obrysy se na mapě vyznačují černou barvou. Neznámá neboli nezmapovaná teritoria barvou šedou. Podlaha, po které se robot může volně pohybovat je bílá. Červené tečky vyobrazují objekty zachycené laserovými skenery a samotný robot společně s jeho orientací je na mapě zobrazen šipkami. [38]

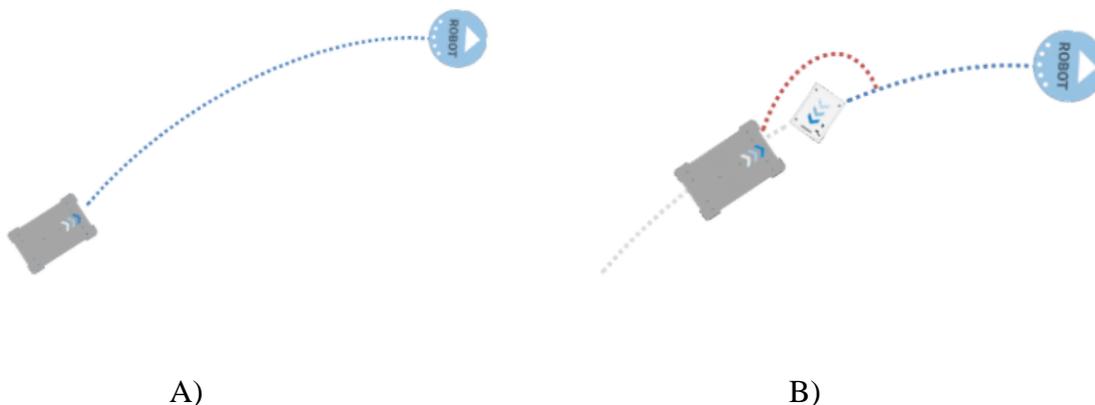
3.6.5.2 Dynamické prostředí

Dynamické překážkou jsou naopak lidé, palety, krabice, nebo cokoli, co se bude pohybovat. Tyto překážky nejsou součástí mapy robotu. Robot detekuje tento druh objektu a vyhýbá se mu operativně. [38]

3.6.6 Plánování cest a vyhýbání překážek

Aby byl robot schopen efektivně plánovat svou pracovní trajektorii, jak již bylo zmíněno, je zapotřebí, aby znal svou současnou pozici. V tomto ohledu pracuje se dvěma typy základních technik, aby se dostal z bodu A do bodu B.

Jako první krok vytvoří globální plán tzn. cestu k cíli na základě toho, co ví o prostředí z jeho mapy a jakýchkoli počátečních dat z jeho senzorů a kamer. V rámci průběhu dané cesty, však může navigovat pomocí tzv. lokálního plánu, při kterém reaguje na dynamické překážky v rámci původně (globálně) naplánované cesty. To má za následek vyhnutí se překážce nebo např. čekání po určitou dobu, pokud je cesta zablokována. Poté provede korekci kurzu a vrátí se k původnímu globálnímu plánu. [38]

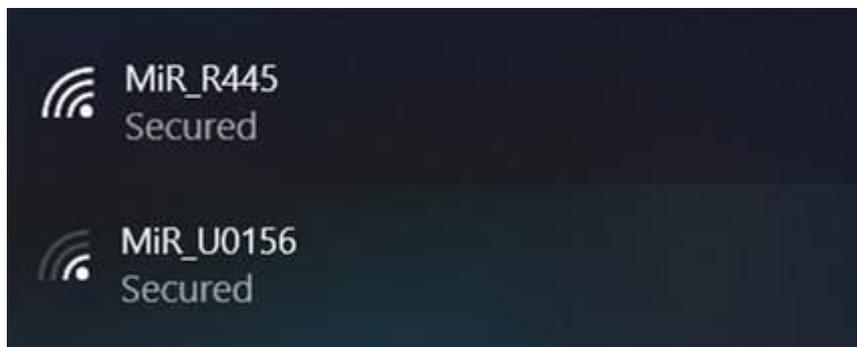


Obr. 28) A) Globální plánování robotu MiR [38]

Obr. 29) B) Lokální plánování robotu MiR [38]

3.6.7 Komunikace a interface robotu

Komunikace s robotem je velice jednoduchá. Každý robot disponuje svou vlastní IP adresou. Jestliže je robot zapnutý, lze se k němu připojit pomocí WiFi přístupového bodu prostřednictvím PC, tabletu nebo mobilního telefonu. Jestliže uživatel zná přístupové jméno a heslo. Tím se otevře programovací rozhraní.



Obr. 30) Příklad připojovacího signálu robotu MiR [39]

Uvnitř toho programu uživatel vykonává potřebné operace k manipulaci s robotem. Může například např. přepnout robot do ručního ovládání volně pomocí virtuálního joysticku s robotem popojíždět nebo monitorovat současnou orientaci ve vymezeném prostoru, importovat mapy atd. Hlavní devízou je však vytváření logistických misí, ke kterým je tento typ technologie determinován. [39]



Obr. 31) Uživatelské rozhraní MiR – Dashboard [39]

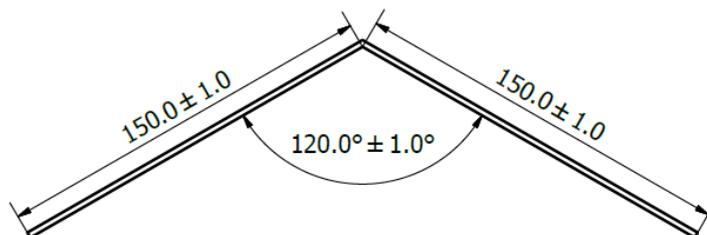
3.6.8 Dokování

Existuje několik způsobů, jak tento autonomní kolaborativní robot dostat na požadované souřadnice, které mají své vyšší opodstatnění jako je například dobíjení nebo důležité odběrové místo z hlediska logistiky. Každý z těchto způsobů vychází z přesného označení na mapě robotu.

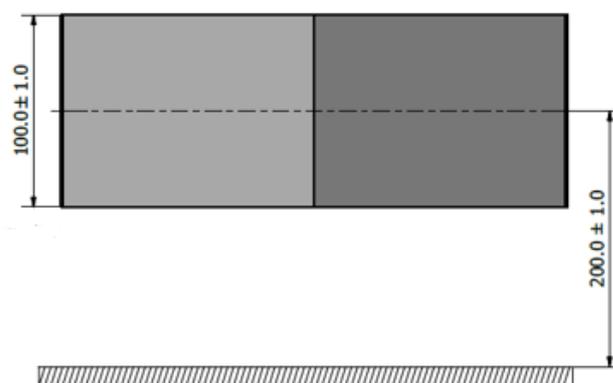
Nejjednodušší varianta spočívá v pouhém přejetí MiR do již zmíněné polohy označené na mapě, kde nejsou k dispozici žádné fyzické objekty a na polohu podlahy lze přistupovat z jakéhokoli úhlu. Přesnost je však ovlivněna lokalizací robotu, a to může zapříčinit problém v podobě kolize koordinátů polohy se sousedními objekty. Samotný robot zastavuje na této poloze s určitou tolerancí jak délkovou, tak úhlovou v závislosti na daném typu. Z tohoto důvodu se používají tzv. dokovací značky (markery). [39]

3.6.8.1 V – marker

MiR naviguje k této fyzické značce s vysokou přesností, její umístění lze lokalizovat blízko ke zdi nebo stroji. Musí být však viditelná ve výšce laserových skenerů v závislosti na typu robotu. [39]



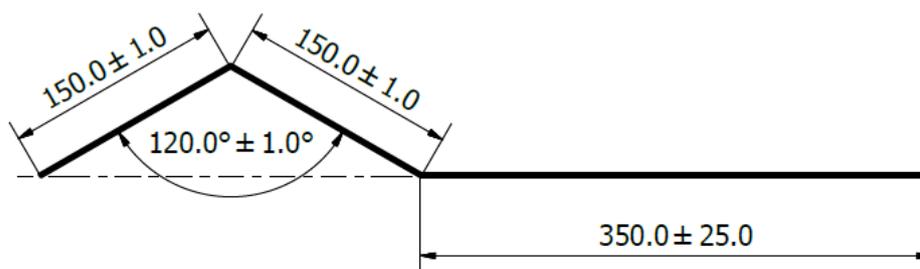
Obr. 32) Půdorysný pohled V – markeru [39]



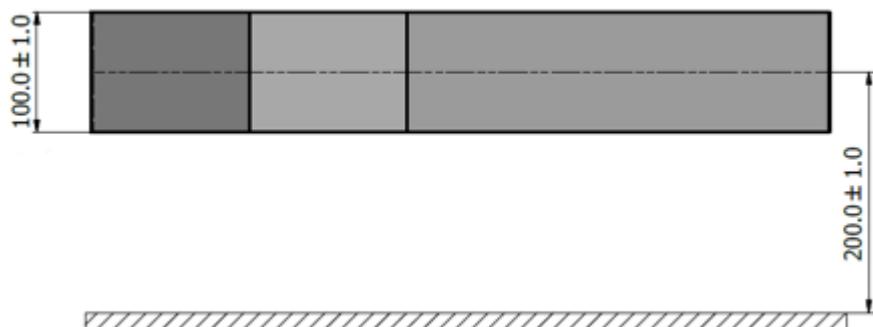
Obr. 33) Výška V markeru od země [39]

3.6.8.2 VL – marker

Jedná se o přesnější variantu dokování než u předchozí varianty, jenž musí splňovat totožné podmínky, aby byla zajištěna její plná funkcionalita. [39]



Obr. 34) Půdorysný pohled – VL markeru [39]



Obr. 35) Výška VL markeru od země [39]

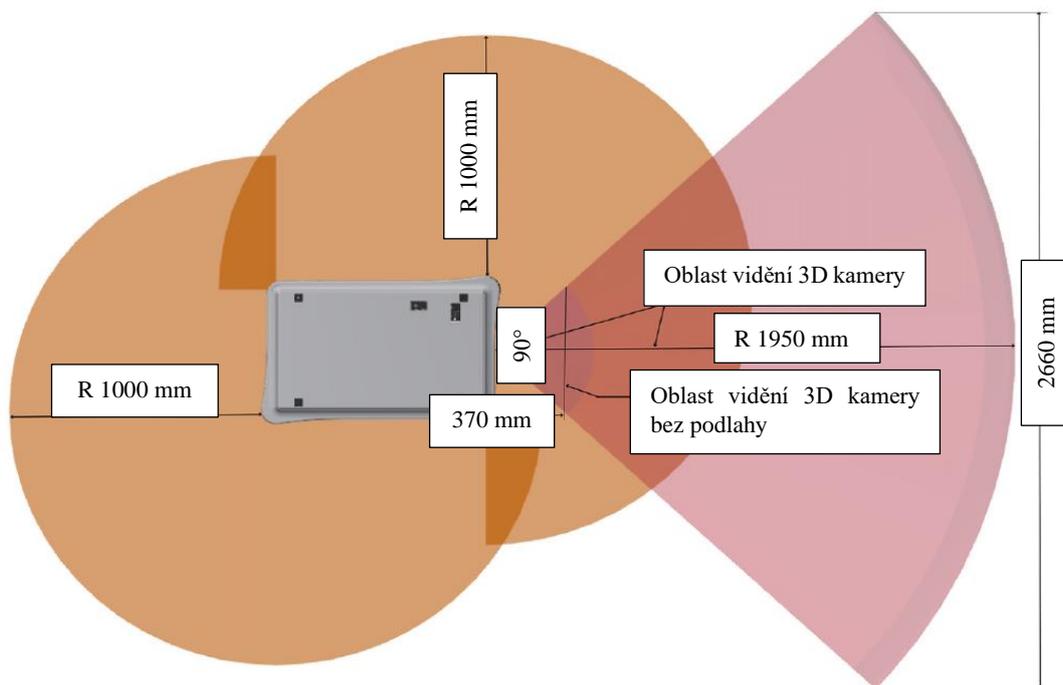
Tohoto dokovacího značení využívá především MiR dobíjecí stanice (MiR Charge), která má na přední desce svého šasi zabudovanou značku VL. V tomto případě se využívá i funkce offset, což má za následek vyrovnaní v souladu s dokovacími kolíky umožňující nabíjení. [39]



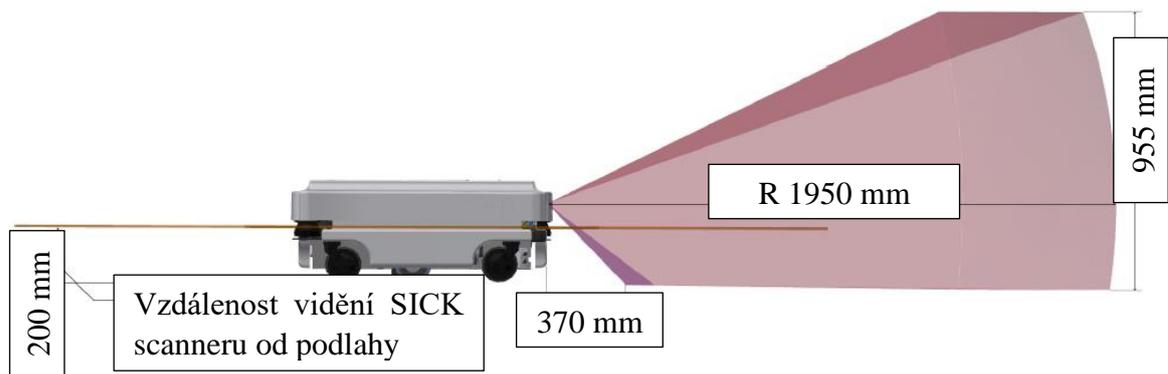
Obr. 36) Dobíjecí stanice MiR Charge [39]

3.6.9 Bezpečnost

Zorné pole robotu jde vidět na dvou následujících obrázcích. Z přední kamery vychází 98° kužel, který dosahuje až 1950 mm do maximální výšky 995 mm. Skenery vymezují zorné pole o hodnotě 270°. [39]



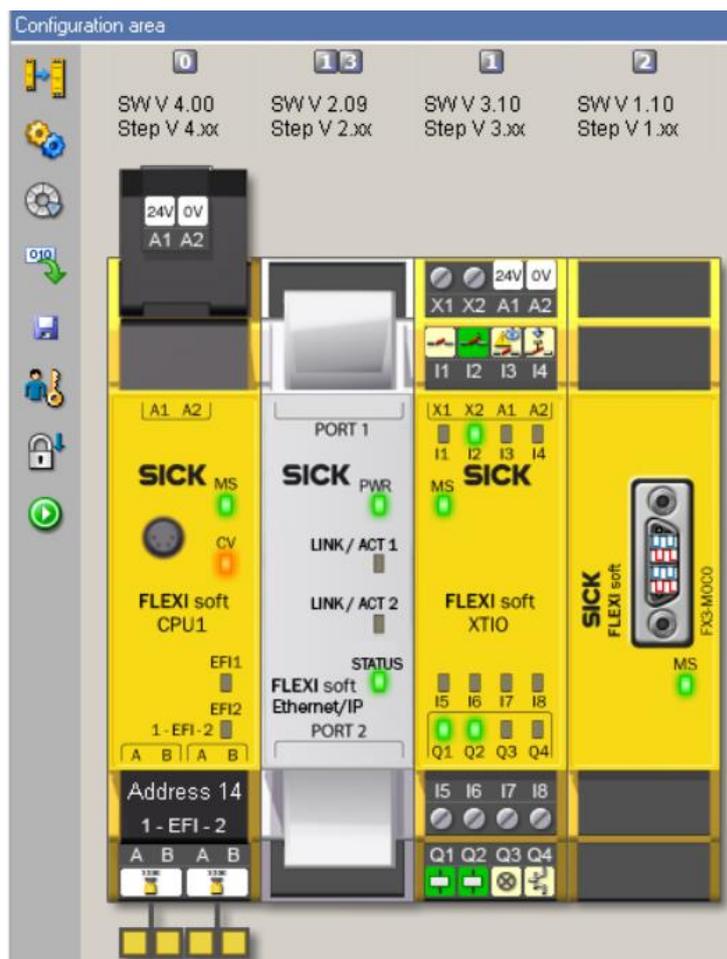
Obr. 37) Schéma bezpečnostních zón robotu – půdorys [39]



Obr. 38) Schéma bezpečnostních zón robotu – bokorys [39]

3.6.9.1 Bezpečnostní systém SICK

Do přenastavení bezpečnosti robotu se lze dostat pomocí Safety designeru od firmy SICK na modelech MiR 250, MiR 500 a MiR1000. U prvních dvou modelů s nosností 100 a 200 kg se aplikuje safety designer s názvem SICK Flexi Soft. Po připojení na příslušnou IP adresu robotu a povolení komunikace na bázi TCP/IP lze načíst bezpečnostní nastavení přímo ze softwarového PLC a následně jej upravovat a opět nahrát do PLC jako novou konfiguraci. [34]



Obr. 39) Ukázka bezpečnostní konfigurace v programu Flexi Soft [39]

3.6.10 MiRGO

MiR je otevřená robotická platforma pro různé typy aplikací, a to nejen v průmyslu. K tomu, aby se však odemkl skutečný potenciál této technologie je zapotřebí doplnit šasi robotu o konstrukční nastavbu neboli topmodul inspirace viz kapitola 5.3.

Tyto topmoduly, tak otevírají zcela nové možnosti využití logistických a manipulačních procesů. V podstatě kdokoliv může navrhnout design tohoto topmodulu pro určitý typ použití, následně jej prostřednictvím oficiálního webu společnosti Mobile industrial Robots a pomocí jejich služby MiRGO nabídnout ke komerčnímu využití.

Příklady topmodulů:

- Desinfekce
- Rámy/Police
- Kotvící zařízení
- Zdvihy
- Dopravníky
- Robotické ramena
- Stanice
- Komunikace [40]



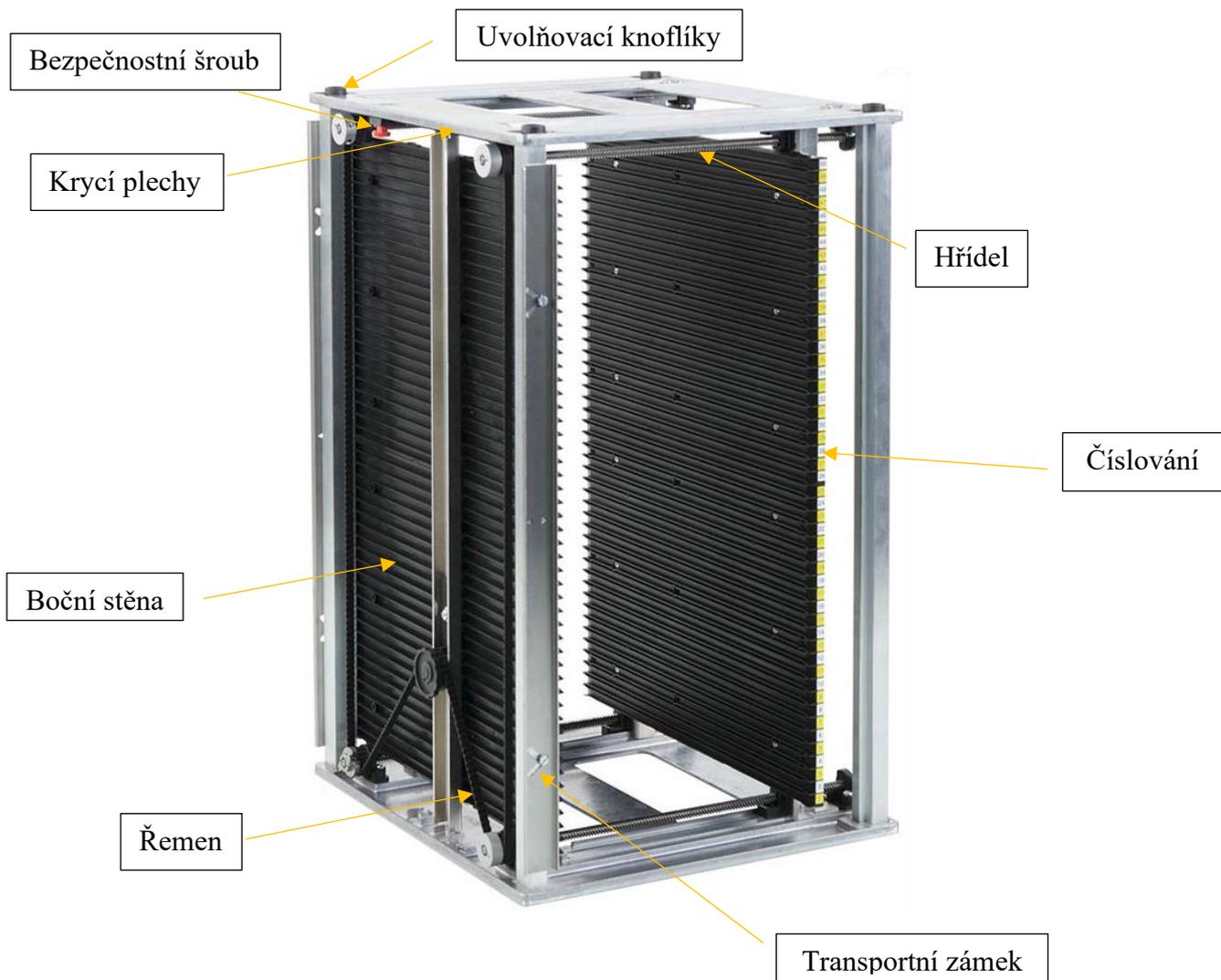
Obr. 40) Příklad dezinfekční nastavby s UV lampou [41]

Hlavním předmětem praktické části této diplomové práce je konstrukční návrh originální dopravníkové nastavby pro potřeby SMT průmyslu. Jedná se o logistický transport SMT Cab magazínu, který se využívá pro uskladnění, manipulaci a výrobu v odvětví osazování PCB desek plošných spojů.

3.7 PCB Magazín

Jedná se o deskový pořadač sloužící k manipulaci v SMT (surface mounting technology) výrobním průmyslu. V praxi se jedná o povrchovou montáž, kdy se elektronické součástky pájením osazují přímo na povrch plošného spoje. Typickým příkladem tohoto produktu je základová deska počítače či notebooku.

3.7.1 Popis konstrukce magazínu



Obr. 41) PCB magazín [42]

Uvolňovací knoflíky

Zastávají stohovací funkci v magazínu. [43]

Krycí plechy

Jsou vyrobeny z litého hliníku nebo ocelového plechu. Nachází se na horní a dolní části magazínu. [43]

Číslování

Je vedeno podél slotů PCB desek a zjednodušují ruční vkládání. [43]

Boční stěny

Materiál bočních stěn se produkuje ve dvou variantách, a to buď z vodivého plastu nebo kovu pro provoz při okolních teplotách 50 až 200 °C. [43]

Transportní zámek

Standardně jeho umístění bývá na přední a zadní straně, kde je namontována lišta. Při zvedání se tyč posune ven a zablokuje se v horní poloze. Deska plošných spojů lze vložit nebo vyjmout. Při dalších zvedání jsou štěrby zajištěny [43]

Hřídél

Používá se při přenastavení pohyblivé části stěny. Celkově jsou čtyři. [43]

Bezpečnostní šroub

Upnutí ozubeného řemene pomocí šroubu s křídlovou hlavou zabrání náhodnému přenastavení pohyblivé boční stěny. [43]

Ozubený řemen

Zatažením za řemen se boční stěny zaujmou požadovanou šířku v určitém rozmezí dle dané desky a typu a magazínu. [43]

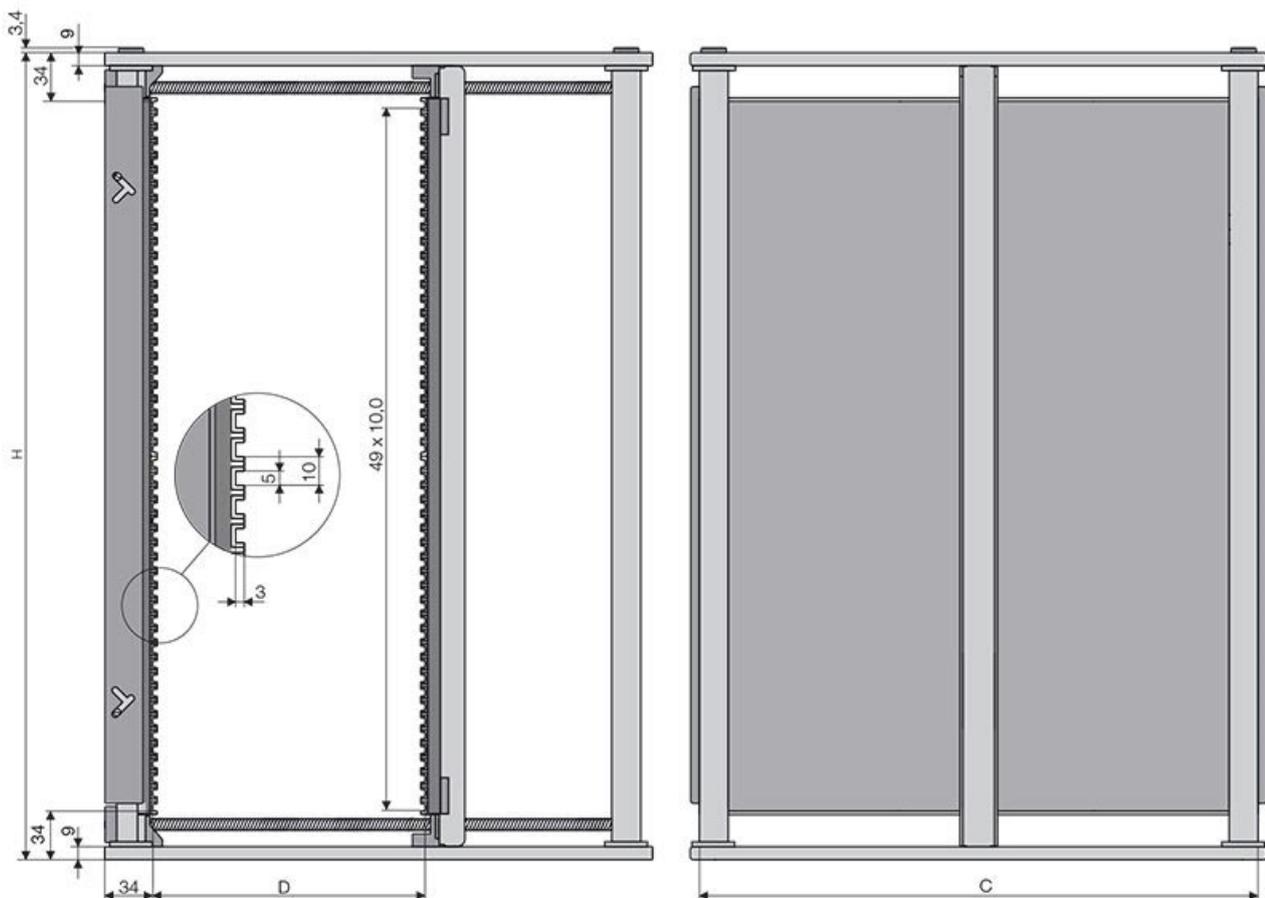
3.7.2 Typy PCB magazínu

Magazíny se zhotovují v šesti modelových řadách. Jmenovitě od nejmenších 100, 180, 300, 600, 700 a 800. Liší se mezi sebou zástavbovými rozměry, materiálem a možností nastavení. Z toho logicky vyplývá, že každá řada magazínu je schopna pojmout do svých slotů PCB desku o jiných rozměrech. Detailní technická data všech modelových řad magazínů viz příloha č. 6.

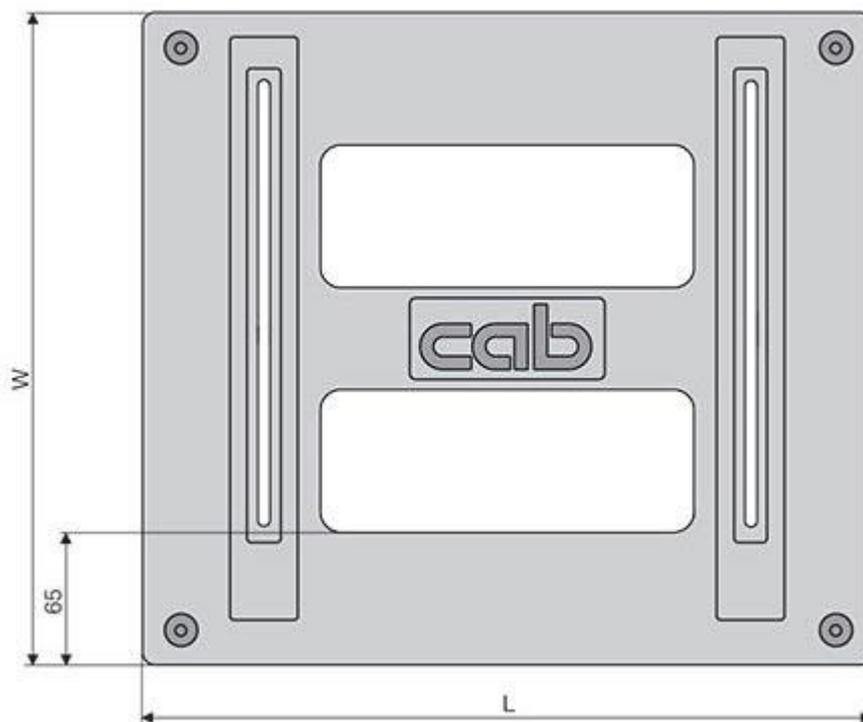
Pro potřeby této diplomové práce byl zvolen magazín od společnosti CAB z modelové řady 700, přesný typ 701.3. Jeho vlastnosti viz tabulka níže [44]:

Tab 12) Informace o CAB magazínu 701.3 [44]

Typ	Boční stěna	Teplota		Váha [kg]	Rozměry			PCB	
		Vložení [°C]	Okolí [°C]		Šířka – W [mm]	Délka – L [mm]	Výška – H [mm]	Šířka – D [mm]	Délka – C (do) [mm]
701.3	Kov	200	100	6,9	320	355	563	40–250	342



Obr. 42) Ilustrační obrázek rozměrů CAB magazínu – boční a zadní pohled [45]



Obr. 43) Ilustrační obrázek rozměrů CAB magazínu – vrchní pohled [45]

4 NÁVRH KONSTRUKČNÍHO ŘEŠENÍ DOPRAVNÍKOVÉ NÁSTAVBY ROBOTU MIR, PŘI DODRŽENÍ POŽADAVKŮ NA MAXIMÁLNÍ ZÁTĚŽ ROBOTU A POKUD MOŽNO PŘEVOZU DVOU PLNÝCH PCB MAGAZÍNŮ S POTŘEBNÝMI PARAMETRY

V podkapitole 2.3 s názvem Automatizace manipulačních činností operátora je nastíněno zamýšlené řešení za pomoci autonomního kolaborativního robotu, jenž má za úkol zcela nahradit přítomnost operátora ve výrobní proces. Tato myšlenka se zároveň opírá o řešeršní kapitolu č. 3, která utvrzuje informace o tom, že soudobá průmyslová robotizace již v tomto ohledu nabízí východiska v podobě modifikovatelných platforem AMR kolaborativních vozidel např. od zmíněné firmy MiR. Zároveň z této kapitoly vyplývá, že determinace robotů tohoto typu disponuje variabilními možnostmi uplatnění v různých odvětvích.

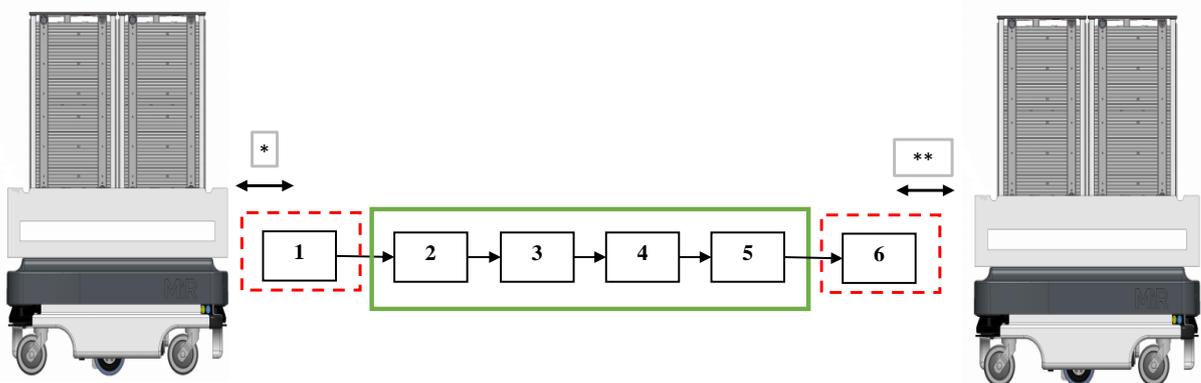
Modelovou problematiku v případě této diplomové práce zastává logistický proces „nakládky“ a „vykládky“ materiálu prostřednictvím PCB magazínu, osazeného deskami pro pájení plošných spojů, kde jednoznačně vyvstává otázka, jak tento magazín dopravit do vstupního/výstupní stanice SMT výrobní linky (Nutek Unloader / Loader), jestliže je aplikován mobilní robot.

Vzhledem k velice jednoznačné charakteristice daného procesu a nabytých informacích o možnostech robotu MiR, se tak koncepce doplnění robotu o konstrukční dopravníkovou nástavbu neboli topmodul, který by tak nahradil lidské ruce a dokázal plně zastoupit triviální manipulační činnosti, jeví zcela reálně.

Následující text této DP se zabývá návrhem konstrukčního řešení dopravníkové nástavby zároveň definicí podmínek, za jakých tento koncept bude efektivně realizovatelný pro převoz dvou PCB pořadačů.

4.1 Systémový rozbor problematiky

Užití dopravníkové nástavby mobilního kolaborativního robotu MiR je nutné přizpůsobit potřebám stávající procesně výrobní SMT posloupnosti. Viz následující modelový příklad:



Obr. 44) Schématické vyobrazení výrobní posloupnosti SMT linky s asistencí MiR

Legenda k předchozímu Obr. 45):

- Červeně ohraničená oblast značí stroje, jež budou v přímé interakci s robotem MiR, jestliže dojde k nahrazení operátora výroby.
- Zelená oblast vymezuje výrobní stanice, kde SMT výrobní proces podstupuje pouze samotná deska bez použití PCB magazínu.
- (*) Směr pohybu vyložení a zpětného pojetí PCB pořadače dopravníkovým topmodulem.
- (**) Směr pohybu vyložení a zpětného pojetí PCB pořadače dopravníkovým topmodulem.

1) Vstup PCB magazínu do linky (Nutek loader)

Na začátku procesu vchází PCB magazín s vloženými deskami bez SMD součástek. Nutek loader zpracuje kompletně celý magazín, který je na vstupu osazen řemínkovým dopravníkem, následuje vyložení surových desek (pomocí pístnice pneumatického válce), které pošle do další výrobní operace. Prázdný magazín již bez desek je vrácen zpět na začátek viz obousměrná šipka.

2) Osazovací stroj

V rámci této produkční operace jsou umístěny SMD komponenty na desku.

3) Pájecí stroj

Pájení osazených SMD dílců na povrchu desky.

4) Čistící stroj

Čištění desky od zbytkových nečistot z procesu pájení.

5) Testovací stroj

Vizuální kontrola společně s ověřením 100 % funkčnosti desky z hlediska elektrického. V případě, že není deska vyrobena dle požadované kvality, dochází k její selekci na přepracování nebo vyloučení jako NOK kusu.

6) Výstup PCB magazínu z linky (Nutek unloader)

Na konci procesu jsou již osazené zapájené desky vsouvány zpět do nového prázdného PCB magazínu, logisticky dodaného na definované pozici u výstupu z linky. Konstrukce výstupu je totožná se vstupem. Proces končí, jestliže je takto obsazený magazín (desky i se zapájenými SMD dílci) vyjmut ven z linky.

4.1.1 Použití robotu

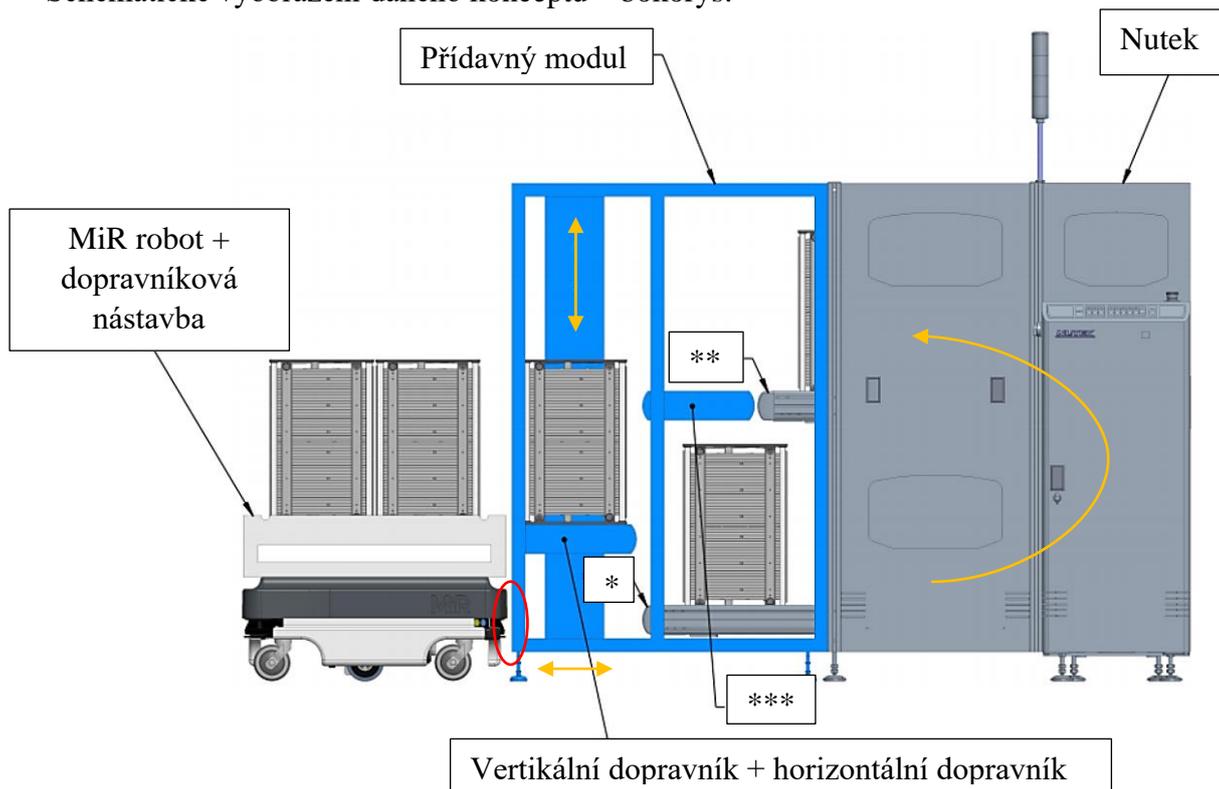
- 1) Logistická doprava PCB magazínu obsazeného deskami (bez SMD komponent) na vstup linky a zpětné pojetí totožného pořadače bez desek.
- 2) Transport prázdného magazínu na výstup linky a zpětné pojetí stejného pořadače s osazenými deskami SMD komponenty.

4.2 Interakce s Nutek Unloader/ Loader

Stěžejním technickým kritériem je svislý (výškový) rozměr samotného robotu v porovnání se vstupem/výstupem materiálu linky Nutek Unloader/Loader, kde současně stroj musí poskytnout robotu prostor k zadokování na jednu ze značek, uvedených v kapitolách 3.6.8.1 a 3.6.8.2. Každý z robotů od společnosti Mobile industrial Robots je výškově větší nebo roven 300 mm.

4.2.1 Konvenční vstup/výstup pro 2 a více magazínů Nutek NTA multi magazine line loader

Schématické vyobrazení daného konceptu – bokorys:



* Konec pevného vstupního dopravníku

**Konec pevného výstupního dopravníku

*** Nutné prodloužení pevného výstupního dopravníku

Obr. 45) Logistický proces dodávky materiálu do Nutek multi magazine line loader [46]

Jak je možné vidět z předešlého obrázku transport PCB magazínů do konvenčního vstupu Unloader/Loader Nutek multi line magazine je velice problematická záležitost, kterou není možné realizovat např. bez přídavného modulu v podobě „mezidopravníkového“ výtahu (zjednodušený model viz Obr. 45 – modrá barva), a to z důvodu, že samotná konstrukce robotu je mnohem vyšší než vstupní dopravník bez konstrukční nástavby i s ní.

Tento modul složený z kombinací dopravníků vertikálního a horizontálního má za úkol distribuci materiálu mezi třemi pevně danými výškovými souřadnicemi, a zajišťuje tak kompenzaci plynulosti přechodu PCB magazínu v odlišných horizontálních plochách mezi robotem, vstupním dopravníkem a výstupním dopravníkem. Modul tohoto typu neexistuje

jako běžně dodávaná obce částí SMT linky a automatizační integrátor by jej musel celý vyvinout. Konstrukce těchto konvenčních loader/unloader částí produkčních strojů určených k osazování dovozuje jistý způsob modifikace, např. prodloužení výstupního dopravníku je výrobcem (Nutek) řešitelné zadání a jistá úprava návaznosti dopravníků na zmiňovaný vertikální mezičlánek také. Avšak z hlediska komunikační i mechanické interakce není tradiční stroj připraven k rozšíření o danou stanici.

Dopravníkový kompenzační mezičlánek je bohužel nutné použít za jakýchkoli okolností, jestliže by byl pro vstup/výstup linky použit tento konvenční způsob Nutek multi line magazine loader. Problém rozdílných nakládacích/vykládacích koordinátů nelze vyřešit výrazným vyzvednutím linky v kladném směru osy Z, protože každý z navazujících výrobních SMT modulů má pevně stanovenou výšku – 950 mm. A naopak zapuštění dopravníkového výtahu do země představuje obrovsky nákladnou ekonomickou zátěž, která by výrazně ovlivnila okolní výrobní prostory a z hlediska návratnosti investice by přestala dávat smysl.

Spornou otázkou představuje i proces dokování robotu. Na Obr. 45) je červenou barvou zvýrazněna oblast, v jejímž prostředí se musí nacházet dokovací značka, aby byl robot schopen zastavit na přesných souřadnicích. V tomto uspořádání není zcela jisté, že by tento marker, přimontovaný k čelní straně „mezidopravníku“ nezpůsobil kolize s pohybuující se vertikální platformou.



Obr. 46) NTA Nutek multi magazine line loader [47]

Další vyobrazení této linky viz Obr. 2).

4.2.2 Vstup/výstup pro mobilní roboty NTA Nutek magazine line loader (AGV ready)

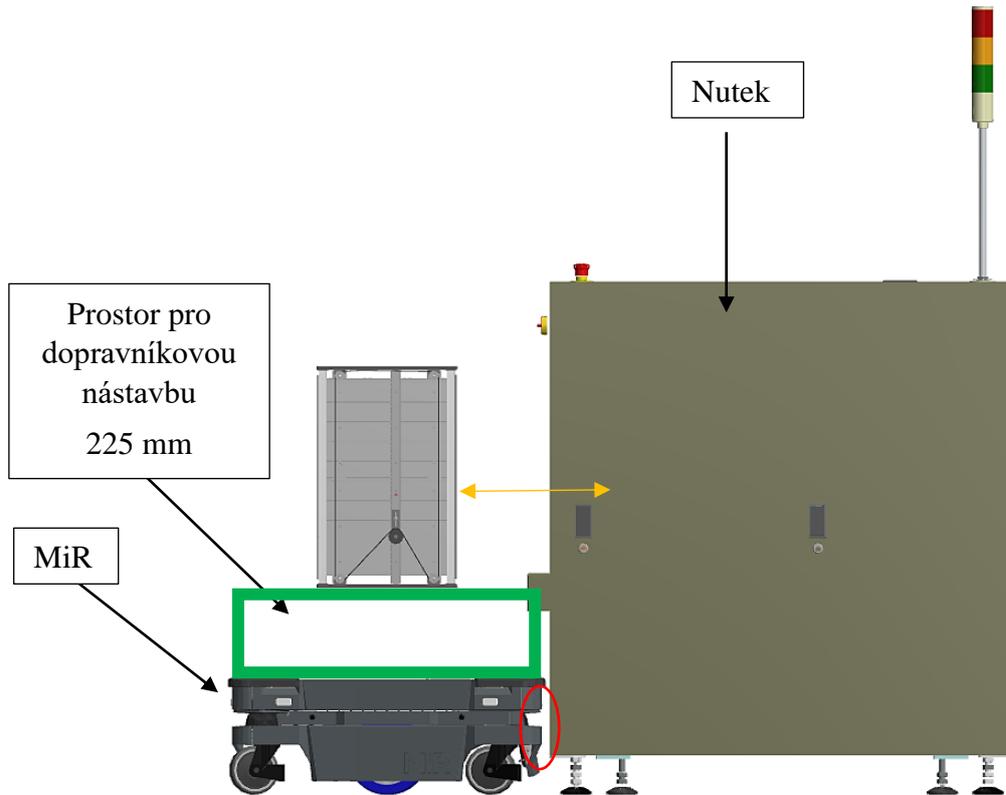
Vzhledem k široké paletě nevýhod z předešlé podkapitoly 4.1.1. ve spojení s aplikací mobilního autonomního robotu k transportu PCB magazinů do vstupu/výstupu SMT linky a stále frekventovaněji rezonující otázce, jak tuto problematiku vyřešit. Padlo rozhodnutí ze strany společnosti Nutek vyvinout produkt přímo uzpůsobený potřebám AGV nebo AMR vozidel, který smazává zásadní problém s výškovou kompenzací a s ním ostatní sporné záležitosti.

Již několikrát zmiňovaný dopravníkový vstup/výstup linky se v této koncepci posunuje výrazně výše ve vertikálním směru, a tím buduje prostor pro topmodul robotu.



Obr. 47) NTA Nutek Dual magazine line loader AGV ready [48]

Schématické vyobrazení daného konceptu – bokorys:



Obr. 48) Logistický proces dodávky materiálu do NTA Nutek magazine line loader (AGV ready)

Předešlý Obr. 49) zjednodušeně vyobrazuje koncept transportu materiálu do Nutek magazine line loader (AGV ready) typu linky. Je zcela patrné, že změnou konstrukce došlo k výraznému zjednodušení přístupu mobilního vozítka k čelní straně linky k zadokování – eliminace rizika kolize s periferní pohyblivou částí SMT stroje (červeně vyznačená oblast). Zároveň zde odpadají nepříjemné komplikace s výškovými rozdíly horizontálních nakládacích ploch robotu a vstupu/výstupu materiálu v podobě PCB magazínu.

Jak již bylo řečeno výrazným posunem ve vertikálním směru vzniká značný prostor (zelená oblast) pro zabudování dopravníkového topmodulu, který tak může velice efektivně fungovat v ruku v ruce se zjednodušenými logisticky manipulačními pohyby stroje Nutek viz žlutá šipka.

4.3 Volba robotu MiR

Robot jako takový, a především jeho technický parametr z hlediska maximální nosnosti zde hraje naprosto zásadní roli. Portfolio robotů MiR nabízí maximální zatížení v hodnotách 100, 200, 250, 500 a 1000 kg.

Aplikace vozidel s nosností 500 a 1000 kg je pro tento případ nadbytečná vzhledem k předpokládané hmotnosti obou transportovaných magazínů a ekonomicky by tak zcela postrádala smysl. Avšak je zapotřebí vzít v úvahu hmotnost samostatného topmodulu, který zaujme podstatný díl z udávané maximální zatížitelnosti robotu. Z tohoto důvodu je zvolen robot MiR 250 (250 kg) viz kapitola 3.6.2.3. Tento konkrétní model reprezentuje jakýsi prostřední mezistupeň, jenž nabízí nadstandardní možnost zátěže a zároveň nepředstavuje natolik nákladnou počáteční investici. Současně se jedná o nejmladšího a nejmodernějšího protagonistu ze škály produktů Mobile industrial Robots.



Obr. 49) MiR 250 - Autodesk Inventor

4.4 Volba typu dopravníku nástavby

Rozhodnutí z hlediska typu konstrukce dopravníku, jenž bude poháněn z baterie robotu (48 V) lze zredukovat výběr na dva hlavní typy. A to poháněný pásový dopravník a poháněný válečkový dopravník.

Na základě půdorysné povahy PCB magazínu, jenž disponuje rovnou plochou je vybrán poháněný válečkový dopravník. Pro, který hovoří pozitiva v podobě variability rozteče jednotlivých válečků, široké škály spřažení hnacího a hnaných válců různými druhy řemenů či řetězů, eliminace potenciálního zaseknutí pásu, transportovaný materiál nemá sypký charakter a jako finální pozitivum to, že se dá aplikovat pohon přímo v hnacím válci, což šetří zástavbový prostor nástavby.

4.5 Konstrukční podmínky

Hlavním záměrem z konstrukčního hlediska je to, aby robot byl schopný uvést topmodul včetně dvou plně obsazených PCB magazínů typu 701.3. Čili nástavba včetně transportovaného materiálu nesmí v žádném případě přesáhnout 250 kg.

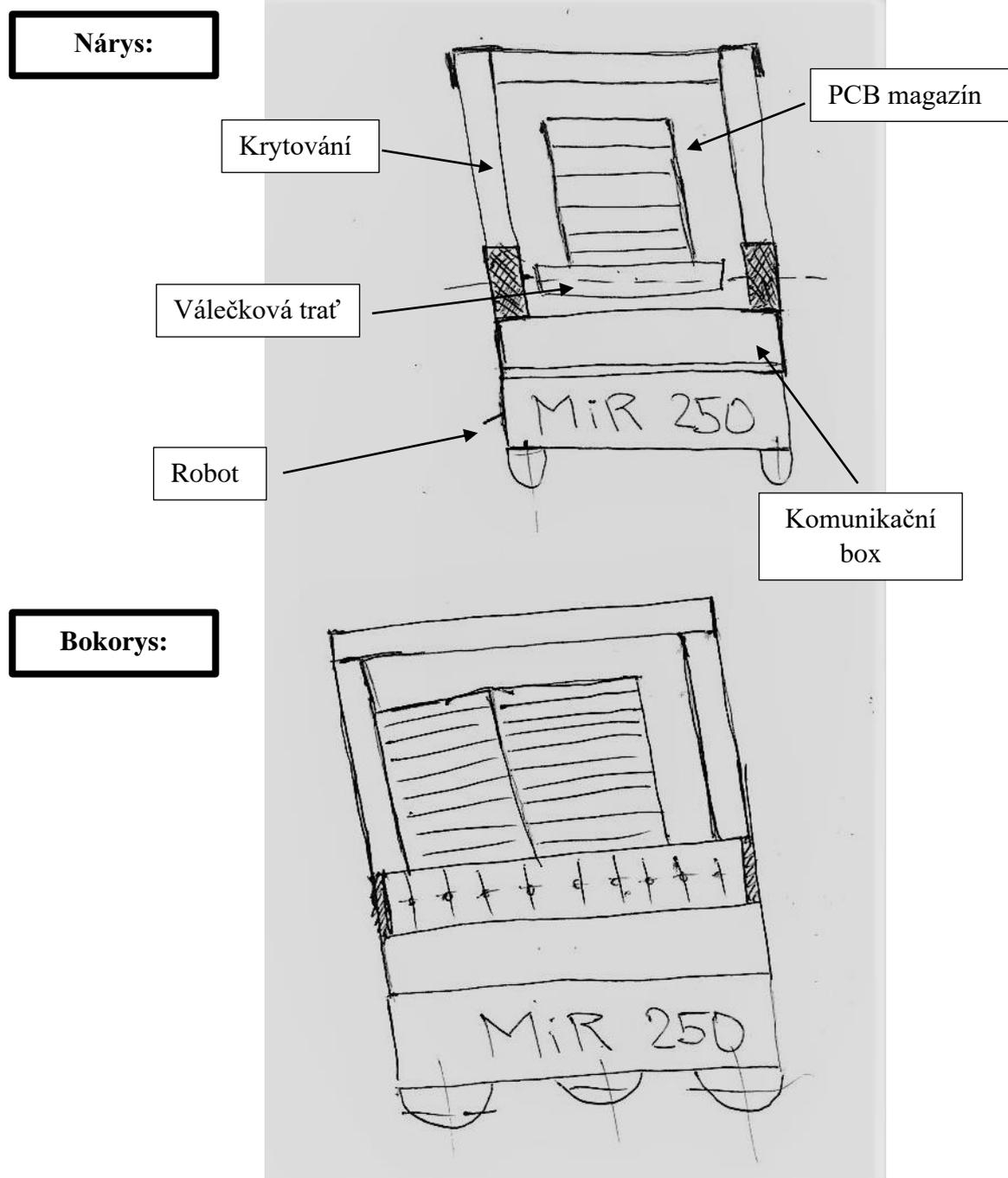
Zároveň je zapotřebí, aby konstrukce nezasahovala do zón bezpečnostních skenerů robotu a neohrozila tak, jeho „safety“ funkce při provozu.

Tangenciální rovina válečků musí být horizontálně shodná s nakládací/vykládací plochou NTA Nutek magazine line loader (AGV ready).

Konstrukce topmodulu musí být odnímatelná z platformy robotu pro zachování variability výměny různých typů nástaveb.

4.5.1 Sériová koncepce

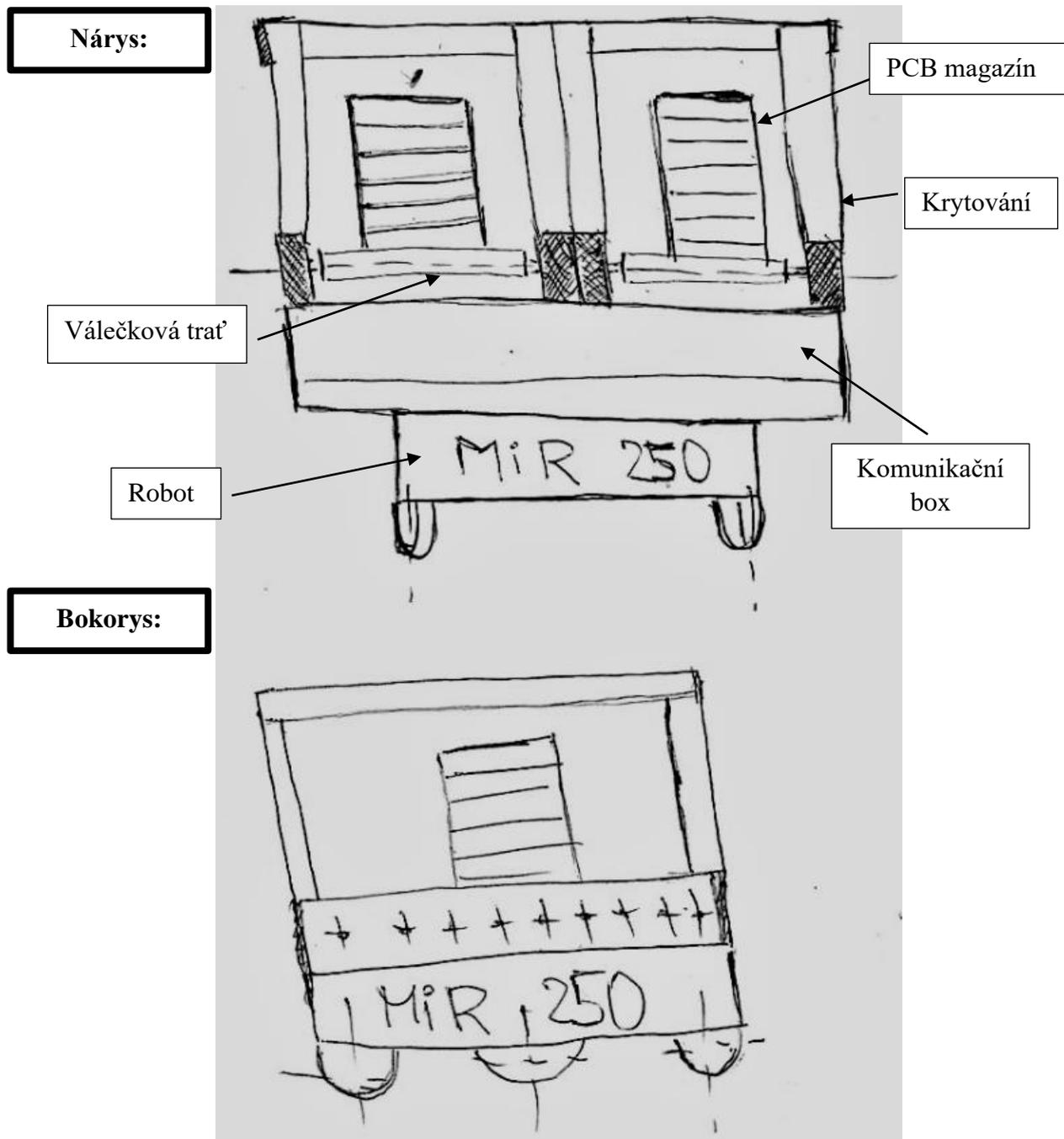
V tomto uspořádání robot veze dva magazíny za sebou na jedné válečkové trati. Ilustrační náčrt:



Obr. 50) Náčrt sériové koncepce dopravníkové nástavby

4.5.2 Paralelní koncepce

Paralelní pojetí nástavby se opírá o dvě nezávislé válečkové trati, z nichž každá pojme právě jeden PCB pořadač. Ilustrační náčrt:



Obr. 51) Náčrt paralelní koncepce dopravníkové nástavby

4.6 Návrh podmínek senzorky

Je zapotřebí osadit konstrukci topmodulu senzorkou, která bude zprostředkovávat informace o následujících procesech:

- Robot musí vědět, jestli má naložen PCB magazín.
- Při „vykládce“ nebo „nakládce“ materiálu je nutné, aby měl poznatek o tom, že pořadač opustil vymezené místo.
- Během transportu materiálu z nástavby dovnitř i ven musí dostat informace, že proces probíhá a je ukončen (materiál opustil prostor dopravníkové dráhy).
- V případě naložených magazínů disponovat rozlišovací schopností rozpoznání obsazeného nebo prázdného pořadače.

4.7 Podmínky řízení a ovládání nástavby

Z hlediska ovládání a řízení je nutné zajistit relevantní komunikaci mezi softwarovým PLC robotu a topmodulem. Ošetřit tak správnou výměnu informací k zprostředkování plnohodnotně samostatného autonomního procesu za následujících podmínek:

- Možnost dynamického ovládání dopravníku.
- Odnímatelnost řídicích komponent s dopravníkovým topmodulem.
- Napojení logické části obvodu senzorky.
- Propojení s periferními částmi ovládacích prvků.

4.8 Shrnutí stěžejních požadavků

Konstrukce:

- Hmotnost nástavby <250 kg,
- přeprava nejlépe dvou magazínů,
- nezasáhnout bezpečnostní zóny robotu,
- horizontální shodnost tangenciální roviny válečků a vstupu Nutek magazine line loader (AGV ready).

Senzorka:

- Odhalení přítomnosti PCB magazínu,
- detekce polohy pořadače ve dvou směrech,
- informace o průběhu procesu a ukončení procesu transportu materiálu,
- zjištění stavu prázdný/plný magazín.

Ovládání/řízení:

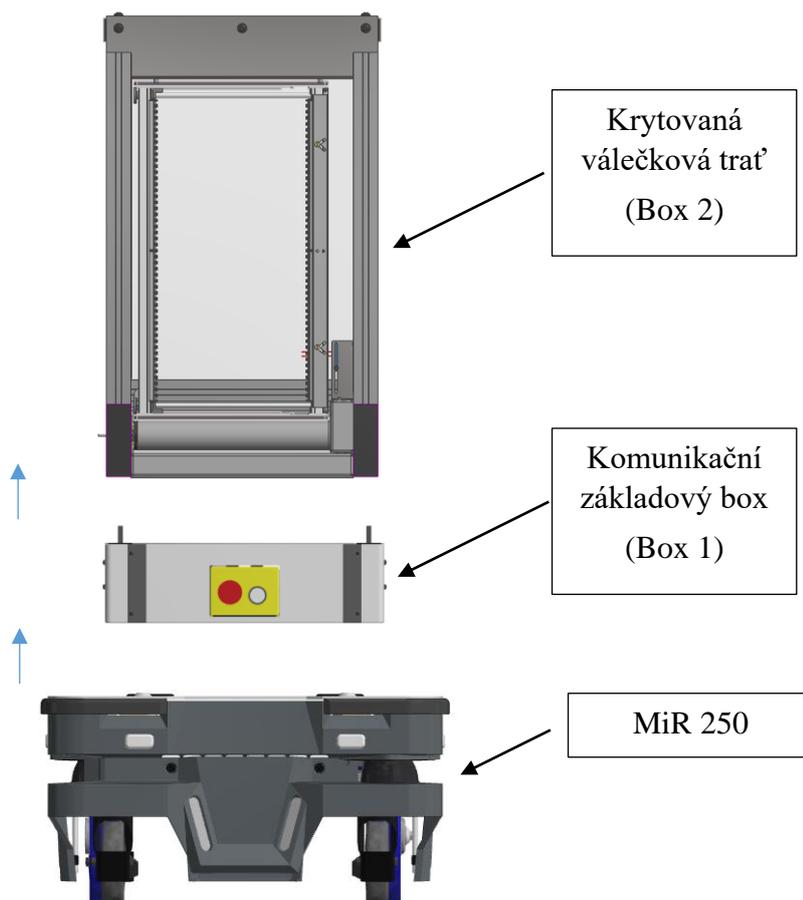
- Dynamické ovládání dopravníku,
- montážní flexibilita,
- napojení logického obvodu včetně senzorky,
- komunikace se softwarovým PLC robotu,
- propojení s periferními ovládacími prvky.

5 NÁVRH VLASTNÍHO ŘEŠENÍ KONSTRUKCE DOPRAVNÍKU V PODOBĚ DVOU VARIANT ŘEŠENÍ

Vzhledem ke striktně nastaveným podmínkám shrnutých v podkapitole 4.8 ve spojení s koncepčními náčrtů z podkapitol 4.5.1 a 4.5.2, byla vyvinuta společná stavební platforma topmodulu termínově označena jako Box on Box (zkr. BoB). Obě varianty řešení pro převoz dvou PCB magazínů kromě stavebnicových modulů vychází z obdobně navržené sensoriky, včetně logického a řídicího obvodu.

5.1 Charakteristika struktury Box on Box

Tento typ uspořádání vychází z předem určené podmínky montážní flexibility. Kompletní konstrukci (vyjma robotu) lze rozdělit na dva prvky. Komunikační – ovládací část (Box 1) nástavby a samotné válečkové trati s krytováním (Box 2) nástavby. Odděleně však tyto jednotky pozbývají svého uplatnění. Je tedy zapotřebí, aby pro výkon plnohodnotné funkce topmodulu došlo k jejich propojení jak komunikačnímu, potažmo elektrickému, tak mechanickému. Schématická ukázka viz následující Obr. 53):



Obr. 52) Vizualizace konceptu BoB

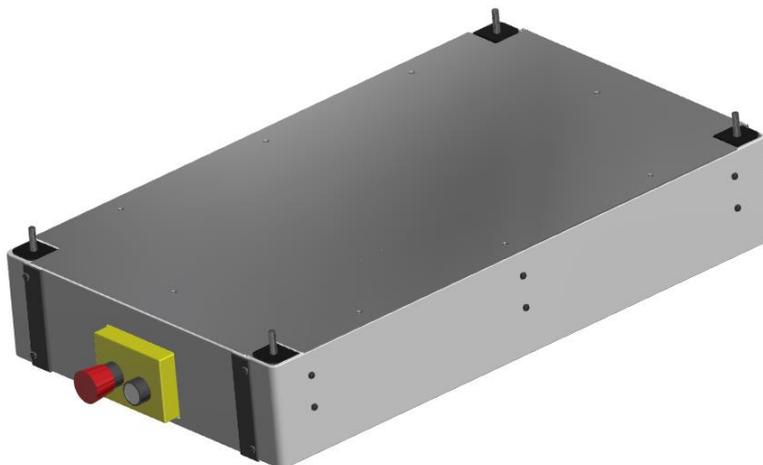
5.1.1 Komunikační box

Jedná se o první část v montážním pořadí, která je mechanicky přišroubována k vrchní nákladové desce robotu MiR 250 skrze šrouby o velikosti M8 x 30 s kuželovou hlavou kvůli přesnému lícování.

Kostra boxu se skládá ze spodní hliníkové desky, která tak vytváří mechanické rozhraní pro připojení přidružených částí jako je plastové krytování, připojovací prvky pro řídicí a elektronické elementy, nosný svařenec, jenž je důležitým prvkem z hlediska montáže dopravníkové trati (Box 2).

Vymezený vzniklý vnitřní prostor v útrokách této sekce je určen pro prvky ovládání, řízení, napájení a elektroinstalace. Všechny tyto součásti, pokud není výrobcem určeno jinak se primárně připojují na DIN lištu (35 mm).

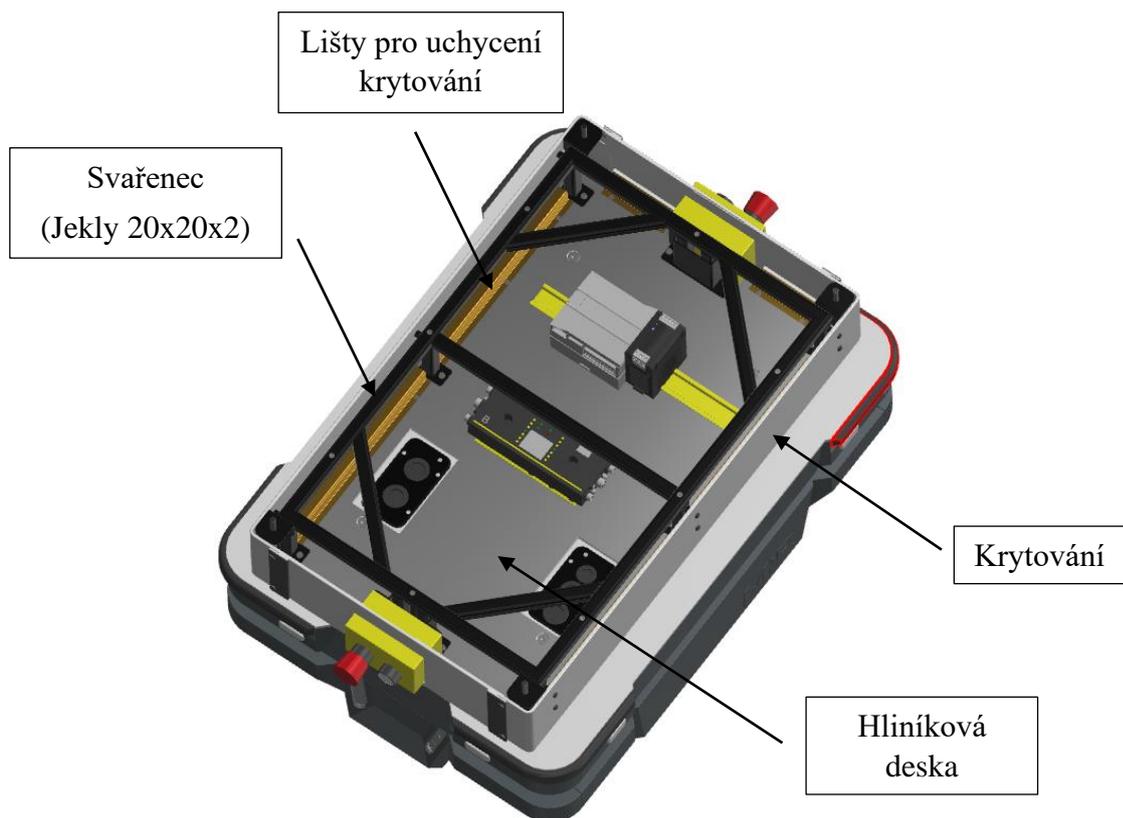
Zároveň je takto zvolené konstrukční řešení daného boxu 1 velice snadno modifikovatelné v případě potřeby např. převozu většího nebo menšího počtu PCB magazínů nebo jeho rozšíření, či minimalizace viz sériová, či paralelní koncepce v této DP.



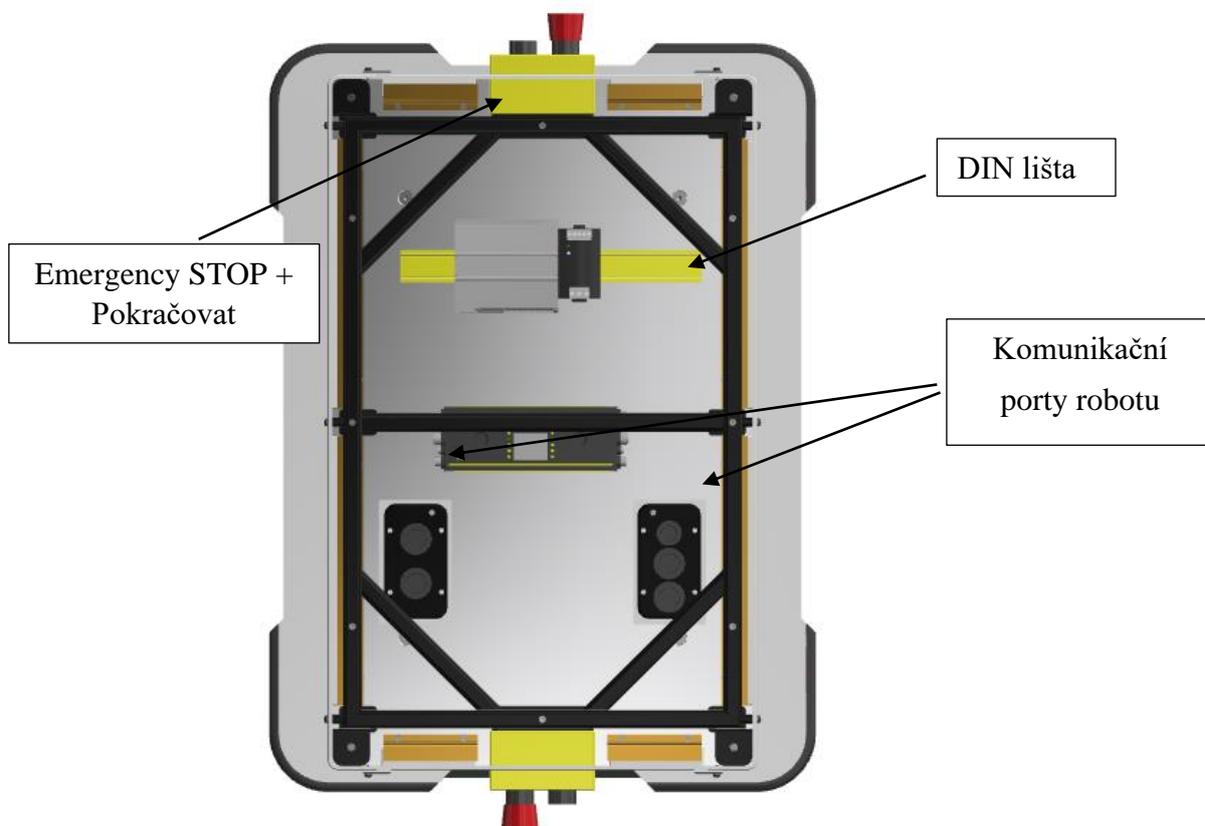
Obr. 53) Komunikační box pro jednu válečkovou trať – Izometrický pohled



Obr. 54) Komunikační box pro jednu válečkovou trať – Boční pohled



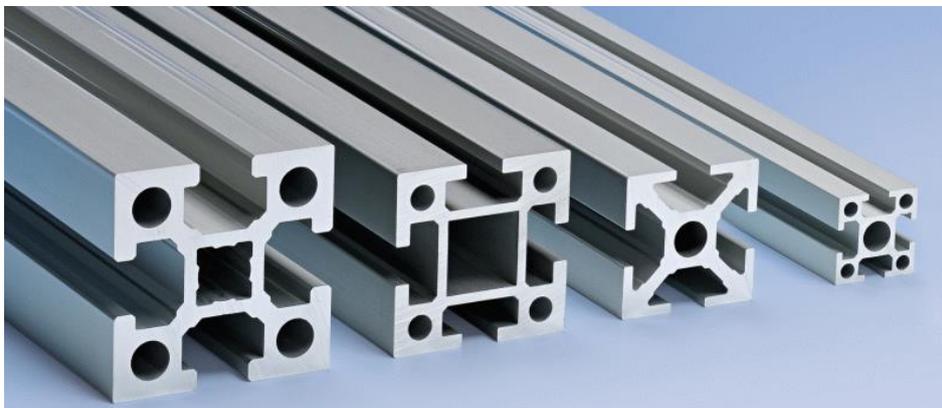
Obr. 55) Ukázka vnitřních prostor komunikačního boxu – Izometrický pohled



Obr. 56) Ukázka vnitřních prostor osazeného komunikačního boxu – Půdorysný pohled

5.1.2 Dopravníkový box

Druhá samostatná část při kompletaci finální sestavy je dopravníková sekce (Box 2). Základem konstrukce je montovaná válečková trať za použití prvků hliníkových montážních profilů od společnosti MK technology group.

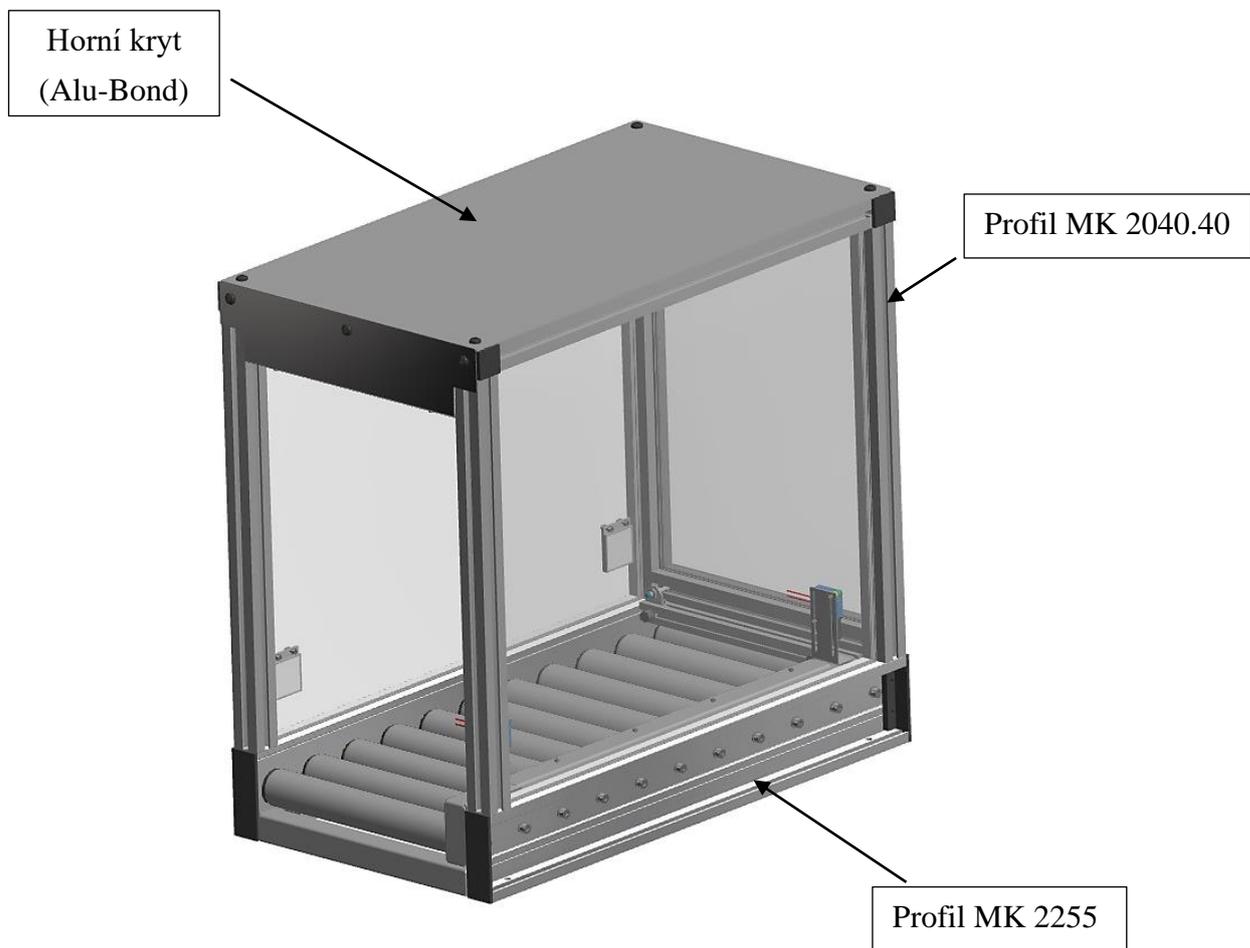


Obr. 57) MK technology group hliníkové profily [44]

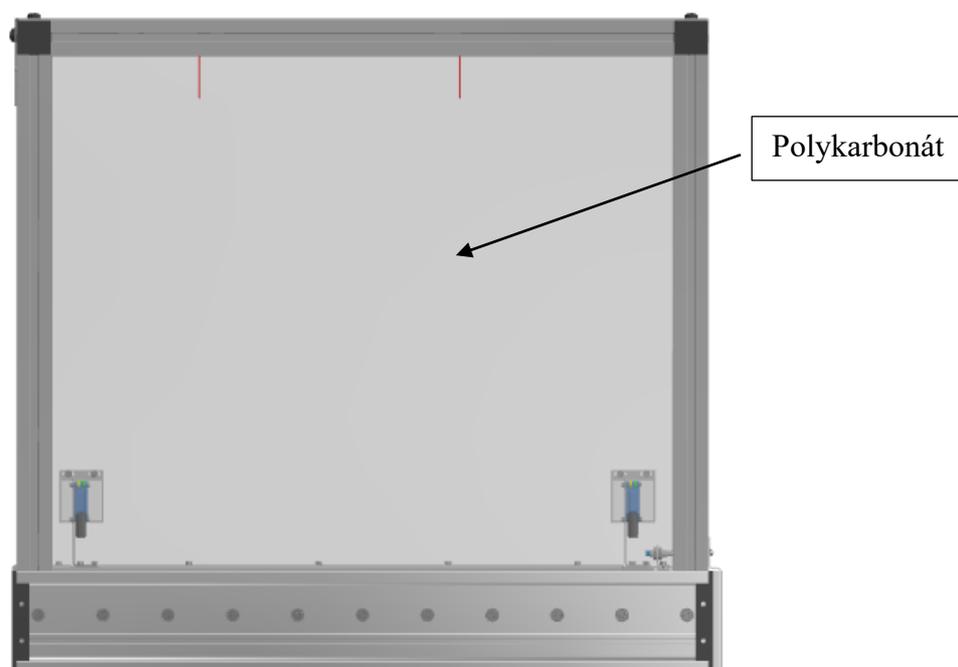
Tento stavebnicový systém poskytuje značnou míru variability z hlediska mechanického spojování, různorodosti konstrukcí a přidružených prvků, které jsou s těmito stavebnicovými strukturami spojeny. Současně disponuje obrovskými pozitivy z hlediska tuhosti konstrukce při přiměřené hmotnosti, která je v tomto případě z hlediska únosnosti robotu zcela zásadním faktorem.

Kostra konstrukce je složena z profilů typu MK 2255 o rozměrech 120 x 40 mm (výška x šířka), tvořících základnu, k té jsou připevněny profily MK 2040.40 (light duty) o průřezu 40 x 40 mm zaštiťující ostatní nosné prvky konstrukce. Jako poslední pro dodatečné spojování funkčních elementů profil typu 2025.01 o vnějších rozměrech 25 x 25 mm.

Jako dělicí výplně rámu jsou zvoleny průhledné polykarbonátové desky o tloušťce 4 mm usazené ve vymezovací liště, které svou transparentností umožňují externí vizuální kontrolu toho, co se děje uvnitř boxu a zároveň plní funkci bariéry proti nežádoucímu vniknutí.

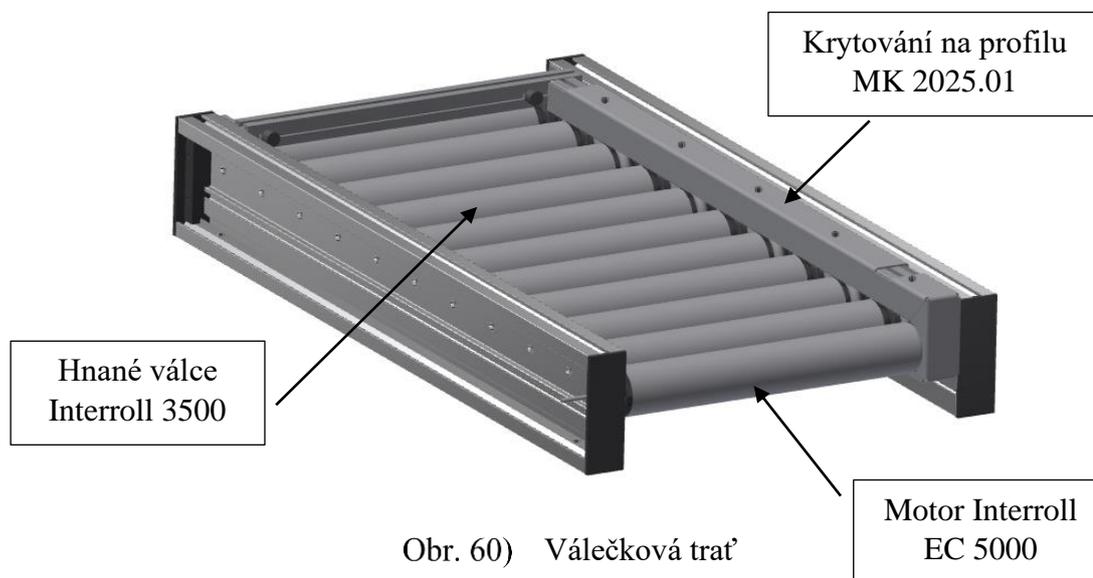


Obr. 58) Dopravníkový box – Izometrický pohled



Obr. 59) Dopravníkový box – Boční pohled

Dopravníková trať využívá motoru integrovaného přímo v hnacím válci, který se nachází na první pozici Interroll EC 5000. S ostatními hnanými válečky (Interroll 3500) je motor spřažen pomocí kulatého řemenu. Celkově tedy 1 hnací válec (motor) a 10 hnaných válců (rotační válce). Segmenty řemenového spřažení válců jsou ochráněny proti vniknutí cizího tělesa krytováním (ochrana vůči nežádoucímu úrazu), které zároveň ošetřuje problematiku nevhodného najetí PCB magazínu na hlavy válců, což by zapříčinilo ztrátu stability transportovaného předmětu.



Celkové rozměry kompletního boxu činí:

- Výška: 763 mm
- Šířka: 446 mm
- Délka: 810 mm (- 10 mm bez krytek profilů)

5.1.3 Senzorika

Na základě nastavených podmínek z podkapitoly 4.8 byla navržena následující senzorická část, která tvoří konkrétní množinu základních vstupů pro řízení dopravníkové nástavby za pomoci softwarového PLC robotu společně se zabezpečením plnohodnotné kontroly a průběhu procesu „nakládky-vykládky“ PCB pořadače.

Obě koncepce jak sériová, tak paralelní jsou založeny na stejné úvaze. Kdy je zapotřebí, aby měl robot informace o přítomnosti PCB magazínu (lokalizace ve dvou směrech), průběhu procesu transportu materiálu, a aby dokázal rozlišit prázdný či plný pořadač.

Dopravníkový box je tedy osazen následujícími snímači od společnosti SICK:

Optoelektronický snímač GL6-P4211



Obr. 61) Optoelektronický snímač GL6-P4211 [49]

Tab 13) Technické parametry snímače SICK GL6 – P4211 [49]

Princip detekce	Reflexní světelná závora
Detail principu funkce	Standardní optika
Snímací vzdálenost	≤ 6 m
Snímací dosah	≤ 5 m
Polarizační filtr	Ano
Vysílač světla	PinPoint LED
Druh světla	Viditelné červené světlo
Vlnová délka	650 nm
Velikost světelného paprsku (vzdálenost)	Ø 8 mm (350 mm)
Nastavení	Potenciometr, 270 °

Indukční snímač IME08-06NPSZT0K



Obr. 62) Indukční snímač IME08-06NPSZT0K [50]

Tab 14) Technické parametry snímače IME08-06NPSZT0K [50]

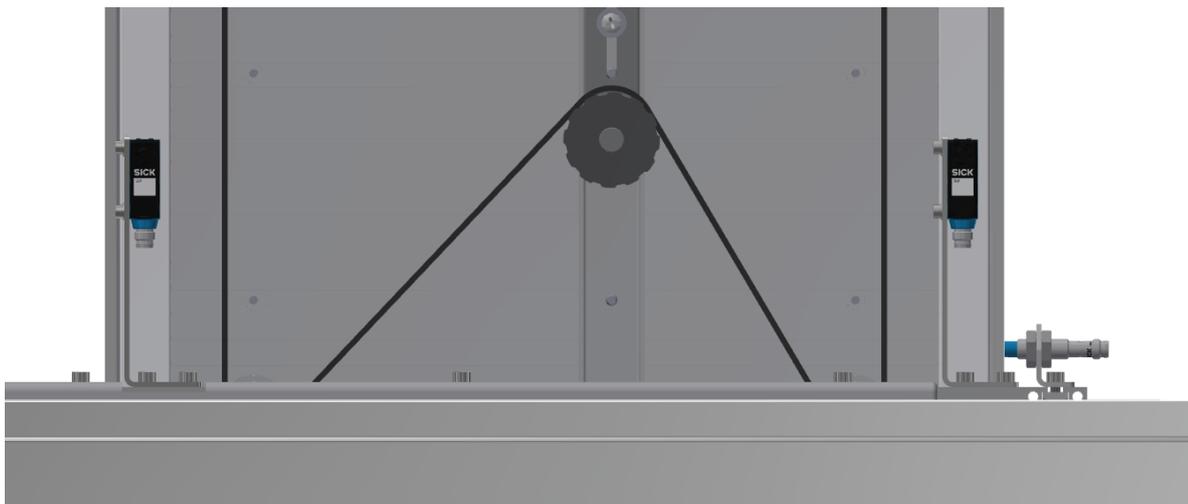
Způsob provedení	Metrický konstrukční tvar
Konstrukce pouzdra	Krátké provedení
Velikost závitu	M8x1
Průměr	Ø 8 mm
Snímací vzdálenost S_n	6 mm
Montáž kovu	Nelícovaný
Spínací frekvence	500 Hz
Druh připojení	Konektor M8, 3 pinový
Spínací výstup	PNP
Funkce výstupu	Spínací kontakt
Elektrické provedení	DC 3vodič
Krytí	IP67
Zvláštní znaky	Trojnásobná spínací vzdálenost

5.1.3.1 Využití senzoriky

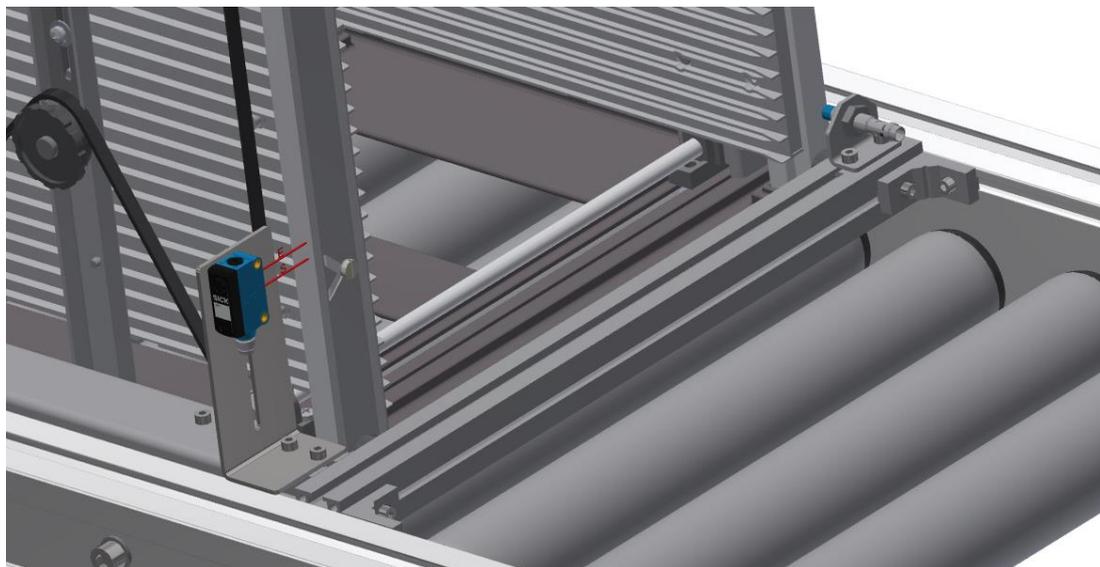
V případě, že probíhá proces transferu PCB magazínu z dopravníkové trati dovnitř nebo ven, musí robot vědět, zda proces probíhá v pořádku. Z toho důvodu je zvoleno následující rozestavení optoelektronický snímačů SICK GL6-P4211 s principem detekce na zastínění pozadí a vyhodnocovacím principem v podobě reflexní světelné závory v kombinaci s indukčním čidlem.

Kontrola procesu transferu PCB pořadače

Jestliže pořadač přeruší paprsek prvního optického snímače u vstupu na válečkový modul, robot ví, že probíhá proces nakládání a materiál je přítomen na definované trati. Jakmile sepne druhé optoelektronické v kombinaci s indukčním senzorem, tak se magazín nachází již na vymezené pozici a vypne se pohon nástavby.



Obr. 63) Princip rozestavení senzorů – Boční pohled



Obr. 64) Princip rozestavení senzorů – Detail 1



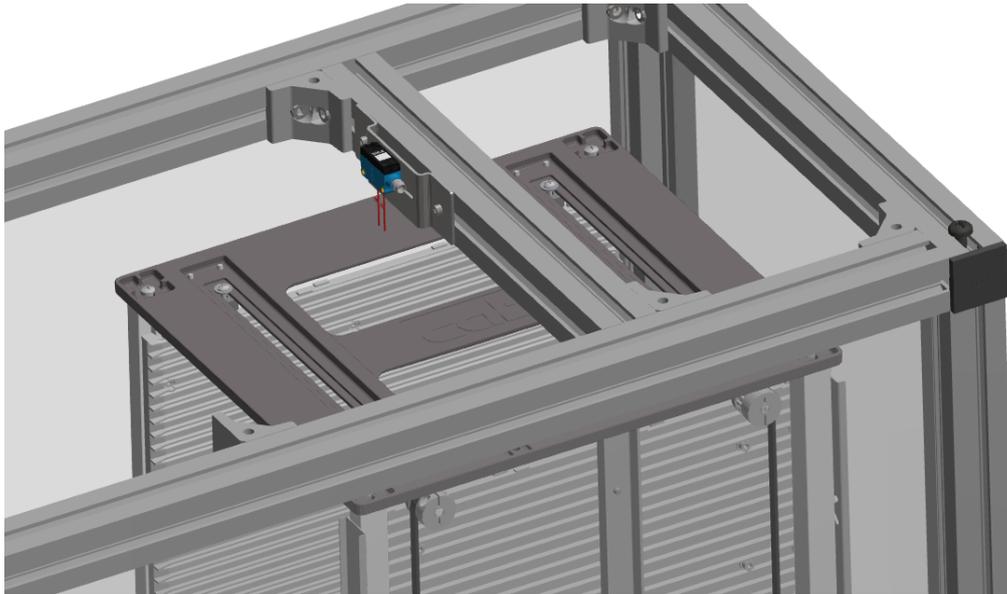
Obr. 65) Princip rozložení snímačů – Detail 2

Magazín interaguje s tlumícími silentbloky na konci vymezené trati, nachází se na definované pozici, všechna tři čidla jej detekují a dopravník je vypnut (optoelektronická závora č. 1 = 1, optoelektronická reflexní závora č. 2 = 1, indukční čidlo = 1, tzn. PCB naložen). Posloupnost detekce při vyložení má opačnou logiku (indukční čidlo = 0, optoelektronická reflexní závora č. 2 = 0, optoelektronická závora č. 1 = 0, tzn. PCB vyložen).

Revize osazení PCB magazínu

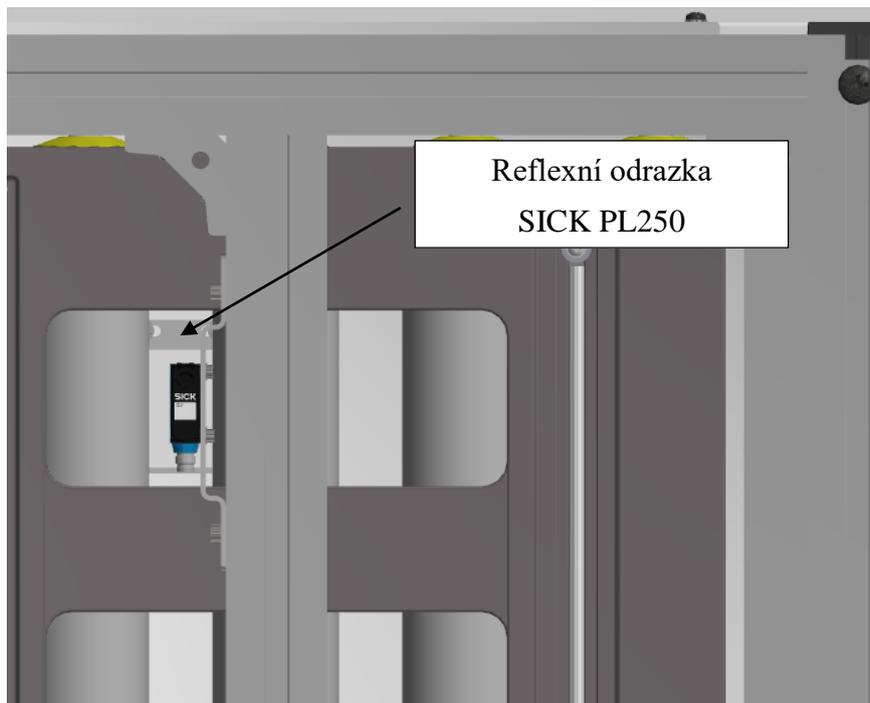
Pořadač se nalézá na přesně určeném místě, takže je zapotřebí ověřit, jestli konkrétní magazín odpovídá potřebě následujícího procesu viz podkapitola 4.1. Zkratovitě připomenuto PCB mag. s deskami bez SMD součástí na vstup, po vyložení ihned zpět prázdný. Na výstup je dodáván prázdný magazín, který je zaplněn již hotovými deskami a opětovně naložen na robot.

Vzhledem k tomu, že samotný pořadač nemusí disponovat pokaždé stejným počtem vsunutých desek, protože Nutek Loader/Unloader dokáže rozpoznat jejich kvantitu v rámci procesu zpracování magazínu, bylo vyhodnoceno jako nejefektivnější řešení opakovaná aplikace reflexní optické závory.



Obr. 66) Umístění optoelektronické reflexní závory pro kontrolu osazení

Jestliže je magazín prázdný paprsek snímače se vrátí do přijímače od reflexního skla umístěného na vrchní straně komunikačního boxu. V druhém případě, pokud magazín disponuje deskami dochází k přerušení paprsku tzn. pořadač naložen.



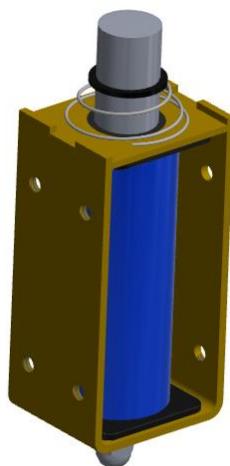
Obr. 67) Půdorysný detail umístění senzoru

Kdyby byla jakýmkoliv způsobem narušena logická posloupnost procesů (např. prázdný magazín v prvotní fázi procesu dodávky materiálu na vstup) bude tento stav vyhodnocen robotem jako chybný a následně pomocí nápravných opatření odstraněn.

5.1.4 Aretace

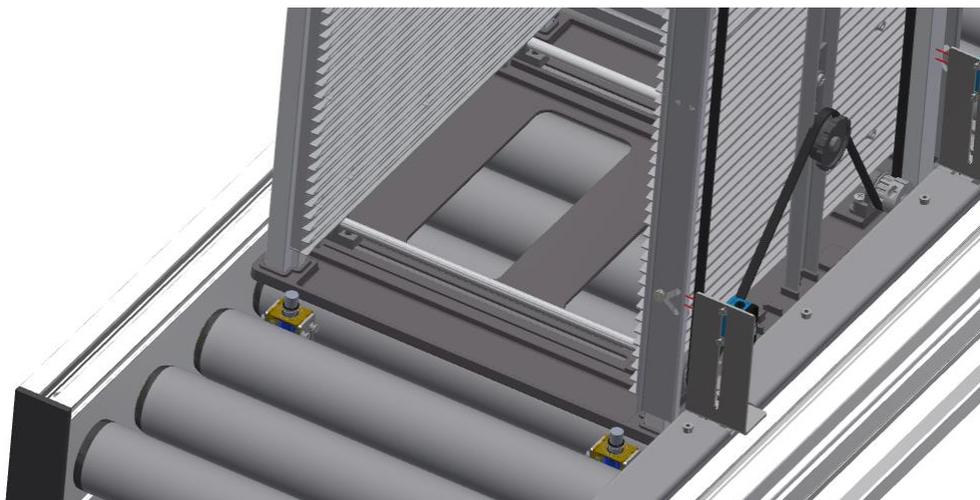
Aretace na válečkové trati pracuje jako pojistný mechanismus. PCB magazín na konci své definované cesty naráží na příčný profil se silentbloky, který zde plní funkci mechanické zábrany viz Obr. 67). Jeho úkolem je zabránit v postupu pořadače dále, než by bylo nutné.

Jako dodatečný prvek zamezující samovolnému pohybu magazínu během transportu při plnění mise byly zvoleny dva lineární solenoidy. Tyto součásti pracují na bázi přívodu napětí. Jakmile je přivedeno napětí, v tomto případě 24 V, na elektromagnet cívky, dochází k zatažení táhla v podobě přetlačení pružiny v záporné směru osy Z o 6 mm. Jakmile je napětí ztraceno, pružina přetlačí táhlo zpět do původní polohy. Pro strukturu BoB byl použit kompaktní lineární solenoid GEEPLUS SK-A0946.



Obr. 68) Lineární solenoid GEEPLUS SK-A0946 Autodesk Inventor

Umístění těchto lineárních solenoidů závisí na konfiguraci válečkové trasy. V tomto případě paralelní versus sériová zástavba.



Obr. 69) Detail umístění lineárních solenoidů

5.1.5 E-Stop a tlačítko „Pokračovat“

Základní norma pro bezpečnost strojních zařízení ČSN EN 60204-1 ed.2 zjednodušeně interpretováno říká, že každý stroj musí být vybaven nejméně jedním tlačítkem nouzového zastavení s funkcí stop (funkce zastavení) kategorie 0 (tj. náhlé odpojení napájení od pohonů stroje). Tento proces podléhá následujícím pravidlům [51]:

- snadný přístup,
- ukončení nebezpečného stavu, co možná nejrychleji, aniž by vznikla případná další rizika,
- povel „Nouzového zastavení“ má přednost před každou funkcí stroje a povelom ve všech provozních režimech,
- reset „Nouzového zastavení“ nesmí mít za následek znovuspuštění stroje,
- princip použití musí být přímým stiskem s mechanickou blokovací funkcí. [51]

I při aktivaci nouzového zastavení může setrvačností docházet k volnému doběhu. Nouzové zastavení totiž reprezentuje bezpečnostní opatření, nikoliv ochranné zařízení.

Nouzové zastavení je u robotu MiR 250 vyřešeno v následující podobě. Jestliže dojde ke stisku tlačítka E-Stop. Robot okamžitě odpojí od napájecí energie všechna periferní zařízení. Při doběhu je aktivováno dynamické brždění a jakmile „vozítko“ dosáhne klidového stavu spustí se mechanická brzda. Robot rozsvítí červené varovné signály a v žádném případě nelze s robotem manipulovat ani jej posílat na jakékoliv mise.

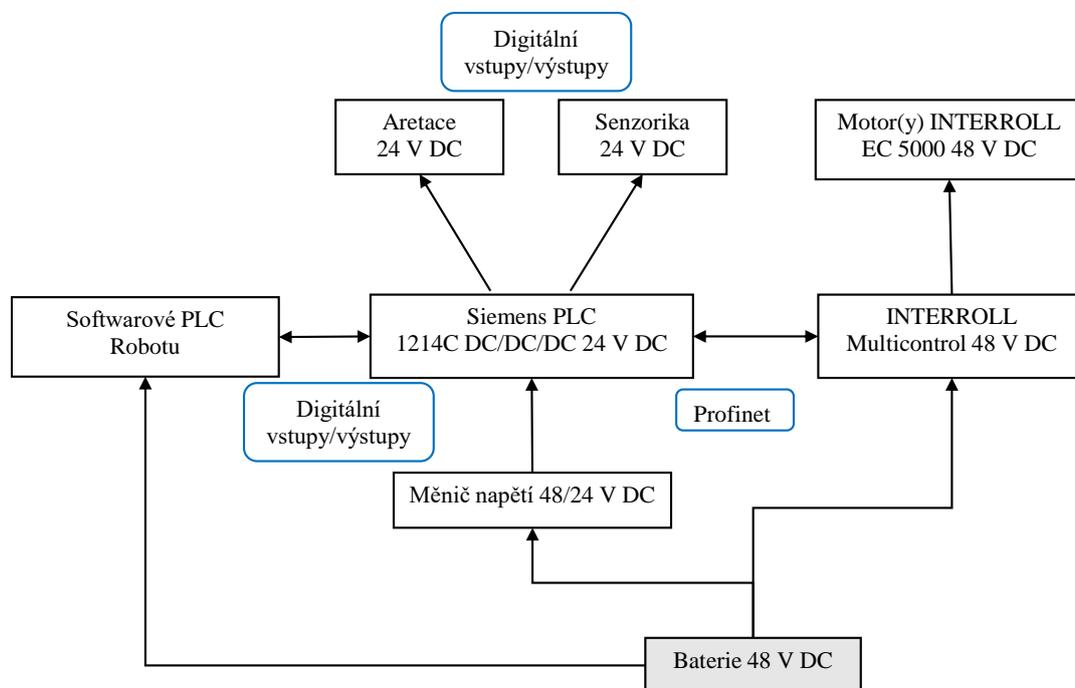
K obnovení provozu musí být vědomě mechanicky uvolněno tlačítko E-Stop, po stisku tlačítka „Pokračovat“, umístěného vpravo od nouzového zastavení, dojde k odbrždění robotu. Tento stav umožňuje manuálně vyvést robot z nebezpečné situace. Při opětovném stisknu modře blikajícího „Pokračovat“ dojde k obnovení provozního stavu robotu.

Konkrétní definici provedení E-Stop označované jako „nouzové bezpečnostní tlačítko podrobně“ popisuje norma ČSN EN ISO 13850 „Bezpečnost strojních zařízení – Nouzové zastavení – Zásady pro konstrukci“.

Vizualizace umístění E-Stop v dopravníkovém topmodulu včetně tlačítka „Pokračovat“ v konfiguraci BoB viz Obr. 54), Obr. 55), Obr. 56) a Obr. 57), kde tvoří součást zádň a přední partie komunikačního boxu a jejich dostupnost dle ČSN EN ISO 3691-4.

5.1.6 Komunikace a řízení

Jako finální část stavebnicové struktury Box on Box dopravníkové nástavby byla navržena komunikace dopravníkové nástavby s robotem, včetně nezbytných prvků řízení. V modelovém případě této DP se řídicí i logický obvod napájí z baterie robotu, která disponuje stejnosměrným napětím 48 V. Tyto obvody podléhají následující struktuře:



Obr. 70) Zjednodušené schéma návrhu řízení a komunikace dopravníkového topmodulu

Zevrubně popsáno softwarový programovatelný automat ovládá a současně kontroluje mise robotu a jestliže MiR 250 dosáhne definované pozice dává signál pomocí digitálního výstupu na vstup reálnému PLC umístěnému v komunikačním boxu. V tomto programovatelném logickém kontroleru (Siemens 1214C DC/DC/DC) je zapsán program pro ovládání dopravníkové nástavby včetně její kontroly za pomoci dané senzorky z podkapitoly 5.1.3. Zároveň je toto PLC pomocí komunikačního protokolu Profinet spojeno s řídicí jednotkou motorů, která tak umožňuje dynamicky ovládat dopravníkovou trať a vyhodnocovat korektnost zamýšlené funkce. Jakmile je proces dokonán reálné PLC vrátí pomocí digitálního výstupu signál na digitální vstup softwarového PLC robotu, který následně pokračuje v misích, jež má uloženy v čekací frontě.

Podrobná technická specifikace jednotlivých prvků viz přílohy 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14.

5.2 Konstrukční varianta 1 – Sériová koncepce

Tato konstrukční varianta využívá pro transport dvou PCB magazínů jednu válečkovou trať, na které jsou tyto magazíny za sebou v „sérii“.

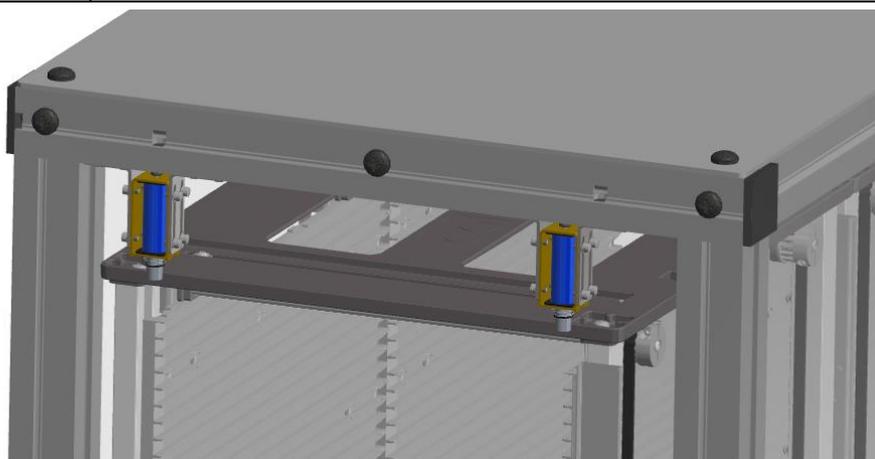


Obr. 71) Konstrukční varianta č. 1

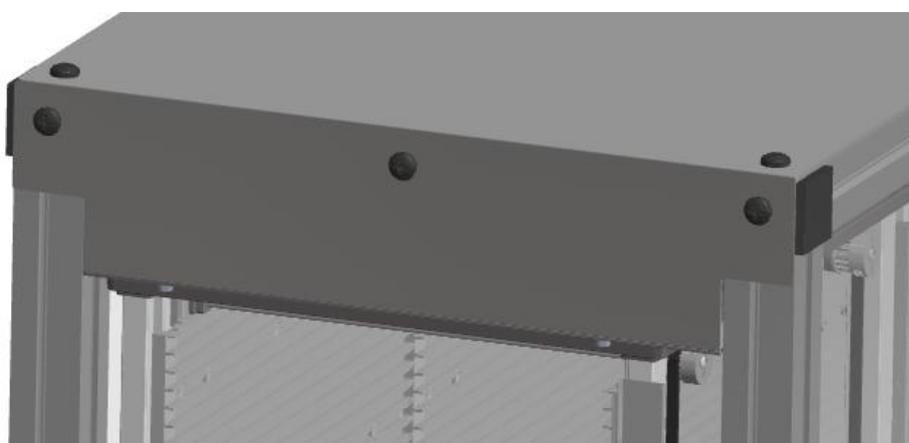
Jak je zřejmé řešení vychází z vyvinuté soustavy BoB – dva singulární moduly soustředěné do středu robotu na sobě. V koncepci je použit jeden motor INTERROLL EC 5000 pro pohon dopravníku. Logická a řídicí část se shoduje s navrženou strukturou v předchozích kapitolách.

V rámci procesu transferu, „vykládky“ a „nakládky“ PCB magazínu dokáže tento typ topmodulu operovat dvěma požadovanými položkami (pořadači). Avšak během průběhu samotného vyjmutí, či vsunutí je tento koncept účinný pouze pro transport obou magazínů současně. Válečková trasa nedokáže selektovat postupný transfer magazínů nezávisle na sobě, což znamená, že jsou naloženy, či vyloženy oba pořadače zároveň. K tomu, aby bylo uskutečnitelné manipulovat s předměty samostatně, by bylo zapotřebí při vyjíždění předního pořadače ten následující v pořadí vyzvednout v kladném směru osy Z. Bohužel je tento běžný logistický princip v transferové technologii z hlediska zástavbových rozměrů a půdorysné charakteristiky magazínu nemožný.

Dopravník dokáže pojmout pořadače délkově zcela bez problému, avšak tento prostor je tím pádem natolik vymezen, že nelze umístit aretační cívky mezi válce, jak je tomu na ukázkovém Obr. 71). Jejich montážní instalace se nachází ve stropní části vstupu dopravníku, kde kolidují se stropnicí transportovaného objektu viz následující obrázky.



Obr. 72) Aretace bez krytu



Obr. 73) Detail aretace s krytem

Jednotlivá hmotnost dle Autodesk Inventor činí:

- Komunikační box = 20,918 kg
- Dopravníkový box = 36,723 kg

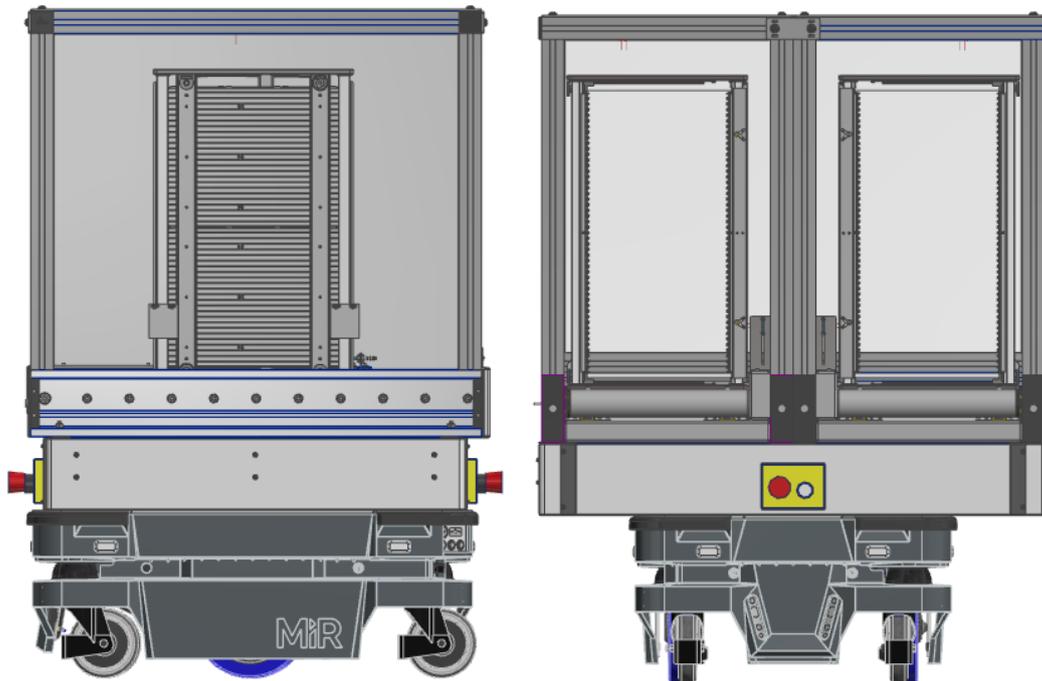
Celková hmotnost = 57,641 kg

Shrnutí

Celková hmotnost nástavby činí 57,641kg, což znamená, že nepřesáhla 250 kg možné únosnosti robotu MiR 250. Robot dokáže transportovat dva osazené pořadače s velkou rezervou.

5.3 Konstrukční varianta 2 – Paralelní koncepce

Realizace konstrukční varianty č.2 se opírá o dvě nezávislé válečkové trasy, z nichž každá převáží právě jeden PCB magazín.



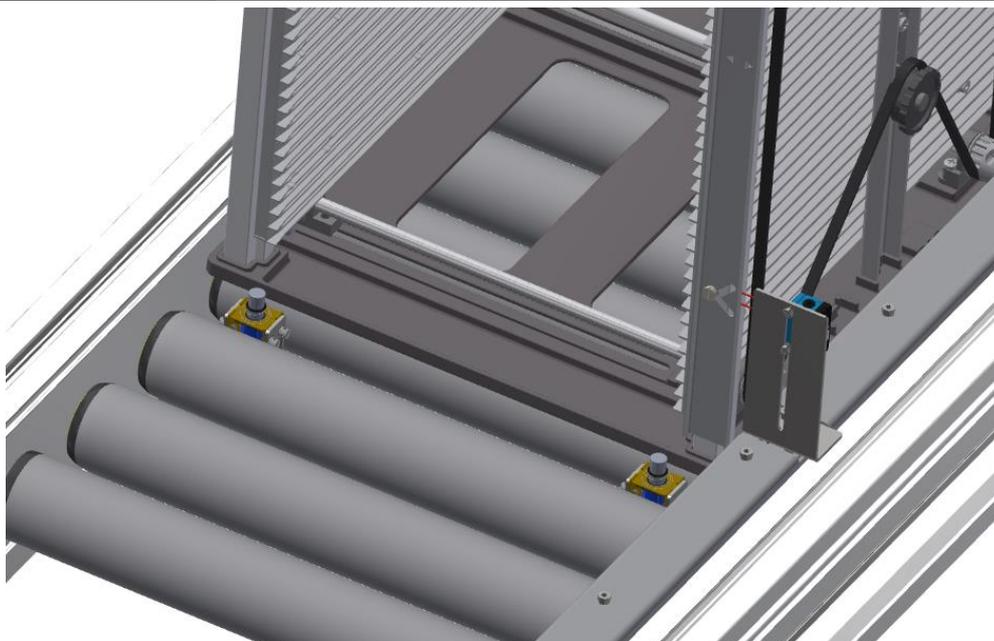
Obr. 74) Konstrukční varianta č. 2

Uspořádání je založeno na stavební konstrukci BoB, avšak tentokrát s tím rozdílem, že došlo k rozšíření komunikačního modulu, a to z důvodu stability dvou paralelních dopravníkových boxů. To má za následek, dvě zcela nezávislé dopravníkové trati.

Během procesu „nakládky“ a „vykládky“ PCB magazínu je tak robot schopen transportovat na jedné trase magazín plný a na té druhé magazín obsazený deskami. Další varianty jsou dva plné, či dva prázdné. Což má za následek prudké zvýšení efektivity aplikace dopravníkové nástavby. V rámci této konfigurace, však zároveň rostou finanční náklady, jelikož dochází k nutnému zdvojnásobení všech prvků použitých v konstrukci. Zejména komponenty válečkové trati, elementy stavebnicových profilů a položky sensoriky.

Řízení je pro strukturu BoB navrženo natolik univerzálním způsobem, že dokáže zcela legitimně pojmout další dopravníkový modul. Z hlediska ovládání motoru mohou být řízeny dokonce čtyři jednotky zároveň. Jediné úzké místo může nastat pouze v případě nedostatečných portů (vstupů a výstupů) u PLC a robotu MiR 250. Tento problém lze však jednoduše vyřešit za pomoci rozšiřujících komunikačních karet, jak u programovatelného automatu, tak u robotu.

Kapacita válečkové trati je pro jeden PCB pořadač nadstandardně dostačující. Instalační místo aretace na rozdíl od předchozí varianty se nachází v prostoru mezi hnanými válci.



Obr. 75) Detail umístění aretace

Jednotlivá hmotnost dle Autodesk Inventor činí:

- Dopravníkový box 1 = 32,583 kg
- Dopravníkový box 2 = 32,583 kg
- Komunikační box = 36,303 kg

Celková hmotnost = 101, 469 kg

Shrnutí

Celková hmotnost nástavby činí 101, 469 kg, z čehož vyplývá, že nebyla přesáhnuta maximální únosnost robotu MiR 250 (250 kg), který tak dokáže vykonávat transportní procesy s cela plně obsazenými magazíny s dostatečně velkou rezervou.

6 VYHODNOCENÍ VARIANT Z HLEDISKA TECHNICKÉ A EKONOMICKÉ NÁROČNOSTI A REALIZOVATELNOSTI (MULTIKRITERIÁLNÍ METODOU)

Pro evaluaci topmodulu neboli konstrukční nastavby robotu byla vybrána bazická bodovací metoda. Tento postup je zevrubně popsán v navazující kapitole 8.1.1.

6.1 Multikriteriální analýza

Jedná se o metodu, která se aplikuje při rozhodování mezi několika alternativami, přičemž jejím výsledkem je pouze jediný závěr. Nepřipouští se více výsledných možností. Základní předpoklad se opírá o škálu kvantifikovaných kritérií, která jsou zahrnuta do rozhodování. Typickým využitím této analýzy může být např. volba trasy silničního obchvatu přes území města, jenž zohledňuje náklady na vybudování, dopady na životní prostředí při zkrácení nebo prodloužení jízdní doby souběžně s dalšími kritérii.

V tomto případě se užití analýzy týká výběru technického řešení, kde subjektivní volbu v podobě nadřazené restriktce (např. „kdo je lepší“ po vyhlášení hospodářského tendru a ukončení výběru dodavatele) nahrazuje přístup systematicko-racionální metodou práce, jenž zužitkovává objektivizující matematický aparát. Což má za následek, že jsme schopni paralelně porovnávat několik nabídkových projektů na dodavatele výrobku (stroje, zařízení apod.), nebo výběr z mnoha variantních řešení.

Účelem evaluace je komplexně formulovat technickoekonomickou (zkráceně TE) úroveň všech návrhů a stanovit sled výhodnosti. Avšak samotné porovnání TE úrovně technických objektů (výrobky, technologické procesy, racionalizační návrhy hodnotové analýzy atp.) je dosti obtížné, protože tuto hodnotu charakterizuje struktura TE parametrů o rozličných jednotkách. Jsou tedy nesčitatelné. Řešením této problematiky se nalézá v postupech, které jsou souborně pojmenovány jako metody multikriteriálního hodnocení. [52] [53] [54]

Porovnávané objekty zpravidla disponují dvěma hledisky:

- Technické, popisující funkčnost vlastností projektu. Tuto úroveň definuje stupeň plnění všech funkcí projektu $S^{\circ}F_j$.
- Ekonomické, vyznačující zaopatření těchto funkcí N .

Náklady A lze velice snadno vyjádřit, jelikož všechny tyto položky mají totožné jednotky. Z toho vyplývá, že jsou sčitatelné. Oproti tomu stupeň plnění všech funkcí je nutno vyjádřit pomocí některé z metod multikriteriálního hodnocení. Následně se dá stanovit poměrná efektivní hodnota – PEH. Dle hodnoty z následujícího výpočtového vztahu sestupně třídít priority projektu. [52] [53] [54]

$$PEH = \frac{S^{\circ}F_j}{N} \quad (1)$$

Nejběžnější metody multikriteriální analýzy:

- bazická bodovací metoda,
- metoda pořadí,
- metoda PATTERN.

6.1.1 Bazická bodovací metoda

Bazická bodovací metoda vychází z porovnání posuzované varianty se vzorovým řešením – bází neboli vzorový etalon.

Posudek dané alternativy probíhá, jak po technické stránce zastoupené znakem τ , tak po stránce ekonomické označované jako ξ . Obě hodnoty jsou následně umístěny do roviny diagramu ($\xi = f(\tau)$), kde je konfrontována její prospěšnost v souvislosti s ostatními implementovanými variantami. Bodově zevrubná podstata algoritmu v rámci aplikace:

- Jako první krok je zapotřebí učinit reprezentativní výběr parametrů (vlastností). Musí se eliminovat vzájemně závislé parametry a zredukovat jejich počet na podstatnou a spolehlivě zjištělnou veličinu.
- Vymezení bodovací stupnice, hodnotící kvalitativní nebo kvantitativní hodnoty parametrů.
- Přidělení důležitosti (váhy) parametrů.
- Vykoná se hodnocení.

Technická hodnota τ

- A) Během určení varianty identifikujeme souhrnnou řadu faktorů, parametrů a vlastností jako T_1, T_2, \dots, T_n , tj. $(1, \dots, n)$
- n = nejvyšší počet příznaků, parametrů, vlastností (obvykle 1–100)
- B) Hodnota jednotlivých faktorů, parametrů a technických vlastností je vyjádřena pomocí třídíku t_1, t_2, \dots, t_j společně s vymezenou (stanovenou) stupnicí, tzn.: $(1, \dots, j)$
- kde: t_1 = maximální hodnota faktoru, parametru, vlastnosti
 - t_j = maximální hodnota
 - s určeným slovním hodnocením: $t_1 = 0$ = nevyhovující (minimum)
 - $t_2 = 1$ = velmi slabé
 - $t_3 = 2$ = vyhovující
 - $t_4 = 3$ = dobré
 - $t_5 = 4$ = velmi dobré
 - $t_6 = 5$ = výborné (ideální – maximum)
- Preferovaný rozsah třídíku: t (1, 6) nebo (1, 10) atp. I v rámci toho, že je hodnocení faktorů subjektivní jej lze podložit objektivně zjištělnými parametry.

- C) Procentuální vyjádření hodnoceného faktoru, parametru, vlastnosti:

$$p_\tau = \frac{100}{t_j} [\%] \quad (2)$$

D) Relativní technická hodnota n-tého faktoru, parametru, vlastnosti:

(3)

$$T_n \cdot t_j$$

E) Váha každého faktoru, parametru, vlastnosti lze dle priority rozlišit koeficienty $g_n (\leq 1)$, čili:

(4)

$$0 \leq g_n \leq 1$$

F) Technický stav hodnocené varianty dle rozdílných aspektů:

(5)

$$(\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_j, \dots, \tau_n) = (g_1 \cdot t_1, g_2 \cdot t_2, \dots, g_j \cdot t_j, \dots, g_n \cdot t_n)$$

G) Finální technická hodnota varianty:

(6)

$$\tau = \frac{\sum_{j=1}^n (g_j \cdot t_j)}{\sum_{j=1}^n g_j \cdot t_{max}} = \frac{g_1 \cdot t_1 + g_2 \cdot t_2 + \dots + g_n \cdot t_n}{(g_1 + g_2 + \dots + g_n) \cdot t_j} \leq 1$$

- g_j = koeficient diferencující důležitost hodnocených faktorů, parametrů, vlastností
- t_j = hodnota i-tého faktoru, parametru, vlastnosti
- n = počet hodnocených faktorů, parametrů, vlastností
- procentuální vyjádření: $\tau \leq 100 \%$
- Finální technická hodnota (např. nového továrně produkovaného výrobku) činí: $\tau = 100 \%$

6.2 Volba konstrukčního návrhu dopravníkové nástavby robotu MiR

Na výběr jsou dvě konstrukční alternativy. Porovnáním jejich technických parametrů a vlastností bude za pomoci bazické bodovací metody vybrána ta varianta, která se bude vhodněji splňovat podmínky funkce v zadané problematice.

6.2.1 Posuzované parametry

T1) **Flexibilita** – tato vlastnost dopravníkového topmodulu, je velice důležitá z hlediska manipulace při transferu PCB pořadače. Jedná se o důležitý faktor, který umožňuje robotu nakládat s magazíny různého typu (osazen/neosazen). To má za následek efektivnější aplikaci MiR 250 k SMT výrobní lince.

T2) **Hmotnost nástavby** – veličina, jenž hraje stěžejní roli již v počátečních podmínkách samotné konstrukce vzhledem k maximální únosnosti robotu. V žádném případě nesmí být překročena a její hodnota musí být taková, aby vytvořila dostatečný prostor pro PCB osazené magazíny, jestliže ji odečteme od nákladní hmotnosti robotu.

T3) **Stabilita PCB pořadače** – v rámci procesu transportu musí být převážené PCB magazíny, v co možná nejlépe umístěné poloze, aby nedošlo během jízdy k narušení jejich rovnováhy a následnému rozsypání integrovaného nákladu uvnitř.

T4) **Kooperace s Nutek magazine line Loader/Unloader (AGV ready)** – vstupní, či výstupní modul SMT linky má k dispozici v této zamýšlené konfiguraci dvě hnízda pro pojetí nebo vysunutí magazínu. Zcela zásadním rysem je to, jak robot s dopravníkovou nástavbou dokáže tyto hnízda obsluhovat.

T5) **Cena** – tržní ekonomika se v soudobém průmyslu řídí tzv. pravidlem „Poměr, Cena, Výkon.“ Zákazník dá na základě tohoto nepsaného pravidla kolikrát přednost produktu, který je o poznání méně kvalitní než jeho konkurent.

Tab 15) Tabulka evaluace konstrukčních variant

n	Vlastnost	Sériová varianta				Paralelní varianta			
		Označení	t_j	g_n	p_τ	τ_n	t_j	g_n	p_τ
1	T1	2	0,7	50	1,4	5	0,7	20	3,5
2	T2	5	0,9	20	4,5	3	0,9	33,333	2,7
3	T3	3	0,9	33,333	2,7	4	0,9	25	2,3
4	T4	1	0,8	100	0,8	4	0,8	25	3,2
5	T5	5	0,5	20	2,5	3	0,5	33,333	1,5

Finální technické hodnocení τ :

Tab 16) Konečné technické hodnocení pro jednotlivé konstrukční alternativy

Varianta	τ
Paralelní	0,75
Sériová	0,49

Jako nejadekvátnější způsob konstrukčního řešení podložený výpočtem dané hodnotící metody se jeví paralelní varianta. Tato konfigurace nabízí rozsáhlou flexibilitu procesu při odpovídající hmotnosti nástavby podvojené dopravníkové trati, při rozšířeném komunikačním boxu. Zároveň je její velkou výhodou vhodně zvolené umístění PCB magazínu z hlediska klidové polohy při logistické misi robotu. V kompetenci osazeného vozítka tímto typem uspořádání topmodulu je zcela plnohodnotně a zároveň variabilně obsluhovat dvě hnízda linky Nutek Loader/Unloader (AGV Ready). Nejhůře hodnoceným parametrem v rámci tohoto uskupení jsou ekonomické náklady vyplývající z nutnosti zdvojení dopravníkových boxů.

7 NÁVRHOVÉ VÝPOČTY

7.1 PCB deska

Maximální rozměry PCB desky na základě zvoleného magazínu jsou:

šířka desky: $w_d = 0,25 \text{ mm}$

délka desky: $l_d = 0,342 \text{ mm}$

výška desky: $v_d = 0,0016 \text{ mm}$

Objem maximální desky:

$$V_{dmax} = w_d \cdot l_d \cdot v_d \quad (7)$$

$$V_{dmax} = 0,25 \cdot 0,342 \cdot 0,0016$$

$$V_{dmax} = 1,368 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

Materiálem těchto desek je sklolaminát se zkratkou FR-4.

hustota FR-4: $\rho_d = 0,00185 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

Výpočet hmotnosti maximální desky

$$\rho_d = \frac{m_d}{V_{dmax}} \quad (8)$$

$$m_d = \rho_d \cdot V_{dmax}$$

$$m_d = 0,00185 \cdot 1,368 \cdot 10^{-4}$$

$$m_d = 2,5308 \cdot 10^{-7} \text{ kg}$$

Celkově je však možné magazín osadit 49 ks PCB desek čili:

$$m_{celk} = 49 \cdot m_d \quad (9)$$

$$m_{celk} = 49 \cdot 2,5308 \cdot 10^{-7}$$

$$m_{celk} = 1,240092 \cdot 10^{-5} \text{ kg}$$

Kde:

V_{dmax}	$[\text{m}^3]$	- maximální objem PCB desky
ρ_d	$[\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$	- hustota materiálu FR-4 z [55]
m_d	$[\text{kg}]$	- hmotnost maximální desky
m_{celk}	$[\text{kg}]$	- celková hmotnost 49 ks desek

7.2 Celkový náklad

Sečteme-li hmotnosti dvou plně obsazených PCB magazínu typu 701.3 vyjde celková hmotnost nákladu pro manipulaci robotem bez dopravníkové nástavby:

$$\begin{aligned} m_n &= 2 \cdot m_{celk} + 2 \cdot 6,9 & (10) \\ m_n &= 2 \cdot 1,240092 \cdot 10^{-7} + 2 \cdot 6,9 \\ m_n &= 13,80000124 \text{ kg} \\ m_n &= 14 \text{ kg} \end{aligned}$$

Kde:

m_n [kg] - celková hmotnost nákladu bez dopravníkového topmodulu

7.3 Návrh dopravníku

Vzhledem k půdorysné povaze PCB magazínu byl po důkladné úvaze zvolen válečkový dopravník, který bude součástí topmodulu robotu MiR 250.

7.3.1 Délka

Délka dopravníku je odvozena od horní nákladové plochy zvoleného robotu MiR 250, která činí 800 x 580 mm (délka x šířka). Předpokládaný modul bude mít tedy $L_c = 800$ mm.

7.3.2 Šířka

Přepřavovaný PCB magazín měří na šířku 320 mm. Šíře dopravníku musí mít vzhledem k manipulovanému objektu vůli, jenž v tomto případě bude z každé strany 5 mm, což znamená, že šíře válečkové tratě má konečný rozměr $W_c = 366$ mm.

7.3.3 Výška

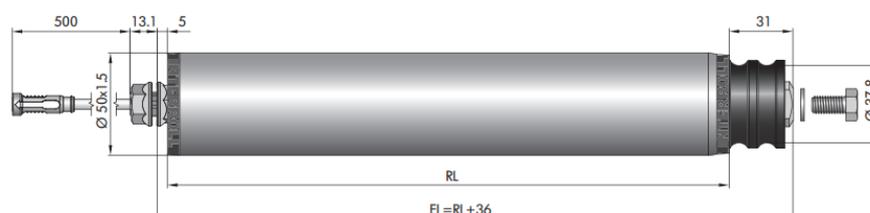
Výška vyplývá z konstrukčního návrhu a její hodnota činí $H_c = 120$ mm (vztaženo na profily MK 2255).

7.4 Volba válečků

Na základě zástavbových rozměrů robotu a jeho bezpečnostních zón je zapotřebí dbát zvýšeného důrazu na samotné rozměry navrhovaného dopravníkového topmodulu a snažit se tak, v co největší míře minimalizovat jakékoliv potenciální přesahy do prostoru mimo robot.

7.4.1 Hnací válec

Z tohoto důvodu je pro tento konstrukční návrh volen typ pohonu přímo ve válečku od firmy Interroll série EC 5000 s výkonem 35 W. Hnací válec je napájen stejnosměrným napětím o hodnotě 48 V. Jde o válec s hliníkovým pláštěm, jehož hlava je osazena dvěma drážkami pro řemeny s kulatým průřezem. Používá se pro přepravu středně těžkého materiálu. Mezi hlavní přednosti patří tichý chod. Přenášení výkonu na ostatní hnané válce tedy vychází ze způsobu „cik-cak“ (vizuální zpražení mezi jednotlivými válci), což zajišťuje přenos stálého výkonu o stálém převodovém čísle. Charakteristika válečku viz obrázky a tabulka níže [55]:



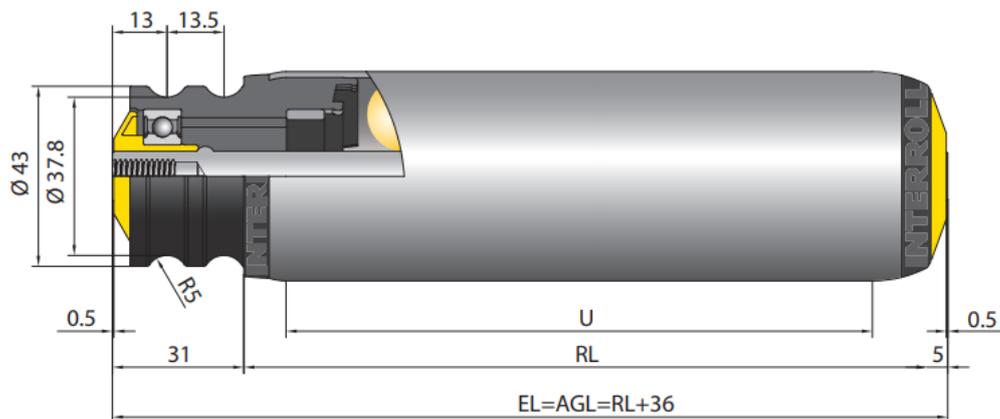
Obr. 76) Schéma hnacího válce EC 5000 [56] $RL = 330$ mm

Tab 17) Parametry hnacího válce [57] [58]

Montážní délka	$l_v = 0,366$ m
Průměr válečku	$D_v = 0,050$ m
Tloušťka stěny	$s_v = 0,0015$ m
Průměr osy	$D_o = 0,014$ m
Závit v ose válečku	M8x15
Maximální zatížení	$F_{Vmax} = 1100$ N
Napájení	48 V
Ochrana	IP 54
Dopravní rychlost	$v_p = 0,17$ m.s ⁻¹

7.4.2 Hnaný válec

Hnané válce jsou odvozeny od hlavního hnacího válce. Jejich volba taktéž vychází z portfolia firmy Interroll avšak tentokrát ze série 3500. Tyto válce charakterizuje hliníkový plášť s hlavou se dvěma drážkami umožňující zpražení řemenem kulatého průřezu. Používají se pro transport středně těžkých břemen. Typický je pro ně velice tichý provozní chod. Technické parametry viz obrázek a tabulka níže [45]:



Obr. 77) Schéma hnaného válce 3500 [59] $RL = 330$ mm, $U = 320$ mm

Tab 18) Parametry hnaného válce [59] [60]

Montážní délka	$l_v = 0,366$ m
Průměr válečku	$D_v = 0,050$ m
Tloušťka stěny	$s_v = 0,0015$ m
Průměr osy	$D_o = 0,014$ m
Závit v ose válečku	M8x15
Ložiska	6002 RZ
Maximální zatížení	$F_{V_{max}} = 350$ N

7.5 Výpočet válečkového dopravníku

7.5.1 Množství válečků

Pro určenou délku trati $L_c = 800$ mm je zvolen počet válečků $n_v = 11$.

7.5.2 Rozteč válečků

Konstrukčně zvolená rozteč mezi jednotlivými válečky činí $k = 75$ mm.

7.5.3 Otáčky válečků

Otáčky válečků vychází z notoricky známých vzorců obvodové a úhlové rychlosti. Za obvodovou rychlost dosazují dopravní rychlost hnacího válce $v_p = 0,17$ m·s⁻¹.

Obvodová rychlost válečku [61]:

$$v_p = \omega_v \cdot \frac{D_v}{2} \quad (11)$$

Úhlová rychlost válečku [61]:

$$\omega_v = 2\pi \cdot n \quad (12)$$

Dosazením vzorce úhlové rychlosti do rychlosti obvodové vznikne vzorec pro otáčky válečku. [61]

$$n = \frac{v_p}{\pi \cdot D_v} \quad (13)$$

$$n = \frac{0,17}{\pi \cdot 0,05}$$

$$n = 1,08 \text{ s}^{-1} \Rightarrow 64,9 \text{ min}^{-1}$$

Kde:

v_p	$[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$	- dopravní rychlost hnacího válečku
ω_v	$[\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}]$	- úhlová rychlost válečku
D_v	$[\text{m}]$	- průměr válečku

7.5.4 Zatížení jednotlivého válečku

Dva přepravované PCB magazíny včetně vložených desek mají hmotnost $m_n = 14 \text{ kg}$. Avšak reálně bude nástavba zhotovena ze dvou válečkových tratí čili nikdy nepojedou dva PCB magazíny po stejném dopravníku, tzn. že jedné trati náleží jeden PCB pořadač. V případě plného obsazení tohoto pořadače – hmotnost $m_{\text{mag}} = 7 \text{ kg}$. Zároveň však podstava přepravovaného objektu nikdy nezatíží více než 5 válců. Z toho vyplývá:

Zdroj: [61]

$$q_v = \frac{m_{\text{mag}}}{5}$$

$$q_v = \frac{7}{5}$$

$$q_v = 1,4 \text{ kg}$$

Kde:

m_{mag}	$[\text{kg}]$	- hmotnost PCB magazínu včetně desek
------------------	---------------	--------------------------------------

7.5.5 Odpory působící na jeden váleček

Během transportu jsou na válečku předpokládány následující odpory: složka vlastní tíhy objektu, odpor vlivem valivého tření a odpor vlivem výrobních potažmo montážních nepřesností.

7.5.5.1 Vlastní tíha objektu

Zdroj: [61]

(15)

$$W_1 = \pm q_v \cdot g \cdot \sin(\beta)$$

$$W_1 = \pm 1,4 \cdot 9,81 \cdot \sin(0)$$

$$W_1 = 0 \text{ N}$$

Kde:

q_v	[kg]	- zatížení jednoho válečku, rovnice (14)
g	[m·s ⁻²]	- tíhové zrychlení země
β	[°]	- úhel sklonu tratě, v tomto případě vodorovná trať

7.5.5.2 Odpor vlivem valivého čepového tření

Zdroj: [61]

(16)

$$W_2 = q_v \cdot g \cdot \cos(\beta) \cdot \frac{e_p + f_{\check{c}} \cdot r_{\check{c}}}{R_v} + m_{r\check{c}} \cdot g \cdot \frac{f_{\check{c}} \cdot r_{\check{c}}}{R_v}$$

$$W_2 = 1,4 \cdot 9,81 \cdot \cos(0) \cdot \frac{0,001 + 0,05 \cdot 0,007}{0,025} + 2,5 \cdot 9,81 \cdot \frac{0,05 \cdot 0,007}{0,025}$$

$$W_2 = 1,084 \text{ N} \Rightarrow 1,1 \text{ N}$$

Kde:

e_p	[m]	- rameno valivého odporu pro hliník [62]
$f_{\check{c}}$	[-]	- součinitel čepového tření-ekvivalent pro valivá ložiska [62]
$r_{\check{c}}$	[m]	- poloměr osy válečku [58] [60]
R_v	[m]	- poloměr válečku [58] [60]
$m_{r\check{c}}$	[kg]	- hmotnost rotující části válečku, 3D modelovací software

7.5.5.3 Odpor vlivem výrobních a montážních nepřesností

Tento konkrétní člen je z matematického hlediska velice obtížně vyjádřitelný, zpravidla se uvádí jako 0,5 % normálového zatížení válečku.

Zdroj: [61]

(17)

$$W_3 = 0,005 \cdot q_v \cdot g \cdot \cos(0)$$

$$W_3 = 0,005 \cdot 1,4 \cdot 9,81 \cdot \cos(0)$$

$$W_3 = 0,06867 \text{ N} \Rightarrow 0,07 \text{ N}$$

7.5.6 Celkový odpor v rámci jednoho válečku

Zdroj: [61]

(18)

$$W = W_1 + W_2 + W_3$$

$$W = 0 + 1,1 + 0,07$$

$$W = 1,17 \text{ N}$$

Kde:

- W_1 [N] - složka vlastní tíhy předmětu z rovnice (15)
 W_2 [N] - odpor vlivem valivého a čepového tření z rovnice (16)
 W_3 [N] - odpor vlivem montážních a výrobních nepřesností z rovnice (17)

7.5.7 Síla transponovaná smykovým třením na předmět

PCB magazín má na spodní základně ocelové plochy, které jsou v kontaktu s hliníkovým pláštěm dopravníkových válečků. Logika výpočtu se tedy opírá o součinitel tření mezi ocelí a hliníkem.

Zdroj: [61]

(19)

$$F_s = m_{mag} \cdot g \cdot f \cdot \cos(\beta)$$

$$F_s = 7 \cdot 9,81 \cdot 0,61 \cdot 1$$

$$F_s = 41,8887 \text{ N} \Rightarrow 42 \text{ N}$$

Kde:

- f [-] - součinitel tření ocel-hliník [63]

7.5.8 Podmínka pohybu PCB magazínu bez prokluzu válečků

Síla, jenž je v interakci s předmětem a přenášena na něj pomocí smykového tření musí být větší než suma všech odporů působících na váleček.

Zdroj: [61]

(20)

$$F_s \geq W$$

$$42 \text{ N} \geq 1,17 \text{ N}$$

Podmínka ze vzorce (20) je úspěšně splněna.

Kde:

- F_s [N] - síla transponovaná na objekt smykovým třením (19)
 W [N] - celkový odpor působící na jeden váleček z rovnice (18)

7.5.9 Výkon pro rovnoměrný pohyb předmětu

Zdroj: [61]

(21)

$$P = (n_{vp} \cdot q_v \cdot g \cdot \left[\sin(\beta) + \cos(\beta) \cdot \left(\frac{e + f_{\check{c}} \cdot r_{\check{c}}}{R_v} + 0,005 \right) \right] + m_{r\check{c}} \cdot n_v \cdot g \cdot \frac{f_{\check{c}} \cdot r_{\check{c}}}{R_v}) \cdot \frac{v_p}{1000 \cdot \eta}$$

$$P = (5 \cdot 1,4 \cdot 9,81 \cdot \left[\sin(0) + \cos(0) \cdot \left(\frac{0,001 + 0,05 \cdot 0,007}{0,025} + 0,005 \right) \right] + 2,5 \cdot 5 \cdot 9,81 \cdot \frac{0,05 \cdot 0,007}{0,025}) \cdot \frac{0,17}{1000 \cdot 0,9}$$

$$P = 9,86605 \cdot 10^{-4} \text{ kW}$$

Kde:

- n_{vp} [ks] - počet válečků pod PCB magazínem, dle konstrukčního návrhu $n_{vp} = n_v$
 η [-] - účinnost mechanického převodu řemenem, zvoleno

7.6 Návrh pohonu

Zvolený pohon motorem ve válečku z kapitoly 9.1 disponuje následujícími technickými parametry:

Tab 19) Parametry Interroll drive EC 5000 [57] [58]

Výkon	$P_p = 35 \text{ W}$
Kroutící moment	$M_k = 4,95 \text{ N}\cdot\text{m}$
Moment zrychlení	$M_z = 13 \text{ N}\cdot\text{m}$
Trvalý blokovací moment	$M_{tb} = 13 \text{ N}\cdot\text{m}$
Rozběhový moment	$M_m = 12,12 \text{ N}\cdot\text{m}$
Převodový poměr	108:1

7.6.1 Kontrola pohonu

7.6.1.1 Otáčky hnacího válce

Zdroj: [64]

(22)

$$P_p = M_k \cdot 2\pi \cdot n_m$$

$$n_m = \frac{P_p}{M_k \cdot 2\pi}$$

$$n_m = \frac{35}{4,95 \cdot 2\pi}$$

$$n_m = 1,125337981 \text{ s}^{-1} \Rightarrow 67,5 \text{ min}^{-1}$$

7.6.1.2 Čas rozběhu PCB magazínu

Zdroj: [64]

(23)

$$t_s = \frac{v_p}{\frac{n_p}{n_b} \cdot g \cdot [\cos(\alpha) \cdot \left(f - \frac{2 \cdot e}{D_v}\right) - \frac{n_b}{n_p} \cdot \sin(\alpha)]}$$

$$t_s = \frac{0,17}{\frac{10}{10} \cdot 9,81 \cdot [\cos(0) \cdot \left(0,61 - \frac{2 \cdot 0,001}{0,05}\right) - \frac{10}{10} \cdot \sin(0)]}$$

$$t_s = 0,0304 \text{ s}$$

Kde:

n_b [ks] - celkový počet poháněných válečků pod předmětem

7.6.1.3 Setrvačný moment pláště válečku

Zdroj: [64]

(24)

$$J_v = m_{rč} \cdot R_s^2 = m_{rč} \cdot \left(\frac{D_v \cdot s_v}{2}\right)^2$$

$$J_v = 2,5 \cdot \left(\frac{0,05 \cdot 0,0015}{2}\right)^2$$

$$J_v = 3,515625 \cdot 10^{-9} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Kde:

R_s [m] - střední poloměr pláště válečku

s_v [m] - tloušťka stěny válečku

7.6.1.4 Úhlové zrychlení válečku

Zdroj: [64]

(25)

$$\varepsilon = \frac{2 \cdot v_p}{t_s \cdot D_v}$$

$$\varepsilon = \frac{2 \cdot 0,17}{0,38 \cdot 0,05}$$

$$\varepsilon = 17,89473684 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-2} \Rightarrow 18 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-2}$$

7.6.1.5 Třecí moment

Zdroj: [64]

(26)

$$M_t = n_v \cdot q_v \cdot g \cdot \cos(\beta) \cdot f \cdot \frac{R_v}{i_c \cdot \eta}$$

$$M_t = 11 \cdot 1,4 \cdot 9,81 \cdot \cos(0) \cdot 0,61 \cdot \frac{0,025}{1 \cdot 0,9}$$

$$M_t = 2,559865 \text{ N} \cdot \text{m} \Rightarrow 2,56 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Kde:

i_c [-] - celkový převod

7.6.1.6 Moment zrychlujících sil přímočarých hmot

Zdroj: [64]

(27)

$$M_{zp} = m_p \cdot \frac{v_p \cdot R_v}{t_s \cdot i_c \cdot \eta}$$

$$M_{zp} = 1,4 \cdot \frac{0,17 \cdot 0,025}{0,0304 \cdot 1 \cdot 0,9}$$

$$M_{zp} = 0,2174707602 \text{ N} \cdot \text{m} \Rightarrow 0,22 \text{ N} \cdot \text{m}$$

7.6.1.7 Moment zrychlujících sil rotujících hmot

Zdroj: [64]

(28)

$$M_{zr} = n_v \cdot J_v \cdot \varepsilon \cdot \frac{1}{i_c \cdot \eta}$$

$$M_{zr} = 11 \cdot 3,515625 \cdot 10^{-9} \cdot 18 \cdot \frac{1}{1 \cdot 0,9}$$

$$M_{zr} = 7,734375 \cdot 10^{-7} \text{ N} \cdot \text{m}$$

Kde:

J_v [kg·m²] - setrvačný moment pláště válečku z rovnice (24)
 ε [rad·s⁻²] - úhlové zrychlení válečků z rovnice (25)

7.6.1.8 Moment stálých odporů

Zdroj: [64]

(29)

$$M_{od} = \frac{60 \cdot P \cdot 1000}{2\pi \cdot n_m}$$

$$M_{od} = \frac{60 \cdot 9,86605 \cdot 10^{-4} \cdot 1000}{2\pi \cdot 67,5}$$

$$M_{od} = 0,13957605557 \text{ N} \cdot \text{m} \Rightarrow 0,140 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Kde:

P [kW] - potřebný výkon pro rovnoměrný pohyb z rovnice (21)

7.6.1.9 Moment při rozběhu

Společnost Interroll uvádí v katalogových parametrech rozběhový moment motoru [58]:

Zdroj: [64]

(30)

$$M_m = 12,12 \text{ N} \cdot \text{m}$$

7.6.1.10 Rozběhový moment redukováný na hřídeli

Zdroj: [64]

(31)

$$M_{roz} = M_t + M_{zp} + M_{zr} + M_{od}$$

$$M_{roz} = 2,56 + 0,22 + 7.734375 \cdot 10^{-7} + 0,140$$

$$M_{roz} = 2,920 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Kde:

M_t	[N·m]	- třecí moment z rovnice (26)
M_{zp}	[N·m]	- moment zrychlujících sil přímočarých hmot z rovnice (27)
M_{zr}	[N·m]	- moment zrychlujících sil rotačních hmot z rovnice (28)
M_{od}	[N·m]	- moment stálých odporů z rovnice (29)

7.6.2 Vyhodnocení pohonu dopravníku

Jestliže má být splněna podmínka relevantně navrženého pohonu dopravníku, musí být rozběhový moment elektromotoru ve válci větší než rozběhový moment redukováný na hřídeli elektromotoru.

Zdroj: [64]

(32)

$$M_m > M_{roz}$$

$$12,12 \text{ N} \cdot \text{m} > 2,920 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Z výše uvedené nerovnice (32) je jednoznačně patrné, že daný pohon je vyhovující.

Kde:

M_m	[N·m]	- moment na hřídeli elektromotoru při rozběhu z katalogu Interroll [58]
M_{roz}	[N·m]	- rozběhový moment redukováný na hřídeli z rovnice (31)

7.7 Řemenový převod

Vybrané typy válečků pro pohon dopravníkové nástavby jsou osazeny hlavou se dvěma drážkami určenými pro kulatý řemen s průřezem o hodnotě 5 mm.

Použití ohebného převodového členu simplifikuje konstrukci topmodulu, vzhledem k parametrům, které mají být dodrženy. Zároveň podstatně snižuje cenu celého řešení. Jednou z mnoha výhod je, že tento konkrétní typ převodu dokáže zachycovat rázové zatížení a má schopnost tlumení nežádoucích kmitů.

Mezi nevýhody lze řadit omezenou délka životnosti. Během provozu je nutné v pravidelných intervalech kontrolovat opotřebení, stárnutí materiálu nebo ztrátu jeho pružnosti. Již při prvních znatelných známkách opotřebení by měly být tyto součásti vyměněny. [64]

7.7.1 Parametry řemenu



Obr. 78) Ilustrační ukázka kruhových řemenů [65]

Tab 20) Charakteristika kruhové šňůry Hennlich RN9 – 10.00 [65]

Parametr	Hodnota
Barva	Neprůhledná / Černá
Průměr	10 mm
Tvrдость	90 Shore A
Materiál	NBR
Koeficient tření – f	0,8

7.7.2 Kontrola řemenu

7.7.2.1 Úhel opásání (otevřené opásání)

Zdroj: [64]

(33)

$$\varnothing = \theta_D = \theta_d = \pi - 2 \cdot \arcsin \left(\frac{D_w - d_w}{2 \cdot a} \right)$$

$$\varnothing = \theta_D = \theta_d = \pi - 2 \cdot \arcsin \left(\frac{37,8 - 37,8}{2 \cdot 75} \right)$$

$$\emptyset = \pi = 180^\circ$$

Kde:

$D_w = d_w$	[mm]	- průměr malé a velké řemenice
a	[mm]	- rozteč mezi osami válečků
Φ	[rad]	- úhel opásání

7.7.2.2 Délka řemenu

Zdroj: [64]

(34)

$$L_p = \frac{1}{2} \cdot (D_w \cdot \theta_D + d_w \cdot \theta_d) + [4 \cdot a^2 - (D_w - d_w)^2]^{\frac{1}{2}}$$

$$L_p = \frac{1}{2} \cdot (37,8 \cdot \pi + 37,8 \cdot \pi) + [4 \cdot 75^2 - (37,8 - 37,8)^2]^{\frac{1}{2}}$$

$$L_p = 268,7522023 \text{ mm} \Rightarrow 269 \text{ mm}$$

Kde:

$D_w = d_w$	[mm]	- průměr malé a velké řemenice z rovnice (33)
$\Theta_D = \Theta_d$	[rad]	- úhel opásání z rovnice (33)

7.7.2.3 Rychlost řemenu

Zdroj: [50]

(35)

$$v_{\dot{\gamma}} = \pi \cdot D_w \cdot n_m$$

$$v_{\dot{\gamma}} = \pi \cdot 37,8 \cdot 67,5 = \frac{\pi \cdot 37,8 \cdot 67,5}{1000 \cdot 60}$$

$$v_{\dot{\gamma}} = 0,1335962276 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \Rightarrow 0,13 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Kde:

n_m	[min ⁻¹]	-otáčky hnacího válce z rovnice (22)
-------	----------------------	--------------------------------------

7.7.2.4 Plošná hustota řemenu

Zdroj: [64]

(36)

$$\rho_l = \rho_s \cdot b$$

$$\rho_l = 3 \cdot 0,01$$

$$\rho_l = 0,03 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1}$$

Kde:

ρ_s [kg·m²] - plošná hmotnost řemenu [64]
 b [m] - průměr řemenu

7.7.2.5 Tahová síla

Zdroj: [64]

(37)

$$F_c = \rho_l \cdot v_{\dot{r}}^2$$

$$F_c = 0,03 \cdot 0,13^2$$

$$F_c = 5,07 \cdot 10^{-4} \text{ N}$$

Kde:

ρ_l [kg·m⁻¹] - plošná hustota řemenu z rovnice (36)
 $v_{\dot{r}}$ [m·s⁻¹] - rychlost řemenu z rovnice (35)

7.7.2.6 Točivý moment

Zdroj: [64]

(38)

$$M' = \frac{P_p \cdot c_1 \cdot k_n}{2 \cdot \pi \cdot n_m}$$

$$M' = \frac{35 \cdot 1,1 \cdot 1,2}{2 \cdot \pi \cdot 67,5}$$

$$M' = 0,1089327166 \text{ N} \cdot \text{m} \Rightarrow 0,109 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Kde:

P_p [W] - výkon motoru z Tab. 19)
 c_1 [-] - součinitel pro případ neočekávaných provozních stavů [64]
 k_n [-] - součinitel provozního zatížení [64]
 n_m [min⁻¹] - otáčky hnacího válce z rovnice (22)

7.7.3 Podmínka pro přenos točivého momentu

Aby řemenový převod přenášel točivý moment musí být splněna podmínka [64]:

(39)

$$F_{1D} - F_2 = \frac{2 \cdot M'}{D_w}$$
$$F_{1D} - F_2 = \frac{2 \cdot 0,109 \cdot 1000}{37,8}$$
$$F_{1D} - F_2 = 5,76 \text{ N}$$

Kde:

M' [N·m] - Točivý moment z rovnice (38)
 D_w [mm] - Průměr řemenice

7.7.4 Maximální dovolená tahová síla v řemenu

Zdroj: [64]

(40)

$$F_{1D} = c_2 \cdot b \cdot F_{DM}$$

$$F_{1D} = 1 \cdot 10 \cdot 38$$

$$F_{1D} = 380 \text{ N}$$

(41)

$$F_2 = F_{1D} - (F_{1D} - F_2)$$

$$F_2 = 380 - 5,76$$

$$F_2 = 374,24 \text{ N}$$

Kde:

c_2 [-] - součinitel úhlu opásání pro 180° [64]
 b [mm] - šířka řemenu
 F_{DM} [N·mm⁻¹] - dovolená měrná tahová síla [64]
 $F_{1D}-F_2$ [N] - velikost sil v ochablé, resp. napjaté části opásání z rovnice (39)

7.7.5 Počáteční předpětí

Zdroj: [64]

(42)

$$F_u = \frac{F_{1D} + F_2}{2} - F_c$$

$$F_u = \frac{380 + 374,24}{2} - 5,07 \cdot 10^{-4}$$

$$F_u = 377.119493 \text{ N} \Rightarrow 377,12 \text{ N}$$

Kde:

- F_c [N] - Tahová síla z rovnice (37)
 F_{1D}, F_2 [N] - Maximální dovolená tahová síla v řemenu z rovnic (40) a (41)

7.7.6 Prokluz řemenu

Zdroj: [64]

(43)

$$f' = \frac{1}{\Phi} \cdot \ln \frac{F_{1D} - F_c}{F_2 - F_c}$$

$$f' = \frac{1}{\pi} \cdot \ln \frac{380 - 5,07 \cdot 10^{-4}}{34,2 - 5,07 \cdot 10^{-4}}$$

$$f' = 4,861855786 \cdot 10^{-3}$$

(44)

$$f > f'$$

$$0,8 > 4,861855786 \cdot 10^{-3}$$

Z předchozí nerovnice (38) je zřejmé, že podmínka byla dodržena a nehrozí prokluz řemenu na funkční ploše věnce řemenice.

Kde:

- F_{1D} [N] - síla v napjaté části opásání z rovnice (40)
 F_2 [N] - síla v ochablé části opásání (41)
 f [-] - koeficient tření [64]
 Φ [rad] - úhel opásání
 F_c [N] - tahová síla

7.7.7 Bezpečnost

Zdroj: [64]

(45)

$$k = \frac{F_{1D} \cdot v_{\dot{r}}}{P_p \cdot k_n}$$

$$k = \frac{380 \cdot 0,13}{35 \cdot 1,2}$$

$$k = 1,2$$

Řemenový převod je schopen plnohodnotně přenášet požadovaný výkon.

Kde:

F_{1D}	[N]	- síla v napjaté části opásání z rovnice (40)
$v_{\dot{r}}$	[m·s ⁻¹]	- rychlost řemenu z rovnice (35)
P_p	[W]	- daný výkon pohonu
k_n	[-]	- součinitel provozního zatížení

7.7.8 Průvěs řemenu

Zdroj: [64]

(46)

$$y = \frac{a^2 \cdot \rho_l \cdot g}{2 \cdot F_u}$$

$$y = \frac{0,075^2 \cdot 0,03 \cdot 9,81}{2 \cdot 377,12}$$

$$y = 2,194841828 \cdot 10^{-6} \text{ m}$$

Kde:

a	[m]	- osová vzdálenost mezi jednotlivými válci
ρ_l	[kg·m ⁻¹]	- plošná hustota řemenu z rovnice (36)
g	[m·s ⁻²]	- tíhové zrychlení
F_u	[N]	- počáteční předpětí z rovnice (42)

7.8 Výdrž baterie

7.8.1 Teoretická výdrž baterie robotu

Kapacita baterie robotu MiR 250 činí $C_B = 32,4$ Ah. Její provozní doba v časových jednotkách lze vypočítat ze vztahu:

(47)

$$T = \frac{C_B}{I_{celk}}$$

Kde:

T	[hod]	- Teoretická výdrž baterie
C_B	[Ah]	- Kapacita baterie MiR 250 viz příloha č. 3
I_{celk}	[A]	- Suma odebíraných proudů

V čitateli zlomku se nachází suma příkonů všech řídicích, ovládaných a logických prvků napojených na tento zdroj energie. Avšak u některých položek není příkon udáván a je zapotřebí dopočítat příkon z odebíraného proudu. Dle vzorce:

(48)

$$I = \frac{P}{U} [W]$$

Kde:

I	[A]	- odběrový proud
P	[W]	- příkon (dodávaný výkon)
U	[V]	- jmenovité napětí

Tab 21) Výpočetní tabulka odebíraného proudu

Položka	Kvantita	Příkon [W]	Výsledný odebíraný proud [A]
Optika – senzor	6	-	0,18
Indukce – senzor	2	-	0,02
Měnič napětí	1	60	1,25
Multicontrol	1	-	0,2
Motor	2	35	2,9
Lineární solenoid	2	1,2	0,1
PLC	1	-	1,5

- V rámci této tabulky jsou zvýrazněny hodnoty vyčtené z produktových listů jednotlivých výrobků s výjimkou položky lineární solenoid, kde se jedná o experimentálně určenou hodnotu, jelikož výrobce žádný s potřebných údajů neuveřejňuje.
- Jsou zanedbány ztráty ve vodičích přeměněných na teplo.

Výsledná suma všech proudů činí $I_{celk} = 6,15$ A. Z předchozího vztahu z rovnice (47) po dosazení všech hodnot následně vyplývá finální doba výdrže baterie:

$$T = \frac{32,4}{6,15}$$

$$T = 5,26 \text{ hod} \Rightarrow 5 \text{ hod } 16 \text{ min}$$

7.8.2 Reálná výdrž baterie robotu

Předchozí výpočet pracuje s dobou provozu baterie při stavech maximálního nabití a úplného vybití. Toto využití baterie z maxima do úplného minima kapacity zdroje není optikou praxe možné. Mělo by to za následek, zanechání robotu na neurčeném místě, kde došlo ke ztrátě posledního procenta energie a zároveň postupnou degradaci životnosti samotného zdroje.

Z tohoto důvodu je potřeba nastavit hranici kapacity baterie, při které robot vyhodnotí aktuální stav jako potřebu obnovení baterie do maxima. V rámci této DP činí zvolená mezní hodnota 30 %. Reálná výdrž baterie tedy činí:

(49)

$$T_R = \frac{C_B}{I_{celk}} \cdot 0,7$$

$$T_R = \frac{32,4}{6,15} \cdot 0,7$$

$$T_R = 3,68 \text{ hod} \Rightarrow 3 \text{ hod } 41 \text{ min}$$

Kde:

T_R	[hod]	- Reálná výdrž baterie
C_B	[Ah]	- Kapacita baterie MiR 250 viz příloha č. 3
I_{celk}	[A]	- Suma odebíraných proudů

8 KOMENTÁŘE K VÝKRESOVÉ DOKUMENTACI

Nezbytnou součástí této DP je složka výkresové dokumentace, která se skládá z výkresu hlavní sestavy dopravníkové nástavby, podsestav válečkové trati, krytování, dopravníkového boxu, komunikačního boxu a pěti dílenských výkresů.

Komplexní sestava je zpracována na výkrese DP_000_000, který se skládá ze dvou stěžejních listů. Na listu prvním jsou zakótovány tři hlavní pohledy s maximálními rozměry včetně robotu MiR 250. Na listu druhém se nachází jeden centrální pohled, zpracovaný v podobě rozpadu sestavy, včetně kusovníku a nepostradatelných položkových pozic.

Podsestava dopravníkového boxu nese označení DP_111_000. Na tomto výkresovém listě se nachází pohledy, které vedou k identifikaci všech položek zmíněných v kusovníku. V rámci zprostředkování kvalitnější vizualizace bylo použito několika řezů, včetně detailů. Zakótovány jsou pouze hlavní rozměry.

Konstrukce krytování dopravníkového boxu včetně přidružených výplní a jejich ustavovacích prvků je označena jako DP_110_000. Podsestava opět disponuje pouze hlavními rozměry, včetně kusovníku a pozic.

Výkres číslo DP_100_000 vyobrazuje válečkovou trať. Složení podsestavy je zde dopodrobna popsáno. Kóty znázorňují hlavní prostorové rozměry.

Kompletní výkresový dokument týkající se komunikačního boxu – DP_200_000 sestává ze dvou listů. List první vyobrazuje stěžejní rozměry podsestavy a zároveň zahrnuje k nim přiřčené pohledy. Na listu druhé se nachází centrální izometrický pohled zprostředkovaný ve formě rozpadu sestavy. Toto zpracování má za následek přehlednější identifikaci jednotlivých dílců podsestavy, a tím pádem výrazně jednodušší kooperaci s daným kusovníkem.

První dílenský výkres v pořadí (DP_000_002) je vrchní kryt (strop) dopravníkového boxu. Jedná se o dílec z materiálu Alu-BOND. Jsou zde zaneseny kóty přípojovacích otvorů včetně jejich rozteče. Tento materiál lze zpracovávat produkční metodou pálení na laseru.

Další dokument s označením DP_000_006 prezentuje držák indukčního čidla. Jelikož se jedná o plechový dílec, charakteristický pro metody výroby jako jsou pálení na laseru a následné ohýbání, disponuje dokument rozvinem v pravé části nad razítkem a v části levé finálními rozměry součásti.

Jako následující podklad pro výrobu je zvolen držák optoelektronického čidla – DP_100_007. Zpracování dokumentu je totožnou formou jako v předchozím případě. Tento díl opět podléhá produkčním operacím pálení a ohýbání.

Finální dokument z oblasti pálených a ohýbaných dílců s názvem Konzola – DP_110_009. Jedná se o prvek k vertikálnímu uchycení optoelektronického čidla k rozpoznání stavu obsazeného nebo neobsazeného magazínu.

Poslední složka výkresové dokumentace označená jako DP_200_001 vyobrazuje základovou přípojovací platformu. Jelikož se jedná o zcela stěžejní ustavovací prvek, který má obrovský vliv na navazující podsestavy, musí být tato deska tolerována jak z hlediska rozměrového, tak geometrického.

Pro výraznější utříděnost a představu je v rámci každého výkresu zakomponován barevný izometrický pohled v levém dolním rohu.

9 ODHAD NÁKLADŮ NA VÝROBU PROTOTYPU

V této kapitole je kompletní konstrukce rozdělena na jednotlivé prvky, z kterých vyplývá následující finanční rozpad. Základní dělení lze selektovat na položky nakupované a vyráběné.

Náklady spjaté s produkovánými komponenty jsou zevrubně odhadovány a slouží pouze k orientačnímu odhadu ceny. Reálná hodnota těchto součástí se může výrazně odlišovat v závislosti na zvoleném dodavateli.

Pořizovací cena nakupovaných součástí je dána aktuální nabídkou prodejce a její skutečná hodnota se může být opět rozdílná. Pro přepočty cen byly využity kurzy ze dne 04.04.2021, které činí 1 euro = 26,06 Kč, 1 dolar = 22,16 Kč a 1 libra = 30,6 Kč.

Tab 22) Pořizovací náklady robotu a příslušenství

Položka	Dodavatel	Typ	Kvantita [ks] [hod]	Náklady na položku (bez DPH) [Kč]
Robot	MiR	MiR 250	1	1 172 700
Nabíječka	MiR	MiR Charge	1	105 038
Rozšíření I/O	MiR	Wise modul	1	7 534
Komunikační server	MiR	MiR Fleet	1	191 684
Suma nákladů				1 476 956 Kč

Tab 23) Pořizovací náklady PLC a řízení

Položka	Dodavatel	Typ	Kvantita [ks]	Náklady na položku (bez DPH) [Kč]
PLC	Siemens	1214C DCDCDC	1	17 439
Multicontrol	Interroll	MiR Charge	1	4 875
Suma nákladů				22 314 Kč

Tab 24) Pořizovací náklady elektronické prvky

Položka	Dodavatel	Typ	Kvantita [ks]	Náklady na položku (bez DPH) [Kč]
Měnič napětí	Traco power	TCL 060- 124 DC	1	2 455
Lineární solenoid	GEEPLUS	SK-A0946	4	1 000
E-stop + reset	MURR	Tlačítko E – stop + reset	2	3 449
Konektory, kabeláž a příslušenství	-	-	-	10 000
Uchycovací prvky	-	-	-	5 000
Suma nákladů				28 353 Kč

Tab 25) Pořizovací náklady sensorika

Položka	Dodavatel	Typ	Kvantita [ks]	Náklady na položku (bez DPH) [Kč]
Optoelektronické čidlo	SICK	GL6-P4211	6	1 968
Indukční čidlo	SICK	IME08- 06NPSZT0K	2	1 530
Odrážka	SICK	P250	6	360
Odrážka	SICK	PL14	8	150
Suma nákladů				18 228 Kč

Tab 26) Pořizovací náklady rám a příslušenství

Položka	Dodavatel	Typ	Kvantita [ks] [m]	Náklady na položku (bez DPH) [Kč]
Profil 40x40	MK Technology	2040.40	10,928	405*
Profil 40x120	MK Technology	MK 2255	3,2	757*
Profil 25x25	MK Technology	2025.01	2,624	252*
Úhelník 40x40	MK Technology	82.40.0702	8	88
Úhelník 25x25 s drážkou	MK Technology	25.50.1010	12	125
Úhelník 25x25 bez drážky	MK Technology	25.50.1000	4	68
Záslepka 40x40	MK Technology	MK 2507	4	28
Záslepka 40x120	MK Technology	MK 2255 end cap	8	52
Vymezovací lišta	MK Technology	52.06.6000	11,928	127*
Spojovací plát	MK Technology	50.05.0072	2	73
Silentblok	Elesa Ganter	DVA.4-15-10- M4-10-40	4	15
Spojovací materiál	-	-	-	3 000
Suma nákladů				15 486 Kč

*Cena za metr profilu

Tab 27) Pořizovací náklady součástí válečkové trati

Položka	Dodavatel	Typ	Kvantita [ks] [m]	Náklady na položku (bez DPH) [Kč]
Motor	Interroll	EC 5000	2	7 655
Váleček	Interroll	3 500	20	468
Řemen	Hennlich	RN9 – 10.00	5,38	165*
Spojovací materiál	-	-	-	3 000
Suma nákladů				28 558 Kč

*Cena za metr řemenu

Tab 28) Pořizovací náklady vyráběných komponent

Položka	Materiál	Metoda výroby	Kvantita [ks]	Náklady na položku (bez DPH) [Kč]
Základová deska	Hliník	Třískové obrábění	1	10 000
Konzola	Nerezová ocel	Pálení/Ohýbání /Broušení	2	200
Úhelník	Nerezová ocel	Pálení/Ohýbání /Broušení	4	120
Držák čidla	Nerezová ocel	Pálení/Ohýbání /Broušení	2	75
Vymezovací element	Zinkovaná ocel	Třískové obrábění	6	100
Vymezovací element – Silentblok č. 1	Zinkovaná ocel	Třískové obrábění	2	135
Vymezovací element – Silentblok č. 2	Zinkovaná ocel	Třískové obrábění	2	112
Krycí plech přední	Hliník	Pálení/Ohýbání /Broušení	2	674
Krycí plech zadní	Hliník	Pálení/Ohýbání /Broušení	2	572
Držák solenoidu	Nerezová ocel	Pálení/Ohýbání /Broušení	8	79
Krycí plech hnacího ústrojí	Hliník	Pálení/Ohýbání /Broušení	2	1 998
Výplň boční	Polykarbonát	Řezání	4	755
Výplň zadní	Polykarbonát	Řezání	2	755
Vrechní kryt	Alu-Bond	Pálení	2	940
Vrechní plech – KB	Hliník	Pálení/Obrábění/Broušení	1	1 355
Boční kryt – KB	Plast	3D Tisk	2	2 500
Čelní kryt – KB	Plast	3D Tisk	2	3 750
Svařenec	Ocel	Svařování	1	8 500
Uchycovací lišta čelní	Zinkovaná ocel	Pálení/Ohýbání /Broušení	4	44
Uchycovací lišta boční	Zinkovaná ocel	Pálení/Ohýbání /Broušení	4	67
Suma nákladů				48 453 Kč

Po sečtení veškerých pořizovacích nákladů činí finální hodnota prototypu **bez DPH 1 638 348 Kč**. V rámci této kalkulace nebyla zahrnuta konstrukční, montážní ani programátorská práce, včetně nákladů spojených s CE certifikací k uvedení této technologie s topmodulem do běžného provozu a doplňkovými obcemi jako jsou servis a školení.

V případě, že jsou brány v potaz zmíněné služby vzroste cena hrubým odhadem minimálně o 30 %, což má za následek hodnotu v podobě **2 129 852 Kč bez DPH**.

Sériová výroba tohoto produktu bude mít za následek výrazné snížení pořizovacích nákladů jednotlivých komponent. Zejména z hlediska vyráběných dílců a množstevních slev potřebných součástí od vybraných subdodavatelů.

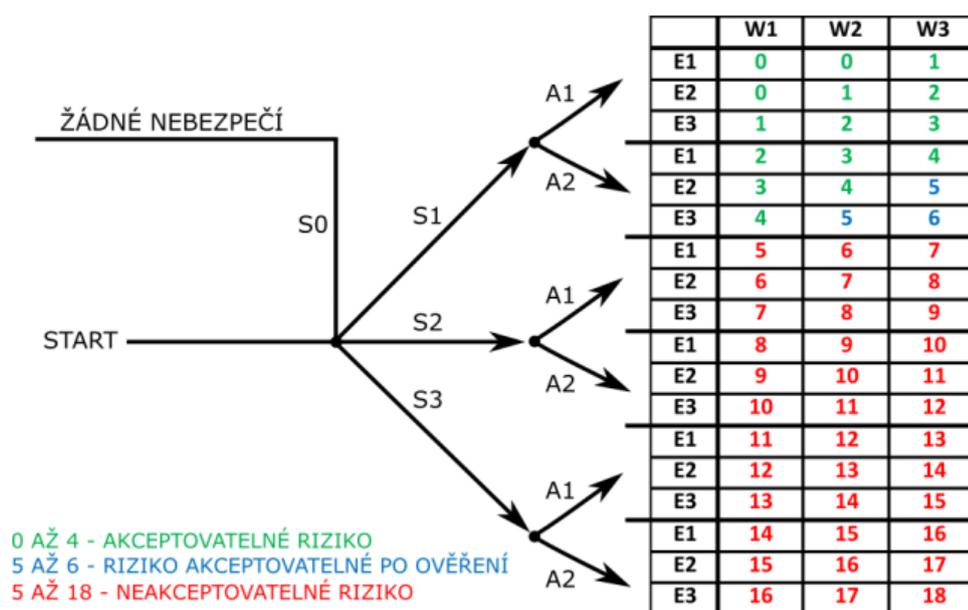
10 ANALÝZA RIZIK

Stěžejním kritériem každého produktu uvedeného na trh je zejména bezpečnost. Z tohoto hlediska je zapotřebí provést analýzu rizik a bezpečnosti. Tento rozbor umožňuje rozkrýt nebezpečí spojená s funkcí stroje a zároveň navrhnout opatření sloužící ke snížení pravděpodobnosti nebezpečí.

Samostatnou dopravníkovou nástavbu lze dle sbírky zákonů č. 176/2008 klasifikovat jako neúplné strojní zařízení, což by znamenalo, že může být z výše zmíněné analýzy vyjmuta. Avšak vzhledem k tomu, že dopravníkový topmodul této DP je určen k zabudování do robotu MiR 250 a má jasně stanovenou funkci v interakci s SMT linkou Nutek dual magazine line loader (AGV Ready), je zapotřebí tento rozbor zhotovit.

10.1 Metodický přístup

V rámci norem ČSN EN ISO 12100 je zaveden tzv. metodický přístup ke snižování rizika u strojních zařízení, který podléhá následujícímu algoritmu. První krok spočívá ve vytvoření blokového schématu a diagramu, který zahrnuje vzájemné vazby jednotlivých prvků. Další krok stanovuje všechna možná nebezpečí strojního zařízení na základě sestaveného diagramu. Následně jsou zkoumány nebezpečné prostory daného zařízení a ve finální fázi se všechny tyto poznatky zavedou do formuláře pro odhad rizik. Posouzení velikosti rizika vychází z následujícího grafu: [66] [67]



Obr. 79) Metodika pro odhad rizika [66]

První kategorie pohybující se v hodnotách od 0 do 4 je sestavena z rizik akceptovatelných, tzn. taková rizika, která lze spojit s lehkým zraněním.

Druhá kategorie vymezená hodnotami od 5 do 6 reprezentují rizika akceptovatelná po ověření. Rizika akceptovatelná jsou taková, u nichž dochází k občasnému výskytu těžkého zranění, nebo častějšímu výskytu lehkého zranění.

Finální kategorii tvoří rizika neakceptovatelná. Při těchto rizikách může nastat smrt, nebo disponují vysokou pravděpodobností výskytu těžkého zranění.

Hranice velikosti rizik pro posudek závažnosti

Vyjma pravděpodobnosti výskytu škody se zvažuje i její závažnost. Pro definici této závažnosti je aplikován graf z Obr. 80). Legenda má následující význam:

1. S – ZÁVAŽNOST A MOŽNÉ ŠKODY NA ZDRAVÍ
 - S0 – žádné zranění
 - S1 – lehké zranění, bez vážných následků
 - S2 – těžké zranění (trvalé následky)
 - S3 – smrt nebo těžké zranění více osob

2. A – ČETNOST A DOBA OHROŽENÍ
 - A1 – zřídka až častěji
 - A2 – často až trvale

3. E – MOŽNOST VYVAROVÁNÍ SE NEBEZPEČÍ
 - E1 – možné
 - E2 – možné za určitých okolností
 - E3 – sotva možné

4. W – PRAVDĚPODOBNOST, VÝSKYTU NEBEZPEČNÉ UDÁLOSTI
 - W1 – malá či nepravděpodobná
 - W2 – střední (událost je pravděpodobná vícekrát za životnost stroje)
 - W3 – velká (událost je častá, vícekrát za rok až den)

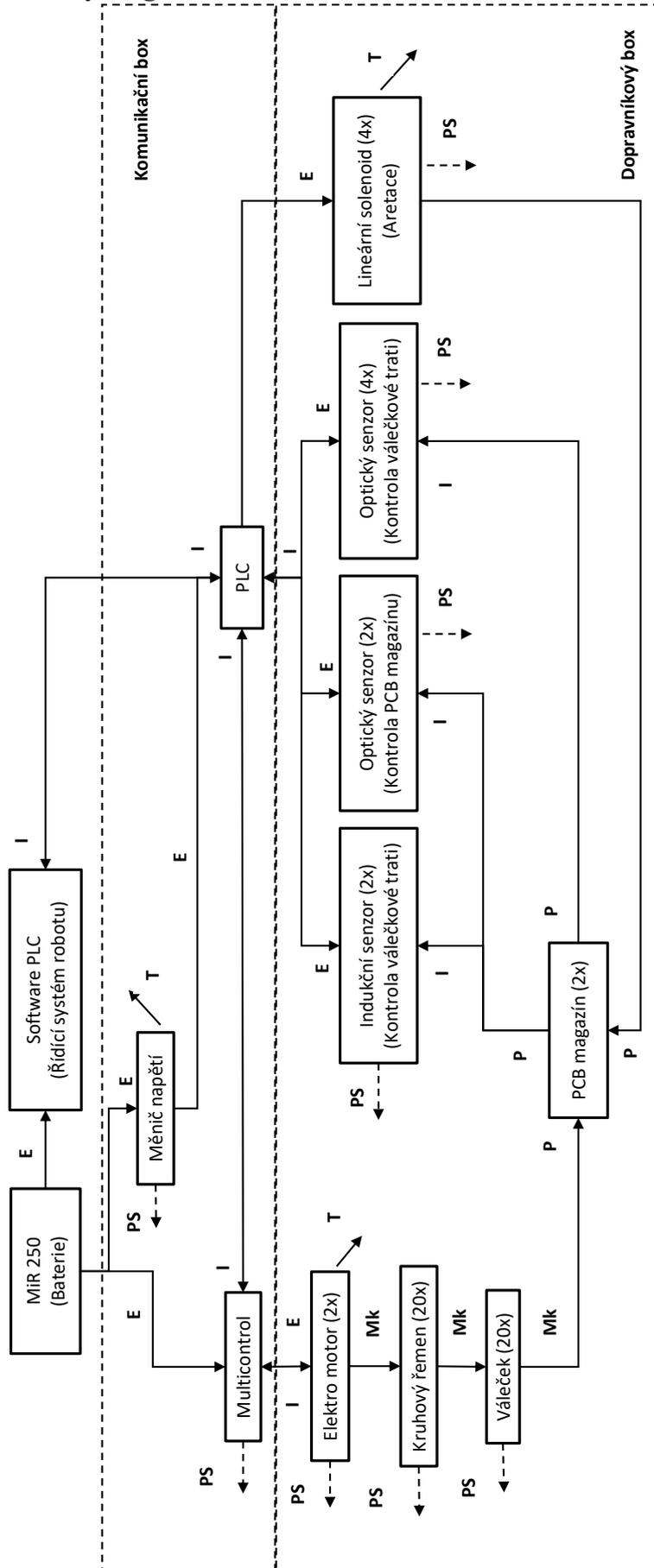
10.2 Systémová analýza

10.2.1 Základní blokové schéma



Obr. 80) Základní blokové schéma dopravníkové nástavby

10.2.2 Blokový diagram



E – elektrická energie

P – polohová vazba

PS – pasivní polohová vazba

Mk – kroučící moment

T – tepelná energie

I – informace

Obr. 82) Blokový diagram dopravníkové nástavby

10.3 Identifikace relevantních nebezpečí

Následující tabulka č. 29 reprezentuje identifikaci relevantních nebezpečí viz předchozí diagram:

Tab 29) Identifikace relevantních nebezpečí

Komponenta	Poloha v systému	Typ nebezpečí dle ČSN EN ISO 12100
Komplexní zařízení	Všechny prostory	Mechanická (1.1-1, 1.3-1, 1.4-1, 1.5-1)
		Elektrická (2.1-1, 2.1-2, 2.2-1, 2.3-1)
		Ergonomická (8.1-1, 8.2-1, 8.3-1, 8.4-1, 8.5-1)
Autonomní kolaborativní robot MiR 250	Okolní prostory	Mechanická (1.1-1, 1.1-2, 1.3-1, 1.4-1, 1.4-2, 1.5-1, 1.6-1)
		Elektrická (2.1-1, 2.1-2, 2.2-1, 2.3-1)
Elektrotechnika	Prostor komunikačního boxu	Elektrická (2.1-1, 2.1-2, 2.2-1, 2.3-1)
		Tepelná (3.1-1)
PCB magazín	Prostor dopravníkového boxu	Mechanická (1.1-1, 1.2-1, 1.3-1, 1.4-1, 1.6-1, 1.6-2)
Elektromotor	Prostor dopravníkového boxu	Mechanická (1.1-1, 1.1-2, 1.5-1, 1.6-1)
		Elektrická (2.1-1, 2.1-2, 2.2-1, 2.3-1)
		Tepelná (3.1-1)
Kruhový řemen	Prostor dopravníkového boxu	Mechanická (1.1-1, 1.4-2)
Hnaný váleček	Prostor dopravníkového boxu	Mechanická (1.1-1, 1.1-2, 1.6-1)
Indukční senzor	Prostor dopravníkového boxu	Mechanická (1.1-1, 1.2-1, 1.4-2, 1.5-1)
		Elektrická (2.1-1, 2.1-2, 2.2-1, 2.3-1)
Optoelektronický senzor	Prostor dopravníkového boxu	Mechanická (1.1-1, 1.2-1, 1.4-2, 1.5-1)
		Elektrická (2.1-1, 2.1-2, 2.2-1, 2.3-1)

Lineární solenoid	Prostor dopravníkového boxu	Mechanická (1.1-1, 1.2-1, 1.4-2, 1.5-1)
		Elektrická (2.1-1, 2.1-2, 2.2-1, 2.3-1)
		Tepelná (3.1-1)

10.4 Analýza významných nebezpečí

Tabulka č. 30 se představuje podrobnější analýzu významných nebezpečí. Ty jsou rozdělena dle fáze životního cyklu.

Tab 30) Analýza významných nebezpečí

ANALÝZA VÝZNAMNÝCH NEBEZPEČÍ (přeprava, montáž a instalace)				DOPRAVNÍKOVÁ NÁSTAVBA ROBOTU MiR 250
Pořadí	Fáze životního cyklu	Nebezpečí	I.Č.	Popis nebezpečné události
1	Doprava			
1.1	Přeprava (zvedání, nakládání, vykládání)	Stlačení, pořezání, naražení, pád	1.1-1 1.2-1 1.3-1 1.4-2	Během nakládání zařízení, transportu a vykládání hrozí stlačení, naražení pořezání, převržení či pád z důsledku ztráty stability.
1.2	Přemísťování zařízení	Stlačení, naražení	1.1-1 1.3-1	V rámci přemísťování zařízení může dojít k riskantnímu přimáčknutí nebo k nárazu.
1.3	Rozbalování	Pořezání, píchnutí, propíchnutí	1.2-1 1.5-1	Při procesu rozbalování může dojít k pořezání, píchnutí nebo propíchnutí pracovníka.
2	Montáž, instalace a uvádění do provozu			
2.1	Montáž zařízení	Stlačení, pořezání, naražení, zakopnutí, pád, zachycení, náraz, lidská chyba	1.1-1 1.2-1 1.3-1 1.4-1 1.4-2 1.6-1 1.6-2 8.2-1	Během montáže strojního zařízení může dojít ke stlačení zařízením, k pořezání nebo nárazu. Dále také k zakopnutí a pádu (např. při uklouznutí), dále také k zachycení o pohybující se komponentu. Zároveň může dojít k lidské chybě
2.2	Připojení k elektrické energii	Úraz el. Proudem, požár	2.1-1 2.2-1	V rámci procesu zapojení k baterii robotu hrozí nebezpečí úrazu elektrickým proudem. V případě zkratu může nastat požár.
2.3	Seřízení zařízení	Stlačení, zachycení, nepohodlí	1.1-2 1.6-2 8.1-1	Při seřizování a nastavování stroje může dojít ke stlačení nebo k zachycení od pohyblivých komponent. K některým komponentům v rámci seřizování nemusí být pohodlný přístup.
2.4	Zkouška funkčnosti	Stlačení, naražení, zachycení, lidská chyba	1.1-1 1.1-2 1.3-1 1.6-3 8.2-1	Při zkoušce funkčnosti může dojít ke stlačení, naražení, zachycení. Zároveň může dojít k lidské chybě z důvodu neznalosti nové technologie v dynamickém prostředí.

3 Provoz				
3.1	Provoz strojního zařízení	Stlačení, naražení, zakopnutí a pád, zachycení, vymrštění popálení hluk, lidská chyba, stres	1.1-1 1.1-2 1.3-1 1.4-1 1.4-2 1.6-3 1.7-1 3.1-1 4.1-1 8.2-1 8.3-1	Během běžného provozu zařízení může dojít ke stlačení vlivem manipulace i od pohybujících se komponent. Může dojít k naražení, zakopnutí a pádu, zachycení, vymrštění materiálu vlivem srážky. Popálení od zbytkového tepla motoru dopravníkové trati. Dále může dojít k hučení v uších z důvodu zvukových signálů robotu. Jako poslední může dojít k lidské chybě, a to i stresové z důvodu neznámé nové technologie.
3.2	Výměna PCB magazínů	Stlačení, naražení, vymrštění, hluk	1.1-1 1.1-2 1.3-2 1.7-1 4.1-1	Při transportu PCB magazínu do Nutek unloader /loader může dojít ke stlačení vlivem transportu materiálu, naražení vlivem pohybujícího se PCB magazínu, vymrštění PCB pořadače z válečkové trati. Dále zvonění v uších z důvodu zvukových signálů robotu.
3.3	Nabíjení	Stlačení, zakopnutí a pád, zachycení, elektrická, tepelná, lidská chyba,	1.1-1 1.1-2 1.4-1 1.6-3 2.1-1 2.1-2 2.2-1 3.1-1 8.2-1	V rámci procesu nabíjení hrozí nebezpečí stlačením, zakopnutí a pádu o zaparkovaný robot. Dále elektrická nebezpečí v podobě dotyku živé části při údržbě i vlivem poruchy a nebezpečí zkratu. Může nastat nebezpečí popálením v rámci vadných elektronických součástek nebo popálení od zbytkového provozního tepla. Jako poslední je třeba uvést nebezpečí v podobě lidského faktoru.
3.4	Ovládání procesů	Nepohodlí, stres, únava	8.1-1 8.3-1 8.4-1	Z hlediska ergonomie může dojít k nepohodlí při ovládání, které vede ke stresu nebo únavě
4 Čištění a údržba				
4.1	Dotažení šroubů	Pořezání, zachycení	1.2-1 1.6-1 1.6-2	Při procesu dotažení šroubů může dojít k pořezání a zachycení o některou z komponent.
4.2	Výměna řemenu	Stlačení, pořezání, zachycení senzibilita, lidská chyba	1.1-2 1.2-1 1.6-2 7.2-1 8.2-1	Během výměny řemenu může dojít k pořezání a zachycení o některou z komponent. Zároveň je zde potenciální hrozba stlačení od pohybujících se komponent. Může dojít k lidské chybě, v podobě špatného nasazení řemenu a senzibilitě.
4.3	Výměna baterie	Stlačení, pořezání,	1.1-1 1.2-1	Při procesu výměny baterie v robotu může dojít ke stlačení, pořezání o ostré hrany

		zachycení, lidská chyba	1.6-2 8.2-1	komponent či zachycení. V rámci tohoto poměrně složitého procesu může dojít k lidské chybě.
4.4	Čištění pracovních prostor	Stlačení, říznutí, píchnutí, zachycení senzibilita, nepohodlí,	1.1-2 1.2-1 1.5-2 1.6-2 7.2-1 8.1-1	V případě čištění pracovních prostor může dojít ke stlačení, říznutí, píchnutí či propíchnutí. Souběžně může nastat zachycení pracovního oděvu o komponentu nebo podráždění pokožky čistícím prostředkem.
4.5	Opětovné seřízení	Stlačení, říznutí, píchnutí, zachycení, nepohodlí, lidská chyba	1.1-1 1.1-2 1.2-1 1.5-2 1.6-1 1.6-2 8.1-1 8.2-1	Během procesu opětovného seřízení může dojít ke stlačení, říznutí, píchnutí, zachycení. K některým komponentům nemusí být v rámci tohoto procesu komfortní přístup. Zároveň zde může dojít k lidské chybě.
5	Vyhledávání závad / eliminace			
5.1	Vyhledávání závad	Stlačení, říznutí, naražení, zakopnutí, pád, píchnutí, zachycení, úraz el. proudem, (dotyk / porucha) lidská chyba	1.1-1 1.1-2 1.2-1 1.4-1 1.4-2 1.5-2 1.6-1 1.6-2 1.7-1 2.1-1 2.1-2 8.2-1	V rámci hledání závad u tohoto zařízení může nastat stlačení, říznutí, naražení a vymrštění materiálu z válečkové trati. Může dojít k zakopnutí a k následnému pádu. Dále může dojít k lidské chybě, nebo ke kontaktu s elektrickým zařízením přímým dotykem nebo v případě, že se díky poruše stane živým.
5.2	Opravování závad	Stlačení, říznutí, zakopnutí, pád, píchnutí, zachycení, úraz el. proudem (dotyk / porucha), nepohodlí, lidská chyba	1.1-1 1.1-2 1.2-1 1.4-1 1.4-2 1.5-2 1.6-1 1.6-2 2.1-1 2.1-2 8.1-1 8.2-1	V případě opravování závad v rámci zařízení může nastat stlačení, říznutí, zakopnutí a následný pád. Dále může dojít k píchnutí nebo zachycení jak z exteriéru, či interiéru. Zároveň zde může nastat nepohodlí z hlediska přístupu některých komponent a lidské chybě, může dojít ke kontaktu s elektrickým zařízením přímým dotykem nebo v případě, že se díky poruše stane živým.

6		Vyřazení z provozu / likvidace zařízení		
6.1	Odpojení od elektrické energie (baterie)	Stlačení, říznutí, zachycení úraz el. proudem (dotyk / porucha), nepohodlí, lidská chyba	1.1-1 1.2-1 1.6-2 2.1-1 2.1-2 8.1-1 8.2-1	Při odpojování topmodulu od elektrické baterie robotu může dojít ke stlačení, říznutí o ostré hrany komponent a zachycení. Dále může dojít ke kontaktu s elektrickým proudem, který ve vážném případě může způsobit smrt. Zároveň tento proces může způsobit diskomfort z hlediska přístupu baterie a dále může dojít k lidské chybě.
6.2	Demontáž	Stlačení, říznutí, naražení, zakopnutí, pád, píchnutí, zachycení, nepohodlí	1.1-1 1.1-2 1.2-1 1.3-1 1.4-1 1.4-2 1.5-2 1.6-1 1.6-2 8.1-1	Během demontáže zařízení, může dojít ke stlačení od odnímaných komponent, nebo od celého zařízení. Dále pořezání o ostré hrany a naražení od rozebíraných komponent nebo celého zařízení. Dále může dojít k zakopnutí, či pádu při manipulaci, píchnutí či zachycení. Demontáž některých komponent nemusí být pohodlně přístupná a jít snadno.
6.3	Likvidace	Nebezpečí vytvářené materiály a látkami	7.f1-1	Při neodborné likvidaci materiálů hrozí poškození životního prostředí. Při kontaktu některých materiálů s kůží je možná alergická reakce.

10.5 Identifikace závažných nebezpečí

Identifikaci závažných nebezpečí vyobrazuje tabulka č. 31, která pojednává o závažnosti jednotlivých nebezpečí. Odhad hodnot je vytvořen na základě grafu z Obr. 80). Tato nebezpečí budou následně snížena v navazujících formulářích.

Tab 31) Identifikace závažných nebezpečí

PŘEHLED IDENTIFIKOVATELNÝCH ZÁVAŽNÝCH NEBEZPEČÍ						
I.Č.		S	A	E	W	Σ
1	Mechanická nebezpečí					
1.1	Nebezpečí stlačení					
1.1-1	Nebezpečí stlačení při manipulaci se zařízením nebo s jeho částmi	S2	A1	E3	W2	8
1.1-2	Nebezpečí stlačení od pohyblivých komponent	S2	A1	E2	W2	7
1.2	Nebezpečí říznutí					
1.2-1	Nebezpečí pořezání o ostré hrany	S1	A2	E2	W3	5
1.3	Nebezpečí naražení					
1.3-1	Nebezpečí naražení při manipulaci se zařízením nebo jednotlivými komponenty	S2	A1	E2	W2	7
1.4	Nebezpečí zakopnutí a pádu					
1.4-1	Nebezpečí zakopnutí o zařízení nebo jeho části	S1	A1	E1	W2	0
1.4-2	Nebezpečí pádu z důvodu uklouznutí	S1	A1	E2	W2	1
1.5	Nebezpečí píchnutí nebo propíchnutí					
1.5-1	Nebezpečí píchnutí nebo propíchnutí při rozbalování	S2	A1	E1	W1	5
1.5-2	Nebezpečí píchnutí nebo propíchnutí o jistou komponentu při manipulaci uvnitř zařízení	S1	A1	E1	W2	0
1.6	Nebezpečí zachycení					
1.6-1	Nebezpečí zachycení o jistou komponentu během manipulace se zařízením	S2	A1	E2	W1	6
1.6-2	Nebezpečí zachycení o jistou komponentu během manipulace uvnitř zařízení	S1	A1	E2	W2	1

1.7	Nebezpečí vymrštění					
1.7-1	Nebezpečí vymrštění materiálu z válečkové trati	S2	A1	E3	W1	7
2	Elektrická nebezpečí					
2.1	Nebezpečí dotykem osob živých částí					
2.1-1	Nebezpečí dotyku živé části při údržbě	S3	A1	E3	W1	13
2.1-2	Nebezpečí dotyku živé části v důsledku poruchy	S3	A1	E3	W1	13
2.2	Nebezpečí požáru					
2.2-1	Nebezpečí požáru v důsledku zkratu elektroinstalace	S3	A1	E3	W1	13
3	Tepelná nebezpečí					
3.1	Nebezpečí popálení					
3.1-1	Nebezpečí popálení od zbytkového provozního tepla motoru	S1	A1	E2	W2	1
4	Nebezpečí hluku					
4.1	Nebezpečí poruchy sluchu					
4.1-1	Nebezpečí způsobené hlučností zvukových signálů robotu	S1	A2	E3	W2	5
7	Nebezpečí materiálů					
7.1	Nebezpečí vdechnutí toxických plynů a výparů					
7.1-1	Nebezpečí poškození dýchacích cest v důsledku inhalace toxických výparů	S2	A1	E2	W1	6
7.2	Senzibilita					
7.2-1	Podráždění pokožky materiálem nebo čisticím prostředkem	S1	A1	E2	W2	1

8	Ergonomická nebezpečí					
8.1	Nebezpečí nevhodnou polohou					
8.1-1	Nebezpečí způsobené nevhodnou polohou při manipulaci ve strojním zařízení	S1	A2	E2	W2	4
8.2	Nebezpečí lidské chyby					
8.2-1	Nebezpečí způsobené lidskou chybou v případě nedodržování instrukcí pro používání zařízení	S1	A2	E3	W2	5
8.3	Nebezpečí způsobené stresem					
8.3-1	Nebezpečí způsobené stresem, který může vyvolat špatná ergonomie ovládání zařízení	S1	A1	E1	W3	1
8.4	Nebezpečí způsobené únavou					
8.4-1	Nebezpečí způsobené únavou, kterou může vyvolat špatná ergonomie ovládání zařízení	S1	A1	E1	W3	1

10.6 Formuláře pro snížení rizik

Nadcházející kapitola obsahuje vyplněné formuláře, které zahrnují opatření pro snížení eventuálních rizik. Tyto opatření jsou vytvořena pro nebezpečí akceptovatelná a pro rizika neakceptovatelná. Jejich rozdělení se skládá ze tří kroků. Jestliže je hodnota vyšší i po prvním kroku opatření, přistupuje se k druhému kroku, což je opatření pomocí bezpečnostních prvků. Třetí krok reprezentuje opatření v podobě informací pro obsluhu stroje.

VUT FSSI UVSSR	FORMULÁŘ PRO PRO ODHAD RIZIKA		DOPRAVNÍKOVÁ NÁSTAVBA ROBOTU MiR 250	
			Datum: 18.4.2021	
Číslo nebezpečí	Identifikační číslo	Označení nebezpečí dle ČSN EN ISO 12100 1. Mechanická nebezpečí		
1.1	1	Nebezpečí stlačení při manipulaci se zařízením nebo s jeho částmi		
Životní etapa stroje	Doprava, montáž, instalace a uvádění do provozu		Nebezpečný prostor: Zařízení jako celek	
Ohrožené osoby	Dopravci, obsluha, třetí osoby		Provozní stav stroje: Mimo provoz	
Popis nebezpečné situace / události	Nebezpečí stlačení při manipulaci se zařízením nebo s jeho částmi, především při dopravě montáži,			
Počáteční riziko	Závažnost možné škody na zdraví	S2 – těžké zranění	Velikost rizika 8	
	Četnost a doba trvání ohrožení	A1 – zřídka až častěji		
	Možnost vyvarování se nebezpečí	E3 – sotva možné		
	Pst. Výskytu nebezpečí událostí	W2 – střední		
Krok 1	Použití manipulačních prostředků			
Popis opatření	Během manipulace je třeba užít manipulačních pomůcek jako jsou např. vozíky či lana.			
Snížené riziko po opatření	Závažnost a možné škody na zdraví	S2 – těžké zranění	Velikost rizika 7	
	Četnost a doba trvání ohrožení	A1 – zřídka až častěji		
	Možnost vyvarování se nebezpečí	E2 – možné za určit. ok.		
	Pst. Výskytu nebezpečí událostí	W2 – střední		
Krok 2	Bezpečnostní ochrana a doplňková opatření			
Popis opatření	Použití ochranných prostředků při manipulaci. K těmto prostředkům náleží pracovní rukavice, oděv, obuv s vyztuženou špičkou atd.			
Snížené riziko po opatření	Závažnost možné škody na zdraví	S1 – lehké zranění	Velikost rizika 1	
	Četnost a doba trvání ohrožení	A1 – zřídka až častěji		
	Možnost vyvarování se nebezpečí	E2 – možné za určitých. ok.		
	Pst. Výskytu nebezpečí událostí	W2 – střední		
Krok 3	Informace pro používání			
Popis opatření	Upozornění uvedené v manuálu k použití: „Při manipulaci se strojním zařízením je třeba dbát zvýšené pozornosti!“			
Snížené riziko po opatření	Závažnost možné škody na zdraví	S1 – lehké zranění	Velikost rizika 0	
	Četnost a doba trvání ohrožení	A1 – zřídka až častěji		
	Možnost vyvarování se nebezpečí	E1 – možné		
	Pst. Výskytu nebezpečí událostí	W1 – malá		
Validace	Opatření jsou dostatečná		Bc. Adámek Tomáš	14.4.2021

VUT FSSI UVSSR	FORMULÁŘ PRO PRO ODHAD RIZIKA		DOPRAVNÍKOVÁ NÁSTAVBA ROBOTU MiR 250	
			Datum: 18.4.2021	
Číslo nebezpečí	Identifikační číslo	Označení nebezpečí dle ČSN EN ISO 12100 1. Mechanická nebezpečí		
1.1	2	Nebezpečí stlačení od pohyblivých komponent		
Životní etapa stroje	Montáž, provoz, čištění a údržba, vyhledávání závad, demontáž		Nebezpečný prostor: Pracovní prostory zařízení	
Ohrožené osoby	Obsluha, třetí osoby		Provozní stav stroje: Mimo provoz /Provoz	
Popis nebezpečné situace / události	Nebezpečí stlačení od pohyblivých komponent uvnitř pracovního prostoru dopravníkového boxu			
Počáteční riziko	Závažnost možné škody na zdraví	S2 – těžké zranění	Velikost rizika 7	
	Četnost a doba trvání ohrožení	A1 – zřídka až častěji		
	Možnost vyvarování se nebezpečí	E2 – možné za určit. ok.		
	Pst. Výskytu nebezpečí událostí	W2 – střední		
Krok 1	Manipulace s komponenty pouze při vypnutém stavu robotu			
Popis opatření	Během manipulace je třeba užít manipulačních pomůcek jako jsou např. vozíky či lana.			
Snížené riziko po opatření	Závažnost a možné škody na zdraví	S2 – těžké zranění	Velikost rizika 5	
	Četnost a doba trvání ohrožení	A1 – zřídka až častěji		
	Možnost vyvarování se nebezpečí	E1 – možné		
	Pst. Výskytu nebezpečí událostí	W1 – malá		
Krok 2	Bezpečnostní ochrana a doplňková opatření			
Popis opatření	Použití ochranných prostředků při manipulaci uvnitř. K těmto prostředkům náleží pracovní rukavice, oděv, obuv s vyztuženou špičkou atd. V případě nebezpečí je nutné využití nouzového tlačítka.			
Snížené riziko po opatření	Závažnost možné škody na zdraví	S1 – lehké zranění	Velikost rizika 1	
	Četnost a doba trvání ohrožení	A1 – zřídka až častěji		
	Možnost vyvarování se nebezpečí	E2 – možné za určitých. ok.		
	Pst. Výskytu nebezpečí událostí	W2 – střední		
Krok 3	Informace pro používání			
Popis opatření	Upozornění uvedené v manuálu k použití: „Při manipulaci uvnitř dopravníkového boxu je nutno vypnout robot a odpojit dopravníkovou nastavbu od baterie robotu!“			
Snížené riziko po opatření	Závažnost možné škody na zdraví	S1 – lehké zranění	Velikost rizika 0	
	Četnost a doba trvání ohrožení	A1 – zřídka až častěji		
	Možnost vyvarování se nebezpečí	E1 – možné		
	Pst. Výskytu nebezpečí událostí	W1 – malá		
Validace	Opatření jsou dostatečná		Bc. Adámek Tomáš	14.4.2021

VUT FSSI UVSSR	FORMULÁŘ PRO PRO ODHAD RIZIKA		DOPRAVNÍKOVÁ NÁSTAVBA ROBOTU MiR 250	
			Datum: 18.4.2021	
Číslo nebezpečí	Identifikační číslo	Označení nebezpečí dle ČSN EN ISO 12100 1. Mechanická nebezpečí		
1.2	1	Nebezpečí pořezání o ostré hrany komponent		
Životní etapa stroje	Manipulace, montáž, provoz, čištění a údržba, vyhledávání závad, demontáž		Nebezpečný prostor: Pracovní prostory zařízení	
Ohrožené osoby	Obsluha, třetí osoby		Provozní stav stroje: Mimo provoz /Provoz	
Popis nebezpečné situace / události	Nebezpečí pořezání o ostré hrany jak uvnitř pracovních prostor zařízení, tak při manipulaci z venku.			
Počáteční riziko	Závažnost možné škody na zdraví	S1 – lehké zranění	Velikost rizika	5
	Četnost a doba trvání ohrožení	A2 – často až trvale		
	Možnost vyvarování se nebezpečí	E2 – možné za určit. ok.		
	Pst. Výskytu nebezpečí událostí	W3 – velká		
Krok 1	Opatření zabudováno v konstrukci			
Popis opatření	Nelze aplikovat			
Krok 2	Bezpečnostní ochrana a doplňková opatření			
Popis opatření	Použití ochranných prostředků při manipulaci uvnitř. K těmto prostředkům náleží pracovní rukavice, oděv, obuv s vyztuženou špičkou atd. V případě nebezpečí je nutné využití nouzového tlačítka.			
Snížené riziko po opatření	Závažnost možné škody na zdraví	S1 – lehké zranění	Velikost rizika	1
	Četnost a doba trvání ohrožení	A1 – zřídka až častěji		
	Možnost vyvarování se nebezpečí	E2 – možné za určitých. ok.		
	Pst. Výskytu nebezpečí událostí	W2 – střední		
Krok 3	Informace pro používání			
Popis opatření	Upozornění uvedené v manuálu k použití: „Manipulaci uvnitř pracovních prostor zařízení je nutno provádět pouze s nasazenými pracovními ochrannými prostředky!“			
Snížené riziko po opatření	Závažnost možné škody na zdraví	S1 – lehké zranění	Velikost rizika	0
	Četnost a doba trvání ohrožení	A1 – zřídka až častěji		
	Možnost vyvarování se nebezpečí	E1 – možné		
	Pst. Výskytu nebezpečí událostí	W1 – malá		
Validace	Opatření jsou dostatečná	Bc. Adámek Tomáš	14.4.2021	

VUT FSSI UVSSR	FORMULÁŘ PRO PRO ODHAD RIZIKA		DOPRAVNÍKOVÁ NÁSTAVBA ROBOTU MiR 250	
			Datum: 18.4.2021	
Číslo nebezpečí	Identifikační číslo	Označení nebezpečí dle ČSN EN ISO 12100 1. Mechanická nebezpečí		
1.3	1	Nebezpečí naražení při manipulaci se zařízením nebo jednotlivými komponenty		
Životní etapa stroje	Doprava, manipulace, montáž, provoz, vyhledávání závad, demontáž		Nebezpečný prostor: Pracovní prostory zařízení	
Ohrožené osoby	Dopravci, obsluha, třetí osoby		Provozní stav stroje: Mimo provoz /Provoz	
Popis nebezpečné situace / události	Během dopravy, manipulace se zařízením a při provozu hrozí nebezpečí naražení.			
Počáteční riziko	Závažnost možné škody na zdraví	S2 – těžké zranění	Velikost rizika 7	
	Četnost a doba trvání ohrožení	A1 – zřídka až častěji		
	Možnost vyvarování se nebezpečí	E2 – možné za určit. ok.		
	Pst. Výskytu nebezpečí událostí	W2 – střední		
Krok 1	Opatření zabudováno v konstrukci			
Popis opatření	Nelze aplikovat			
Krok 2	Bezpečnostní ochrana a doplňková opatření			
Popis opatření	Během manipulace je třeba užít manipulačních pomůcek jako jsou např. vozíky či lana, včetně ochrany pracovních pomůcek jako jsou pracovní oděv, rukavice, boty s vyztuženou špičkou atd. Trajektorie robotu a vyhýbání se překážkám odpovídá normě ČSN EN ISO 3691-4 [68].			
Snížené riziko po opatření	Závažnost možné škody na zdraví	S1 – lehké zranění	Velikost rizika 1	
	Četnost a doba trvání ohrožení	A1 – zřídka až častěji		
	Možnost vyvarování se nebezpečí	E2 – možné za určitých. ok.		
	Pst. Výskytu nebezpečí událostí	W2 – střední		
Krok 3	Informace pro používání			
Popis opatření	Upozornění uvedené v manuálu k použití: „Při manipulaci s robotem včetně dopravníkové nastavby je zapotřebí dbát zvýšené opatrnosti!“ „Obsluha či jakákoliv třetí osoba musí být řádně proškolená, než vstoupí do prostředí ve, kterém se toto zařízení pohybuje!“			
Snížené riziko po opatření	Závažnost možné škody na zdraví	S1 – lehké zranění	Velikost rizika 0	
	Četnost a doba trvání ohrožení	A1 – zřídka až častěji		
	Možnost vyvarování se nebezpečí	E1 – možné		
	Pst. Výskytu nebezpečí událostí	W1 – malá		
Validace	Opatření jsou dostatečná		Bc. Adámek Tomáš	14.4.2021

VUT FSSI UVSSR	FORMULÁŘ PRO PRO ODHAD RIZIKA		DOPRAVNÍKOVÁ NÁSTAVBA ROBOTU MiR 250	
			Datum: 18.4.2021	
Číslo nebezpečí	Identifikační číslo	Označení nebezpečí dle ČSN EN ISO 12100 1. Mechanická nebezpečí		
1.5	1	Nebezpečí píchnutí nebo propíchnutí při rozbalování		
Životní etapa stroje	Rozbalování		Nebezpečný prostor: Zařízení jako celek	
Ohrožené osoby	Obsluha, třetí osoby		Provozní stav stroje: Mimo provoz	
Popis nebezpečné situace / události	Během procesu rozbalování hrozí píchnutí nebo propíchnutí nožem.			
Počáteční riziko	Závažnost možné škody na zdraví	S2 – těžké zranění		Velikost rizika
	Četnost a doba trvání ohrožení	A1 – zřídka až častěji		
	Možnost vyvarování se nebezpečí	E1 – sotva možné		
	Pst. Výskytu nebezpečí událostí	W1 – malá		
Krok 1	Použití vhodného bezpečnostního příslušenství			
Popis opatření	V rámci procesu rozbalování zařízení je nutné užití speciálních nožů se zasunutou čepelí v nepoužívaném stavu.			
Snížené riziko po opatření	Závažnost a možné škody na zdraví	S1 – lehké zranění		Velikost rizika
	Četnost a doba trvání ohrožení	A1 – zřídka až častěji		
	Možnost vyvarování se nebezpečí	E1 – možné		
	Pst. Výskytu nebezpečí událostí	W1 – malá		
Krok 2	Bezpečnostní ochrana a doplňková opatření			
Popis opatření	-			
Snížené riziko po opatření				Velikost rizika
				-
Krok 3	Informace pro používání			
Popis opatření	-			
Snížené riziko po opatření				Velikost rizika
				-
Validace	Opatření jsou dostatečná		Bc. Adámek Tomáš	14.4.2021

VUT FSSI UVSSR	FORMULÁŘ PRO PRO ODHAD RIZIKA		DOPRAVNÍKOVÁ NÁSTAVBA ROBOTU MiR 250	
			Datum: 18.4.2021	
Číslo nebezpečí	Identifikační číslo	Označení nebezpečí dle ČSN EN ISO 12100 1. Mechanická nebezpečí		
1.6	1	Nebezpečí zachycení o jistou komponentu během manipulace se zařízením		
Životní etapa stroje	Manipulace, provoz, vyhledávání závad,		Nebezpečný prostor: Pracovní prostory zařízení	
Ohrožené osoby	Obsluha, třetí osoby		Provozní stav stroje: Provoz	
Popis nebezpečné situace / události	Během manipulace, provozu a vyhledávání závad hrozí zachycení o jistou komponentu zařízení.			
Počáteční riziko	Závažnost možné škody na zdraví	S2 – těžké zranění	Velikost rizika 6	
	Četnost a doba trvání ohrožení	A1 – zřídka až častěji		
	Možnost vyvarování se nebezpečí	E2 – možné za určit. ok.		
	Pst. Výskytu nebezpečí událostí	W1 – malá		
Krok 1	Opatření zabudována v konstrukci			
Popis opatření	Nelze aplikovat			
Krok 2	Bezpečnostní ochrana a doplňková opatření			
Popis opatření	Během manipulace se zařízením v manuálním režimu je třeba dbát zvýšené opatrnosti. Samotný robot disponuje detekčními bezpečnostními zónami dle ČSN EN ISO 3691-4. Samotný robot lze dle potřeby virtuálně rozšířit [68].			
Snížené riziko po opatření	Závažnost možné škody na zdraví	S1 – lehké zranění	Velikost rizika 1	
	Četnost a doba trvání ohrožení	A1 – zřídka až častěji		
	Možnost vyvarování se nebezpečí	E2 – možné za určitých. ok.		
	Pst. Výskytu nebezpečí událostí	W2 – střední		
Krok 3	Informace pro používání			
Popis opatření	Upozornění uvedené v manuálu k použití: „Jestliže se při manipulaci se zařízením v ručním režimu nachází v okolním prostoru jakákoliv další osoba je zapotřebí, aby neprodleně opustila vymezenou oblast.“			
Snížené riziko po opatření	Závažnost možné škody na zdraví	S1 – lehké zranění	Velikost rizika 0	
	Četnost a doba trvání ohrožení	A1 – zřídka až častěji		
	Možnost vyvarování se nebezpečí	E1 – možné		
	Pst. Výskytu nebezpečí událostí	W1 – malá		
Validace	Opatření jsou dostatečná		Bc. Adámek Tomáš	14.4.2021

VUT FSSI UVSSR	FORMULÁŘ PRO PRO ODHAD RIZIKA		DOPRAVNÍKOVÁ NÁSTAVBA ROBOTU MiR 250	
			Datum: 18.4.2021	
Číslo nebezpečí	Identifikační číslo	Označení nebezpečí dle ČSN EN ISO 12100 1. Mechanická nebezpečí		
1.7	1	Nebezpečí vymrštění materiálu z válečkové trati		
Životní etapa stroje	Provoz, vyhledávání závad		Nebezpečný prostor: Pracovní prostory zařízení/Okolní prostory	
Ohrožené osoby	Obsluha, třetí osoby		Provozní stav stroje: Provoz	
Popis nebezpečné situace / události	V rámci provozu a následného vyhledávání závad u zařízení hrozí potenciální vymrštění materiálu z válečkové trati. Dopravník robotu nelze spustit, pokud PCB magazín není na definované pozici dle normy ČSN EN ISO 3691-4.			
Počáteční riziko	Závažnost možné škody na zdraví	S2 – těžké zranění	Velikost rizika	
	Četnost a doba trvání ohrožení	A1 – zřídka až častěji		
	Možnost vyvarování se nebezpečí	E3 – sotva možné.		
	Pst. Výskytu nebezpečí událostí	W1 – malá		
Krok 1	Použití vhodného bezpečnostního příslušenství			
Popis opatření	2x optoelektronické poziční čidlo + 2x aretační lineární solenoid			
Snížené riziko po opatření	Závažnost a možné škody na zdraví	S2 – těžké zranění	Velikost rizika	
	Četnost a doba trvání ohrožení	A1 – zřídka až častěji		
	Možnost vyvarování se nebezpečí	E1 – možné		
	Pst. Výskytu nebezpečí událostí	W1 – malá		
Krok 2	Bezpečnostní ochrana a doplňková opatření			
Popis opatření	Místo určené pro nakládku a vykládku materiálu musí být zamezeno k přístupu lidí.			
Snížené riziko po opatření	Závažnost možné škody na zdraví	S1 – lehké zranění	Velikost rizika	
	Četnost a doba trvání ohrožení	A2 – zřídka až častěji		
	Možnost vyvarování se nebezpečí	E2 – možné za určitých ok.		
	Pst. Výskytu nebezpečí událostí	W1 – malá		
Krok 3	Informace pro používání			
Popis opatření	<p>Upozornění uvedené v manuálu k použití:</p> <p>„Jestliže se při manipulaci se zařízením v ručním režimu nachází v okolním prostoru jakákoliv další osoba je zapotřebí, aby neprodleně opustila vymezenou oblast.“</p> <p>„Jestliže se stane neočekávaná událost v podobě vymrštění materiálu z válečkové trati je nutno použít tlačítko nouzového zastavení, následně zmáčknou resetovací tlačítko, vyvést robot z nebezpečné situace a zanalyzovat příčinu události a odstranit její další možný další výskyt. Až poté je teprve možné uvést robot opět do plně automatického autonomního provozu.“</p>			

Snížené riziko po opatření	Závažnost možné škody na zdraví	S1 – lehké zranění	Velikost rizika 0
	Četnost a doba trvání ohrožení	A1 – zřídka až častěji	
	Možnost vyvarování se nebezpečí	E1 – možné	
	Pst. Výskytu nebezpečí událostí	W1 – malá	
Validace	Opatření jsou dostatečná	Bc. Adámek Tomáš	14.4.2021

VUT FSSI UVSSR	FORMULÁŘ PRO PRO ODHAD RIZIKA		DOPRAVNÍKOVÁ NÁSTAVBA ROBOTU MiR 250	
			Datum: 18.4.2021	
Číslo nebezpečí	Identifikační číslo	Označení nebezpečí dle ČSN EN ISO 12100 2. Elektrická nebezpečí		
2.1	1	Nebezpečí dotyku živé části při údržbě		
Životní etapa stroje	Provoz, čištění a údržba, vyhledávání a odstraňování závad, demontáž		Nebezpečný prostor: Zařízení jako celek	
Ohrožené osoby	Obsluha, třetí osoby		Provozní stav stroje: Provoz	
Popis nebezpečné situace / události	Nebezpečí dotyku živé části při provozu, údržbě, vyhledávání a odstraňování závad a následné demontáži v rámci vnitřních prostor robotu, dopravníkového a komunikačního boxu.			
Počáteční riziko	Závažnost možné škody na zdraví	S3 – smrt	Velikost rizika	13
	Četnost a doba trvání ohrožení	A1 – zřídka až častěji		
	Možnost vyvarování se nebezpečí	E3 – sotva možné		
	Pst. Výskytu nebezpečí událostí	W1 – malá		
Krok 1	Použití vhodných elektrických zařízení			
Popis opatření	Veškerá instalovaná elektrotechnika zařízení musí být v souladu se splňováním požadavků normy ČSN EN ISO 60204-1. Tato elektrická zařízení musí být certifikována.			
Snížené riziko po opatření	Závažnost a možné škody na zdraví	S2 – těžké zranění	Velikost rizika	6
	Četnost a doba trvání ohrožení	A1 – zřídka až častěji		
	Možnost vyvarování se nebezpečí	E2 – možné za určitých ok.		
	Pst. Výskytu nebezpečí událostí	W1 – malá		
Krok 2	Bezpečnostní ochrana a doplňková opatření			
Popis opatření	Komunikační i dopravníkový box nástavby jsou opatřeny bezpečnostními kryty, které zamezují kontaktu s elektrickými zařízeními.			
Snížené riziko po opatření	Závažnost možné škody na zdraví	S1 – lehké zranění	Velikost rizika	1
	Četnost a doba trvání ohrožení	A1 – zřídka až častěji		
	Možnost vyvarování se nebezpečí	E2 – možné za určitých ok.		
	Pst. Výskytu nebezpečí událostí	W2 – střední		
Krok 3	Informace pro používání			
Popis opatření	Upozornění uvedené v manuálu k použití: „Práci v rámci elektrické části nástavby a robotu může vykonávat pouze osoba s min. elektrotechnickou vyhláškou č. 50/1978 § 6!“			
Snížené riziko po opatření	Závažnost možné škody na zdraví	S1 – lehké zranění	Velikost rizika	0
	Četnost a doba trvání ohrožení	A1 – zřídka až častěji		
	Možnost vyvarování se nebezpečí	E1 – možné		
	Pst. Výskytu nebezpečí událostí	W1 – malá		
Validace	Opatření jsou dostatečná	Bc. Adámek Tomáš	14.4.2021	

VUT FSSI UVSSR	FORMULÁŘ PRO PRO ODHAD RIZIKA		DOPRAVNÍKOVÁ NÁSTAVBA ROBOTU MiR 250	
			Datum: 18.4.2021	
Číslo nebezpečí	Identifikační číslo	Označení nebezpečí dle ČSN EN ISO 12100 2. Elektrická nebezpečí		
2.1	2	Nebezpečí dotyku živé části v důsledku poruchy		
Životní etapa stroje	Provoz, čištění a údržba, vyhledávání závad, demontáž		Nebezpečný prostor: Pracovní prostory zařízení	
Ohrožené osoby	Obsluha, třetí osoby		Provozní stav stroje: Provoz	
Popis nebezpečné situace / události	V případě zkratu či jiné neočekávané události může dojít k poruše elektrického zařízení a některé vodivé komponenty se mohou stát živými.			
Počáteční riziko	Závažnost možné škody na zdraví		S3 – smrt	Velikost rizika 13
	Četnost a doba trvání ohrožení		A1 – zřídka až častěji	
	Možnost vyvarování se nebezpečí		E3 – sotva možné	
	Pst. Výskytu nebezpečí událostí		W1 – malá	
Krok 1	Použití vhodných elektrických zařízení			
Popis opatření	Veškerá instalovaná elektrotechnika v rámci zařízení musí splňovat požadavky normy ČSN EN ISO 60204-1. Tato elektrická zařízení musí být certifikována.			
Snížené riziko po opatření	Závažnost a možné škody na zdraví		S2 – těžké zranění	Velikost rizika 6
	Četnost a doba trvání ohrožení		A1 – zřídka až častěji	
	Možnost vyvarování se nebezpečí		E2 – možné za určitých ok.	
	Pst. Výskytu nebezpečí událostí		W1 – malá	
Krok 2	Bezpečnostní ochrana a doplňková opatření			
Popis opatření	Zařízení je opatřeno bezpečnostními kryty, které zamezují kontaktu s elektrickými zařízeními.			
Snížené riziko po opatření	Závažnost možné škody na zdraví		S1 – lehké zranění	Velikost rizika 1
	Četnost a doba trvání ohrožení		A1 – zřídka až častěji	
	Možnost vyvarování se nebezpečí		E2 – možné za určitých ok.	
	Pst. Výskytu nebezpečí událostí		W2 – střední	
Krok 3	Informace pro používání			
Popis opatření	Upozornění uvedené v manuálu k použití: „Práci v rámci elektrické části nastavby a robotu může vykonávat pouze osoba s min. elektrotechnickou vyhláškou č. 50/1978 § 6!“			
Snížené riziko po opatření	Závažnost možné škody na zdraví		S1 – lehké zranění	Velikost rizika 0
	Četnost a doba trvání ohrožení		A1 – zřídka až častěji	
	Možnost vyvarování se nebezpečí		E1 – možné	
	Pst. Výskytu nebezpečí událostí		W1 – malá	
Validace	Opatření jsou dostatečná		Bc. Adámek Tomáš	14.4.2021

VUT FSSI UVSSR	FORMULÁŘ PRO PRO ODHAD RIZIKA		DOPRAVNÍKOVÁ NÁSTAVBA ROBOTU MiR 250	
			Datum: 18.4.2021	
Číslo nebezpečí	Identifikační číslo	Označení nebezpečí dle ČSN EN ISO 12100 2. Elektrická nebezpečí		
2.2	1	Nebezpečí dotyku v důsledku zkratu elektroinstalace		
Životní etapa stroje	Provoz, čištění a údržba, vyhledávání závad, demontáž		Nebezpečný prostor: Pracovní prostory zařízení/ Zařízení jako celek	
Ohrožené osoby	Obsluha, třetí osoby		Provozní stav stroje: Provoz	
Popis nebezpečné situace / události	V případě zkratu může dojít k požáru zařízení s následkem popálení nebo smrti.			
Počáteční riziko	Závažnost možné škody na zdraví	S3 – smrt	Velikost rizika	13
	Četnost a doba trvání ohrožení	A1 – zřídka až častěji		
	Možnost vyvarování se nebezpečí	E3 – sotva možné		
	Pst. Výskytu nebezpečí událostí	W1 – malá		
Krok 1	Použití vhodných elektrických zařízení			
Popis opatření	Veškerá instalovaná elektrotechnika v rámci zařízení musí splňovat požadavky normy ČSN EN ISO 60204-1. Tato elektrická zařízení musí být certifikována.			
Snížené riziko po opatření	Závažnost a možné škody na zdraví	S2 – těžké zranění	Velikost rizika	6
	Četnost a doba trvání ohrožení	A1 – zřídka až častěji		
	Možnost vyvarování se nebezpečí	E2 – možné za určitých ok.		
	Pst. Výskytu nebezpečí událostí	W1 – malá		
Krok 2	Bezpečnostní ochrana a doplňková opatření			
Popis opatření	Zavedení bezpečnostních protipožárních zařízení.			
Snížené riziko po opatření	Závažnost možné škody na zdraví	S2 – těžké zranění	Velikost rizika	5
	Četnost a doba trvání ohrožení	A1 – zřídka až častěji		
	Možnost vyvarování se nebezpečí	E1 – možné		
	Pst. Výskytu nebezpečí událostí	W1 – malá		
Krok 3	Informace pro používání			
Popis opatření	Obsluha, nebo personál pohybující se v blízkosti zařízení musí být pravidelně proškolen ohledně protipožárních opatření.			
Snížené riziko po opatření	Závažnost možné škody na zdraví	S1 – lehké zranění	Velikost rizika	0
	Četnost a doba trvání ohrožení	A1 – zřídka až častěji		
	Možnost vyvarování se nebezpečí	E1 – možné		
	Pst. Výskytu nebezpečí událostí	W1 – malá		
Validace	Opatření jsou dostatečná	Bc. Adámek Tomáš	14.4.2021	

VUT FSSI UVSSR	FORMULÁŘ PRO PRO ODHAD RIZIKA		DOPRAVNÍKOVÁ NÁSTAVBA ROBOTU MiR 250	
			Datum: 18.4.2021	
Číslo nebezpečí	Identifikační číslo	Označení nebezpečí dle ČSN EN ISO 12100 4. Nebezpečí hluku		
4.1	1	Nebezpečí způsobené hlučností zvukových signálů robotu		
Životní etapa stroje	Provoz, čištění a údržba, vyhledávání závad		Nebezpečný prostor: Zařízení jako celek	
Ohrožené osoby	Obsluha, třetí osoby		Provozní stav stroje: Provoz	
Popis nebezpečné situace / události	V případě projíždění robotu nepřehlednou zatáčkou nebo jinou dopravně složitou situací, zahájení procesu dokování k MiR charge či Nutek unloader/loader vydává robot zvukové signály, aby upozornil na svou přítomnost.			
Počáteční riziko	Závažnost možné škody na zdraví	S1 – lehké zranění	Velikost rizika 5	
	Četnost a doba trvání ohrožení	A2 – často až trvale		
	Možnost vyvarování se nebezpečí	E3 – sotva možné		
	Pst. Výskytu nebezpečí událostí	W2 – střední		
Krok 1	Opatření zabudovaná v konstrukci robotu			
Popis opatření	V rámci programového prostředí robotu MiR 250 lze ovládat hlasitost zvukových signálů, které odpovídají ČSN EN ISO 3691-4 [68].			
Snížené riziko po opatření	Závažnost a možné škody na zdraví	S1 – lehké zranění	Velikost rizika 3	
	Četnost a doba trvání ohrožení	A2 – často až trvale		
	Možnost vyvarování se nebezpečí	E2 – možné za určitých ok.		
	Pst. Výskytu nebezpečí událostí	W1 – malá		
Krok 2	Bezpečnostní ochrana a doplňková opatření			
Popis opatření	Při interakci v rámci prostor, kde se robot pohybuje je vhodné mít nasazené individuální chrániče sluchu, mezi které patří např. špunty nebo pracovní sluchátka.			
Snížené riziko po opatření	Závažnost možné škody na zdraví	S1 – lehké zranění	Velikost rizika 0	
	Četnost a doba trvání ohrožení	A1 – zřídka až častěji		
	Možnost vyvarování se nebezpečí	E1 – možné		
	Pst. Výskytu nebezpečí událostí	W1 – malá		
Krok 3	Informace pro používání			
Popis opatření	-			
Snížené riziko po opatření			Velikost rizika -	
Validace	Opatření jsou dostatečná	Bc. Adámek Tomáš	14.4.2021	

VUT FSSI UVSSR	FORMULÁŘ PRO PRO ODHAD RIZIKA		DOPRAVNÍKOVÁ NÁSTAVBA ROBOTU MiR 250	
			Datum: 18.4.2021	
Číslo nebezpečí	Identifikační číslo	Označení nebezpečí dle ČSN EN ISO 12100 7. Nebezpečí materiálů		
7.1	1	Nebezpečí poškození dýchacích cest v důsledku inhalace toxických výparů		
Životní etapa stroje	Likvidace	Nebezpečný prostor: Pracovní prostory zařízení		
Ohrožené osoby	Obsluha, třetí osoby	Provozní stav stroje: Provoz / Mimo provoz		
Popis nebezpečné situace / události	V rámci procesu likvidace může dojít k poškození dýchacích v důsledku vdechnutí výparů.			
Počáteční riziko	Závažnost možné škody na zdraví	S2 – těžké zranění	Velikost rizika	
	Četnost a doba trvání ohrožení	A1 – zřídka až častěji		
	Možnost vyvarování se nebezpečí	E2 – sotva možné	6	
	Pst. Výskytu nebezpečí událostí	W1 – malá		
Krok 1	Použití vhodných elektrických zařízení			
Popis opatření	Nelze aplikovat			
Krok 2	Bezpečnostní ochrana a doplňková opatření			
Popis opatření	Při procesu likvidace je potřeba používat ochranné pomůcky, mezi které patří polomasky, respirátory. Důležité je také zajistit odsávání škodlivých výparů.			
Snížené riziko po opatření	Závažnost možné škody na zdraví	S1 – lehké zranění	Velikost rizika	
	Četnost a doba trvání ohrožení	A1 – zřídka až častěji		
	Možnost vyvarování se nebezpečí	E1 – možné	0	
	Pst. Výskytu nebezpečí událostí	W1 – malá		
Krok 3	Informace pro používání			
Popis opatření	-			
Snížené riziko po opatření			Velikost rizika	
			-	
Validace	Opatření jsou dostatečná	Bc. Adámek Tomáš	14.4.2021	

VUT FSSI UVSSR	FORMULÁŘ PRO PRO ODHAD RIZIKA		DOPRAVNÍKOVÁ NÁSTAVBA ROBOTU MiR 250	
			Datum: 18.4.2021	
Číslo nebezpečí	Identifikační číslo	Označení nebezpečí dle ČSN EN ISO 12100 8. Ergonomická nebezpečí		
8.2	1	Nebezpečí způsobené lidskou chybou v případě nedodržování instrukcí pro používání zařízení		
Životní etapa stroje	Provoz, čištění a údržba, vyhledávání závad, demontáž		Nebezpečný prostor: Zařízení jako celek	
Ohrožené osoby	Obsluha, třetí osoby		Provozní stav stroje: Provoz / Mimo provoz	
Popis nebezpečné situace / události	V rámci procesu likvidace může dojít k poškození dýchacích v důsledku vdechnutí výparů.			
Počáteční riziko	Závažnost možné škody na zdraví	S1 – lehké zranění	Velikost rizika 5	
	Četnost a doba trvání ohrožení	A2 – často až trvale		
	Možnost vyvarování se nebezpečí	E3 – sotva možné		
	Pst. Výskytu nebezpečí událostí	W2 – střední		
Krok 1	Použití vhodných elektrických zařízení			
Popis opatření	Nelze aplikovat			
Krok 2	Bezpečnostní ochrana a doplňková opatření			
Popis opatření	Nelze aplikovat			
Krok 3	Informace pro používání			
Popis opatření	Součástí aplikace robotu a dopravníkové nastavby musí být dodán také návod k obsluze, který je v souladu s normou ČSN EN ISO 12100. Tento návod zahrnuje instrukce o: a) informacích strojního zařízení b) přepravě, manipulaci a uskladnění c) instalaci, montáži a přípustném prostředí d) používání strojního zařízení (popis ovládání) a zakázaných činnostech e) údržbě a čištění stroje f) řešení problémů g) vyřazení z provozu, demontáži a likvidaci stroje			
Snížené riziko po opatření	Závažnost možné škody na zdraví	S1 – lehké zranění	Velikost rizika 0	
	Četnost a doba trvání ohrožení	A1 – zřídka až častěji		
	Možnost vyvarování se nebezpečí	E1 – možné		
	Pst. Výskytu nebezpečí událostí	W1 – malá		
Validace	Opatření jsou dostatečná		Bc. Adámek Tomáš 14.4.2021	

11 VLASTNÍ ZÁVĚRY A DOPORUČENÍ PRO PRAXI

Jedním ze stěžejních požadavků, na které byl kladen obzvláště pečlivý důraz je transport dvou PCB magazinů vzhledem k maximální únosnosti robotu, z čehož vyplývá, že zvolení vhodného uspořádání dopravníkové tratě, či trati vzhledem k interakci se vstupem do SMT výrobní linky v podobě loaderu / unloaderu od jakéhokoliv dodavatele hraje zcela zásadní roli.

Za tímto účelem bylo vyvinuto stavebnicové uspořádání BoB (Box on Box), jenž nabízí širokou škálu uspořádání. Tato „stavebnice“ se skládá z dopravníkového boxu a boxu komunikačního, montážně i komunikačně spojeného s rozhraním robotu MiR 250.

Aplikace takto osazeného autonomního robotu má svůj vyšší smysl v rovině nahrazení monotónní lidské práce týkající se SMT výroby neboli sériově vyráběné elektroniky. Nasazení této technologie do reálného provozu konkrétního závodu představuje další krok k dosažení autonomní průmyslové továrny z hlediska stále více rezonujícího tématu čtvrté průmyslové revoluce a spolu související digitalizace chodu průmyslových činností.

Praktická doporučení

V případě reálné úvahy obecného nasazení autonomních kolaborativních vozidel do výroby je zapotřebí velice důkladně zanalyzovat současný stav konkrétního prostředí. Mobilní roboty MiR patří sice k nejmodernějším svého druhu a disponují značnou mírou univerzálnosti typu aplikace, i přesto všechno má tato technologie své limity, a to jak z hlediska funkčního, tak především bezpečnostního.

Zcela nezbytnou nutností je, aby mobilní kolaborativní robot včetně své nástavby odpovídal normě ČSN EN ISO 3691-4. A samotná konstrukce nástavby dle ČSN EN ISO 12100.

V současné době se i na území ČR nachází několik distributorů daných robotů, avšak snaha těchto firem bývá povětšinou soustředěna na samotný obchod v podobě přeprave zboží s jeho příslušenstvím, podpůrné servisní činnosti a školení, nikoliv integraci či aplikaci. Je to z toho důvodu, že integrátor této technologie přebírá na svou osobu právní zodpovědnost a vystavuje se tak potenciálnímu riziku soudního sporu, což má za následek vysoké pořizovací náklady.

Doporučení pro konstrukci dopravníkové nástavby vyhotovenou v této DP jsou následující. V rámci montážní činnosti především té elektrikářské v podobě vyvazování kabelů, uchycování atd. nedisponují vnitřní prostory jak dopravníkového boxu, či komunikačního boxu komfortními zástavbovými rozměry pro snadnou manipulaci. Před každou výměnou kulatého řemenu je zapotřebí sundat ochranný kryt a přidružený vnitřní profil. Samotný kulatý řemen byl zvolen jako subjektivní volba autora práce. Společnost INTERROLL nabízí válce s různými typy hlav pro aplikace jiných průřezových charakteristik řemenů či řetězů. Z hlediska snazší odnímatelnosti dopravníkového topmodulu z rozhraní robotu by bylo vhodné využít univerzální konektory např. od společnosti Stäubli pro flexibilnější a efektivnější odpojení/připojení napájení jednotlivých elektronických komponent od baterie. Úplně stejným způsobem lze v rámci tohoto konektoru zahrnout komunikační rozhraní pro výměnu informací mezi jednotlivými položkami. Poslední doporučení reprezentuje aplikace dotykového displeje např. Siemens HMI na zadní stranu dopravníkového boxu, který tak umožní obsluhu či údržbu stroje ergonomicky vstupovat do rozhraní robotu a např. dynamicky nastavovat rychlost dopravníkové trati.

12 ZÁVĚR

Výsledkem této diplomové práce je konstrukční návrh dopravníkové nástavby robotu MiR 250. Z počátku byla vyhotovena rešerše v podobě podrobného přehledu z oblasti mobilních robotů. Na kterou navazuje zevrubný přehled technologií Mobile industrial Robots, a to z hlediska technických parametrů, příslušenství společně se širokou škálou možných aplikací. Současný stav poznání byl podpořen osobní zkušeností z oblasti této robotiky.

Na základě poznatků z teoretické části byly vytvořeny praktické úvahy, které se plně přechází v praktickou část rozboru problematiky. Tento postup měl za následek ucelený zisk informací, zamezení odklonu od osnovy zadání, a tím plnohodnotné splnění požadavků závěrečné diplomové práce.

Byly navrženy dvě konstrukční uspořádání dopravníkové nástavby a na základě multikriteriální bazické metody vybráno nejvhodnější řešení. Samotný návrh tvoří abstraktní těžiště kompletní práce. Následně byla tato konstrukce a výběr komponent podrobena ověření v podobě návrhových výpočtů. Získané parametry sloužili k vytvoření finálního návrhu včetně výkresové dokumentace vybrané varianty s komentářem.

V rámci ekonomického zhodnocení prototypu dopravníkové nástavby byl vyhotoven finanční odhad pořizovacích nákladů, včetně analýzy rizik.

Finální částí práce jsou přílohy v podobě technických listů vybraných komponent, pět výrobních výkresů, výkres sestavy, přidružených podsestav a 3D model dopravníkového topmodulu.

13 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] SMT. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2021 [cit. 2021-03-20]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/SMT>
- [2] Plošný spoj. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2021 [cit. 2021-03-20]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Plo%C5%A1n%C3%BD_spoj
- [3] RUČNÍ I AUTOMATIZOVANÉ OSAZOVÁNÍ DPS SOUČÁSTKAMI THT I SMD. In: *ATM Elektro s.r.o.* [online]. Horní Bečva: ATM Elektro, [cit. 2021-03-20]. Dostupné z: <http://www.atmelektro.cz/osazovani.php>
- [4] Nutek multi magazine line loader. In: *Amtech* [online]. Buchlovice: Amtech spol., © 2021 [cit. 2021-03-01]. Dostupné z: <https://www.amtech.cz/produkty/smt/dopravniky/nutek/nutek-multi-magazine-line-loader>
- [5] Factory automation: Magazín o průmyslové automatizaci a robotice [online]. Praha: FANUC, 2017, 2017() [cit. 2020-03-10]. ISSN 2533-4271. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/co-je-to-kolaborativni-robot-5-veci-ktere-byste-o-nem-meli-vedet>
- [6] Control engineering: Trade Media International s.r.o. Česko [online]. Český Těšín: Trade Media International, 2017, 2017() [cit. 2020-03-10]. Dostupné z: <http://www.controlengcesko.com/hlavni-menu/artikuly/artikul/article/kolaborativni-robotika-docasna-moda-nebo-trvaly-trend/>
- [7] Spolupracující roboty: Nejdůležitější fakta o spolupracujících robotech (CR). *Fanuc* [online]. Praha: Fanuc, 2020 [cit. 2020-03-10]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty/stránka-filtru-robotů/spolupracující-roboty?gclid=CNuA48Xsh9MCFQIL0wod5wgEgw>
- [8] UNIVERSAL ROBOTS – KOLABORATIVNÍ ROBOTY. In: *DreamlandRobots: Kolaborativní roboty průmyslová automatizace* [online]. Kosmonosy: DREAMland, spol. s r.o., ©2019 [cit. 2020-03-10]. Dostupné z: <https://dreamland-robots.cz/universal-robots-kolaborativni-roboty/>
- [9] Omron LD-250. In: *Industrial automation asia* [online]. Singapur, 2019, 15 Nov 2019 [cit. 2020-03-10]. Dostupné z: <https://www.iaasiaonline.com/omron-globally-launches-ld-250-mobile-robot-to-move-payloads-up-to-250kg-2/>
- [10] ROBOTIQ 2 – Finger 140. In: *Amtech: Váš specialista na SMT technologie, automatizaci a robotiku* [online]. AMTECH, spol. s r.o.: Buchlovice, 2020 [cit. 2020-03-10]. Dostupné z: <https://www.amtech.cz/produkty/roboty/prislusenstvi/robotiq/robotiq-2-finger-140>
- [11] Robotizace v logistice. Komora Logistických Auditorů [online]. Ostrava: Komora Logistických Auditorů, [cit. 2020-03-10]. Dostupné z: <http://www.kla.cz/cs/aktualne/44/robotizace-v-logistice>
- [12] Počty autonomních mobilních robotů v logistice rychle rostou. In: *Logistika* [online]. Praha: Economia, a.s., ©1996-2020 [cit. 2020-03-10]. Dostupné z: <https://logistika.ihned.cz/c1-66355140-roboty-miri-stale-casteji-do-logistiky-spolupracuji-s-lidmi-a-poradi-si-s-vetsinou-ukolu>
- [13] KÁRNÍK, L., R. KNOFLÍČEK, J. NOVÁK a MARCINČIN. *Mobilní roboty*. 1. Opava: MÁRFY SLEZSKO, 2000. ISBN 80-902746-2-5.

- [14] NAVRÁTIL, Šimon. *NÁVRH A REALIZACE KONSTRUKCE AUTONOMNÍHO MOBILNÍHO ROBOTU*. Brno, 2010. Bakalářská práce. VUT FSI Brno. Vedoucí práce Ing. Tomáš Marada, Ph.D.
- [15] BOSTON DYNAMICS' FREAKY ROBOT DOG 'SPOT' IS NOW FOR SALE. In: Maxim [online]. San Jose, California: Maxim Media, 2019 [cit. 2020-03-10]. Dostupné z: <https://www.maxim.com/gear/boston-dynamics-robot-dog-spot-can-be-yours-2019-9>
- [16] Meet GROVER: NASA's Rover in Greenland. In: *Earth observatory* [online]. Washington: NASA, 2013 [cit. 2020-03-10]. Dostupné z: <https://earthobservatory.nasa.gov/blogs/earthmatters/2013/05/10/meet-grover-nasas-rover-in-greenland/>
- [17] Leo Rover. In: *Leo Rover* [online]. Wrocław: Kell ideas sp. z o. o., 2017 [cit. 2020-03-10]. Dostupné z: https://www.leorover.tech/?gclid=EAIaIQobChMIy6vijtqQ6AIVCdreCh0mAwRGEAAYASAAEgI3zvD_BwE
- [18] WINKLER, Zbyněk. Odometrie. *Robotika.cz* [online].: Robotika.cz, 2005, 12.05.2005 [cit. 2020-03-11]. Dostupné z: <https://robotika.cz/guide/odometry/en>
- [19] Ackermann steering geometry. In: *Academic kids encyclopedia* [online]. : Academic kids, 2005, 18 Jun 2005 [cit. 2020-03-11]. Dostupné z: https://academickids.com/encyclopedia/index.php/Ackermann_steering_geometry
- [20] MiR Hook 100 TM: Mobile industrial Robots. In: *Mobile industrial Robots* [online]. Odense: Mobile Industrial Robots A/S, 2019 - 2020 [cit. 2021-03-20]. Dostupné z: <https://mobile-industrial-robots.com/cs/solutions/robots/mir-top-modules/mir-hook-100-tm/>
- [21] JACOBSEN, Niels Jul. MiR LEGO concept. In: *MiR Academy* [online]. Odense: Mobile industrial Robots, 2019 [cit. 2021-02-26]. Dostupné z: https://cdn2.dcbstatic.com/dcd/scormapi_v60/launcher_full.html?host=mir.docebosaas.com&id_user=18177&id_reference=118&scorm_version=1.2&id_resource=186&id_item=186&ids_corm_organization=186&id_package=186&launch_type=fullscreen&id_course=11&player=hydra&autoplay_enabled=0&name=introduction-to-mir&return_url=mir.docebosaas.com&as_json=1&auth_code=2642434ea85747874076ea4972a232933bb9e858&use_sw=
- [22] MiR History Mobile industrial Robots. *Mobile industrial Robots: MiR a better way* [online]. Odense: Mobile industrial Robots, 2019 [cit. 2021-02-26]. Dostupné z: <https://www.mobile-industrial-robots.com/en/about-mir/mir-history/>
- [23] Mobile industrial Robots. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2021-02-26]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Mobile_industrial_robots
- [24] MiR100 Mobile industrial Robots. *Mobile industrial Robots* [online]. Odense: Mobile industrial Robots, 2019 [cit. 2021-02-26]. Dostupné z: <https://www.mobile-industrial-robots.com/en/solutions/robots/mir100/>
- [25] MiR200 Mobile industrial Robots. *Mobile industrial Robots* [online]. Odense: Mobile industrial Robots, 2019 [cit. 2021-02-26]. Dostupné z: <https://www.mobile-industrial-robots.com/en/solutions/robots/mir200/>
- [26] MiR250 Mobile industrial Robots. *Mobile industrial Robots* [online]. Odense: Mobile industrial Robots, 2019 [cit. 2021-02-26]. Dostupné z: <https://www.mobile-industrial-robots.com/en/solutions/robots/mir250>

- [27] MiR500 Mobile industrial Robots. *Mobile industrial Robots* [online]. Odense: Mobile industrial Robots, 2019 [cit. 2021-02-26]. Dostupné z: <https://www.mobile-industrial-robots.com/en/solutions/robots/mir500/>
- [28] MiR1000 Mobile industrial Robots. *Mobile industrial Robots* [online]. Odense: Mobile industrial Robots, 2019 [cit. 2021-02-26]. Dostupné z: <https://www.mobile-industrial-robots.com/en/solutions/robots/mir1000/>
- [29] Robot detekuje vozíky připravené k převozu v předem definovaných zónách skladu [online]. In: . *Logistika: Economia*, © 1996-2021 [cit. 2021-02-26]. Dostupné z: <https://logistika.ihned.cz/c1-66834340-db-schenker-nasadil-poprve-v-ceskem-skladu-autonomniho-robotu-stroj-mir-hook-200-prevazi-policove-voziky>
- [30] MiR Hook: MiR topmodules. *MiR Academy* [online]. Odense: Mobile industrial Robots, 2019 [cit. 2021-02-26]. Dostupné z: https://cdn2.dcbstatic.com/dcd/scormapi_v60/launcher_full.html?host=mir.docebosaas.com&id_user=18177&id_reference=118&scorm_version=1.2&id_resource=186&id_item=186&ids_corm_organization=186&id_package=186&launch_type=fullscreen&id_course=11&player=h_ydra&autoplay_enabled=0&name=introduction-to-mir&return_url=mir.docebosaas.com&as_json=1&auth_code=2642434ea85747874076ea4972a232933bb9e858&use_sw
- [31] MiR Pallet Lifts: MiR topmodules. *MiR Academy* [online]. Odense: Mobile industrial Robots, 2019 [cit. 2021-02-26]. Dostupné z: https://cdn2.dcbstatic.com/dcd/scormapi_v60/launcher_full.html?host=mir.docebosaas.com&id_user=18177&id_reference=118&scorm_version=1.2&id_resource=186&id_item=186&ids_corm_organization=186&id_package=186&launch_type=fullscreen&id_course=11&player=h_ydra&autoplay_enabled=0&name=introduction-to-mir&return_url=mir.docebosaas.com&as_json=1&auth_code=2642434ea85747874076ea4972a232933bb9e858&use_sw
- [32] MiR Pallet Lift 500. In: *KONICA MINOLTA* [online]. Macquarie Park: Konica Minolta Business Solutions Australia, © 2021 [cit. 2021-02-26]. Dostupné z: <https://www.konicaminolta.com.au/products/robotics/mir-addon/mir-pallet-lift-500>
- [33] Robot Operating System. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2021-02-26]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Robot_Operating_System
- [34] TOMÁŠ, Ing. Petr. *Návrh a realizace senzorického systému pro mobilní robot s využitím frameworku ROS*. Brno, 2014. Diplomová práce. VUT Brno FSI. Vedoucí práce Ing. Stanislav Věchet, Ph. D
- [35] Robot navigation. *MiR Academy* [online]. Odense: Mobile industrial Robots, 2019 [cit. 2021-02-26]. Dostupné z: https://cdn2.dcbstatic.com/dcd/scormapi_v60/launcher_full.html?host=mir.docebosaas.com&id_user=18177&id_reference=84&scorm_version=1.2&id_resource=188&id_item=188&ids_corm_organization=188&id_package=188&launch_type=fullscreen&id_course=13&player=h_ydra&autoplay_enabled=0&name=robot-navigation&return_url=mir.docebosaas.com&as_json=1&auth_code=3a0c68bac857723210908395231cf580ebb01da6&use_sw
- [36] HORÁK, PH. D., Ing. Karel. 2D/3D SLAM mapování prostoru. *2D/3D SLAM mapování prostoru* [online]. Brno: VUT FEKT, © 2018 [cit. 2021-02-26]. Dostupné z: <https://www.uamt.feec.vutbr.cz/2d3d-slam-mapovani-prostoru>

- [37] John's map. In: *MiR Academy* [online]. Odense: Mobile industrial Robots, 2019 [cit. 2021-02-26]. Dostupné z: https://cdn2.dcbstatic.com/dcd/scormapi_v60/launcher_full.html?host=mir.docebosaas.com&id_user=18177&id_reference=84&scorm_version=1.2&id_resource=188&id_item=188&idscorm_organization=188&id_package=188&launch_type=fullscreen&id_course=13&player=hydra&autoplay_enabled=0&name=robot-navigation&return_url=mir.docebosaas.com&as_json=1&auth_code=3a0c68bac857723210908395231cf580ebb01da6&use_sw=
- [38] Global vs. Local planning. In: *MiR Academy* [online]. Odense: Mobile industrial Robots, 2019 [cit. 2021-02-26]. Dostupné z: https://cdn2.dcbstatic.com/dcd/scormapi_v60/launcher_full.html?host=mir.docebosaas.com&id_user=18177&id_reference=84&scorm_version=1.2&id_resource=188&id_item=188&idscorm_organization=188&id_package=188&launch_type=fullscreen&id_course=13&player=hydra&autoplay_enabled=0&name=robot-navigation&return_url=mir.docebosaas.com&as_json=1&auth_code=a01757e14a549f3b12cb1561a5afcb4da8d7fa32&use_sw=
- [39] *Advanced trainig presentation: Mobile industrial Robots*. Odense, 2019.
- [40] MiRGo. *Mobile industrial Robots* [online]. Odense: Mobile industrial Robots, 2019 [cit. 2021-02-26]. Dostupné z: <https://www.mobile-industrial-robots.com/en/solutions/mirgo/>
- [41] MiR UV101. In: *Mobile industrial Robots* [online]. Odense: Mobile industrial Robots, 2020 [cit. 2021-02-26]. Dostupné z: <https://www.mobile-industrial-robots.com/en/solutions/mirgo/products/vicosystems-uv101/>
- [42] PCB magazines, series 700 Variable width setting by pulling the gear belt by hand. In: *Cab: we identify more* [online]. Karlsruhe: cab Produkttechnik GmbH & Co., © 2021 [cit. 2021-02-26]. Dostupné z: <https://www.cab.de/en/electronics/magazines/pcb-magazines-series-600-700/#funktionen>
- [43] Cab - Magazines: overview. *Cab: we identify more* [online]. Karlsruhe: cab Produkttechnik GmbH & Co., © 2021 [cit. 2021-02-26]. Dostupné z: <https://www.cab.de/en/electronics/magazines/pcb-magazines-series-600-700/#uebersicht>
- [44] Cab - Magazines. *Cab: we identify more* [online]. Karlsruhe: cab Produkttechnik GmbH & Co., © 2021 [cit. 2021-02-26]. Dostupné z: <https://www.cab.de/en/electronics/magazines/pcb-magazines-series-600-700/#spezifikationen>
- [45] Cab - Magazines: technical data. In: *Cab* [online]. Karlsruhe: cab Produkttechnik GmbH & Co., © 2021 [cit. 2021-02-26]. Dostupné z: <https://www.cab.de/en/electronics/magazines/pcb-magazines-series-600-700/#spezifikationen>
- [46] GLOS, Michal. *Dopravníková nástavba robotu MiR: Konceptuální zobrazení problematiky*. Buchlovice, 2020.
- [47] Nutek multi magazine line loader. In: *Equipmaching: Nutek NTM0110LX Multi Magazine Line Loader NTM 110 LX PC Board Handler w/ 2 mags* [online]. Taiwan: Sunlit Technology Co., © 2021 [cit. 2021-03-27]. Dostupné z: https://www.equipmatching.com/used_equipment/2/30/332588.php
- [48] NTA Dual Magazine Line Unloader (AGV Ready). In: *Nutec* [online]. Singapore: Nutek, 2015 [cit. 2021-03-27]. Dostupné z: <https://www.nutec-sg.com/products/nta/nta-dual-magazine-line-unloader-agv-ready>
- [49] Miniaturní optoelektronické snímače G6. In: *SICK: Sensor Intelligence* [online]. Praha: SICK spol. s r.o., © 2021 [cit. 2021-03-27]. Dostupné z:

<https://www.sick.com/cz/cs/optoelektronicke-snimace/optoelektronicke-snimace/g6/gl6-p4211/p/p300550>

- [50] Indukční snímače IME. In: *SICK: Sensor Intelligence* [online]. Praha: SICK spol. s r.o., © 2021 [cit. 2021-03-27]. Dostupné z: https://www.sick.com/cz/cs/indukcni-snimace/indukcni-snimace/ime/ime08-06npszt0k/p/p375910?ff_data=JmZmX2lkPXAzNzU5MTAmZmZfbWFzdGVySWQ9cDM3NTkxMCZmZl90aXRsZT1JTUUwOC0wNk5QU1pUMESmZmZfcXVlcnk9SU1FMDgtMDZOUFNhVDBLICZmZl9wb3M9MSZmZl9vcmlnUG9zPTEmZmZfcGFnZT0xJmZmX3BhZ2VTaXplPTI0JmZmX29yaWdQYWdlU2l6ZT0yNCZmZl9zaW1pPTEwMC4w
- [51] Nouzové zastavení stroje. Volba a použití tlačítek E-STOP. *Automatizace.hw.cz: rady a poslední novinky z oboru* [online]. Praha: HW server s.r.o., © 1997 - 2014 [cit. 2021-03-27]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/bezpecnost-stroju-komponenty/nouzove-zastaveni-stroje-volba-a-pouziti-e-stop-tlacitek.html>
- [52] KALINA, Jiří. Multikriteriální analýza. Správným směrem [online]. : Správným směrem, 2014 [cit. 2021-03-08]. Dostupné z: <http://spravnym.smerem.cz/Tema/Multikriteri%C3%A1ln%C3%AD%20anal%C3%BDza>
- [53] KNOFLÍČEK, DR., doc. Ing. RADEK a prof. Ing. Zdeněk KOLÍBAL, CSC. *Morfologická stavba analýzy průmyslových robotů*. Košice: Viena, 2000. ISBN 80-889-2227-5.
- [54] KNOFLÍČEK, Radek. Mobilní robotické systémy. [Brno: Vysoké učení technické], 1996, [111] s.
- [55] SKLOTEXTIT 2372.4. G11 155°. *RAPER A* [online]. RAPER A GROUP, Ostrava-Martinov [cit. 2021-02-26]. Dostupné z: <https://www.rapera-pertinax.cz/rapera-cz-11>
- [56] Product Detail Interroll Group. INTERROLL [online]. Atlanta: Interroll Atlanta, ©2021 [cit. 2021-02-26]. Dostupné z: <https://www.interroll.com/products-solutions/product/ec-5000-oe-50-mm-cylindrical-ip54-for-0-to-40-c/>
- [57] Interroll DC Katalog. In: *INTERROLL* [online]. Atlanta: Interroll Atlanta, © 2021 [cit. 2021-02-26]. Dostupné z: https://www.interroll.com/fileadmin/products/product_data/EC-5000-IP54/EC5000_50mm_IP54_EN.pdf
- [58] Betriebsanleitung Interroll RollerDrive EC5000. *INTERROLL* [online]. Atlanta: Interroll Atlanta, © 2021 [cit. 2021-02-26]. Dostupné z: https://www.interroll.com/fileadmin/Downloads/User_Manuals/RollerDrive/User_Manual_EC5000_CZ.pdf
- [59] Product Detail Interroll Group. *INTERROLL* [online]. Atlanta: Interroll Atlanta, © 2021 [cit. 2021-02-26]. Dostupné z: <https://www.interroll.com/products-solutions/product/series-3500-heavy-fixed-drive-conveyor-roller/>
- [60] 2018-08-21_Förderrollenkatalog_EN. In: *INTERROLL* [online]. Atlanta: Interroll Atlanta, © 2021 [cit. 2021-02-26]. Dostupné z: https://www.interroll.com/fileadmin/products/product_data/Roller-series-3500-heavy/Series_3500_heavy_EN.pdf
- [61] HÁJEK, Ing. Lukáš. *Návrh zdviže na palety*. Brno, 2016. Diplomová práce. VUT Brno FSI.
- [62] JIŘÍ, Leinveber a Vávra PAVEL. *Strojnické tabulky*. 6th. : ALBRA, 2017. ISBN 9788073611118.
- [63] Součinitel tření. *E-Konstruktor* [online]. : E-konstruktor, © 2013 - 2017 [cit. 2021-02-26]. Dostupné z: <https://e-konstruktor.cz/prakticka-informace/soucinitel-treni>

- [64] SHIGLEY, Joseph E., Charles R. MISCHKE a Richard G. BUDYNAS. *Konstruování strojních součástí*. Brno: Vutium, 2010. ISBN 978-80-214-2629-0.
- [65] Kruhové šňůry HENNLICH. *HENNLICH* [online]. Litoměřice: HENNLICH, © 2021 [cit. 2021-02-26]. Dostupné z: <https://www.hennlich.cz/produkty/tesneni-o-krouzky-356/kruhove-snury-hennlich-pro.html>
- [66] BLECHA, Petr. Metodický přístup: Management rizik u výrobních strojů (GMR). 6. přednáška. Brno, 2021.
- [67] ČSN EN ISO 12100: 2011. *Bezpečnost strojních zařízení - Všeobecné zásady pro konstrukci - Posouzení rizika a snižování rizika*. . Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [68] ČSN EN ISO 3691-4 : 2020. *Motorové manipulační vozíky - Bezpečnostní požadavky a ověřování - Část: 4 Vozíky bez řidiče a jejich systémy*. . Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2020

14 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK

14.1 Seznam tabulek

TAB 1) PŘEHLED GENERACÍ MOBILNÍCH ROBOTŮ [13]	33
TAB 2) ROZMĚROVÁ A VÁHOVÁ SPECIFIKACE ROBOTU MIR 100 [23] .	43
TAB 3) RYCHLOST A VÝKON MIR 100 [23]	44
TAB 4) ROZMĚROVÁ A VÁHOVÁ SPECIFIKACE ROBOTU MIR 200 [24] .	45
TAB 5) RYCHLOST A VÝKON MIR 200 [24]	45
TAB 6) ROZMĚROVÁ A VÁHOVÁ SPECIFIKACE ROBOTU MIR 250 [25] .	46
TAB 7) RYCHLOST A VÝKON MIR 250 [25]	46
TAB 8) ROZMĚROVÁ A VÁHOVÁ SPECIFIKACE ROBOTU MIR 500 [26] .	47
TAB 9) ROZMĚROVÁ A VÁHOVÁ SPECIFIKACE ROBOTU MIR 500 [26] .	48
TAB 10) ROZMĚROVÁ A VÁHOVÁ SPECIFIKACE ROBOTU MIR 1000 [27]	49
TAB 11) ROZMĚROVÁ A VÁHOVÁ SPECIFIKACE ROBOTU MIR 1000 [2] .	49
TAB 12) INFORMACE O CAB MAGAZÍNU 701.3 [44]	62
TAB 13) TECHNICKÉ PARAMETRY SNÍMAČE SICK GL6 – P4211 [49]	82
TAB 14) TECHNICKÉ PARAMETRY SNÍMAČE IME08-06NPSZT0K [50].....	83
TAB 15) TABULKA EVALUACE KONSTRUKČNÍCH VARIANT	97
FINÁLNÍ TECHNICKÉ HODNOCENÍ T:.....	97
TAB 16) KONEČNÉ TECHNICKÉ HODNOCENÍ PRO JEDNOTLIVÉ KONSTRUKČNÍ ALTERNATIVY	97
TAB 17) PARAMETRY HNACÍHO VÁLCE [57] [58]	101
TAB 18) PARAMETRY HNANÉHO VÁLCE [59] [60]	102
TAB 19) PARAMETRY INTERROLL DRIVE EC 5000 [57] [58]	106
TAB 20) CHARAKTERISTIKA KRUHOVÉ ŠNŮRY HENNLICH RN9 – 10.00 [65] 111	
TAB 21) VÝPOČETNÍ TABULKA ODEBÍRANÉHO PROUDU	117
TAB 22) POŘIZOVACÍ NÁKLADY ROBOTU A PŘÍSLUŠENSTVÍ.....	121
TAB 23) POŘIZOVACÍ NÁKLADY PLC A ŘÍZENÍ.....	121
TAB 24) POŘIZOVACÍ NÁKLADY ELEKTRONICKÉ PRVKY	122
TAB 25) POŘIZOVACÍ NÁKLADY SENZORIKA	122
TAB 26) POŘIZOVACÍ NÁKLADY RÁM A PŘÍSLUŠENSTVÍ.....	123
TAB 27) POŘIZOVACÍ NÁKLADY SOUČÁSTÍ VÁLEČKOVÉ TRATI	123
TAB 28) POŘIZOVACÍ NÁKLADY VYRÁBĚNÝCH KOMPONENT.....	124

TAB 29) IDENTIFIKACE RELEVANTNÍCH NEBEZPEČÍ	131
TAB 30) ANALÝZA VÝZNAMNÝCH NEBEZPEČÍ	133
TAB 31) IDENTIFIKACE ZÁVAŽNÝCH NEBEZPEČÍ	137

14.2 Seznam obrázků

OBR. 1) ILUSTRATIVNÍ UKÁZKA OSAZENÉ PCB DESKY [3]	21
OBR. 2) NUTEK MULTI MAGAZINE LINE LOADER S MAGAZÍNEM [4]....	22
OBR. 3) KOLABORATIVNÍ ROBOT UR3 [8]	27
OBR. 4) KOLABORATIVNÍ AUTONOMNÍ MOBILNÍ ROBOT OMRON LD 250 [9] 28	
OBR. 5) KONCOVÝ EFEKTOR KOLABORATIVNÍHO ROBOTU UR [10]....	28
OBR. 6) ILUSTRÁČNÍ OBRÁZEK ROBOTU MIR V LOGISTICE [12]	29
OBR. 7) SUBSYSTÉMY ALR [13].....	32
OBR. 8) ROZDĚLENÍ MOBILNÍ ROBOTŮ DLE DRUHU PODVOZKU [13]... 	34
OBR. 9) BOSTON DYNAMICS – SPOT ROBOT [15].....	34
OBR. 10) PRŮZKUMNÝ PÁSOVÝ SOLÁRNÍ ROBOT – NASA GROVER [16].	35
OBR. 11) MOBILNÍ ROBOT LAND ROVER V TERÉNU A LABORATORNÍM PROSTŘEDÍ [17].....	36
OBR. 12) PRINCIP TŘÍKOLKY S NATOČENÍM KOLA [18].....	37
OBR. 13) ACKERMANOVO ŘÍZENÍ [19]	37
OBR. 14) ILUSTRACE DIFERENCIÁLNÍHO ROBOTY [18]	38
OBR. 15) KONSTRUKCE VŠESMĚROVÉHO ROBOTY [18].....	38
OBR. 16) ILUSTRÁČNÍ OBRÁZEK MOBILNÍHO ROBOTY MIR V PROVEDENÍ MIRHOOK [20]	40
OBR. 17) KONCEPT ROBOTY MIR – LEGO STAVEBNICE [21].....	41
OBR. 18) MIR100 – ILUSTRÁČNÍ OBRÁZEK [23]	43
OBR. 19) MIR 200 – ILUSTRÁČNÍ OBRÁZEK [24]	44
OBR. 20) MIR 250 – ILUSTRÁČNÍ OBRÁZEK [25]	46
OBR. 21) MIR 500 – ILUSTRÁČNÍ OBRÁZEK [26]	47
OBR. 22) MIR 1000 – ILUSTRÁČNÍ OBRÁZEK [27]	48
OBR. 23) MIR HOOK APLIKACE V DB SCHENKER PARDUBICE [29]	50
OBR. 24) MIR EU PALLET LIFT A ODKLÁDACÍ KONZOLE [31].....	51
OBR. 25) MIR PALLET SHELF LIFT A ODKLÁDACÍ KONZOLE [32].....	51
OBR. 26) DEMONSTRATIVNÍ OBRÁZEK MAPY VYTVOŘENÉ TECHNOLOGIÍ SLAM [37]	52
OBR. 27) PŘÍKLAD VYTVÁŘENÉ MAPY [35]	53
OBR. 28) A) GLOBÁLNÍ PLÁNOVÁNÍ ROBOTY MIR [38].....	54

OBR. 29) B) LOKÁLNÍ PLÁNOVÁNÍ ROBOTU MIR [38]	54
OBR. 30) PŘÍKLAD PŘIPOJOVACÍHO SIGNÁLU ROBOTU MIR [39]	54
OBR. 31) UŽIVATELSKÉ ROZHRANÍ MIR – DASHBOARD [39]	55
OBR. 32) PŮDORYSNÝ POHLED V – MARKERU [39]	55
OBR. 33) VÝŠKA V MARKERU OD ZEMĚ [39]	56
OBR. 34) PŮDORYSNÝ POHLED – VL MARKERU [39]	56
OBR. 35) VÝŠKA VL MARKERU OD ZEMĚ [39]	56
OBR. 36) DOBÍJECÍ STANICE MIR CHARGE [39]	57
OBR. 37) SCHÉMA BEZPEČNOSTNÍCH ZÓN ROBOTU – PŮDORYS [39]	57
OBR. 38) SCHÉMA BEZPEČNOSTNÍCH ZÓN ROBOTU – BOKORYS [39]	58
OBR. 39) UKÁZKA BEZPEČNOSTNÍ KONFIGURACE V PROGRAMU FLEXI SOFT [39]	58
OBR. 40) PŘÍKLAD DEZINFEKČNÍ NÁSTAVBY S UV LAMPOU [41]	59
OBR. 41) PCB MAGAZÍN [42]	60
OBR. 42) ILUSTRACNÍ OBRÁZEK ROZMĚRŮ CAB MAGAZÍNU – BOČNÍ A ZADNÍ POHLED [45]	62
OBR. 43) ILUSTRACNÍ OBRÁZEK ROZMĚRŮ CAB MAGAZÍNU – VRCHNÍ POHLED [45]	63
OBR. 44) SCHÉMATICKÉ VYOBRAZENÍ VÝROBNÍ POSLOUPNOSTI SMT LINKY S ASISTENCÍ MIR	65
OBR. 45) LOGISTICKÝ PROCES DODÁVKY MATERIÁLU DO NUTEK MULTI MAGAZINE LINE LOADER [46]	67
OBR. 46) NTA NUTEK MULTI MAGAZINE LINE LOADER [47]	68
OBR. 47) NTA NUTEK DUAL MAGAZINE LINE LOADER AGV READY [48]	69
OBR. 48) LOGISTICKÝ PROCES DODÁVKY MATERIÁLU DO NTA NUTEK MAGAZINE LINE LOADER (AGV READY)	70
OBR. 49) MIR 250 - AUTODESK INVENTOR	71
OBR. 50) NÁČRT SÉRIOVÉ KONCEPCE DOPRAVNÍKOVÉ NÁSTAVBY	73
OBR. 51) NÁČRT PARALELNÍ KONCEPCE DOPRAVNÍKOVÉ NÁSTAVBY	74
OBR. 52) VIZUALIZACE KONCEPTU BOB	76
OBR. 53) KOMUNIKAČNÍ BOX PRO JEDNU VÁLEČKOVOU TRAŤ – IZOMETRICKÝ POHLED	77
OBR. 54) KOMUNIKAČNÍ BOX PRO JEDNU VÁLEČKOVOU TRAŤ – BOČNÍ POHLED	77
OBR. 55) UKÁZKA VNITŘNÍCH PROSTOR KOMUNIKAČNÍHO BOXU – IZOMETRICKÝ POHLED	78
OBR. 56) UKÁZKA VNITŘNÍCH PROSTOR OSAZENÉHO KOMUNIKAČNÍHO BOXU – PŮDORYSNÝ POHLED	78

OBR. 57)MK TECHNOLOGY GROUP HLINÍKOVÉ PROFILY [44].....	79
OBR. 58)DOPRAVNÍKOVÝ BOX – IZOMETRICKÝ POHLED	80
OBR. 59)DOPRAVNÍKOVÝ BOX – BOČNÍ POHLED	80
OBR. 60)VÁLEČKOVÁ TRAŤ	81
OBR. 61)OPTOELEKTRONICKÝ SNÍMAČ GL6-P4211 [49]	82
OBR. 62)INDUKČNÍ SNÍMAČ IME08-06NPSZT0K [50]	83
OBR. 63)PRINCIP ROZESTAVENÍ SENZORŮ – BOČNÍ POHLED	84
OBR. 64)PRINCIP ROZESTAVENÍ SENZORŮ – DETAIL 1.....	84
OBR. 65)PRINCIP ROZLOŽENÍ SNÍMAČŮ – DETAIL 2.....	85
OBR. 66)UMÍSTĚNÍ OPTOELEKTRONICKÉ REFLEXNÍ ZÁVORY PRO KONTROLU OSAZENÍ	86
OBR. 67)PŮDORYSNÝ DETAIL UMÍSTĚNÍ SENZORU	86
OBR. 68)LINEÁRNÍ SOLENOID GEEPLUS SK-A0946 AUTODESK INVENTOR 87	
OBR. 69)DETAIL UMÍSTĚNÍ LINEÁRNÍCH SOLENOIDŮ.....	87
OBR. 70)ZJEDNODUŠENÉ SCHÉMA NÁVRHU ŘÍZENÍ A KOMUNIKACE DOPRAVNÍKOVÉHO TOPMODULU.....	89
OBR. 71)KONSTRUKČNÍ VARIANTA Č. 1.....	90
OBR. 72)ARETACE BEZ KRYTU	91
OBR. 73)DETAIL ARETACE S KRYTEM	91
OBR. 74)KONSTRUKČNÍ VARIANTA Č. 2.....	92
OBR. 75)DETAIL UMÍSTĚNÍ ARETACE	93
OBR. 76)SCHÉMA HNACÍHO VÁLCE EC 5000 [56] RL = 330 MM.....	101
OBR. 77)SCHÉMA HNANÉHO VÁLCE 3500 [59] RL = 330 MM, U = 320 MM	102
OBR. 78)ILUSTRAČNÍ UKÁZKA KRUHOVÝCH ŘEMENŮ [65]	111
OBR. 79)METODIKA PRO ODHAD RIZIKA [66].....	127
OBR. 80)ZÁKLADNÍ BLOKOVÉ SCHÉMA DOPRAVNÍKOVÉ NÁSTAVBY	129
OBR. 82) BLOKOVÝ DIAGRAM DOPRAVNÍKOVÉ NÁSTAVBY	130

14.3 Seznam použitých zkratk a veličin v textu

Zkratka/Veličina	Význam
SMT	Surface Mounting Technology (Pájení plošných spojů)
SMD	Surface Mount Device (Zařízení pro povrchovou montáž)
PCB	Printed Circuit Board (Tišťený spoj)
MiR	Mobile industrial Robots
AGV	Automatically Guided Vehicle (Automaticky naváděné vozidlo)
AMR	Autonomous Mobile Robot (Autonomní mobilní robot)
PFL	Power and Force limiting (Omezení síly a výkonu)
ALR	Autonomní lokomoční robotické systémy
MRS	Mobilní robotické systémy
ADV	Automatické dopravní vozíky
PLC	Programmable Logic Controller (Programovatelný logický automat)
BoB	Box on Box (Stavebnicové uspořádání)
DP	Diplomová Práce
mm	Milimetr
m	Metr
kg	Kilogram
N	Newton
Nm	Newtonmetr
s	sekunda
V	Volt
min ⁻¹	Otáčky za minutu
TE	Technickoeconomický
W	Watt
NBR	Pryž nitril (Syntetický elastomer)
rad	radián
A	Ampér
hod	Hodina

14.4 Seznam použitých symbolů

Označení	Jednotka	Popis
w_d	[mm]	Šířka PCB desky
l_d	[mm]	Délka PCB desky
v_d	[mm]	Výška PCB desky
V_{dmax}	[m ³]	Objem PCB desky
ρ_d	[kg·m ³]	Hustota materiálu PCB desky FR-4
m_d	[kg]	Maximální hmotnost PCB desky
m_{celk}	[kg]	Celková hmotnost 49 ks PCB desek
m_n	[kg]	Celková hmotnost nákladu bez dopravníkového topmodulu
L_c	[mm]	Délka válečkové trati
W_c	[mm]	Šířka válečkové trati
H_c	[mm]	Výška válečkové trati
RL	[mm]	Nákladový rozměr válce
U	[mm]	Interagující rozměr plochy válce
l_v	[m]	Montážní délka válce
D_v	[m]	Průměr válečku
s_v	[m]	Tloušťka stěny válečku
D_o	[m]	Průměr osy válečku
FV_{max}	[N]	Maximální zatížení válečku
v_p	[m·s ⁻¹]	Dopravní rychlost
n_v	[-]	Počet válečků
k	[mm]	Rozteč mezi jednotlivými válečky
w_v	[rad·s ⁻¹]	Úhlová rychlost válečku
q_v	[kg]	Zatížení jednotlivého válečku
m_{mag}	[kg]	Hmotnost PCB magazínu osazeného deskami
W_1	[N]	Vlastní tíha objektu
g	[m·s ⁻²]	Tíhové zrychlení země
β	[°]	Úhel sklonu tratě (vodorovná trať)
W_2	[N]	Odpor vlivem valivého čepového tření
e_p	[m]	Rameno valivého odporu
$f_{\check{c}}$	[-]	Součinitel čepového tření
$r_{\check{c}}$	[m]	Poloměr osy válečku
R_v	[m]	Poloměr válečku
$m_{r\check{c}}$	[kg]	Hmotnost rotující části válečku
W_3	[N]	Odpor vlivem výrobních a montážních nepřesností
W	[N]	Celkový odpor v rámci jednoho válečku

F_s	[N]	Síla transponovaná smykovým třením na předmět
f	[-]	Součinitel tření
P	[W]	Výkon pro rovnoměrný pohyb předmětu
n_{vp}	[ks]	Počet válečků pod PCB magazínem
η	[-]	Účinnost mechanického převodu řemenem
P_p	[W]	Výkon motoru
M_k	[N·m]	Kroutící moment
M_z	[N·m]	Moment zrychlení
M_{tb}	[N·m]	Trvalý blokovací moment
M_m	[N·m]	Rozběhový moment
n_m	[min ⁻¹]	Otáčky hnacího válce
t_s	[s]	Čas rozběhu PCB magazínu
n_b	[ks]	Celkový počet poháněných válečků pod předmětem
J_v	[kg·m ²]	Setrvačný moment pláště válečku
ε	[rad·s ⁻²]	Úhlové zrychlení válečku
i_c	[-]	Celkový převod
M_t	[N·m]	Třecí moment
M_{zp}	[N·m]	Moment zrychlujících sil přímočarých hmot
M_{zr}	[N·m]	Moment zrychlujících sil rotujících hmot
M_{od}	[N·m]	Moment stálých odporů
M_m	[N·m]	Moment při rozběhu
M_{roz}	[N·m]	Rozběhový moment redukováný na hřídeli
D_w	[mm]	Průměr řemenice
a	[mm]	Rozteč mezi osami válečků
Φ	[rad]	Úhel opásání
L_p	[mm]	Délka řemenu
v_r	[m·s ⁻¹]	Rychlost řemenu
ρ_l	[kg·m ⁻¹]	Plošná hustota řemenu
ρ_s	[kg·m ²]	Plošná hmotnost řemenu
b	[b]	Průměr řemenu
F_c	[N]	Tahová síla
M'	[N·m]	Točivý moment řemenu
c_1	[-]	Součinitel pro případ neočekávaných provozních stavů
k_n	[-]	Součinitel provozního zatížení
F_{1D-F_2}	[N]	Velikost sil v ochablé části řemenu
c_2	[-]	Součinitel úhlu opásání pro 180°
F_{DM}	[N·mm ⁻¹]	Dovolená měrná tahová síla

F_u	[N]	Počáteční předpětí
k	[-]	Součinitel bezpečnosti
y	[m]	Průvės řemenu
T	[hod]	Teoretická výdrž baterie robotu
C_B	[Ah]	Kapacita baterie
I_{celk}	[A]	Suma odebíraných proudů
I	[A]	Odběrový proud
U	[V]	Jmenovité napětí
T_R	[hod]	Reálná výdrž baterie

15 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1	Technická specifikace robotu MiR 100
Příloha č. 2	Technická specifikace robotu MiR 200
Příloha č. 3	Technická specifikace robotu MiR 250
Příloha č. 4	Technická specifikace robotu MiR 500
Příloha č. 5	Technická specifikace robotu MiR 1000
Příloha č. 6	Technická specifikace PCB cab magazínů
Příloha č. 7	Technická specifikace senzoru SICK GL6-P4211_1059241
Příloha č. 8	Technická specifikace senzoru SICK IME08-06NPSZT05-1071200
Příloha č. 9	Technická specifikace lineárního solenoidu SK-A09046
Příloha č. 10	Technická specifikace motoru INTERROLL EC 5000
Příloha č. 11	Technická specifikace válečku INTERROLL 3500
Příloha č. 12	Technická specifikace ovládací karty INTERROLL Multicontrol
Příloha č. 13	Technická specifikace měniče napětí TCL
Příloha č. 14	Technická specifikace PCL Siemens 1214C DC/DC/DC
Příloha č. 15	Výkresy sestavy DP_000_000_000 – Dopravníková nástavba
Příloha č. 16	Výkres podsestavy DP_000_111_000 – Dopravníkový box
Příloha č. 17	Výkres podsestavy DP_110_000_000 – Krytování
Příloha č. 18	Výkres podsestavy DP_000_100_000 – Dopravníková trať
Příloha č. 19	Výkresy podsestavy DP_000_200_000 – Komunikační box
Příloha č. 20	Výrobní výkres DP_000_000_002 – Vrchní kryt
Příloha č. 21	Výrobní výkres DP_000_000_006 – Držák čidla
Příloha č. 22	Výrobní výkres DP_000_000_007 – Úhelník
Příloha č. 23	Výrobní výkres DP_000_000_009 – Konzola
Příloha č. 24	Výrobní výkres DP_200_001 – Základová deska
Příloha č. 25	3D STEP model sestavy