

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI**  
**FAKULTA STROJNÍ**

**Studijní program:** B0715A270013 – Strojní inženýrství  
**Studijní specializace:** Průmyslové inženýrství a management

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Návrh a realizace AGV pro Training Factory s naskladňovacím a  
vyskladňovacím systémem**

**Autor:** Adam Kohout  
**Vedoucí práce:** Ing. Miroslav Malaga

Akademický rok 2022/2023

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
Fakulta strojní  
Akademický rok: 2022/2023

# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Adam KOHOUT**  
Osobní číslo: **S22B0033P**  
Studijní program: **B0715A270013 Strojní inženýrství**  
Specializace: **Průmyslové inženýrství a management**  
Téma práce: **Návrh a realizace AGV pro Training Factory s naskladňovacím a vyskladňovacím systémem**  
Zadávací katedra: **Katedra průmyslového inženýrství a managementu**

## Zásady pro vypracování

1. Analýza problematiky
2. Návrh a sestavení AGV s naskladňovacím a vyskladňovacím systémem pomocí stavebnice Fischertechnik
3. Návrh a vytvoření cesty a cílových míst pro AGV s ohledy na stávající Training Factory
4. Naprogramování a implementace AGV do stávající Training Factory
5. Závěr

Rozsah bakalářské práce: **30 – 40 stran**  
Rozsah grafických prací: **0**  
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam doporučené literatury:

1. MALAGA, Miroslav, ULRYCH, Zdeněk. *Základy řízení robotů pro strojní inženýrství*. 1. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2020. 145 s. ISBN 978-80-261-0486-5.
2. BRÄUNL, Thomas. *Embedded Robotics From Mobile Robots to Autonomous Vehicles with Raspberry Pi and Arduino*. 4. vyd. Berlín, Singapore: Springer, 2022. ISBN: 9789811608049.
3. TIMMONS-BROWN, Matt. *Learn Robotics with Raspberry Pi Build and Code Your Own Moving, Sensing, Thinking Robots*. 1. Vyd. San Francisco: No Starch Press Inc., 2019. ISBN: 9781593279202.
4. WANG, Shifeng. *Road Terrain Classification Technology for Autonomous Vehicle*. 1. Vyd. Peking: Springer Nature Singapore, 2019. ISBN: 9811361541.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Bc. Miroslav Malaga**  
Katedra průmyslového inženýrství a managementu

Konzultant bakalářské práce: **Doc. Ing. Zdeněk Ulrych, Ph.D.**  
Katedra výpočetní a didaktické techniky

Datum zadání bakalářské práce: **19. září 2022**

Termín odevzdání bakalářské práce: **26. května 2023**

L.S.

---

**Doc. Ing. Vladimír Duchek, Ph.D.**  
děkan

---

**Doc. Ing. Michal Šimon, Ph.D.**  
vedoucí katedry

## Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

V Plzni dne: .....

.....

podpis autora

## ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

<b>AUTOR</b>	<b>Příjmení</b> Kohout	<b>Jméno</b> Adam	
<b>STUDIJNÍ PROGRAM</b>	B0715A270013 Strojní inženýrství		
<b>VEDOUcí PRÁCE</b>	<b>Příjmení (včetně titulů)</b> Ing. Malaga	<b>Jméno</b> Miroslav	
<b>PRACOVISŤE</b>	ZČU – FST – KPV		
<b>DRUH PRÁCE</b>	<b>DIPLOMOVÁ</b>	<b>BAKALÁŘSKÁ</b>	<b>Nehodící se škrtněte</b>
<b>NÁZEV PRÁCE</b>	Návrh a realizace AGV pro Training Factory s naskladňovacím a vyskladňovacím systémem		

<b>FAKULTA</b>	strojní	<b>KATEDRA</b>	KPV	<b>ROK ODEVZD.</b>	2023
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

### POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

<b>CELKEM</b>	53	<b>TEXTOVÁ ČÁST</b>	53	<b>GRAFICKÁ ČÁST</b>	0
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

<b>STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</b> <b>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</b>	Cílem této práce je navrhnout a realizovat AGV s naskladňovacím a vyskladňovacím systémem pro Training Factory. V rámci práce je provedeno srovnání sensorů, které je možné v rámci zvolené stavebnice Fischertechnik využít. Dále práce obsahuje popis využívané řídicí jednotky a použitého vizuálního programovacího jazyka. Na závěr je popsáno vytvořené AGV, jeho řídicí kód, schopnosti a omezení.
<b>KLÍČOVÁ SLOVA</b> <b>ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</b>	AGV, Fischertechnik, automaticky řízená vozidla, programování v ROBOPro coding, Scratch vizuálního programovacího jazyka, Training Factory, vývoj AGV

## SUMMARY OF BACHELOR SHEET

<b>AUTHOR</b>	<b>Surname</b> Kohout	<b>Name</b> Adam	
<b>STUDY PROGRAMME</b>	B0715A270013 Mechanical Engineering		
<b>SUPERVISOR</b>	<b>Surname (Inclusive of Degrees)</b> Ing. Malaga	<b>Name</b> Miroslav	
<b>INSTITUTION</b>	ZČU – FST – KPV		
<b>TYPE OF WORK</b>	<b>DIPLOMA</b>	<b>BACHELOR</b>	<b>Delete when not applicable</b>
<b>TITLE OF THE WORK</b>	Design and implementation of AGV for Training Factory with loading and unloading system		

<b>FACULTY</b>	Mechanical Engineering	<b>DEPARTMENT</b>	KPV	<b>SUBMITTED IN</b>	2023
----------------	------------------------	-------------------	-----	---------------------	------

### NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

<b>TOTALLY</b>	53	<b>TEXT PART</b>	53	<b>GRAPHICAL PART</b>	0
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

<b>BRIEF DESCRIPTION</b> <b>TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS</b>	The goal of this work is to design and implement an AGV with loading and unloading system for a training factory. The work includes a comparison of sensors that can be used within the selected Fischertechnik kit. Furthermore, the thesis contains a description of the control unit used and the visual programming language used. At the end, the created AGV, its control code, capabilities and limitations are described.
<b>KEY WORDS</b>	AGV, Fischertechnik, automatically guided vehicle, programing in ROBOPro coading, Training Factory, scratch of visual programming, development of AGV

## Obsah

Přehled použitých zkratk a symbolů.....	3
Seznam příloh.....	3
Seznam obrázků: .....	4
Seznam tabulek .....	5
Úvod.....	6
1 Definice AGV .....	7
2 Způsoby řízení AGV v praxi.....	8
2.1 Řízení pomocí vodícího drátu.....	8
2.2 Řízení pomocí optických snímačů.....	8
2.3 Řízení pomocí magnetické pásky .....	9
2.4 Řízení pomocí pozemních značek (transpondéry).....	9
2.5 Řízení pomocí laseru .....	10
2.6 Řízení pomocí kamer.....	11
2.7 Řízení pomocí GPS .....	11
2.8 Přehled kladů a záporů jednotlivých technologií .....	11
3 Training Factory.....	13
4 Stavebnice Fischertechnik .....	14
4.1 Možnosti navigace ve Fischertechnik.....	14
4.1.1 Optický barevný senzor.....	14
4.1.2 IR-track senzor (senzor dráhy).....	15
4.1.3 USB kamera .....	16
4.2 Řídící jednotka Fischertechnik .....	16
4.3 Programování řídicích jednotek Fischertechnik .....	17
4.4 Možnosti ovládání jízdy AGV ve Fischertechnik .....	18
4.4.2 Ackermanovo řízení .....	20
4.4.3 Smykové řízení.....	20
4.4.4 Omni Wheels.....	21
5 Řízení AGV .....	23
5.1 Sledování nakreslené čáry .....	23
5.1.1 Základní model testovacího robota .....	23
5.1.2 Optický barevný senzor.....	23
5.1.3 IR-track senzor (senzor dráhy).....	25

5.1.4	USB kamera .....	26
5.1.5	Vyhodnocení provedených testů sledování čáry .....	27
5.2	Značky pro vykládku a nakládku.....	27
5.3	Shrnutí možností použití jednotlivých senzorů .....	29
5.3.1	Použití optického barevného senzoru.....	29
5.3.2	Použití senzoru dráhy .....	29
5.3.3	USB kamera .....	30
6	Vykládkový a nakládkový systém .....	31
6.1	První pokusy s pneumatickým systémem.....	32
6.2	Implementace pneumatického systému na AGV.....	32
6.3	Otočný mechanismus ramene .....	33
7	Řídicí program .....	35
8	Shrnutí technického sestavení AGV .....	40
8.1	Implementace AGV do TF .....	42
8.2	Nedostatky a omezení robota .....	43
8.2.1	Počet výstupů řídicí desky.....	43
8.2.2	Úzké místo při nakládce .....	43
8.2.3	Přesnost snímání velkého množství barevných značek.....	44
	Závěr.....	45
	Seznam použitých zdrojů .....	46



## **Přehled použitých zkratk a symbolů**

<b>TF</b>	Training Factory
<b>AGV</b>	automatically guided vehicle – automaticky řízené vozidlo
<b>IR</b>	infračervený
<b>USB</b>	universální sériová sběrnice
<b>GPS</b>	globální polohový systém

## **Seznam příloh**

Příloha 1: zdrojový kód

Příloha 2: Video – práce AGV

## Seznam obrázků:

Obrázek 1: AGV se specializovanými vidlicemi [1].....	7
Obrázek 2: Řízení pomocí vodícího drátu [5] .....	8
Obrázek 3: Řízení pomocí optického senzoru [5] .....	9
Obrázek 4: Řízení pomocí transpondéru [5] .....	10
Obrázek 5: Řízení pomocí laseru [5].....	10
Obrázek 6: Řízení pomocí GPS [5].....	11
Obrázek 7: Training Factory .....	13
Obrázek 8: Optický barevný senzor .....	15
Obrázek 9: IR-track senzor.....	15
Obrázek 10: USB kamera.....	16
Obrázek 11: Řídící jednotka TXT 4.0 Controller.....	17
Obrázek 12: ROBO Pro coding.....	18
Obrázek 13: Diferenciální pohon [15].....	19
Obrázek 14: Ackermanovo řízení [15].....	20
Obrázek 15: Smykové řízení [15] .....	21
Obrázek 16: Omni wheels ve Fischertechnik [16].....	21
Obrázek 17: Design se třemi koly [15] .....	22
Obrázek 18: Design se čtyřmi koly [15] .....	22
Obrázek 19: Základní model robota [17] .....	23
Obrázek 20: Program pro sledování čáry barevným senzorem.....	24
Obrázek 21: Optický barevný senzor .....	24
Obrázek 22: IR-track senzor .....	25
Obrázek 23: Zdrojový kód sledování čáry pomocí senzoru dráhy.....	26
Obrázek 24: Robot s USB kamerou [18] .....	27
Obrázek 25. Kód pro rozpoznání barev .....	28
Obrázek 26: Dráha pro testování značek.....	28
Obrázek 27: Schéma pneumatického systému .....	31
Obrázek 28: AGV s ramenem pro nakládku a vykládku puků.....	33
Obrázek 29: Detail systému pro měření rotace ramene .....	34
Obrázek 30: AGV s otočným ramenem pro vykládku a nakládku puků.....	34
Obrázek 31: Konfigurace zapojení řídicí jednotky .....	35
Obrázek 32: Definování proměnných .....	36
Obrázek 33: Kód pro sledování čáry .....	37

Obrázek 34: Kód pro vykládku a nakládku puků .....	39
Obrázek 35: AGV pohled ze přední strany .....	40
Obrázek 36: AGV Pohled z pravé strany .....	41
Obrázek 37: AGV Pohled z levé strany .....	42
Obrázek 38: Trasa s pásovými dopravníky .....	43

## **Seznam tabulek**

Tabulka 1: Přehled kladů a záporů jednotlivých technologií [6] [5].....	12
Tabulka 2: Vlastnosti jednotlivých senzorů .....	29

## Úvod

Současná doba je charakteristická neustálým a rychlým technickým a technologickým pokrokem a s tím souvisejícím i rychlým vývojem trhu. Pro firmy je důležité udržet krok s tímto vývojem a uspět ve vysokém konkurenčním prostředí. Zákazník je stále náročnější, ke splnění jeho požadavků je potřeba se zaměřit na vývoj a implementaci nových technologií včetně automatizace. Ve firmách je proto při sériové výrobě snaha o automatizaci nejen v oblasti samotné výroby, ale také v oblasti logistiky a přepravy materiálu a zboží. Jedním ze způsobů automatizace může být použití automaticky řízených vozíků neboli AGV (automatically guided vehicle). Implementací těchto vozíků do výrobního procesu je zajištěna dodávka materiálu v pravidelných intervalech po předem naprogramované trase. Vozík je schopný zastavit na více vykládkových místech, čímž dokáže zásobovat i více linek najednou. V dnešní době je na trhu již mnoho firem dodávajících autonomní vozíky pro přepravu různých druhů materiálu a zboží. Vozíky se liší především druhem navigace a maximální nosností. Výrobce přizpůsobuje parametry AGV přímo zákazníkovi a jeho potřebám.

Na základě vývoje automatizace a snahy vizualizovat žákům výrobní podmínky došlo k vytvoření Training Factory (TF). Jedná se o simulaci automatické výrobní linky vytvořené pomocí stavebnice Fischertechnik. TF se používá pro podporu výuky a ke sběru dat při simulaci automatického výrobního procesu. Vzhledem ke stále častějšímu používání autonomních vozíků v praxi a plánovanému rozšíření TF je zapotřebí zakomponovat AGV i do automatizovaného systému TF. Pro zamýšlené potřeby TF obsahující AGV je potřeba udělat rešerši možností navigace a schopností přemisťovat různé objekty v reálných systémech, analýzu dostupného hardware ve stavebnici a podle toho zvolit vhodné komponenty a navrhnout, postavit a naprogramovat AGV pro potřeby TF.

Cílem této práce je sestavit a implementovat AGV pro potřeby rozšíření TF. AGV pro Training Factory bude vytvořeno taktéž pomocí stavebnice Fischertechnik. AGV musí disponovat nakládkovým a vykládkovým systémem kompatibilním se stávajícím systémem TF, dále musí být schopné rozeznat barvu naloženého puku, který simuluje produkt, a ten následně dovést na předem určené místo. AGV se bude pohybovat po předem vyznačené trase. Trasa bude vyznačena pomocí různě barevných čar na zemi. Barvy čar budou odpovídat barvě puků. Proto bude nutné zanalyzovat hardwarové možnosti, které nabízí stavebnice Fischertechnik pro sledování nakreslené čáry, a z nich zvolit tu nejvhodnější variantu. Stejně tak je nezbytné vytvořit a naprogramovat systém pro sledování čáry a nakládku a vykládku puku na daných místech tak, aby byl systém kompatibilní s dosavadní částí TF. Dále bude nutné vytvořit řídicí program pomocí vizuálního programového jazyka, který bude ovládat celé AGV, a všechny jeho funkce. AGV by následně mělo kooperovat s TF a pracovat naprosto samostatně bez nutnosti okolního zásahu.

## 1 Definice AGV

AGV (automatically guided vehicle) neboli automaticky řízená vozidla jsou vozidla schopná se bez nutnosti ovládní nebo dohledu operátora pohybovat na předem určené nebo naprogramované trase. [1] Může se jednat o vozidla určená k přepravě osob, nebo o vozíky přepravující různé druhy materiálu a zboží používané např. ve výrobních a skladovacích halách. [2]

Některé autonomní vozíky mohou být vybaveny zvedacím mechanismem a různými druhy vidlic, které usnadňují obsluhu. Na trhu jsou dostupné také modely AGV speciálně navržené pro dopravu palet, skříňových kontejnerů, materiálových svitků a velkorozměrových nákladů. [3] Jeden z takto specializovaných vozíků je možné vidět na Obrázek 1. Používání těchto autonomních vozíků umožňuje ve výrobních či skladovacích prostorech propojení míst určených k vykládce a nakládce. [1] Je však třeba mít na paměti, že tato místa zastavení musí být dále nutně vybavena válečkovými nebo řetězovými dopravníky nebo jinými zařízeními, která jsou schopna přenést náklad a zajistit spojení s jinými místy v objektu.



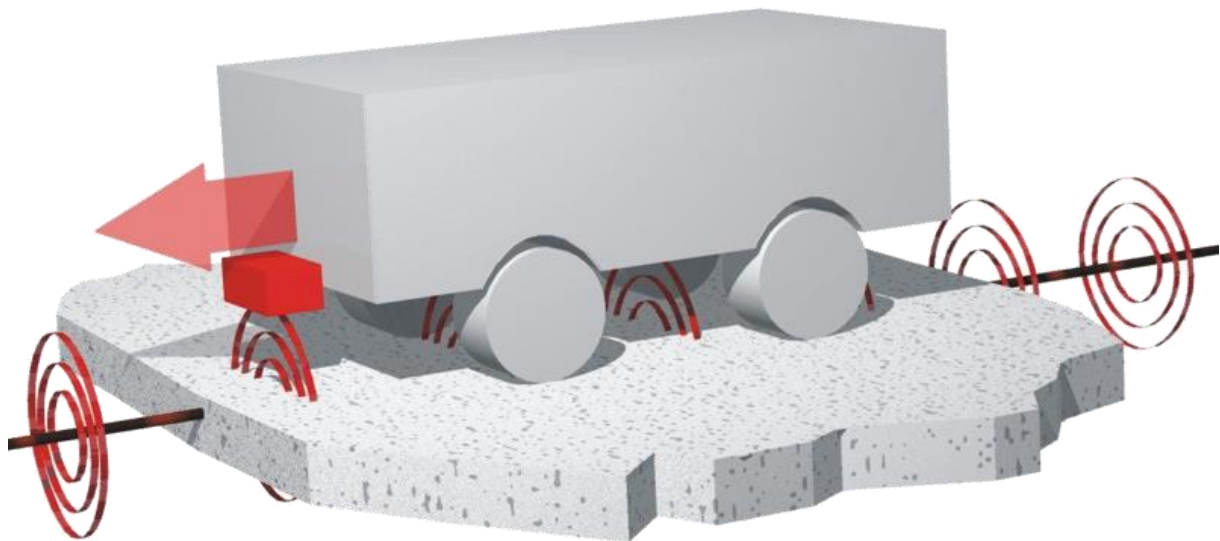
Obrázek 1: AGV se specializovanými vidlicemi [1]

## 2 Způsoby řízení AGV v praxi

Specifika výrobních, či skladovacích hal, jako např. rozlehlost prostoru, možnosti výskytu překážek na trase, čistota okolního prostředí, případný pohyb ve venkovním prostředí, určují požadavky na způsob vymezení trasy vozíků a tím v podstatě na technologii jeho řízení. Trasa vozíku může být vymezena mechanicky, např. vodičím drátem, nebo elektronicky. Zvolená technologie řízení vozíku a vymezení trasy má následně vliv např. na maximální rychlost, míru obtížnosti měnit trasu vozíku a jeho schopnost reagovat na překážku různými způsoby – zastavit, objet, přejet. [4] Klady a zápory všech technologií jsou přehledně popsány v kapitole 2.8 v Tabulka 1.

### 2.1 Řízení pomocí vodičího drátu

Při použití této technologie je trasa vymezena pomocí drátu, který je uložen ve vyfrézované drážce v zemi. Drátem prochází střídavý elektrický proud, který produkuje elektromagnetické pole. [5] V přední části vozíku je umístěna indukční cívka, která snímá velikost elektromagnetického pole a tím určuje směr pohybu vozíku. Princip této technologie je vidět na Obrázek 2. [6] Tento způsob navigace je vhodný pro všechny velikosti vozíků a zaručuje funkčnost jak při velkých, tak i při malých rychlostech. Vzhledem k zahřazení drátu v drážce je tento způsob navigace odolný vůči nečistotám na dráze. Nevýhodou je nákladná a pracná změna trasy.

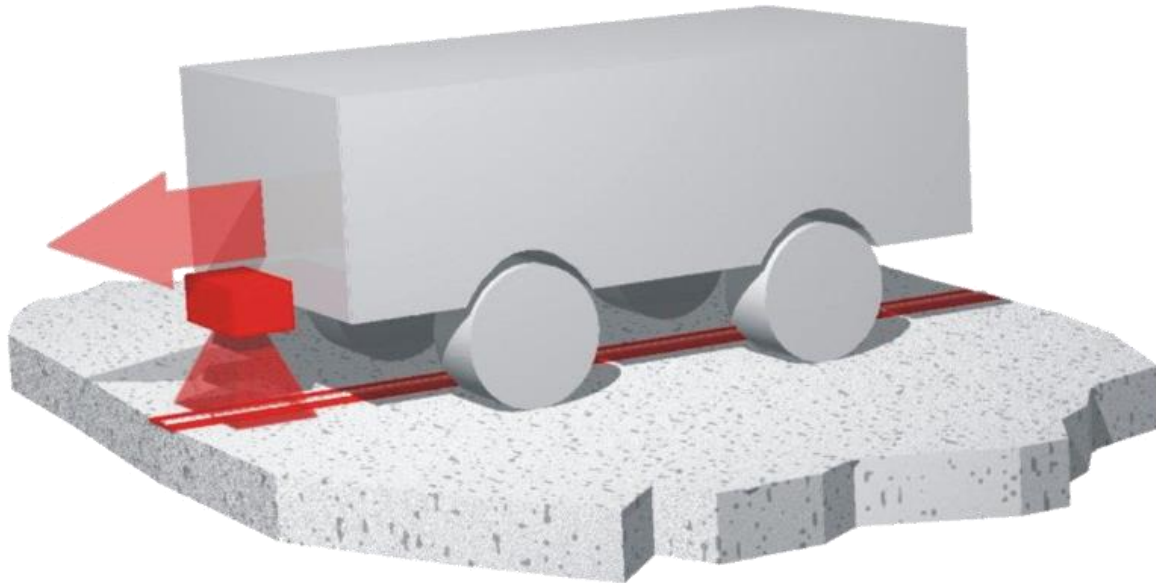


Obrázek 2: Řízení pomocí vodičího drátu [5]

### 2.2 Řízení pomocí optických snímačů

Trasa je při tomto způsobu navigace vytvořena pomocí viditelné čáry na zemi. Čára může být vytvořena pomocí pásky nebo barvy. Rozpoznávání stopy se provádí pomocí moderních kamer a systémů pro zpracování obrazu, které je možné vidět na Obrázek 3 a jsou opět umístěny v přední části vozíku. [7] Dnešní technologie je schopná zaručit sledování i přerušené čáry. Kamery jsou schopné rozpoznat kódované stopy nebo optické značky. [5] Výhodou této

technologie je snadné vytvoření vodící čáry a také možnost změny trasy. Nevýhodou mohou být větší nečistoty na trase, které by vedly k velkému přerušení čáry a tím k zastavení vozíku. Další nevýhodou mohou být měnící se světelné podmínky, které ovlivňují viditelnost čáry. [6]



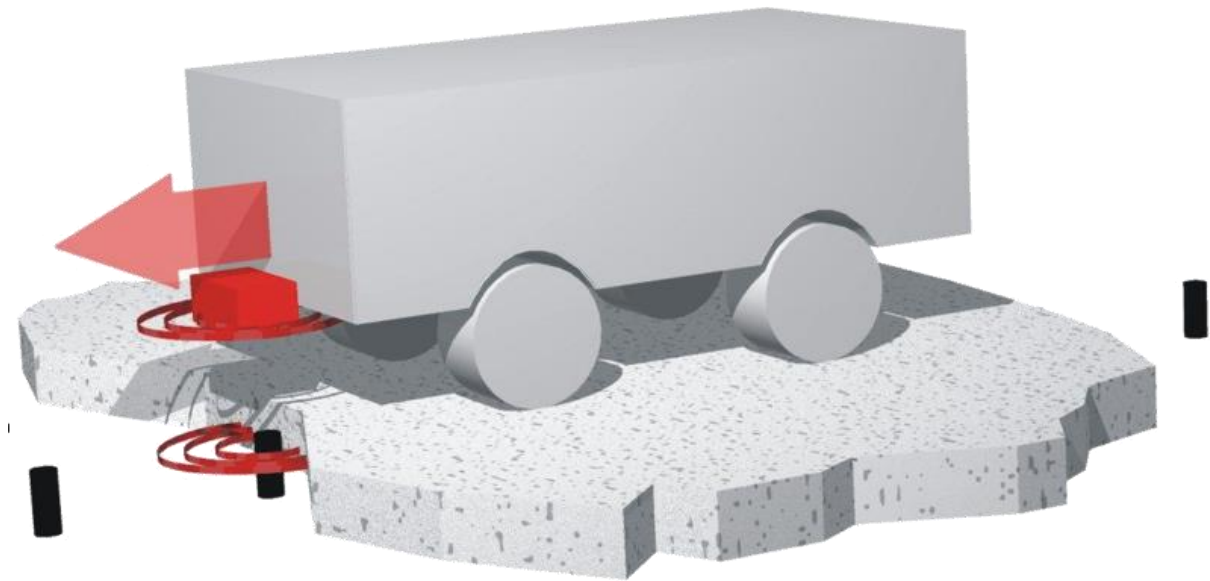
Obrázek 3: Řízení pomocí optického senzoru [5]

### 2.3 Řízení pomocí magnetické pásky

Tento způsob je podobný optickému způsobu. Trasa je na zemi vyznačena pomocí magnetické pásky. Na přední části vozíku se nachází elektromagnetický snímač, který snímá magnetické pole pásky a tím určuje směr pohybu. Výhodou je jednoduchá instalace dráhy a její případné změny. [6] Nevýhodou je nutnost časté údržby magnetické pásky, tato technologie není vhodná pro složitější trasy.

### 2.4 Řízení pomocí pozemních značek (transpondéry)

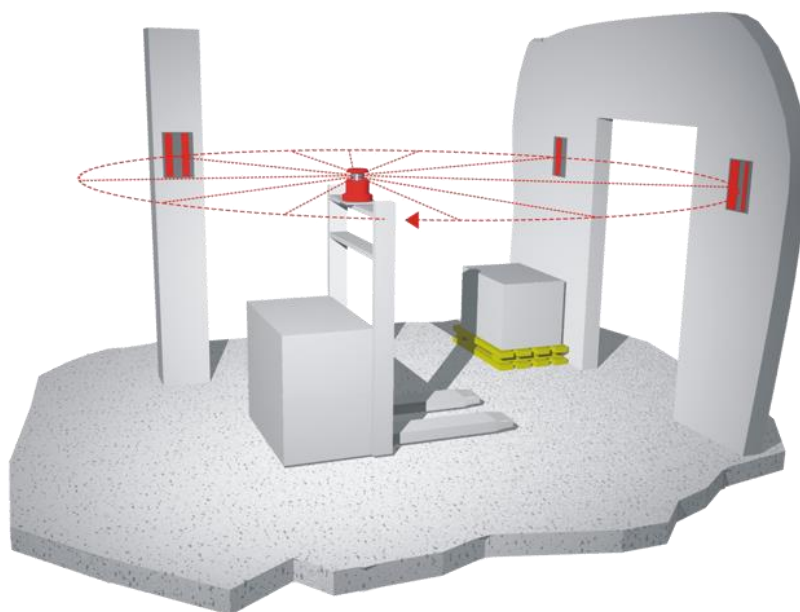
Trasa je vyznačena pomocí takzvaných transpondérů. Jak je možné vidět na Obrázek 4, transpondéry jsou rozmístěny v zemi v daných rozestupech. [5] Vozík je vybaven anténou, která vyhodnocuje signály z transpondérů a generuje polohový impuls. Jakmile je transpondér v blízkosti antény, anténa jej bezdrátově napájí indukční energií. Transpondér využívá tuto energii k cyklickému vysílání svého kódu a jejich poloha je pak detekována s přesností na milimetry nebo centimetry. [3] Vozidlo tak může identifikovat svoji polohu podélně anebo příčně. Transpondéry nepotřebují jiný zdroj napájení nebo baterii. [6] Nevýhodou je nákladná a pracná příprava a případná změna trasy oproti dvěma předchozím způsobům řízení. Výhodou je necitlivost na vnější nečistoty na dráze a světelné podmínky. [8]



Obrázek 4: Řízení pomocí transpondéru [5]

## 2.5 Řízení pomocí laseru

Tento způsob je velmi výhodný, pokud je potřeba velké flexibility trasy. Vozík je vybaven laserovým skenerem, který vysílá a přijímá laserový signál. Signál se odráží od odrazek umístěných na krajních bodech dráhy. [5] Odrazky (viz Obrázek 5) je možné umístit na stěny, ale pro dosažení větší přesnosti je vhodné odrazky umístit na stropy. [6] Díky laserovým skenerům je vozidlo schopné identifikovat pozici a směr, kterým jede, s velkou přesností. Ve spojení se senzory pro detekci překážek (ultrazvukové, optické senzory) se lze překážkám vyhnout a vozidlo je dle naprogramování vedeno do cíle alternativními trasami. [9]



Obrázek 5: Řízení pomocí laseru [5]

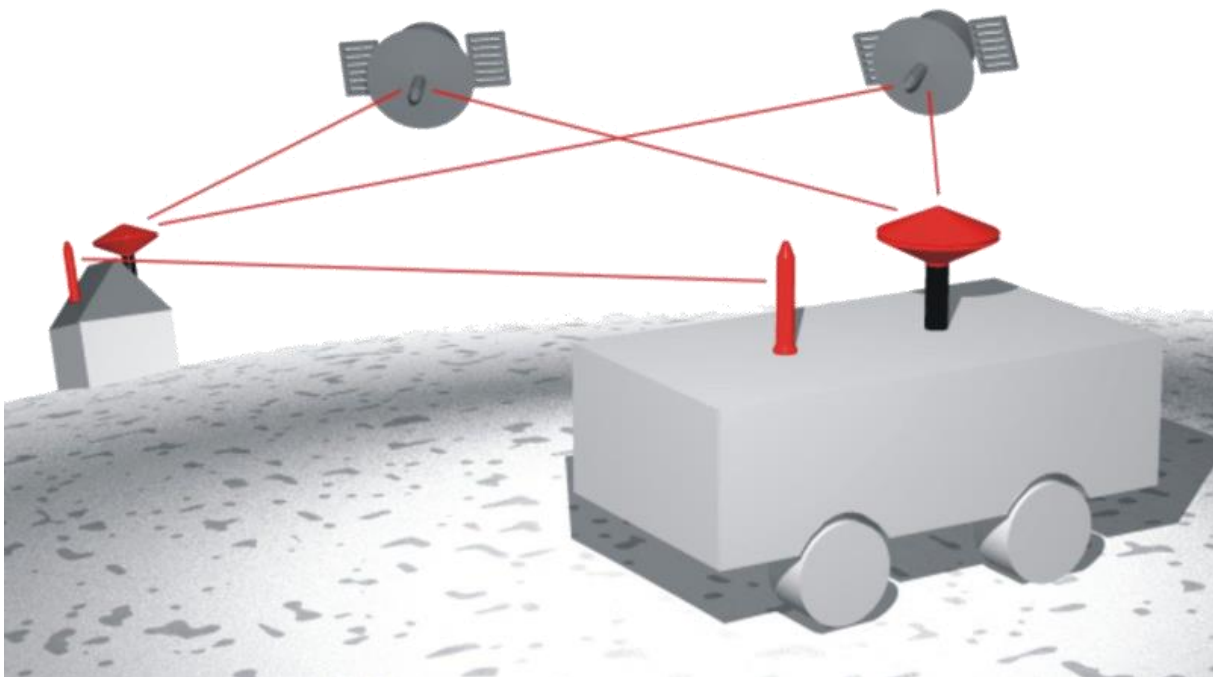


## 2.6 Řízení pomocí kamer

Jako alternativu k laserovému navádění je možné použití kamerového systému. Na krajních bodech dráhy jsou umístěny kamery, které snímají vozík. Vozík podle obrazu z kamer vyhodnocuje svoji polohu a směr pohybu. [5] Díky kamerám je vozík schopný rozpoznat překážky a vyhnout se jim bez nutnosti dalších senzorů.

## 2.7 Řízení pomocí GPS

Tato technologie (viz Obrázek 6) je založená na stejném principu, který se používá například u GPS navigací pro automobily. Vozík je vybaven GPS přijímačem, který je díky satelitnímu signálu přesně schopný určit polohu vozíku. [7] Tento způsob je velmi výhodný pro použití ve venkovním prostředí. [5] Princip této technologie je možné vidět na Obrázek 6.



Obrázek 6: Řízení pomocí GPS [5]

## 2.8 Přehled kladů a záporů jednotlivých technologií

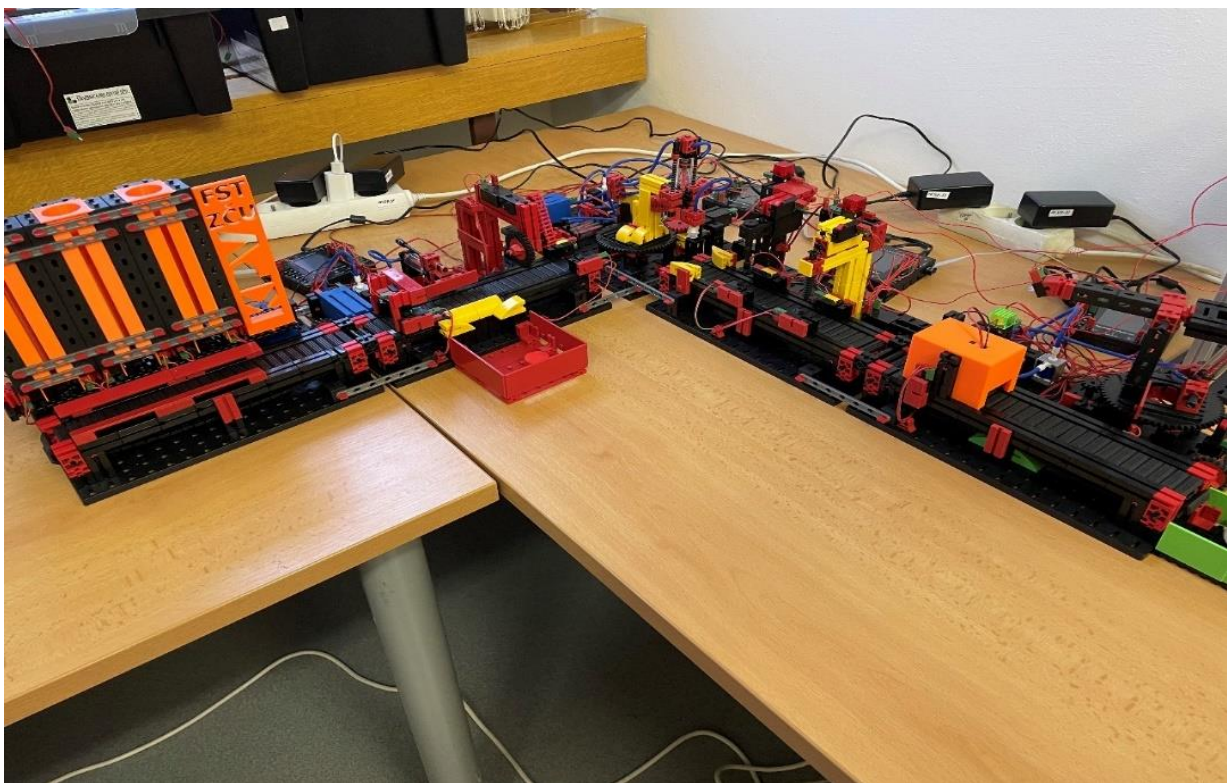
V následující tabulce (Tabulka 1) jsou pro větší přehlednost popsány veškeré klady a zápory ke každému z výše uvedených způsobů řízení. Při výběru varianty pro použití v praxi je nutné zohlednit všechny tyto vlastnosti a vybrat tu, která bude nejvíce vyhovovat podmínkám, ve kterých bude používána.

Tabulka 1: Přehled kladů a záporů jednotlivých technologií [6] [5]

<b>NÁZEV TECHNOLOGIE</b>	<b>KLADY</b>	<b>ZÁPORY</b>
<b>VODÍCÍ DRÁT</b>	Necitlivost na nečistoty na dráze a na světelné podmínky	Nákladné a pracné vymezení a změna trasy
<b>OPTICKÉ SNÍMAČE</b>	Jednoduché vymezení a změna trasy Nízká cena	Citlivost na světelné podmínky a nečistoty na dráze
<b>MAGNETICKÁ PÁSKA</b>	Jednoduché vymezení a změna trasy Necitlivost na nečistoty a světelné podmínky Nízká cena	Nutná údržba pásky Nevhodné pro složitější trasy
<b>TRANSPONDÉRY</b>	Necitlivost na nečistoty a světelné podmínky	Nákladné a pracné vymezení a změna trasy Vyšší cena než předchozí technologie
<b>LASER</b>	Jednoduché vymezení a změna trasy Ve spojení s dalším senzorem možnost detekovat překážky a vyhnout se jim Necitlivost na nečistoty a světelné podmínky Nižší cena než pomocí kamer	Nutnost rozmístit odrazky Vyšší cena než předchozí technologie
<b>KAMERA</b>	Jednoduché vymezení a změna trasy Možnost samostatně detekovat překážky a vyhnout se jim Necitlivost na nečistoty a světelné podmínky	Citlivost na světelné podmínky Nutnost rozmístění kamer Vyšší cena než pomocí laseru
<b>GPS</b>	Jednoduché vymezení a změna trasy Ve spojení s dalším senzorem možnost detekovat překážky a vyhnout se jim Vhodné pro venkovní použití Necitlivost na nečistoty a světelné podmínky	Vysoká cena

### 3 Training Factory

Pro simulaci výrobního procesu byla vytvořena Training Factory (viz Obrázek 7). TF byla vytvořena pomocí stavebnice Fischertechnik a může být použita k podpoře výuky a ke sběru dat při simulaci výrobního procesu. TF dokáže simulovat poruchy, a dokonce i výrobu zmetků a jejich následné odstranění z výrobního procesu. Na začátku simulace výrobního procesu je vyskládněn ze zásobníků různě barevný puk na dopravníkový pás. Puky mají za úkol simulovat reálné výrobky. Puk se pomocí dopravníkových pásů posouvá na 1. stanoviště, kde podle programu stráví daný čas. Zde dochází k rozpoznání zmetků a k jejich následnému vyřazení z výroby. Poté pokračuje na další stanoviště. Každé stanoviště simuluje jiný výrobní proces, jedná se o procesy řezání, frézování, vrtání a sváření s předehřevem. TF je rozdělena na 2 navazující větve linky a každá větev linky se skládá z několika dopravníků. Předání puku mezi těmito dvěma větvemi linky probíhá pomocí vakuového ramena, které přisaje puk a přesune ho na jiný pás. Tam dále puk pokračuje na další výrobní stanoviště. Každá barva puku představuje jiný výrobek. Barva puku se rozpoznává pomocí barevného senzoru před posledním stanovištěm, tedy před svářením. Každé barvě puku byl předem naprogramovaný čas, který následně stráví na posledním stanovišti. Na konci pásu po posledním stanovišti (po svařování) puk převezme AGV, které bude výsledkem této práce a přemístí puk na další část Training Factory. AGV samo rozpozná barvu puku a podle dané barvy převezme puk na programem určené místo v další části TF, kde jej následně samo vyloží. Tato část TF ještě není hotova, ale předpokládá se, že místo vykládky bude totožné s místem nakládky.



Obrázek 7: Training Factory

## 4 Stavebnice Fischertechnik

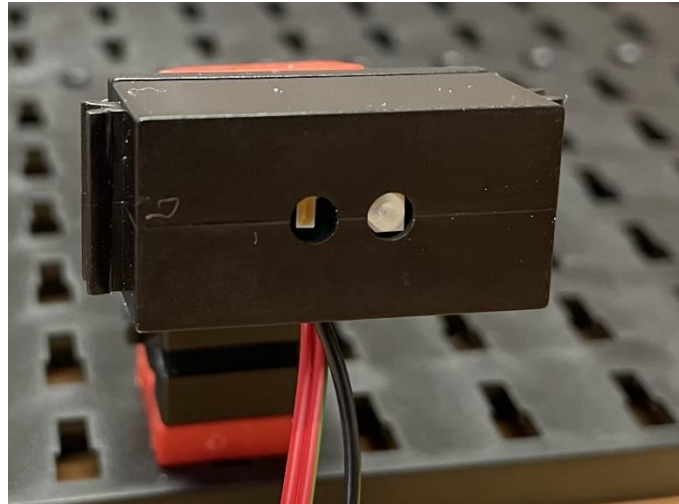
Stavebnice Fischertechnik předávají základní technické znalosti hravou formou a jsou rozděleny podle úrovně znalostí stavitele. Stavebnice nabízí rozsáhlé množství komponentů od základních stavebních prvků až po množství programovatelných senzorů, motorů a jiných komponentů. Lze ji použít při podpoře výuky, kde se studenti mohou seznámit a vyzkoušet si základní technické principy v praxi a naučit se programové myšlení při sestavování řídicích programů. Programování je realizováno pomocí vizuálního programového jazyka, který je doprovázen zápisem v programovacím jazyce Python. [10] Pomocí pokročilejších verzí stavebnice je možné vytvořit i složité simulace reálných situací a procesů, např. reálných výrobních procesů, jako je to v našem případě Training Factory a AGV. Reálný program pro řízení robota je možné vidět na Obrázek 12.

### 4.1 Možnosti navigace ve Fischertechnik

Stavebnice Fischertechnik nabízí pouze některé možnosti ovládání a určování trasy AGV robota. Jedná se zejména o sledování nakreslené čáry, tím pádem je nutné použít především optické snímače. Jiné způsoby určování trasy by nebyly vhodné vzhledem k nákladnému a složitému vyznačení trasy, které je potřeba často měnit, jako je například u navigace pomocí vodícího drátu nebo pomocí transpondérů. Navigace pomocí laseru také není vhodná vzhledem k nutnosti instalace odrazek, které by se musely často přemísťovat vzhledem k používání robota v různých lokacích. Ve stavebnici Fischertechnik jsou na výběr tři senzory vhodné pro sledování nakreslené čáry. Funkce a výhody či nevýhody jednotlivých senzorů jsou popsány v dalších odstavcích.

#### 4.1.1 Optický barevný senzor

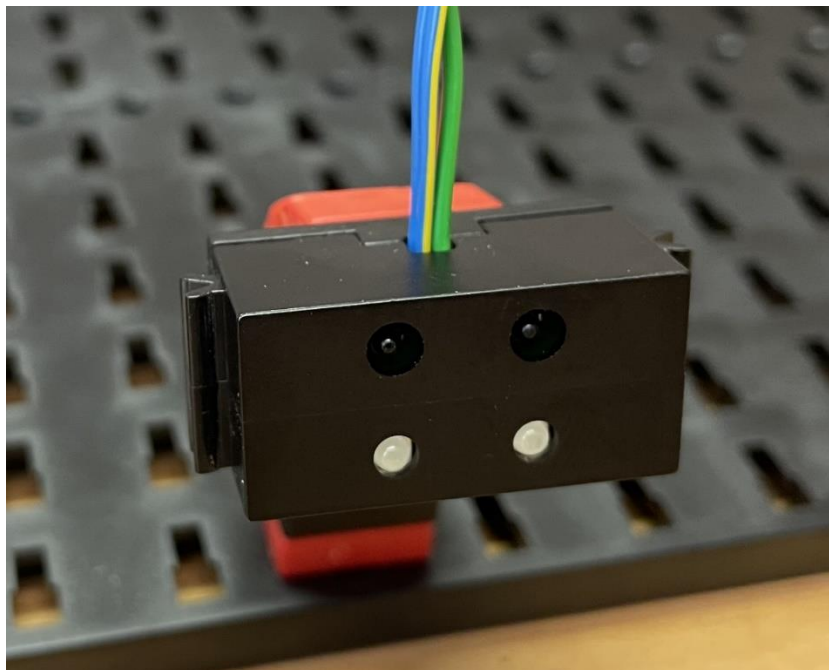
Optický barevný senzor měří vlastnost povrchových barev nebo světelných zdrojů. Hodnoty, získané tímto senzorem, se budou lišit v závislosti na osvětlení místnosti, vzdálenosti od snímaného povrchu a tvaru snímaného povrchu. Senzor barvy, jehož konstrukci je možné vidět na Obrázek 8, se skládá z jedné LED, která prostor před senzorem osvětluje, a receptoru, který zachycuje odražené světlo (princip je postavený na tom, že materiály absorbují různá množství světla na základě barvy, typu materiálu a textury povrchu). Senzorem naměřená (vrácená) hodnota není přímo daná barva, ale pouze číselná hodnota. Proto je nutné v programu ke každé číselné hodnotě přiřadit danou barvu, např. červenou. Vzhledem k okolním podmínkám nám senzor pokaždé vrátí lehce odchylnou hodnotu. Z tohoto důvodu nelze každé barvě přiřadit pouze jednu hodnotu, ale vhodně zvolený interval hodnot. [11] Použití senzoru barvy není příliš vhodné pro sledování čáry, neboť robot není schopný poznat, na jaké straně čáry se nachází, a není schopný rozlišit, v jakém směru se odchyľuje od čáry. Proto nelze s jistotou určit, na jakou stranu má robot zatočit, aby se vrátil na čáru. Je schopen rozeznávat pouze dva stavy: robot se nachází na čáře a robot čáru opustil.



Obrázek 8: Optický barevný senzor

#### 4.1.2 IR-track senzor (senzor dráhy)

Primární funkcí tohoto senzoru je sledování nakreslené čáry. Senzor (viz Obrázek 9) se skládá ze dvou LED, které osvětlují prostor před senzorem, a dvou snímačů, které vracejí hodnoty 1 a 0 (1 = černá a 0 = bílá barva). Pokud se senzor nachází přímo nad čarou, hodnoty z obou snímačů se rovnají 1. Pokud se robot začne vychylovat od čáry a jeden ze snímačů opustí prostor nad čarou, vrátí daný snímač do řídicí jednotky hodnotu 0. [11] Vzhledem ke dvojici snímačů robot rozezná, jakým směrem se vychyluje od čáry. Díky tomu je robot vhodným naprogramováním schopen natočit se správným směrem a vrátit se zpět na čáru. Nevýhodou senzoru dráhy je, že robot nerozeznává různě barevné čáry. Minimální tloušťka čáry je 20 milimetrů, minimální vzdálenost od čáry je 8 milimetrů a maximální vzdálenost je 25 milimetrů. [12] Při nedodržení těchto parametrů nebude tento senzor správně fungovat.



Obrázek 9: IR-track senzor

### 4.1.3 USB kamera

Jedná se o jednoduchou kameru (viz Obrázek 10), která snímá obraz před sebou, a dle naprogramování je možné ji využít pro více věcí. V tomto případě je zásadní její schopnost určovat polohu čáry, její tloušťku, je také schopná rozeznávat i různě barevné čáry. Kamera určuje polohu čáry na stupnici od středu obrazu. Ostatní dostupné senzory jsou schopné pouze určit, zda se robot nachází na čáře, či nikoliv. Oproti tomu kamera je schopná určit i vzdálenost robota od čáry, díky tomu je možné vhodným programováním upravit chování robota při různých vzdálenostech. Kamera je připojena k řídicí jednotce pomocí USB kabelu. Kamera je schopná snímat až 15 snímků za vteřinu v rozlišení 1 MPx. Disponuje také schopností manuálního zaostření. [12] Nevýhodou kamery je poměrně vysoká citlivost na světelné podmínky a pro použití sledování trasy poměrně malý počet snímků za vteřinu.



Obrázek 10: USB kamera

## 4.2 Řídicí jednotka Fischertechnik

Hlavní řídicí jednotka používaná ve Fischertechnik je TXT 4.0 Controller. Tato řídicí jednotka bude použita také při sestavování již zmíněného AGV a bude sloužit jako „mozek“ celého AGV. Řídicí jednotka disponuje procesorem Arm dual Cortex-A7 o frekvenci 650 MHz, 512 MB RAM úložného prostoru pro ukládání zdrojových kódů, dotykovým displejem, modulem Wi-Fi a Bluetooth, díky kterým je možné bezdrátové ovládání. [13] Na řídicí jednotce se nachází tlačítko pro zapnutí a vypnutí, vstup pro napájení, mini USB vstup pro připojení počítače a nahrávání programů do řídicí jednotky. Řídicí jednotku lze napájet přímo ze sítě nebo ji napájet pomocí baterie. Napájení pomocí baterie je vhodné pro samostatně pohyblivé projekty. Dále je k dispozici reproduktor pro přehrávání audia a mikrofon. Řídicí jednotka je vybavena různými druhy vstupů a výstupů:

- 1 USB vstup pro připojení například USB kamery
- 8 univerzálních vstupů (I1-I8), lze je využít buď jako digitální nebo analogové (digitální snímají stav 1/0, analogové snímají buď napětí, nebo proud)

- 4 výkonové výstupy (M1-M4), které dodávají proud 9 V do každé součásti, která je k nim připojena (motory, lampy, bzučáky nebo elektromagnety), jedná se o diferenciální výstupy, což umožňuje chod motorů v obou směrech
- 4 digitální vstupy (C1-C4), snímají stav 1/0, použití pro: přepínače, fototranzistory nebo pro enkodéry na motorech – tedy pro krokový motor, pokud chceme řídit jeho otáčky nebo synchronizovat s jiným

Jednotlivé vstupy a výstupy je možné vidět na Obrázek 11. [11] K jednomu kontroléru je možné připojit až osm dalších kontrolérů jako rozšíření.

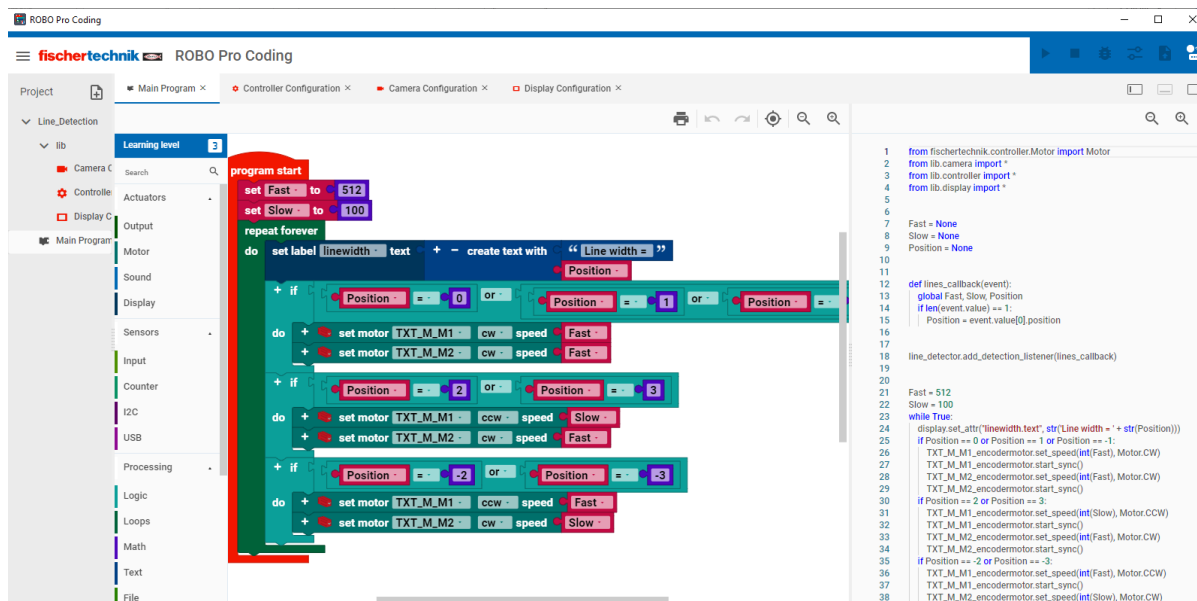


Obrázek 11: Řídící jednotka TXT 4.0 Controller

### 4.3 Programování řídicích jednotek Fischertechnik

Programování pro stavebnici Fischertechnik se provádí v aplikaci ROBO Pro Coding. Aplikace je dostupná zdarma na webových stránkách Fischertechniku. Samotné programování se provádí ve vizuálním programovém jazyce. V aplikaci je možné si zvolit úroveň programovacích schopností. S každou vyšší úrovní se objevují pokročilejší příkazy. Jedná se o

poměrně jednoduchý a snadno pochopitelný způsob programování. Jednotlivé kroky programu jsou vytvořeny pomocí předpřipravených příkazů, které je možné vidět na Obrázek 12. Příkazy jsou logicky barevně odlišeny. Tyto příkazy se pouze přetahují na pracovní plochu a skládají se dohromady, čímž vzniká výsledný program. Zároveň s vizuálním programováním se také automaticky píše i zdrojový kód v programovacím jazyce Python. V případě potřeby je možné kombinovat grafický způsob programování s programováním v Pythonu pomocí grafických programovacích bloků určených pro vkládání Python kódu. [14] Pro spuštění programu je nutné propojit počítač s řídicí jednotkou. Programy lze také nahrávat a trvale ukládat přímo do řídicí jednotky a přímo z ní je následně i spouštět. V tomto případě není potřeba neustálého propojení mezi počítačem a řídicí jednotkou.



Obrázek 12: ROBO Pro coding

## 4.4 Možnosti ovládání jízdy AGV ve Fischertechnik

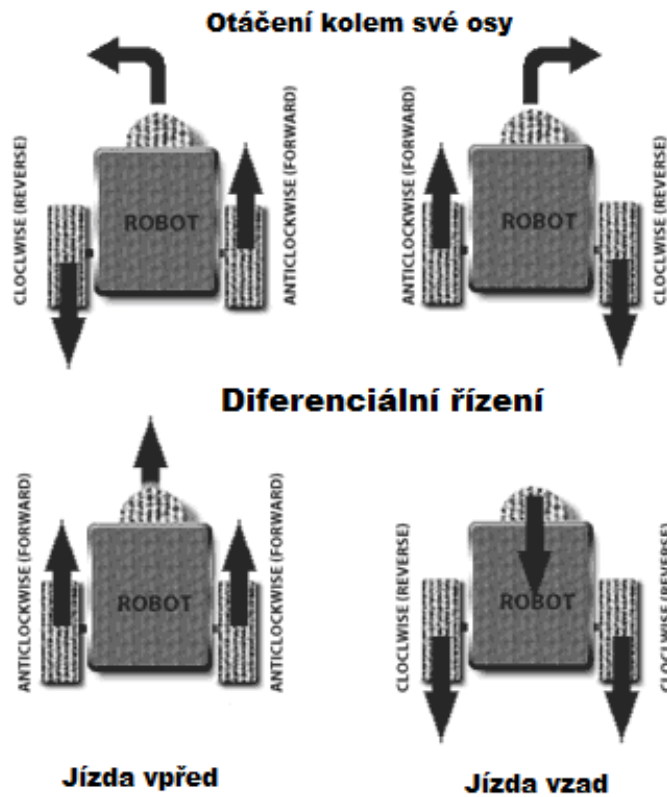
### 4.4.1.1 Diferenciální pohon

Jedná se o nejběžnější a jeden z nejjednodušších ovládacích mechanismů pro ovládání všech typů robotů. Princip je velmi jednoduchý, rozdíl rychlostí mezi dvěma nezávislými motory pohání robota v daném směru. Odtud vznikl název „diferenciální“ pohon. Robot je nejčastěji vybaven dvěma nezávisle poháněnými koly upevněnými na společné horizontální ose a jedním otočným kolem k udržení rovnováhy (viz Obrázek 13). Existují tři základní případy, které se mohou stát [15]:

1. Pokud jsou obě kola poháněna stejnou rychlostí a stejným směrem (ve směru nebo proti směru hodinových ručiček), robot se začne otáčet kolem své osy. Tato schopnost je jednou z největších výhod tohoto způsobu ovládání.
2. Pokud jsou obě kola poháněna stejnou rychlostí, ale opačným směrem (jedno ve směru a druhé proti směru hodinových ručiček), robot se pohybuje po přímce buď dopředu, nebo dozadu.
3. Pokud jsou obě kola poháněna různou rychlostí stejným nebo opačným směrem, robot začne zatáčet po určitém poloměru podle rozdílu rychlostí kol. Pokud se jedno kolo otáčí a druhé ne, provede robot otočku téměř o 90 stupňů.



Pro použití tohoto způsobu ovládní jízdy ve Fischertechnik je nutné jako pohon kol použít krokové motory, které je možné synchronizovat mezi sebou, aby byl robot schopen se pohybovat opravdu po přímce a neměl tendenci se stáčet k jedné nebo k druhé straně.



Obrázek 13: Diferenciální pohon [15]

#### 4.4.2 Ackermanovo řízení

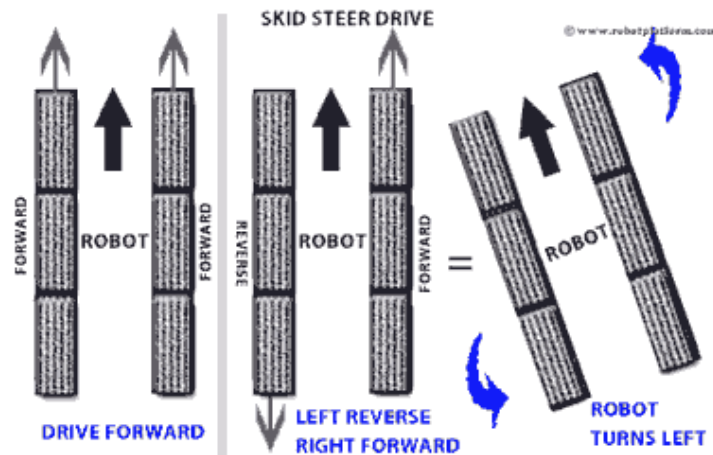
Stavebnice Fischertechnik nabízí taktéž možnost Ackermanovo řízení. Jedná se o jeden z nejběžnějších způsobů řízení nacházejících se v automobilech. Při řízení je mechanicky ovládán úhel natočení dvou předních kol, která jsou upevněná na společné nápravě – řídicí náprava. Zadní dvě kola jsou taktéž upevněná na společné nápravě a slouží k pohonu – hnací náprava. Je možné, aby přední náprava plnila obě funkce – jak řídicí, tak hnací, ale pro použití ve Fischertechnik je snazší, aby přední náprava byla řídicí a zadní hnací. Toto řízení je vhodné pro použití pro roboty s vyšší maximální rychlostí, neboť disponuje větší stabilitou a ovladatelností. Při natočení obou kol o stejný úhel by docházelo k prokluzování kol, vzhledem k tomu, že se každé kolo pohybuje po jiném poloměru. Aby k tomuto prokluzu nedocházelo, je nutné, aby se vnitřní kolo otáčelo o větší úhel. [15] To můžeme vidět na Obrázek 14. Přední nápravu lze nahradit pouze jedním kolem, které se stará o změnu směru. Jedná se o systém tříkolky, tento systém je však méně stabilní.



Obrázek 14: Ackermanovo řízení [15]

#### 4.4.3 Smykové řízení

Jedná se jednoduchý způsob řízení pro roboty vybavené jak koly, tak i pásy. Na každé straně robota jsou umístěny buď již zmíněné pásy, nebo stejný počet kol. Nejběžnější počet je od 2 až po 4 kola na obou stranách. Každá strana kol je poháněná nezávisle na té druhé. Zatačení je provedeno generováním opačné rychlosti na každé straně robota. Pokud je potřeba, aby se robot otočil doleva, je nutné, aby se pravá strana kol otáčela dopředu a levá dozadu. Při otáčení na druhou stranu je to přesně obráceně (pravá strana dozadu, levá dopředu). To je možné vidět na Obrázek 15. Robot je schopen se při tomto způsobu řízení otočit o 360° téměř na místě. Pokud jsou na každé straně umístěna 4 kola, tak se přední a zadní kola více otáčejí a střední kola se spíše smýkají. Odtud název smykové řízení. [15] Tento způsob řízení je výhodnější v nerovném terénu díky větší přilnavosti. Je také nutné použití krokových motorů, které lze společně synchronizovat, aby robot neměl tendenci se samovolně stáčet k jedné nebo k druhé straně.



Obrázek 15: Smykové řízení [15]

#### 4.4.4 Omni Wheels

Stavebnice Fischertechnik má ve své nabídce i kola omni wheels. Použití omni wheels robotovi umožňuje pohyb ve všech směrech. Tato funkce je možná díky konstrukci omni wheels, které se skládají z jednoho velkého otočného kola a z řady malých otočných koleček, v případě kol ve Fischertechnik z válečků, které jsou umístěny přímo po obvodu velkého kola (viz Obrázek 16). [15] Hlavní výhodou je, že se robot nemusí natačet ani jinak měnit orientaci, aby se mohl pohybovat v jakémkoliv směru. Tomuto typu robotů se říká „holonomic robots“. [16] Nejběžnější designy robotů s použitím omni wheels jsou roboti se třemi nebo se čtyřmi koly.

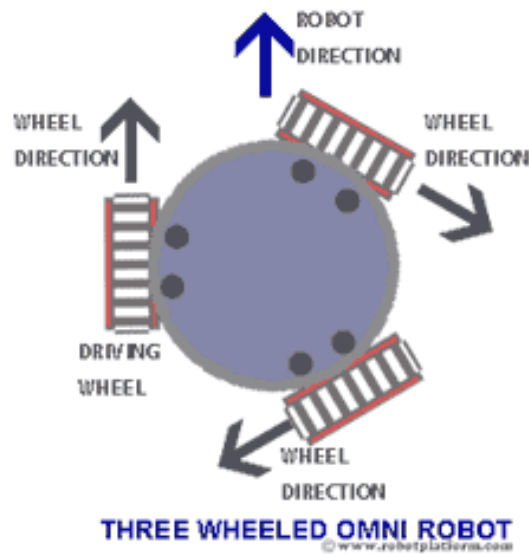


Obrázek 16: Omni wheels ve Fischertechnik [16]

##### 4.4.4.1 Design s použitím tří omni wheels

Jednou z hlavních nevýhod použití tří kol je, že jsou rozmístěny po  $120^\circ$  a kvůli tomu bude na sto procent pracovat pouze jedno kolo. Jinými slovy je zde vždy pouze jedno kolo, které je hnací, zbylá dvě jsou volná kola a tím pádem je robot schopen se pohybovat pouze omezenou rychlostí. [15] Design je možné vidět na Obrázek 17. Další nevýhodou tohoto

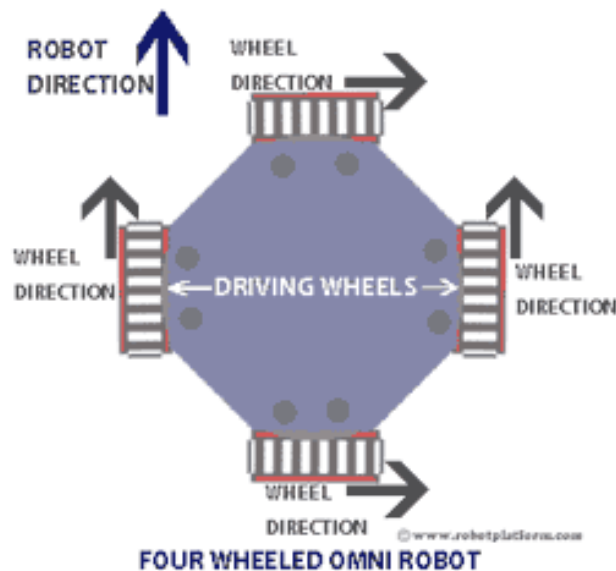
designu je složité naprogramování. Žádná kola nejsou v jedné rovině, proto je nutné každé kolo naprogramovat zvlášť pro každý směr pohybu.



Obrázek 17: Design se třemi koly [15]

#### 4.4.4.2 Design s použitím čtyř omni wheels

V tomto provedení jsou kola rozmístěna po 90° od sebe, jak ukazuje Obrázek 18. To znamená, že jsou vždy 2 kola v jedné rovině, což značně usnadňuje programování každého pohybu. V každém bodě pracují vždy dvě kola na sto procent a dvě kola jsou volná. Jinými slovy jsou vždy dvě kola hnací a dvě kola volná, tím je umožněn pohyb mnohem větší rychlostí. [15]



Obrázek 18: Design se čtyřmi koly [15]

## 5 Řízení AGV

### 5.1 Sledování nakreslené čáry

Stavebnice Fischertechnik, jak již bylo zmíněno v teoretické části, disponuje třemi typy senzorů, které dokáží zaručit sledování nakreslené čáry. Jedná se o optický barevný senzor, IR-track senzor a o USB kameru. Pro provedení testů funkčnosti senzorů bylo nejprve nutné sestavit základní testovací model robota. Testy byly prováděny na jednoduché oválné cestě vytvořené nakreslenou černou čarou.

#### 5.1.1 Základní model testovacího robota

Testovací model robota byl sestaven z base setu stavebnice Fischertechnik. Robot je vybaven řídicí jednotkou TXt 4.0 Controller. Dále robot disponuje dvěma krokovými motory, které pohání dvě klasická kola, a také jedním otočným kolem, které zajišťuje rovnováhu robota. Je zde využito diferenciálního typu řízení. Tento princip je poměrně jednoduchý a snadno naprogramovatelný. Systém využívá rozdílné rychlosti otáčení jednotlivých kol. Pokud se obě kola otáčejí stejnou rychlostí, robot se pohybuje po přímce. Pokud se ale jedno kolo otáčí pomaleji, robot se stáčí na stranu pomaleji se pohybujícího kola. Pokud se každé kolo otáčí jiným směrem, dochází k otáčení robota kolem své osy. Robot je napájen z baterie umístěné v zadní části. Jsou zde připravena místa na uchycení jednotlivých senzorů pro sledování čáry. Model robota je možné vidět na Obrázek 19.

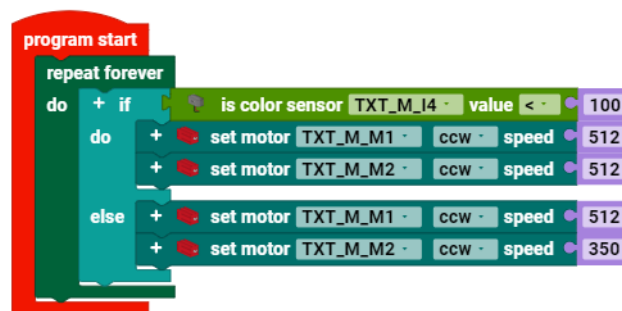


Obrázek 19: Základní model robota [17]

#### 5.1.2 Optický barevný senzor

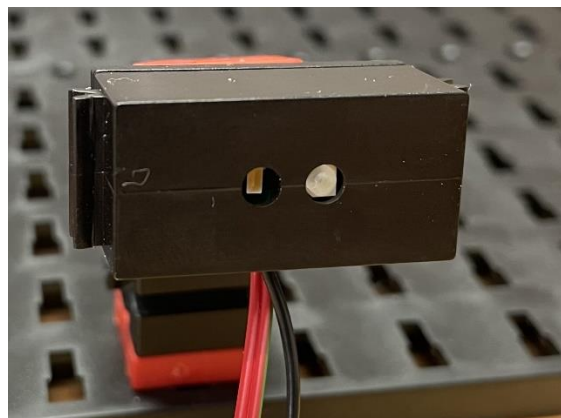
První pokusy sledování čáry byly provedeny s optickým barevným senzorem, který je možné vidět na Obrázek 21. Senzor byl umístěn pod přední část robota. Byl vytvořen zdrojový kód pro sledování čáry. Barevný senzor neustále vrací řídicí jednotce hodnotu barvy plochy pod senzorem, po které se pohybuje, a podle toho je v kódu rozhodnuto, jestli se robot nachází

na čáře, či nikoliv. Pokud senzor vrací hodnotu černé barvy, znamená to, že se robot nachází na čáře a obě kola jsou roztáčena stejným směrem. Robot se tedy pohybuje rovně po přímce. Pokud ovšem senzor vrátí jinou hodnotu než pro černou barvu, znamená to, že robot opustil čáru a je nutné v programu zařídit, aby se na ni opět vrátil. Zde ale dochází k problému. Senzor totiž snímá barvu pouze z jednoho místa, a proto není možné rozpoznat, jakým směrem se robot odchyluje od čáry. Pokud se tedy robot nenachází na černé čáře, lze jen těžko odhadovat, jakým směrem se odchyluje od černé čáry, a mohou nastat dvě situace. Dojde k zpomalení jednoho kola a robot začne zatáčet na jednu stranu. Pokud zatáčí směrem k čáře, vrátí se na ni bez větších obtíží a může pokračovat v pohybu po této čáře. Pokud byla ale strana, na kterou se vychyluje, odhadnuta špatně, zpomalí se špatné kolo a robot začne zatáčet směrem od čáry. To způsobí úplné odchýlení robota od čáry. Robot není schopen se na ni vrátit. Jednoduchý program pro sledování čáry je možné vidět na Obrázek 20.



Obrázek 20: Program pro sledování čáry barevným senzorem

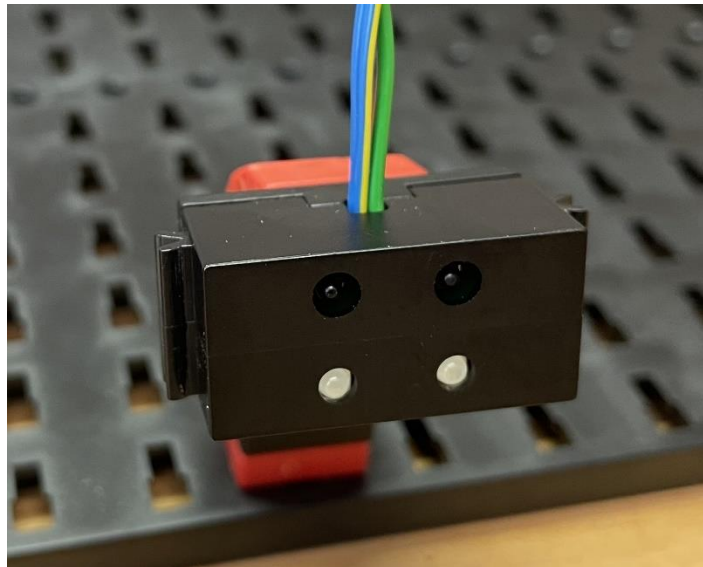
Z toho vyplývá, že použití tohoto senzoru je pro sledování čáry naprosto nevhodné. Senzor zachycuje odražené světlo (princip je postavený na tom, že materiály absorbují různá množství světla na základě barvy, typu materiálu a textury povrchu). Senzorem naměřená (vrácená) hodnota není přímo daná barva, ale pouze číselná hodnota. Proto je nutné v programu ke každé číselné hodnotě přiřadit danou barvu, např. červenou. Vzhledem k okolním podmínkám nám senzor pokaždé vrátí lehce odchylnou hodnotu, proto nelze každé barvě přiřadit pouze jednu hodnotu, ale vhodně zvolený interval hodnot. Z tohoto důvodu je senzor náchylný na světelné podmínky a na jejich změny.



Obrázek 21: Optický barevný senzor

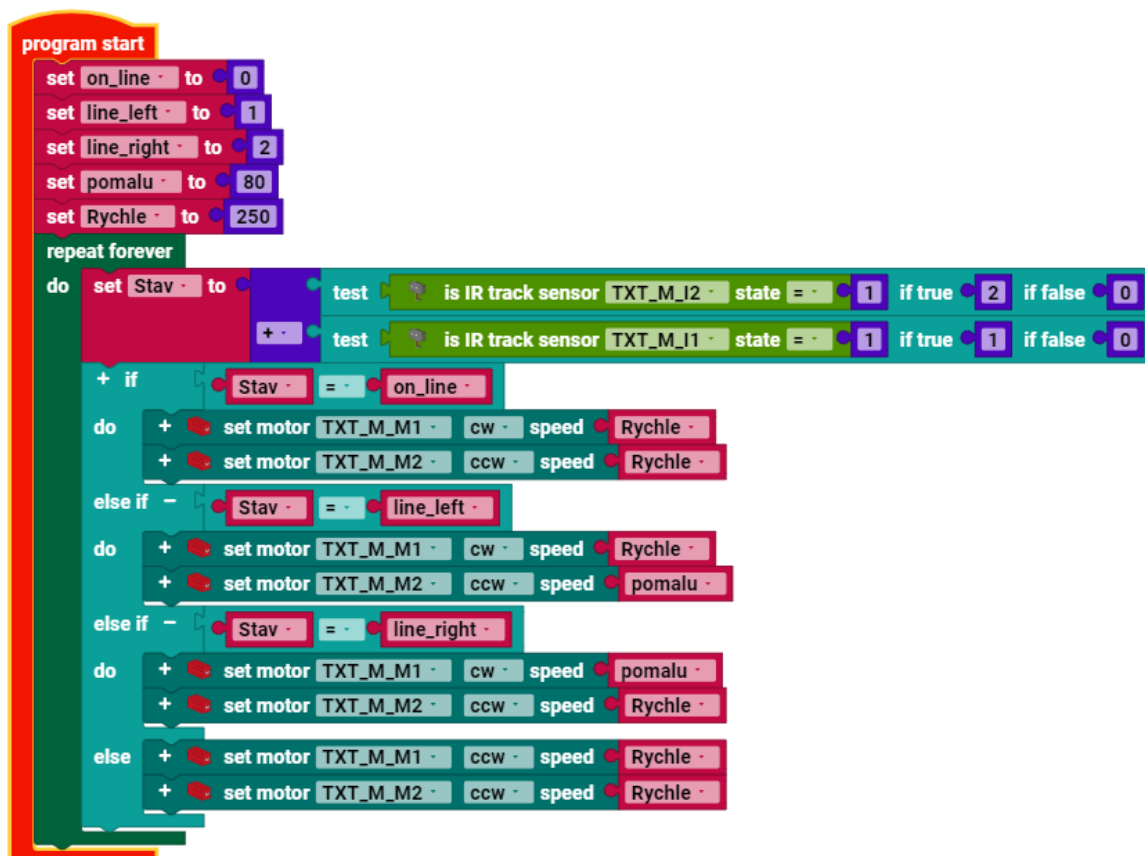
### 5.1.3 IR-track senzor (senzor dráhy)

Tento senzor, který je možné vidět na Obrázek 22, je primárně určen pro sledování nakreslené čáry, proto disponuje dvěma snímači. Každý snímač vrací samostatnou číselnou hodnotu. Díky tomu jde možné zcela přesně určit, z jaké strany se robot vychyluje od čáry. Senzor byl opět umístěn na spodní přední část robota. Byl opět vytvořen řídicí program. V programu byly nejprve nastavené číselné hodnoty pro rychlé a pro pomalé otáčení kol. Zdrojový kód je možné vidět na Obrázek 23. Dále je do číselné proměnné "stav" načítán součet dvou hodnot. Jde o hodnoty, které vrací jednotlivé snímače senzoru. Pokud oba snímače vrací hodnotu nula, znamená to, že se oba snímače nacházejí nad černou čárou a robot má jet rovně. Pokud jeden vrací hodnotu dva a druhý nula, znamená to, že se pravý snímač nachází mimo černou čáru a je nutné zatočení robota vlevo pro navrácení nad čáru. V případě, že jeden senzor vrací hodnotu jedna a druhý nula, znamená to, že se levý senzor odchýlil od čáry a je nutné, aby robot zatočil vlevo pro navrácení nad čáru. Poslední možný případ je, že jeden senzor vrátí hodnotu dva a druhý hodnotu jedna. To znamená, že se ani jeden ze snímačů nenachází nad čárou. Při této situaci je nastaveno otáčení robota kolem své vlastní osy se snahou najít černou čáru. Zatačení je opět zaručeno diferenciálním řízením, kde dochází ke zpomalování určitého kola a tím zatačení robota daným směrem.



Obrázek 22: IR-track senzor

Robot při pokusech naprosto přesně sledoval nakreslenou čáru a byl schopen se pohybovat maximální rychlostí, kterou jsou motory schopny jet. Robot neměl tendenci samovolně opouštět čáru a nebyl příliš náchylný na změnu světelných podmínek.



Obrázek 23: Zdrojový kód sledování čáry pomocí senzoru dráhy

#### 5.1.4 USB kamera

Kamera, která je součástí, popřípadě doplňkem stavebnice, je schopná zajistit mnoho funkcí (např. zaznamenávat pohyb, rozpoznávat barvy, sledovat pozici míče, měřit tloušťku čáry), ale v tomto případě je zásadní její schopností sledovat nakreslenou čáru. Kamera byla umístěna na horní přední část robota, jak je možné vidět na Obrázek 24. Kameru je nejprve nutné nastavit v programu na záložce “camera configuration“. Zde je použita funkce “line detection“. Kamera snímá polohu čáry na stupnici od středu kamery a tím je opět zajištěno rozpoznání, jakým směrem se robot odchyluje od čáry. Následně byl znovu vytvořen zdrojový kód. Na základě vrácené hodnoty ze stupnice je opět kolům přidělena určitá rychlost. Zatačení robota je způsobeno rozdílem rychlostí otáčení jednotlivých kol jako v předchozích případech. Vzhledem ke stupnici je i zde možné rozpoznat, o jak velkou vzdálenost se robot od čáry odchyluje. Při větším odchýlení by bylo vhodné naprogramovat větší rozdíl rychlostí kol a tím ostřejší zatačení a rychlejší návrat nad čáru. Při pokusech s touto kamerou nebyl robot schopen dosahovat takové přesnosti a rychlosti jako při použití senzoru dráhy. Robot byl velmi citlivý na změny světelných podmínek a měl tendence se samovolně odchýlovat od čáry a naprosto ji ztrácet. Je to dáno příliš malou snímací frekvencí kamery, pomalostí řídicí jednotky a velkou náchylností kamery na změnu světelných podmínek.





Obrázek 24: Robot s USB kamerou [18]

### 5.1.5 Vyhodnocení provedených testů sledování čáry

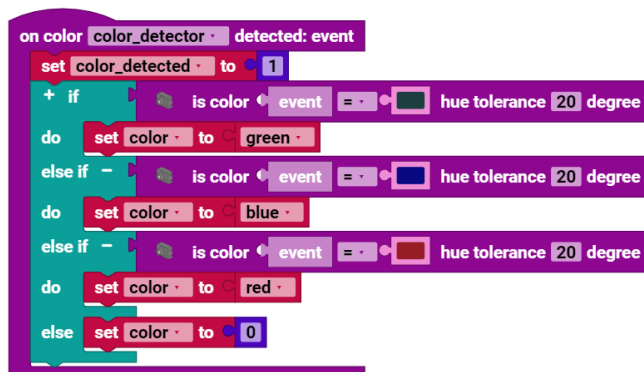
Při porovnání výsledků z těchto tří pokusů byl vybrán pro finální použití pro sledování čáry IR-L track sensor. Tento senzor je schopen zaručit bezchybný pohyb robota s největší rychlostí. Senzor také mnohem rychleji reaguje na sebemenší odchylku od nakreslené čáry. Dále disponuje mnohem větší spolehlivostí, přesností a není příliš náchylný na změny světelných podmínek. V tomto okamžiku se dá již říci, že v případě modelu se jedná o autonomní vozidlo, které je schopné samovolně sledovat nakreslenou čáru. Tudíž jej lze již nazývat AGV.

## 5.2 Značky pro vykládku a nakládku

Dalším důležitým úkolem bylo najít způsob, jakým zaručit zastavení AGV na místech vykládky a nakládky. Bylo nutné označit místo nakládky. Místo nakládky je pro všechny barevně odlišné puky stejné. Tyto různobarevné puky je nutné odvézt na rozdílná místa vykládky. K označení těchto míst lze použít více způsobů. Jedním z nich bylo použití různých barevných cest pro jednotlivé barvy puků. Dalším způsobem bylo použití černých čar podobných čárovému kódu. Na základě předchozích testů s jednotlivými senzory a jejich možnostmi použití byla vybrána jako finální varianta použití černé čáry pro označení cesty. Různě barevné značky vedle této čáry budou představovat jednotlivá místa nakládky a vykládek.

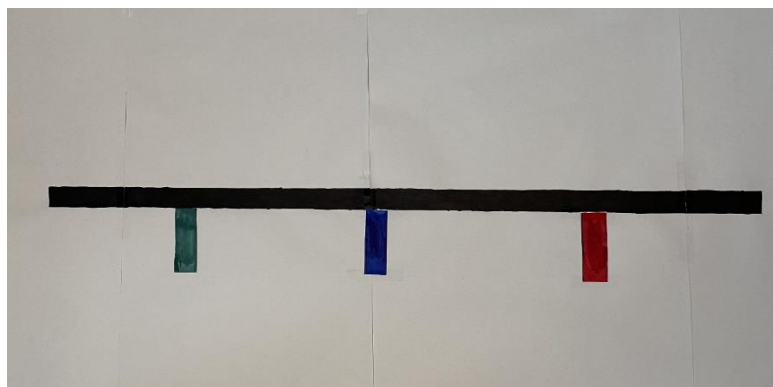
Pro rozpoznání barevných značek by bylo možné použít dva senzory. Jedním z nich je opět barevný senzor. Největší nevýhodou tohoto senzoru by byla složitější montáž na AGV, protože by senzor musel být vysunutý do strany před AGV, aby byl schopen správně zaznamenávat jednotlivé značky. Z toho důvodu byla využita druhá varianta, kterou je USB kamera. Kamera se namontuje na AGV stejně jako v minulém případě – na horní přední část, jak je možné vidět na Obrázek 24. Nejprve je nutné opět nastavit kameru v programu na záložce “camera configuration“, kde je použit prvek “color detector“. Následně je nutné načíst

jednotlivé barvy značek do programu přímo z prostředí čáry. Jsou nahrány jejich hodnoty RGB a následně je jim přiděleno textové označení. Dále bylo nutné nastavit ke každé barvě určitou toleranci. Tato tolerance zaručuje, že i při lehce odlišných barevných podmínkách bude zaručeno správné rozpoznání barvy. Byl vytvořen zdrojový kód pro reakci na zaznamenání barvy a následné rozpoznání dané barvy. Úsek tohoto kódu je možné vidět na Obrázek 25. Následně byly přiřazeny jednotlivé činnosti, co má AGV vykonávat na každé barevné značce.



Obrázek 25. Kód pro rozpoznání barev

Byly provedeny pokusy, při kterých se testovala rychlost zaznamenání a správnost rozpoznání barvy. Pro tento pokus byla vytvořena speciální dráha a barevné značky. Dráhu je možné vidět na Obrázek 26. Z předchozích pokusů byl použit program a technické řešení AGV pro sledování nakreslené čáry pomocí senzoru dráhy. Na AGV byla pouze namontována USB kamera a došlo ke sloučení obou kódů dohromady. AGV mělo na každé barevné značce zastavit svůj pohyb a následně provést některý z úkonů, např. rozsvítit diodu, otočit se o 180 °, rozblíkat diodu. AGV bylo schopno reagovat na jednotlivé barvy a provádět jednotlivé úkony bez větších problémů. Jeho přesnost se odvíjí od rychlosti, s jakou se pohybuje. Bylo velmi důležité neměnit světelné podmínky, jinak docházelo k nezaznamenání barvy. Aby AGV znovu fungovalo i v případě změněných světelných podmínek, bylo nutné opět znovu upravovat nastavení jednotlivých barev v řídicím kódu. Podle nastavení kamery je možnost umístit barevné značky na obě strany čáry. Pro větší přesnost kamery je dobré nastavit užší pruh snímání a větší velikost značek, než je snímání pruh. Při dalších pokusech bylo AGV použito po oválné trase. Bylo zjištěno, že pro zajištění větší přesnosti zastavení je nutné, aby značky byly umístěny na rovině, nikoliv v zatáčce.



Obrázek 26: Dráha pro testování značek

### 5.3 Shrnutí možností použití jednotlivých senzorů

Po pokusech s těmito senzory byla zjištěna výhody a nevýhody jednotlivých senzorů. Všechny tyto výhody, nevýhody možnosti použití jsou přehledně sepsány v následující tabulce: Tabulka 2

Tabulka 2: Vlastnosti jednotlivých senzorů

Název senzoru	Výhody	Nevýhody	Možnosti použití
optický barevný snímač	malý, snadná montáž, jednoduché naprogramování, rozeznává různé barvy	nutnost dodržet vzdálenost od měřeného povrchu, náchylný na světelné podmínky	snímání barvy puku, snímání značek na zemi
USB kamera	více možností použití, možnost sledovat čáru, rozeznávat barvy	náchylná na světelné podmínky, velký rozměr, velké nároky na prostor, náročnější programování, menší snímací frekvence	snímání barvy puku, snímání značek na zemi, sledování čáry
IR-track senzor (senzor dráhy)	málo náchylný na světelné podmínky, speciálně určen pro sledování čáry, jednoduché programování, rychlé přesné snímání	neschopnost rozpoznání více barev	sledování čáry

#### 5.3.1 Použití optického barevného senzoru

Tento senzor je naprosto nevhodný pro použití sledování čáry vzhledem k neschopnosti rozpoznat, jakým směrem se vychyluje od čáry. Jeho použití pro sledování značek na zemi by bylo možné, ale bylo by potřeba jej na AGV namontovat tak, aby se nacházel přímo nad značkami. Toto řešení by bylo prostorově nevhodné a složité. Tento senzor bude použit pro rozpoznání barvy puku, kde se využije všech jeho kladných vlastností. Pro takové využití bude možné jej vhodně namontovat a umístit na AGV a zaručit tak přesné měření.

#### 5.3.2 Použití senzoru dráhy

Jedná se o specializovaný senzor pro sledování dráhy. Jeho neschopnost rozeznávat více barev neumožňuje použití v jiných případech. Pro sledování čáry je naprosto nejlepší z těchto tří možností vzhledem k malé náchylnosti na změny světelných podmínek, rychlému a přesnému snímání.

### 5.3.3 USB kamera

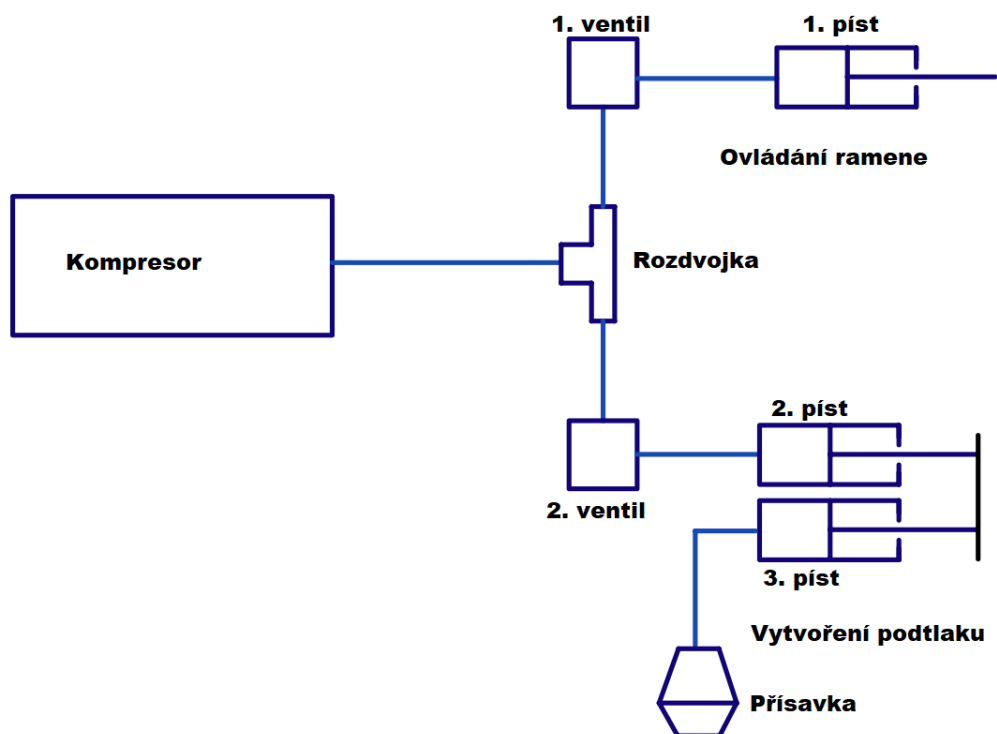
Kamera disponuje širokou možností funkcí a použití. Ovšem při použití pro sledování čáry nedosahuje takové výkonnosti jako již zmíněný senzor dráhy. Je to dáno především malou snímací frekvencí a velkou náchylností na změnu světelných podmínek. Pro použití na snímání barvy naloženého puku by se jednalo o zbytečně složité zařízení. Jedná se o primitivní úkon, který zvládne jednodušší senzor také. Kamera bude ale použita pro sledování značek na zemi. V tomto případě bude technicky i prostorově možné kameru na robota vhodně namontovat a umístit, využije se zde možnosti snímat pouze určitou oblast.

## 6 Vykládkový a nakládkový systém

Pro správné fungování AGV bylo nutné vymyslet, sestavit a naprogramovat systém umožňující vykládku a nakládku puků. Nabízela se různá řešení (např. použití uchopovacích kleští, nabrání puku na paletu, nabrání pomocí posuvného pásu na AGV). Pro tento případ byl zvolen pneumatický vakuový systém pro vyzdvižení puku, a to z důvodu malé prostorové náročnosti, jednoduché konstrukce, naprogramování a následného jednoduchého řešení pro rozpoznání barvy naloženého puku.

Pneumatický systém se skládá z jednoho kompresoru, dvou ventilů, tří pístů a jedné přísavky. Kompresor zajišťuje dostatečný přísun stlačeného vzduchu do systému. Ventily se podle programu otevírají a zavírají a tím řídí průchod vzduchu systémem. Při dodání vzduchu do pístu dojde k vytlačení pístnice.

Pro nakládku puku bylo sestaveno rameno s jedním pístem. Tento píst slouží k vertikálnímu naklápění ramene. Píst je pomocí hadiček spojen s kompresorem přes jeden ventil. Tento ventil řídí chod pístu. Rameno je díky tomuto systému schopné přiblížit se s podtlakovým gripperem umístěným na jeho konci nad puk na dostatečnou vzdálenost, aby mohlo dojít k samotnému uchopení puku. Dále bylo nutné vytvořit systém pro vytvoření podtlaku, který zaručí nasátí a vyzvednutí puku. Tento systém se skládá ze dvou pístů, jednoho ventilu a jedné přísavky. První píst je spojen opět přes ventil s kompresorem. Ventil řídí chod pístů. Do prvního pístu je přiváděn vzduch, který vytlačí pístnici. Pístnice prvního pístu je spojena s pístnicí druhého pístu. Ta je díky již zmíněnému propojení rovněž vytlačována a v dutině druhého pístu vzniká podtlak. Podtlak je veden z dutiny pístu hadičkou do podtlakového gripperu, který přisaje puk a vyzvedne jej. Schéma zapojení je možné vidět na Obrázek 27.



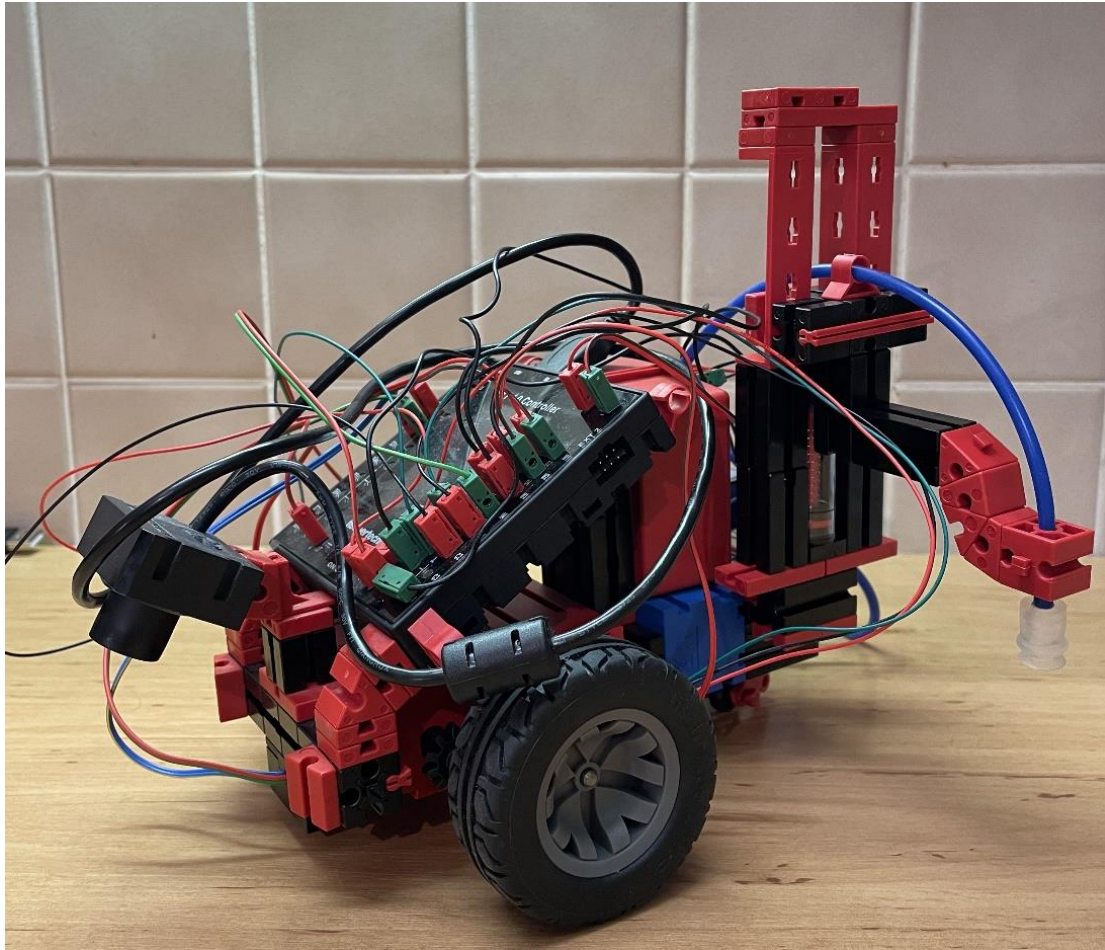
Obrázek 27: Schéma pneumatického systému

## 6.1 První pokusy s pneumatickým systémem

První pokusy vykládky a nakládky s tímto systémem proběhly mimo AGV. Na volné pracovní ploše bylo sestaveno rameno, které je popsáno výše v kapitole 2. Následně bylo nutné vytvořit zdrojový kód pro nakládku i vykládku puku. Ve zdrojovém kódu pro nakládku puku byl nejprve otevřen ventil a došlo ke zdvihu ramene. Poté došlo k uzavření tohoto ventilu a rameno kleslo dolů nad puk a následně byl otevřen ventil pro vytvoření podtlaku a nasátí puku. Rameno opět vyjelo vzhůru po otevření prvního ventilu. Pro vykládku puku je program naprosto totožný, ale místo vytvoření podtlaku dojde k uzavření druhého ventilu, přísátí vzduchu a tím pádem puštění puku. Tento systém se při testech osvědčil. Nebyl žádný problém jak s přísátím a vyzdvihnutím puku, tak ani s následným vyložení. Vytvořené vakuum bylo dostatečně silné pro vyzdvihnutí puku a pro jeho následný převoz na vykládku.

## 6.2 Implementace pneumatického systému na AGV

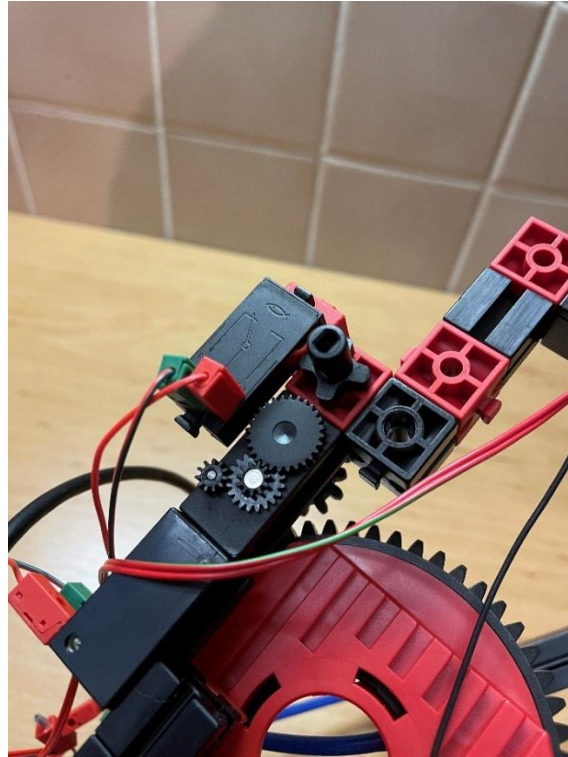
Při dalším pokusu byl tento systém namontován na AGV, což je možné vidět na Obrázek 28. Bylo použito AGV, které je popsáno v předchozí kapitole o pokusech s barevnými značkami. AGV bylo nutné rozšířit o kompresor, který byl namontován hned za krokové motory a posloužil jako podstavec pro uložení baterie k napájení celého AGV. Na boční stranu kompresoru byl připevněn systém pro vytváření podtlaku a také samotné rameno. Z předchozí kapitoly byl taktéž použit program pro sledování čáry a rozpoznávání barevných značek. Pouze byly změněny pokyny, které má AGV dělat na jednotlivých značkách. Byl použit systém dvou barevných značek, kdy na jedné došlo k nakládce puku a na druhé k vykládce puku. Při pokusech se AGV vždy pohybovalo po nakreslené čáře a na jednotlivých barevných značkách mělo zastavit a spustit sekvenci vykládky nebo nakládky. Puk určený k nakládce byl umístěn na podstavec simulující reálnou výšku, ve které se bude puk nacházet při následné implementaci do TF. Při vykládce byl puk vyložen opět do stejné výšky, do které jej bude AGV vykládat po implementaci do TF. Bylo nutné upravit rychlost pohybu AGV. Pro zlepšení přesnosti zastavení bylo nutné snížit rychlost AGV. AGV mělo díky tomu více času na reakci na barevnou značku a případné vychylování z trasy. Pro správné naložení puku je zapotřebí, aby se puk nacházel vždy na stejném místě. Dále byla upravena zóna pro snímání barev v konfiguraci kamery. Zóna byla snížena a roztáhnuta do šířky, aby došlo k lepší registraci barevných značek. Dále je vhodné přesně dodržet minimální šířku nakreslené čáry. Tato šířka, kterou je podle technických parametrů od výrobce senzor dráhy schopen snímat, je 2 cm. AGV poté sleduje čáru mnohem přesněji a je schopno zastavit na přesně určeném místě pro naložení puku. Při vykládce puku je zaručena dostatečná přesnost i při vyšších rychlostech AGV. Po těchto úpravách bylo AGV s vysokou úspěšností schopno nabrat a vyložit puk na určených místech.



Obrázek 28: AGV s ramenem pro nakládku a vykládku puků

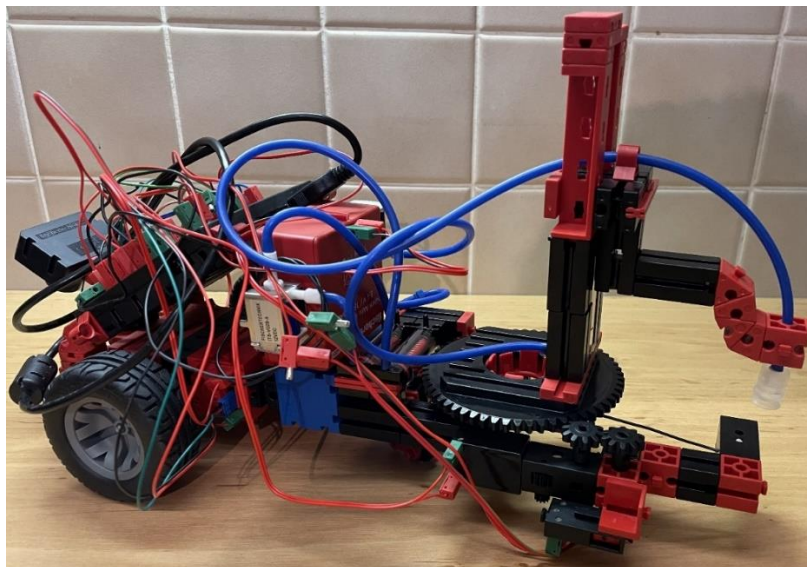
### 6.3 Otočný mechanismus ramene

Jelikož je zapotřebí, aby bylo AGV schopno rozeznat barvu naloženého puku, je nutné, aby bylo rameno otočné. Pohyb ramene byl zajištěn jeho postavením na otočnou platformu s ozubením po obvodu. Otáčení platformy je zpracováno pomocí menších ozubených kol napojených na otočnou platformu. Malá ozubená kola jsou rozbíhána jednoduchým motorem. Bylo nutné zajistit, aby se rameno zastavilo na požadovaných pozicích. Jedná se o místo, kde dojde k nakládce puku, rameno je v tomto případě natočeno kolmo k AGV. Dalším místem je místo, kde bude docházet ke zjištění barvy naloženého puku. V tomto případě je nutné, aby se rameno srovnalo souběžně nad AGV a puk se nacházel nad barevným senzorem. Pro zaručení správné pozice na těchto dvou místech byl sestaven mechanismus pro řízení přesného natočení ramene. K malému ozubenému kolu, které vystupuje z motoru a pohání velké ozubené kolo, je připevněno ještě jeden speciální rotační díl, který je upraven tak, aby při svém otáčení spínal tlačítko. Podle počtu sepnutí tlačítka je možné přesně nastavit, kdy má rameno zastavit. Detail tohoto systému je možné vidět na Obrázek 29.



Obrázek 29: Detail systému pro měření rotace ramene

Byl napsán zdrojový kód pro tento mechanismus. V programu je nastaveno nejprve otáčení motoru po směru hodinových ručiček a do proměnné se načítá každé stisknutí tlačítka a následně je po 6 stisknutí motor zastaven a tím i otáčení ramene. Přesný počet stisknutí tlačítka byl zjištěn při testech s natočením ramene. Pro navrácení ramene zpět je motor spuštěn v opačném směru. Proměnná s počtem stisků tlačítka je vynulována, začínají se počítat stisky od nuly a opět po dosažení šesti stisknutí je motor i otáčení ramene zastaveno. Otočný mechanismus a uložení systému pro zdvih ramene a nasátí puku je možné vidět na Obrázek 30.



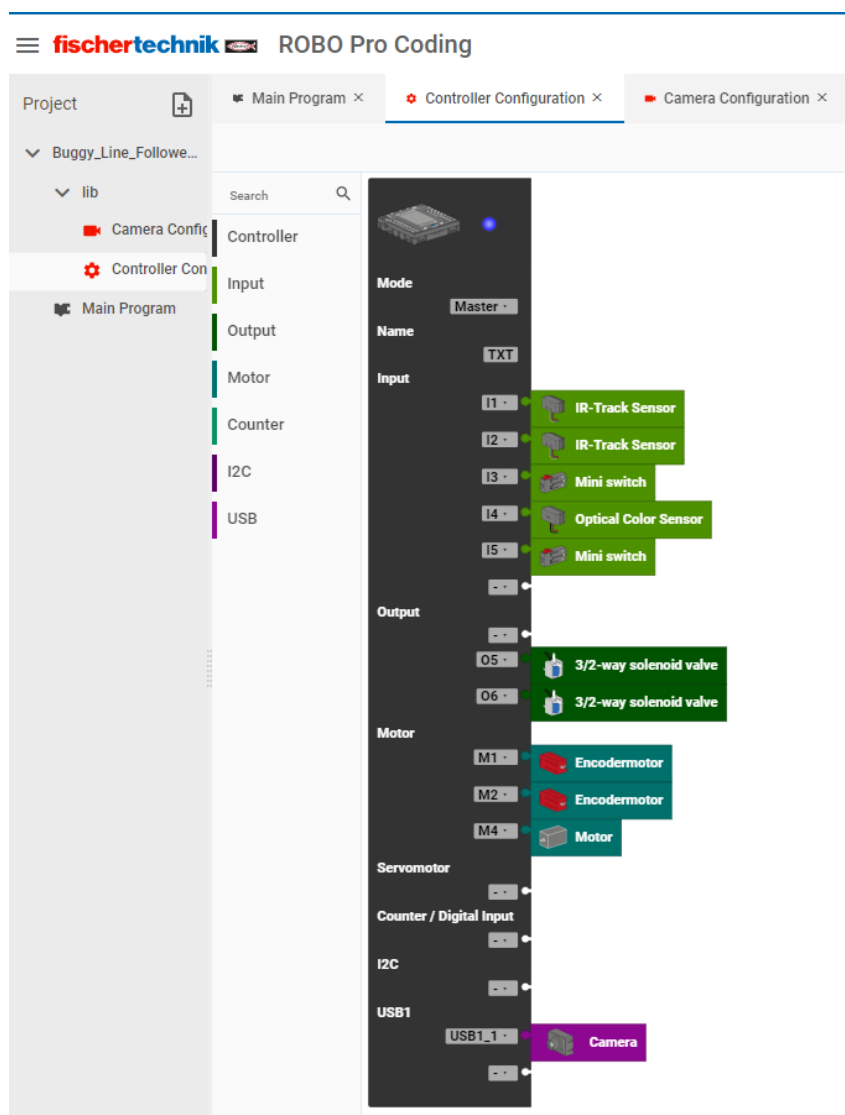
Obrázek 30: AGV s otočným ramenem pro vykládku a nakládku puků



## 7 Řídicí program

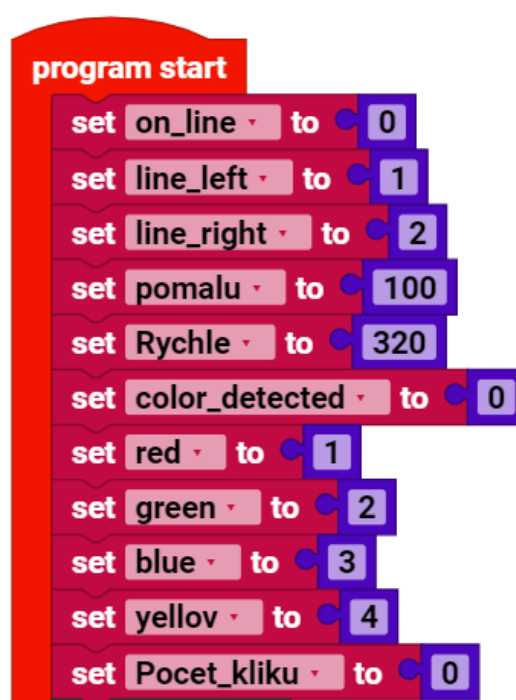
Jak již bylo zmíněno v teoretické části, zdrojový kód byl vytvořen v programu ROBOPro Coding pomocí vizuálního programovacího jazyka. Jedná se o přehledné a poměrně jednoduché programovací prostředí, které zaručí snadné pochopení jednotlivých částí programu a umožní oproti standartním programovacím jazykům poměrně rychlé úpravy zdrojového kódu budoucími průmyslovými inženýry.

Před samotným vytvořením zdrojového kódu je nutné nejdříve nastavit zapojení řídicí jednotky. To se provádí na záložce “Controller Configuration“. Je nezbytné si zvolit použitou řídicí jednotku, v tomto případě se jednalo o TXT 4.0 Controller. Na pracovní ploše se objeví schéma jejího zapojení, ve kterém je nutné přiřadit všechny použité komponenty na správné místo, kde jsou reálně zapojeny do řídicí jednotky. Zapojení je rozděleno na vstupy, výstupy, piny pro zapojení motorů, USB vstupy a další. V našem případě jsou použity dva krokové motory, USB kamera, IR-Track senzor, kompresor, dva ventily, dvě tlačítka a jeden klasický motor. Nastavení kontroléru a připojení použitých senzorů a aktivátorů je možné vidět na Obrázek 31.



Obrázek 31: Konfigurace zapojení řídicí jednotky

Jednotlivé kroky programu se postupně vkládají pod sebe za první políčko “Program start“. Nejprve je nutné definovat všechny proměnné. K nastavení proměnných dojde hned po spuštění zdrojového kódu a jedná se o jejich výchozí hodnoty. Jedná se o proměnné, které jsou nutné pro sledování nakreslené čáry. Jde o proměnné “on\_line“. Tato proměnná značí, že se AGV nachází přímo na čáře a nevybočuje z ní žádným směrem. Další dvě proměnné jsou podobné. Jde o proměnné “line\_left“ a “line\_right“. Jak už název naznačuje, jde o stavy, kdy AGV vybočuje z čáry jedním nebo druhým směrem. Další dvě proměnné “slow“ a “fast“ slouží k řízení rychlosti otáčení kol. Proměnná “color\_detected“ spouští situaci, kdy je USB kamerou zaznamenána nějaká barva. Poslední tři proměnné přiřazují k jednotlivým barvám zaznamenaným USB kamerou číselné hodnoty. Jedná se o proměnné “red“, “blue“ a “green“. Do poslední proměnné “Počet\_kliků“ se načítá počet stisknutí tlačítka při otáčení ramene. Nastavení proměnných je možné vidět na Obrázek 32.

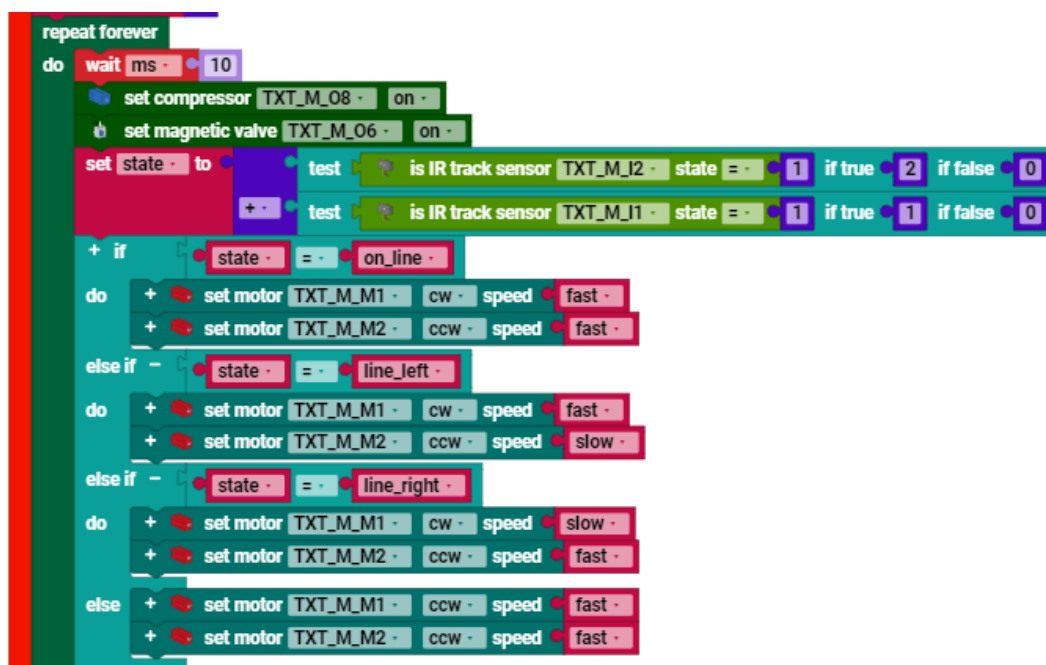


Obrázek 32: Definování proměnných

Program dále pokračuje funkcí “repeat forever“, která bude opakovat jednotlivé kroky do nekonečna, dokud nedojde k zastavení programu, vypnutí nebo restartu řídicí jednotky. Do ní se začínají zapisovat jednotlivé úkony, které má AGV vykonávat. Nejprve je spuštěn kompresor a následně otevřen ventil, který vytlačí rameno pro uchopování puků vzhůru.

Další část je zaměřena na pohyb AGV po nakreslené čáře. Nejprve je do proměnné “stav“ zaznamenán součet výstupu z IR track senzoru. Ten je v programu rozdělen na dvě části, tedy na dva snímače – pravý a levý. Každý z nich vrací hodnotu, zda se nachází, či nenachází nad černou čárou. Pokud se oba nachází nad černou čárou, vrací oba hodnotu 0, a tudíž i součet těchto hodnot je roven 0. Pokud se nenachází nad černou čárou, levý vrací hodnotu 2 a součet je taktéž roven 2. Pokud se nad černou čárou nenachází pravý, vrací hodnotu 1 a součet je taktéž roven 1. Pokud se nad černou čárou nenachází ani jeden ze snímačů, vrací hodnoty 2 a 1 a součet je roven 3. Nyní je nutné naprogramovat, jak bude AGV na tyto hodnoty reagovat. Pokud je tedy součet hodnot roven nule, znamená to, že se AGV nachází nad černou čárou a může jet

tedy bez problémů rovně. Oběma motorům je za splnění této podmínky přiřazená stejná rychlost z proměnné “fast“. Pokud je součet hodnot v proměnné “stav“ roven jedné, znamená to, že se AGV odchyluje z černé čáry směrem vlevo a je nutná určitá korekce směru. Proto je levému motoru udělena vyšší rychlost z proměnné “fast“ a pravému motoru je udělena menší rychlost z proměnné “slow“. Tento rozdíl rychlostí způsobí, že AGV začne zatáčet směrem doprava. Tento stav trvá do doby, dokud součet hodnot v proměnné “stav“ není opět roven nule a AGV může jet opět rovně. Pokud je součet hodnot v proměnné roven dvěma, znamená to, že se AGV odchyluje od čáry směrem vpravo, a je opět nutná korekce. Pravému motoru je udělena vyšší rychlost a levému menší. Obdobně jako u minulého případu: rozdíl rychlostí znamená zatáčení robota a návrat nad černou čáru. Všechna tato rozhodování jsou vytvořena pomocí podmínky IF...DO...ELSE. Zdrojový kód je možné vidět na Obrázek 33.



Obrázek 33: Kód pro sledování čáry

Další segment programu je věnován rozpoznávání barev pomocí USB kamery a udělení příkazů, jaké má AGV při zaznamenání jednotlivých barev dělat. Nejprve je ale nutné naprogramovat USB kameru. To se provádí v záložce “Camera Configuration“. V této záložce je na příslušné místo záběru kamery umístěn příkaz na rozpoznávání barev. V hlavním programu je nutné přiřadit příkaz na detekci barev. Při detekci jakékoliv barvy je do proměnné “color\_detected“ přiřazena hodnota 1. Kamera porovná zaznamenanou barvu s jednotlivými vzorky v programu a rozhodne, o jakou barvu se jedná. Hodnota této barvy je následně přiřazena do proměnné “color“. Pro správné rozpoznávání barev je vhodné načíst každou barvu kamerou před spuštěním samotného kódu. Každé barvě je udělena určitá tolerance, která je nezbytná kvůli nestálým světelným podmínkám a byla zjištěna během testování senzorů pro tento dílčí typ úkolů. Následně je pro zelenou barvu přiřazen pokyn k nakládce puku. Pokud se jedná o jinou než zelenou barvu, je k nim přiřazen pokyn k provedení vykládky. AGV ale provede vykládku pouze tehdy, když barevná značka na zemi odpovídá hodnotě naloženého puku. Rozeznávání barvy puku dochází při nakládce. Jak nakládka, tak vykládka jsou vytvořeny

pomocí funkcí. Pokud AGV zaznamená správnou barvu, zastaví se oba krokové motory a poté je spouštěna jedna z funkcí.

Funkce nakládky začíná vynulováním proměnných "Barva\_puku" a "Pocet\_kliku". Nyní je nutné nastavit otočení ramene z výchozí pozice o 90° nad puk. Nejprve je zapnut jednoduchý motor po směru hodinových ručiček, který otáčí ramenem. Zároveň je při otáčení ramene mačkáno tlačítko. Při každém stisknutí tlačítka je do proměnné "Pocet\_kliku" přičtena jednička. Pokud je hodnota této proměnné větší než 6, dojde k zastavení motoru i otáčení. Nyní AGV čeká na stisknutí druhého tlačítka. Tímto tlačítkem se dává najevo, že je pro AGV připraven puk pro vyzvednutí. Toto tlačítko je nutné mačkat manuálně operátorem. Později bude nahrazeno, až bude provedena automatická komunikace AGV s TF. Poté, co je dán pokyn tlačítkem, začíná samotná nakládka puku. Je vypnut ventil 6 a tím spuštěno rameno. Následně je zapnut ventil 5, tím dojde k vytvoření vakua a vyzvednutí puku. Pak je znovu otevřen ventil 6 a rameno vyzdvihnuto. Následné kroky slouží k přesnému natočení ramene nad barevný senzor a k rozpoznání barvy puku. Proces natočení ramene je stejný jako v minulém případě, pouze je motor spuštěn proti směru hodinových ručiček a tím je rameno otočeno nad barevný senzor. Následně je opět rameno spuštěno a barevný senzor načte hodnotu barvy puku. Po načtení barvy puku je rameno vyzdvihnuto zpět. Nyní je nutné z hodnoty načtené barevným senzorem rozpoznat správnou barvu puku. Pokud je hodnota větší než 1000, jedná se o modrou barvu a do proměnné "Barva\_puku" je přiřazena hodnota z proměnné „blue“. Pokud je hodnota mezi 500 až 999, jedná se o červenou barvu a do proměnné "Barva\_puku" je přiřazena hodnota z proměnné "Red". Pokud je hodnota mezi 100 a 499, jedná se o bílou barvu puku a do proměnné "Barva\_puku" je přiřazena hodnota z proměnné "Yellow". Jelikož nelze vytvořit bílou značku na zemi, je bílý puk vykládán na žluté značce. Podle hodnot v proměnné "Barva\_puku" následně AGV zastaví na dané barevné značce. Pokud je hodnota rovna proměnné „blue“, AGV zastaví na modré barevné značce. Pokud je hodnota rovna proměnné "Red", AGV zastaví na červené značce. Pokud je hodnota rovna proměnné "Yellow", AGV zastaví na žluté značce.

Funkce vykládky je jednodušší než nakládka. Jednoduchý motor je spuštěn po směru hodinových ručiček a opět po 6 stisknutí tlačítka se rotace zastaví. Tímto dojde k natočení ramena do polohy pro vykládku. Následně dojde ke spuštění ramene dolů a otevření ventilu 5 a tím vyplnění vakua a upuštění puku. Nakonec je opět rameno vyzdvihnuto vzhůru. Po vyložení puku je rameno opět natočeno zpět do výchozí pozice nad barevný senzor. AGV poté opět pokračuje na místo nakládky, tedy na zelenou značku. Bylo také nutné zajistit okamžité rozjetí AGV po ukončení jedné z funkcí (nakládky nebo vykládky). Proto je na konci každé funkce příkaz k rozběhnutí krokových motorů. Tím je zaručeno, že AGV sjede z barevné značky, na které se právě nachází, a neprovede jednu a tu samou činnost znovu. Zdrojový kód pro rozpoznání barev a nakládky a vykládky je možné vidět na Obrázek 34. Celý zdrojový kód je možné vidět v příloze 1. Celý zdrojový kód zapsaný v programovacím jazyce Python se skládá ze zhruba 155 řádek kódu.

```
+ if color_detected = 1
do + if color = green
do + stop motor TXT_M_M1
+ stop motor TXT_M_M2
Vyzvednuti
else if color = Barva_puku
do + stop motor TXT_M_M1
+ stop motor TXT_M_M2
Vykládka
set color_detected to 0

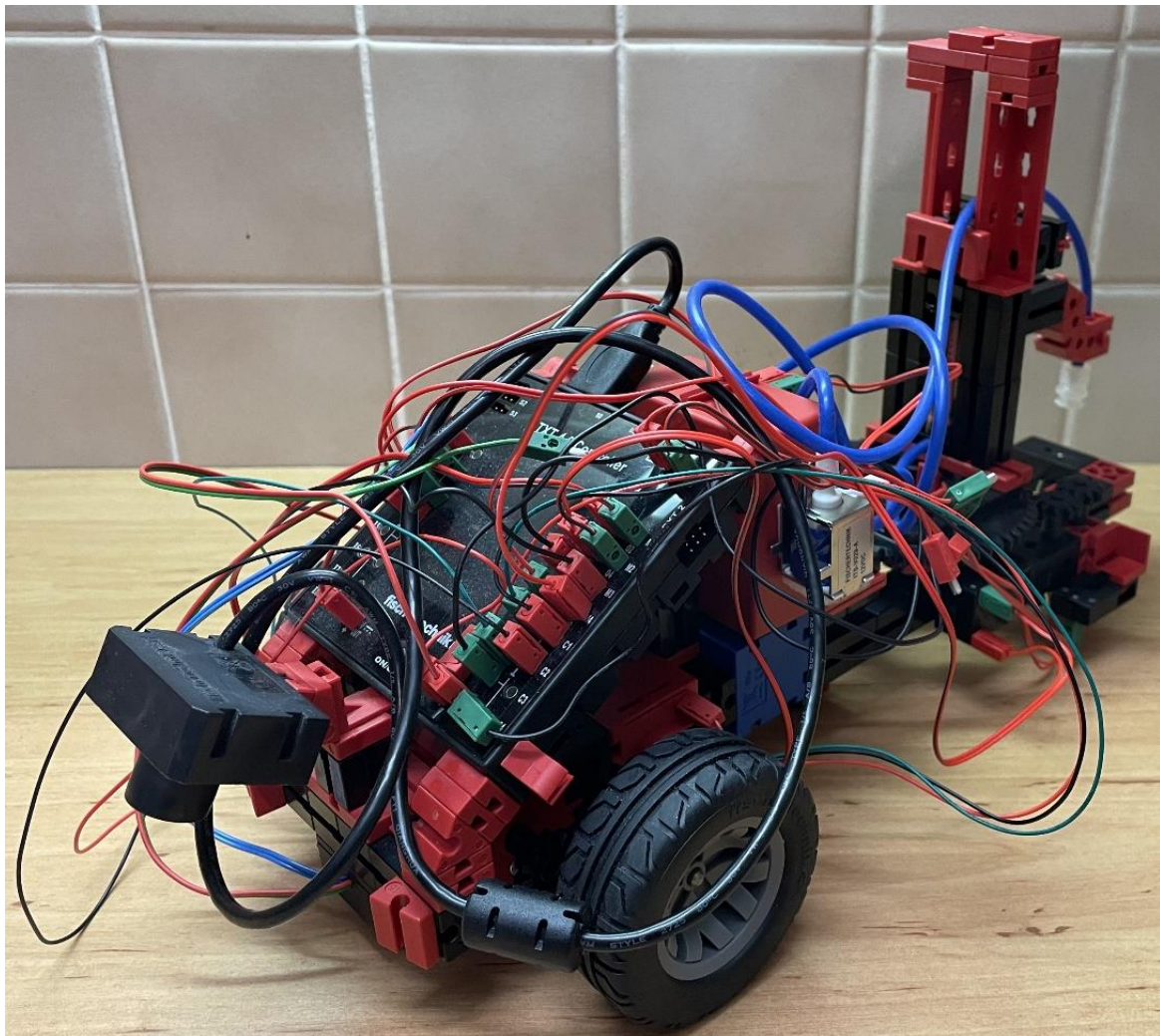
+ define Vykládka
set Pocet_kliku to 0
set motor TXT_M_M4 cw speed 300
repeat while Pocet_kliku < 6
do + if is mini switch TXT_M_J3 closed
do wait until is mini switch TXT_M_J3 open
change Pocet_kliku by 1
stop motor TXT_M_M4 braked
set magnetic valve TXT_M_O6 off
wait s 1
set magnetic valve TXT_M_O5 off
wait s 1
set magnetic valve TXT_M_O6 on
wait s 0.5
set Pocet_kliku to 0
set motor TXT_M_M4 ccw speed 300
repeat while Pocet_kliku < 6
do + if is mini switch TXT_M_J3 closed
do wait until is mini switch TXT_M_J3 open
change Pocet_kliku by 1
stop motor TXT_M_M4 braked
+ set motor TXT_M_M1 cw speed Rychle
+ set motor TXT_M_M2 ccw speed Rychle
wait s 0.3

+ define Vyzvednuti
set Barva_puku to 0
set Pocet_kliku to 0
set motor TXT_M_M4 cw speed 300
repeat while Pocet_kliku < 6
do + if is mini switch TXT_M_J3 closed
do wait until is mini switch TXT_M_J3 open
change Pocet_kliku by 1
stop motor TXT_M_M4 braked
wait until is mini switch TXT_M_J5 closed
set Pocet_kliku to 0
set magnetic valve TXT_M_O6 off
wait s 1
set magnetic valve TXT_M_O5 on
wait s 1
set magnetic valve TXT_M_O6 on
set motor TXT_M_M4 ccw speed 300
repeat while Pocet_kliku < 6
do + if is mini switch TXT_M_J3 closed
do wait until is mini switch TXT_M_J3 open
change Pocet_kliku by 1
stop motor TXT_M_M4 braked
set magnetic valve TXT_M_O6 off
wait s 1
set Barva_puku to get color sensor TXT_M_J4 value
+ if Barva_puku ≥ 900
do set Barva_puku to blue
else if Barva_puku ≥ 500
do set Barva_puku to red
else if Barva_puku ≥ 100
do set Barva_puku to yellow
set magnetic valve TXT_M_O6 on
+ set motor TXT_M_M1 cw speed Rychle
+ set motor TXT_M_M2 ccw speed Rychle
wait s 0.5
```

Obrázek 34: Kód pro vykládku a nabládku puku

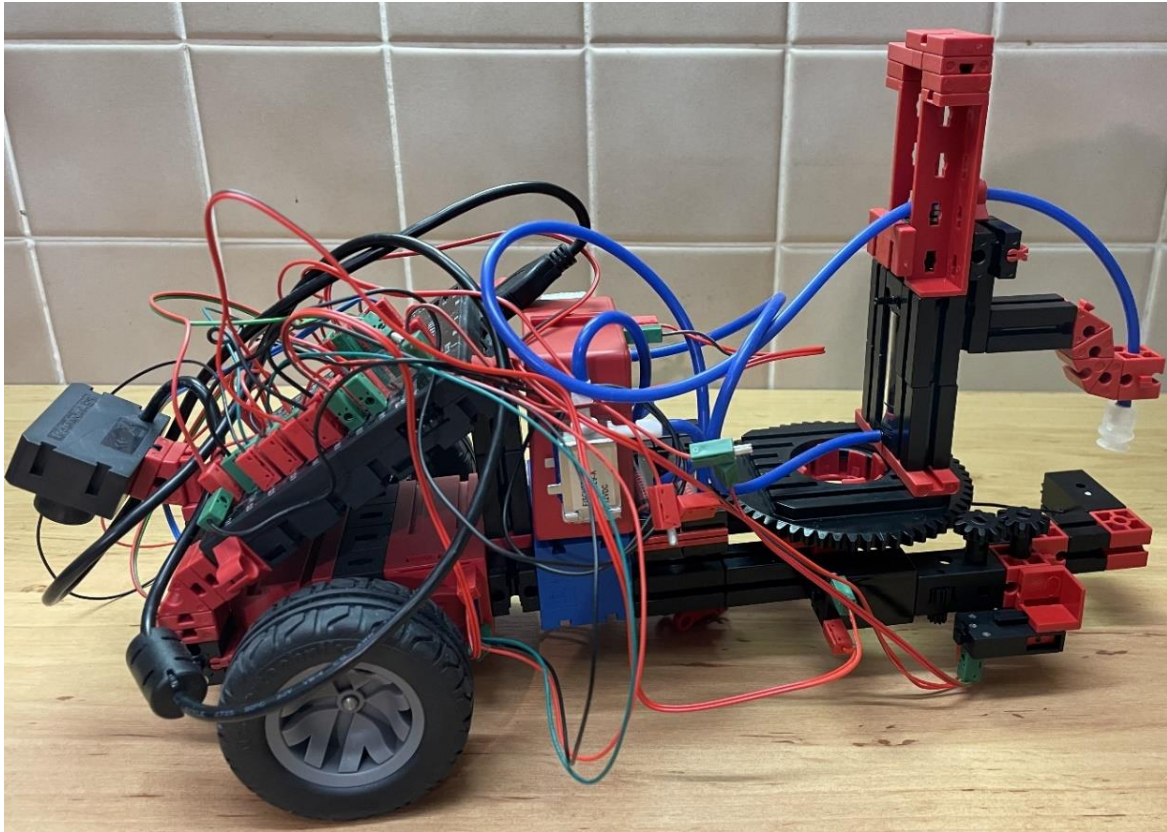
## 8 Shrnutí technického sestavení AGV

Finální podoba (viz Obrázek 35, Obrázek 36, Obrázek 37) vychází z již použitých modelů pro testování jednotlivých prvků. Byl použit základ z jednoduchého modelu robota ve stavebnici Base set. Jedná se o robota se dvěma krokovými motory pro pohon každého kola. V zadní části je použito třetí nehnané otočné kolo, které zajišťuje rovnováhu AGV v podélné ose. Na krokových motorech je uložena řídicí jednotka. Před ní je na podstavci ve správné výšce pro bezchybné fungování umístěna USB kamera. Tato kamera slouží ke sledování barevných značek na zemi. V přední spodní části AGV je umístěn IR-track senzor, který zajišťuje pohyb po nakreslené čáře.



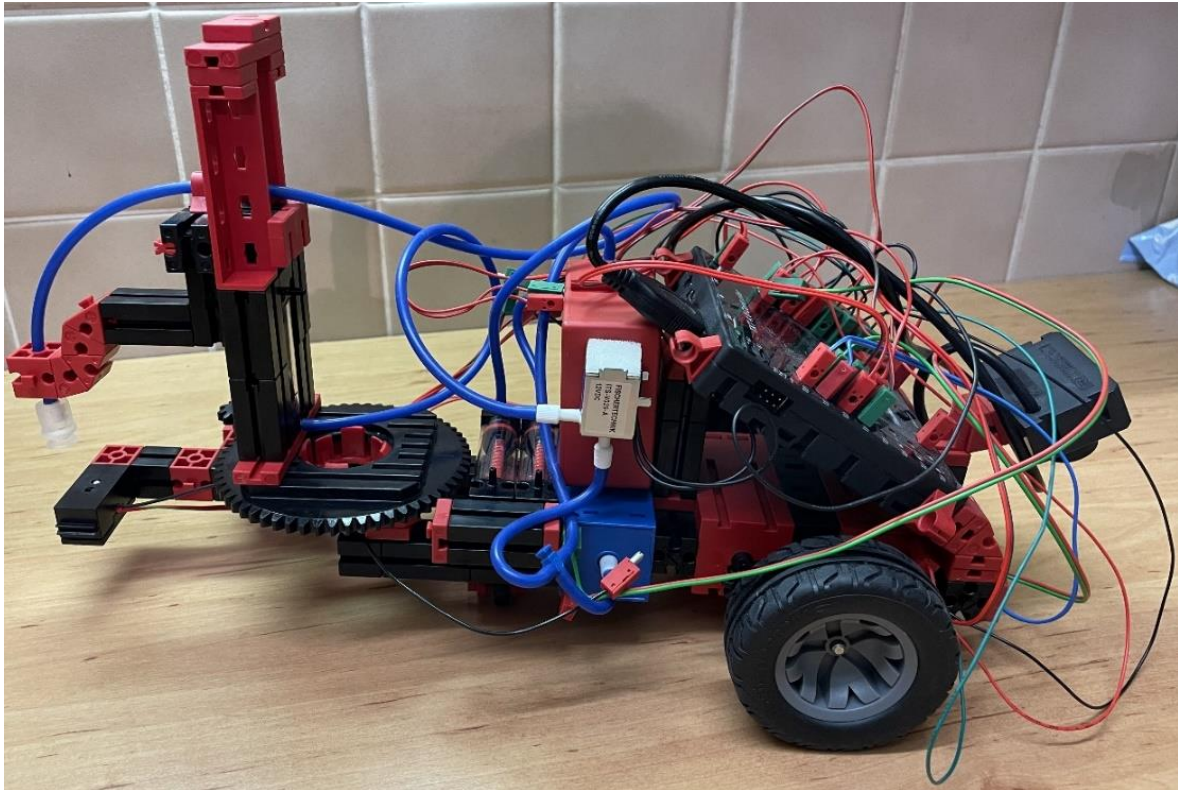
Obrázek 35: AGV pohled ze přední strany

Na krokové motory byl poté namontován kompresor, který zároveň plní funkci podstavce pro uložení baterie. Celé AGV je napájeno jednou 9 voltovou speciální baterií určenou pro stavebnici Fischertechnik. Baterie zaručuje, že se jedná o autonomní vozidlo, které nemusí být neustále připojeno do sítě, či být jinak složitě napájeno.



Obrázek 36: AGV Pohled z pravé strany

Na baterii byly přilepeny oba ventily pro ovládání jak ramene, tak vytváření vakua. Na kompresor je dále připevněna platforma, na které se nacházejí písty pro vytváření vakua. Za těmito písty je již připevněno celé rameno i s otáčecím mechanismem. Otáčecí mechanismus je uložen na levé straně AGV pod úrovní velkého ozubeného kola. Díky tomuto uložení nezabírá otáčecí mechanismus příliš prostoru a zároveň nepřekáží rotaci ramene. Na úplném konci robota přímo pod přísavkou je umístěn optický barevný senzor, který zajišťuje načtení barvy naloženého puku.

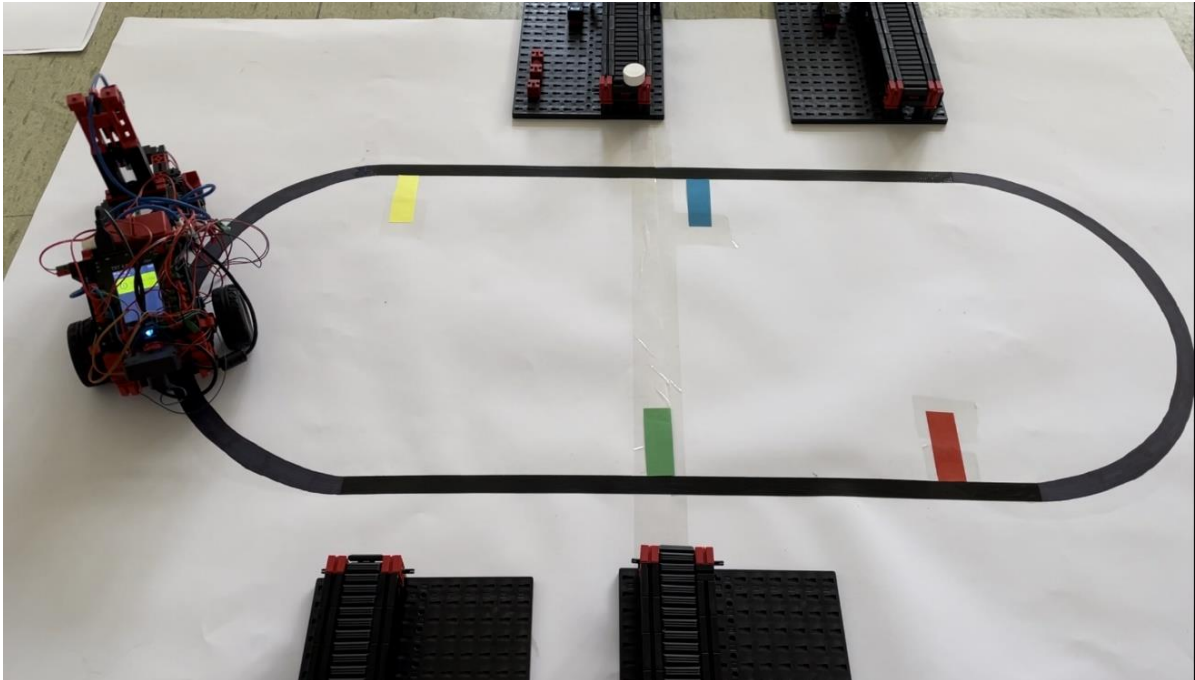


Obrázek 37: AGV Pohled z levé strany

## 8.1 Implementace AGV do TF

AGV bylo nutné sestavit tak, aby bylo možné jej implementovat do stávající TF. Pro tyto potřeby byla vytvořena trať s místy vykládky a nakládky. Na místech pro naložení a vyložení puku jsou umístěny pásové dopravníky, které jsou totožné s těmi, které jsou použity ve stávající TF. Tímto je zaručena správná výška a pozice, kde se puk má nakládat a vykládat. Aby AGV mohlo naložit puk, musí být puk již připraven na místě nakládky. Nyní je AGV naprogramováno tak, že na místě nakládky zastaví, připraví se na samotnou nakládku a vyčkává na stisk tlačítka. Toto tlačítko je umístěno přímo na AGV a dává informaci o tom, že je puk připraven k naložení. Po stisknutí tohoto tlačítka AGV naloží puk a odveze jej na správné místo vykládky. Tlačítko musí nyní mačkat manuálně operátor. Toto tlačítko bude později vyměněno za automatický systém využívající bezdrátovou síťovou komunikaci. Tento systém komunikace mezi TF a AGV bude předávat informaci o tom, že je puk připraven k naložení. Komunikace bude zajištěna pomocí protokolu MQTT, ale nejprve ji je potřeba implementovat do stávající TF. Trasu s barevnými značkami, pásovými dopravníky a AGV je možné vidět na Obrázek 38. Pohyb AGV po nakreslené čáře, trasu s dopravníky a barevnými značkami, nakládání a vykládání puků je možné vidět na videu v příloze 2.





Obrázek 38: Trasa s pásovými dopravníky

## 8.2 Nedostatky a omezení robota

Každé technické řešení jakéhokoliv problému má svoje klady a zápory. V této kapitole jsou shrnuty omezení a nedostatky tohoto návrhu AGV.

### 8.2.1 Počet výstupů řídicí desky

Jedním z omezení tohoto návrhu AGV je počet výstupů pro motory na řídicí desce. Jelikož je nutné zapojit do řídicí jednotky tři motory, kompresor a dva ventily, vzniká problém s nedostatkem prostoru pro zapojení jednotlivých komponentů. Tento problém má více možností řešení. Jedním z nich je možnost připojit druhou řídicí jednotku, která by sloužila pouze jako rozšiřující jednotka a poskytla by další místa pro zapojení motorů. Toto řešení a použití druhé řídicí jednotky by znamenalo zvětšení rozměrů AGV, a hlavně podstatné zvýšení nákladů na AGV, protože řídicí jednotka je nejdražší položkou postaveného modelu. To by bylo neekonomické, protože se jedná pouze o jeden chybějící slot pro zapojení kompresoru. Druhým řešením, které bylo i použito v tomto případě, je zapojení kompresoru přímo do zdroje 9 V. V tomto případě reaguje kompresor na zapnutí řídicí desky a je v provozu neustále po dobu běhu řídicí jednotky. Nevýhodou tohoto zapojení však je, že zde odpadá možnost řízení chodu kompresoru a snižuje se tak výdrž baterie pro napájení celé AGV. Další případným řešením by bylo přidání druhé baterie, která by zajišťovala pouze chod kompresoru, čímž by se prodloužila doba provozu AGV na jedno nabití. K této přídatné baterii by bylo možné přidat manuální spínač, kterým by se kompresor aktivoval uživatelem při zapínání AGV.

### 8.2.2 Úzké místo při nakládce

Dalším omezení vzniká při nakládce puku. Zde je nezbytné, aby byl robot naprosto přesný a zastavil přímo nad pukem. Je tedy nutné zajistit, aby se puk pro nakládku nacházel vždy na naprosto totožném místě. Dále se musí snížit rychlost pohybu robota, umístit místo

nakládky v dostatečné vzdálenosti od zatačky a dodržet minimální předepsaný rozměr nakreslené čáry 2 cm. I přes tato opatření je možné, že se robot neplánovaně lehce vychýlí a že nakládka/vykládka puku se nevydaří. Tento stav je možné ošetřit ve zdrojovém kódu. Pokud senzor pro snímání barvy naloženého puku nevrátí žádnou barevnou hodnotu, která by odpovídala barvě jednoho z puků, je možné, aby AGV o nějaký kus zacouvalo a znovu se pokusilo o přesné přiblížení a nakládku. Pokud by bylo potřeba, aby se robot pohyboval rychleji, je možné před a za místo vykládky umístit barevné značky. Tyto případné značky by byly využity ke snížení/zvýšení rychlosti pouze v požadovaném úseku.

### **8.2.3 Přesnost snímání velkého množství barevných značek**

Další nedostatek by mohl nastat, pokud by bylo přidáno do oběhu více barev puků, nebo by bylo zapotřebí použití více barevných značek. Senzory by nebyly schopny s vysokou pravděpodobností rozeznat více barev hlavně ve chvíli, kdy jsou si barvy podobné. Nejsou schopny tak přesného snímání za běžných světelných podmínek. Mohlo by docházet k případům, že barvu vůbec nerozpoznají, nebo při malých odstínových rozdílech jednotlivých barev by senzory zaznamenaly barvu špatně. Proto je vhodné použít základní barvy barevného spektra, které se snadno rozpoznají a je možné u nich nastavit větší tolerance.

## Závěr

Úvodní část práce slouží jako teoretické východisko pro vytvoření AGV sestaveného pomocí stavebnice Fischertechnik se systémem kompatibilním se stávající TF pro vykládku a nakládku různě barevných puků. Pro vlastní vytvoření tohoto AGV bylo nutné vysvětlit a popsat princip funkce AGV a jeho použití v praxi. Udělat analýzu možností navigace AGV využívaných v praxi, porovnat jejich výhody a nevýhody.

Tyto poznatky byly použity pro porovnávání možností, které nabízí stavebnice Fischertechnik. Jedná se o možnosti použití senzorů ke sledování čáry, různé možnosti konstrukce samotného řízení pohybu robota a vhodných typů kol. Pro zvolení nejvhodnějšího senzoru a pro sledování trasy je nutné zohlednit prostředí, ve kterém se bude AGV pohybovat. Pro výběr varianty řízení AGV a typu kol jsou rozhodujícími faktory hmotnost AGV, hmotnost jeho nákladu a maximální rychlost pohybu AGV.

Pro správné fungování AGV bylo nutné popsat také TF, do které bude AGV zakomponováno, a řídicí jednotku, jejíž programování se provádí v aplikaci ROBOPro Coding. V této aplikaci byl vytvořen zdrojový kód pomocí vizuálního programového jazyka.

Praktická část byla zaměřena na vývoj a sestavení AGV. Bylo nutné nejprve sestavit základní model robota, který bude použit pro testy s jednotlivými senzory pro sledování čáry. Z těchto senzorů bylo nutné vybrat ten nejvhodnější pro potřeby AGV. Dalším krokem bylo vymyslet systém, který umožní AGV zastavit na místech vykládky a nakládky. Pro tyto účely byl vytvořen systém s barevnými značkami, které jsou umístěny na zem. Pro tento systém bylo nutné opět vybrat správný senzor, který zaručí rozpoznání barevných značek a zaručí bezproblémové zastavení robota. Dalším krokem bylo vytvoření systému pro samotnou nakládku a vykládku puku. Byl sestaven pneumatický systém s jedním kompresorem, třemi písty, dvěma ventily a jednou přísavkou. Dále bylo vytvořeno rameno pro uchopení a vyzdvižení puků. O ovládání zdvihu ramene se stará již zmíněný pneumatický systém. Pneumatický systém taktéž vytváří podtlak pro nasátí a uchopení puku. Jelikož jsou puky různě barevné a AGV musí disponovat funkcí rozeznání jejich barvy, bylo nutné zajistit rotaci ramene a zajistit senzor pro rozpoznání barvy puku. Aby mohlo AGV vůbec fungovat, bylo nezbytné vytvořit zdrojový kód. Program byl vytvářen průběžně s kompletací robota.

V závěru praktické části je shrnutý celkový technický stav AGV. Jsou zde uvedeny všechny použité komponenty a jejich umístění na AGV. V poslední kapitole jsou sepsány nedostatky a omezení, které se vyskytly při sestavování AGV a které vyplynuly z jednotlivých řešení funkcí AGV. Jsou zde i popsány možnosti pro odstranění nebo minimalizaci těchto nedostatků.

## Seznam použitých zdrojů

- [1] „Automaticky řízená vozidla (AGV) a laserově řízené vozidla (LGV),“ MECALUX, [Online]. Available: [https://www.mecalux.cz/technicka-prirucka-pro-skladovani/vysokozdvizne-voziky/automaticky-laserove-rizena-vozidla-agv-lgv?src=gg&param1=g&param2=dynamic\\_search\\_ads&param3=dynamic\\_search\\_ads&param4=c&param5=&utm\\_source=google&utm\\_medium=cpc&gclid=Cj0KCQjwh](https://www.mecalux.cz/technicka-prirucka-pro-skladovani/vysokozdvizne-voziky/automaticky-laserove-rizena-vozidla-agv-lgv?src=gg&param1=g&param2=dynamic_search_ads&param3=dynamic_search_ads&param4=c&param5=&utm_source=google&utm_medium=cpc&gclid=Cj0KCQjwh). [Přístup získán 28 11 2022].
- [2] T. Bräunl, Embedded Robotics From Mobile Robots to Autonomous Vehicles with Raspberry Pi and Arduino, Berlín: Singapore: Springer, 2022, ISBN: 9789811608049.
- [3] U. Günter, Automated Guided Vehicle Systems: A Primer with Practical Applications, Oberheimbach: Springer, 2016, ISBN: 3662521334.
- [4] V. Shobhit, Precision Positioning of Automatically Guided Vehicles: - Research Study and Prototype Development, New York: VDM Verlag Dr. Müller, 2010, ISBN: 9783639253573.
- [5] „Solution for track guidance,“ GÖTTING, [Online]. Available: <https://www.goetting-agv.com/solutions>. [Přístup získán 28 11 2022].
- [6] „AGV navigation,“ AGV network, [Online]. Available: <https://www.agvnetwork.com/17-agv-components/yuanben/magnetic-guidance-sensors/27-digital-agv-magnetic-guiding-sensor-16-bits>. [Přístup získán 28 11 2022].
- [7] S. Wang, Road Terrain Classification Technology for Autonomous Vehicle, Peking: Springer Nature Singapore, 2019, ISBN: 9811361541.
- [8] „Transponder Code and Positioning Pulse,“ GÖTTING, [Online]. Available: <https://www.goetting-agv.com/components/7145x>. [Přístup získán 28 11 2022].
- [9] „Laser scanner for navigation,“ GÖTTING, [Online]. Available: <https://www.goetting-agv.com/components/43600>. [Přístup získán 28 11 2022].
- [10] „About us fischertechnik,“ fischertechnik, [Online]. Available: <https://www.fischertechnik.de/en/about-us>. [Přístup získán 28 11 2022].
- [11] M. Malaga a Z. Ulrych, Základy řízení robotů pro strojní inženýrství, Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2020, ISBN: 978-80-261-0486-5.
- [12] „Fischertechnik Trail senzor,“ fischertechnik, [Online]. Available: <https://content.ugfischer.com/cbfiles/fischer/Zulassungen/ft/128598-Trail-sensor.pdf>. [Přístup získán 28 11 2022].
- [13] „TXT 4.0 Controller,“ fischertechnik, [Online]. Available: <https://www.fischertechnik.de/en/products/learning/stem-robotics/560166-edu-txt-4-0-controller>. [Přístup získán 28 11 2022].
- [14] M. Malaga a Z. Ulrych, Základy robotiky – programování hardwarových modelů, Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2023, ISBN: 978-80-261-1144-3.

- [15] „Wheel Control Theory,“ Robot platform, [Online]. Available: [http://www.robotplatform.com/knowledge/Classification\\_of\\_Robots/wheel\\_control\\_theory.html](http://www.robotplatform.com/knowledge/Classification_of_Robots/wheel_control_theory.html). [Přístup získán 28 11 2022].
- [16] „Robotics Add On: Omniwheels,“ fischertechnik, [Online]. Available: <https://www.fischertechnik.de/en/products/learning/stem-robotics/559898-robotics-add-on-omniwheels>. [Přístup získán 11 28 2022].
- [17] „Fischertechnik base set robot,“ [Online]. Available: [https://content.ugfischer.com/cbfiles/fischer/produktbilder/ft/559888\\_Digitaler\\_Spurfolger\\_digital\\_track\\_follower.jpg](https://content.ugfischer.com/cbfiles/fischer/produktbilder/ft/559888_Digitaler_Spurfolger_digital_track_follower.jpg). [Přístup získán 4 4 2023].
- [18] „Fischertechnik base set robot with USB camera,“ [Online]. Available: [https://content.ugfischer.com/cbfiles/fischer/produktbilder/ft/559888\\_Analoger\\_Spurfolger\\_Analogue\\_track\\_follower.jpg](https://content.ugfischer.com/cbfiles/fischer/produktbilder/ft/559888_Analoger_Spurfolger_Analogue_track_follower.jpg). [Přístup získán 4 4 2023].
- [19] „fischertechnik USB-camera,“ fischertechnik, [Online]. Available: <https://content.ugfischer.com/cbfiles/fischer/Zulassungen/ft/152522-USB-Camera.pdf>. [Přístup získán 28 11 2022].
- [20] M. TIMMONS-BROWN, Learn Robotics with Raspberry Pi Build and Code Your Own Moving, Sensing, Thinking Robots, San Francisco: No Starch Press Inc., 2019, ISBN: 9781593279202.