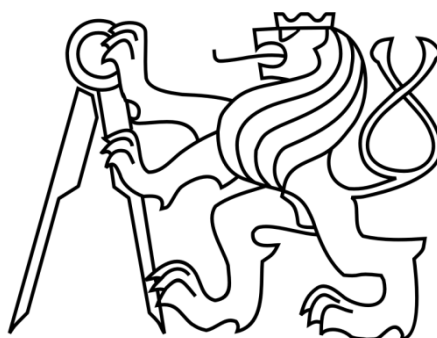


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

ÚSTAV MECHANIKY, BIOMECHANIKY A MECHATRONIKY

Odbor mechaniky a mechatroniky



Bakalářská práce

**Experimentální model robotické platformy
pro inventarizaci skladu**

Praha, 2022

Pavel Pravec

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Pravec** Jméno: **Pavel** Osobní číslo: **492476**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav mechaniky, biomechaniky a mechatroniky**
Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**
Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Experimentální model robotické platformy pro inventarizaci skladu

Název bakalářské práce anglicky:

Experimental model of a robotic platform for warehouse inventory

Pokyny pro vypracování:

1. Proveďte rešerši využití robotických platform při inventarizaci skladu.
2. Sestavte robotický podvozek s všesměrovými koly.
3. Navrhněte a sestavte mechanismus pro pohyb snímacího zařízení ve svislém směru.
4. Zkompletujte experimentální model a ověřte jeho funkci.

Seznam doporučené literatury:

- [1] Gferrer, A.: Geometry and kinematics of the Mecanum wheel, Computer Aided Geometric Design, 2008, 25(9), pp. 784–791
[2] Rey, R., Corzetto, M., Cobano, J.A., Merino, L., Caballero, F.: Human-robot co-working system for warehouse automation. In: IEEE ETFA, 2019, pp. 578–585
[3] Dhaliwal, A.: The Rise of Automation and Robotics in Warehouse Management, In Transforming Management Using Artificial Intelligence Techniques, CRC Press, 2020, pp. 63-72

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Petr Beneš, Ph.D. odbor mechaniky a mechatroniky FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **22.04.2022**

Termín odevzdání bakalářské práce: **15.08.2022**

Platnost zadání bakalářské práce: _____

Ing. Petr Beneš, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

doc. Ing. Miroslav Španiel, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady uvedené v příloženém seznamu.

V Praze, dne

.....

Podpis

Poděkování

Chtěl bych poděkovat svému vedoucímu práce, panu Ing. Petru Benešovi, Ph.D. za odborné vedení, vstřícný přístup, ochotu pomoci a vynaložený čas v průběhu tvorby této bakalářské práce.

Zároveň bych chtěl poděkovat rodině za podporu během ale nejen při studiu na vysoké škole.

Anotační list

Jméno autora:	Pavel Pravec
Název bakalářské práce:	Experimentální model robotické platformy pro inventarizaci skladu
Anglický název:	Experimental model of a robotic platform for warehouse inventory
Akademický rok:	2021/2022
Obor studia:	Teoretický základ strojního inženýrství
Ústav/odbor:	Ústav mechaniky, biomechaniky a mechatroniky Odbor Mechaniky a mechatroniky
Vedoucí bakalářské práce:	Ing. Petr Beneš, Ph.D.
Bibliografické údaje:	Počet stran: 51 Počet obrázků: 48 Počet příloh: 1
Klíčová slova:	Robotická platforma, inventarizace, kola mecanum, všesměrová, Arduino, MegaPi Pro, mBlock 5, Makeblock
Keywords:	Robotic platform, inventory, mecanum wheels, omnidirectional, Arduino, MegaPi Pro, mBlock 5, Makeblock

Anotace:

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem, realizací a experimentálním ověřením návrhu experimentální robotické platformy pro inventarizaci ve skladu. Je v ní prozkoumán vhodný hardware a software. V práci je popsáno, jak lze takovou platformu zkonstruovat a naprogramovat, důraz se klade na všesměrovou platformu na bázi kol Mecanum.

Abstract:

This thesis deals with design, implementation and experimental verification of the proposed design of experimental robotic platform for warehouse inventory taking. This work explores suitable hardware and software, with emphasis on omnidirectional platform based on Mecanum wheels.

Obsah

Prohlášení.....	3
Poděkování.....	4
Obsah.....	7
Seznam obrázků.....	9
Úvod.....	11
Cíle práce.....	12
1. Robotické platformy a roboti používané pro inventarizaci.....	13
1.1. Vývoj v odvětví skladování a inventarizace.....	13
1.1.1. Digitální automatizace.....	13
1.1.2. Fyzická automatizace.....	13
1.2. Automated Guided Vehicles (AGVs).....	14
1.3. Autonomous Mobile Robots (AMR).....	14
1.4. Drony.....	15
1.5. Volba formy experimentální všesměrové inventarizační platformy pro sestavení v rámci této práce.....	16
2. Vsesměrové podvozky na bázi kol Mecanum.....	17
2.1. Kola Mecanum.....	17
2.2. Platforma s koly Mecanum.....	18
2.3. Kinematika všesměrové mecanum platformy.....	20
2.4. Vsesměrová platforma Makeblock.....	22
2.5. Jiné varianty všesměrových platform.....	23
2.5.1. Stavebnice robotického podvozku s Mecanum Omni koly z webu Laskakit 23	
2.5.2. OSOYOO 4WD Mecanum Wheel Robot Car Platform Chassis.....	24
2.5.3. Big Load Smart RC Mecanum Wheel Robot Car Chassis Kit.....	24
3. Řízení robotické platformy a dalších komponent.....	26
3.1. Hardware ze sady Makeblock.....	26
3.1.1. MegaPi Pro.....	26
3.1.2. Me High Power Encoder/DC Motor Driver.....	27
3.1.3. Me 36 DC 12V Motor.....	28
3.2. Další hardware pro sestavení pojezdu.....	29
3.2.1. Motorový driver DRV8825.....	29
3.2.2. Krokový Motor J-4218HB1401.....	31
3.2.3. Xiaomi Mi Home Security Camera 360° 1080P.....	31
3.3. Software pro ovládání desky.....	32

3.3.1. Arduino IDE	32
3.3.2. mBlock 3.....	32
3.3.3. mBlock 5.....	33
4. Navržení, sestavení a oživení inventarizační platformy	35
4.1. Návrh platformy	35
4.1.1. Výběr Hardwaru a Softwaru.....	35
4.2. Konstrukce platformy.....	36
4.3. Zapojení DRV8825	39
4.4. Finální podoba Platformy.....	42
4.5. Naprogramování.....	42
4.6. Experimentální ověření funkčnosti.....	46
4.7. Konceptuální návrh s dronem	47
5. Závěr	48
Zdroje	49

|

Seznam obrázků

Obrázek 1.1: příklad 2 různých AGVs. Převzato z [4]	14
Obrázek 1.2: Inventarizační AMR robot TagSurveyor. Převzato z [5]	15
Obrázek 1.3: Koncept inventarizačního dronu. Převzato z [7]	16
Obrázek 2.1: Kolo Mecanum Převzato z [8]	17
Obrázek 2.2: Problémový kontakt kola na nevhodném povrchu. Převzato z [8]	17
Obrázek 2.3: Upravená kola. Převzato z [8]	18
Obrázek 2.4: Schéma zapojení se 3mi koly. Převzato z [9]	18
Obrázek 2.5: Schéma zapojení se 4mi koly. Převzato z [9]	19
Obrázek 2.6: kombinace otáčení kol pro jednotlivé směry. Převzato z [10]	19
Obrázek 2.7 závislost rychlostí na směru pohybu. Převzato z [11]	20
Obrázek 2.8 Schéma podvozku a zavedení SS. Převzato z [12]	21
Obrázek 2.9 Menší konfigurace. Převzato z [13]	22
Obrázek 2.10 Větší konfigurace. Převzato z [13]	22
Obrázek 2.11 specifikace konfigurací. Převzato z [13]	23
Obrázek 2.12: platforma z webu Laskakit. Převzato z [15]	23
Obrázek 2.13: Platforma OSOY00. Převzato z [16]	24
Obrázek 2.14: platforma Big Load Smart RC. Převzato z [17]	25
Obrázek 3.1: Deska MegaPi Pro. Převzato z [18]	26
Obrázek 3.2: rozmístění rozhraní na desce. Převzato z [18]	27
Obrázek 3.3: High Power Driver. Převzato z [19]	28
Obrázek 3.4: Me 36 12V Motor. Převzato z [20]	28
Obrázek 3.5 Motorový driver 8825. Převzato z [22]	29
Obrázek 3.6 čip DRV8825. Převzato z [21]	29
Obrázek 3.7: DRV8825 s instalovaným chladičem. Převzato z [21]	30
Obrázek 3.8: potenciometr pro nastavení maximálního proudu. Převzato z [21]	30
Obrázek 3.9: piny ovládající mikrokrokování. Převzato z [21]	30
Obrázek 3.10: použitý krokový motor. Převzato z [23]	31
Obrázek 3.11: Kamera Xiaomi Mi Home Security. Převzato z [24]	31
Obrázek 3.12: Příklad programování v mBlock 3. Převzato z [27]	33
Obrázek 3.13: Příklad programování v mBlock 5	34
Obrázek 4.1 příklad cross-docku. Převzato z [30]	35
Obrázek 4.2: Složení a zapojení podvozkové části	37
Obrázek 4.3: Konstrukce pojezdu a zapojení motoru	37
Obrázek 4.4: Pojezd přimontovaný k podvozkové platformě	38
Obrázek 4.5: Připevnění kamery na platformu	38
Obrázek 4.6: zapojení motoru k řídicí desce	39
Obrázek 4.7: Zapojení DRV8825 při nastavování max. proudu. Převzato z [31]	40
Obrázek 4.8: Odečítání referenčního napětí. Převzato z [31]	40
Obrázek 4.9: Přepínování driveru na řídicí desku	41

Obrázek 4.10: Odpojení 3 pinů kontrolujících velikost kroků	41
Obrázek 4.11: Finální podoba inventarizační platformy	42
Obrázek 4.12: výběr desky, v pozadí tlačítko add.....	43
Obrázek 4.13 Změna na režim Upload.....	43
Obrázek 4.14 Zkrácený blok motorů a blok pojezdu	44
Obrázek 4.15: Hlavní program	45
Obrázek 4.16: začátek kódu v Arduino C.....	45
Obrázek 4.17: Fotka pořízená kamerou platformy při experimentálním testu ve výšce 120cm.....	46
Obrázek 4.18: zkušební let s dronem.....	47

Úvod

S vývojem všech odvětví patřících do průmyslu 4.0 se posouvá i vývoj ve skladování. Systém řízení skladišť (WMS) prochází rychlým vývojem a zapojováním technologických pokroků se posouvá na úroveň Řízení skladování 4.0. Logistika se snaží na rostoucím trhu navýšit objemy, rychlost a efektivitu za co nejlepších finančních podmínek a zajistit si výhodu na konkurenčním trhu služeb. Jednou z cest je investování do vývoje a zavádění moderních technologií do celého logistického řetězce, nevyjímaje inventarizace. [1]

Právě pokrok v inventarizaci byl motivací ke vzniku této práce. Tato práce se zabývá zefektivněním inventarizace skladu za využití poloautonomních a neautonomních platforem na všesměrových platformách, které zefektivní inventarizaci ve skladu. Takové řešení by mělo jednodušší a levnější implementaci do současného systému fungování inventarizace. Platforma bude vyžadovat operátora, ale jeho pracovní zatížení bude sníženo, což bude mít pozitivní vliv na počet pracovníků.

V první části je popsán moderní vývoj v inventarizaci ve skladech, zejména využití robotů a robotických platforem. Je popsána automatizace, a kam míří moderní trendy. Dále jsou ve druhé části odborněji popsány všesměrové kola Mecanum a platformy fungující na jejich bázi. Práce dále představí. Ve třetí části se tato práce věnuje řešením k možným komponentům při sestavování experimentální inventarizační platformy. Ve čtvrté části je potom představen celý proces návrhu, stavby a programování vytvářené inventarizační platformy do skladu. Závěrem této bakalářské práce je vyhodnocení funkčnosti vytvořeného naprogramování a celé platformy.

Cíle práce

Hlavním cílem této práce je navrhnout možnosti zefektivnění procesu inventarizace za využití všesměrové platformy. Práce se zabývá prozkoumáním možností sestrojení a řízení takové inventarizační všesměrové platformy. Půjde o prozkoumání jaký hardware a software je možné k sestrojení použít, následně poté platformu sestrojít a vytvořit programy potřebné k řízení. Následně vedlejším cílem je zdokumentovat postup vytvoření programů, což může v budoucnosti sloužit jako návod při vytváření tohoto či podobného experimentálního zařízení a jeho dalším vývoji.

1. Robotické platformy a roboti používaní pro inventarizaci

Roboti a robotické platformy nacházejí čím dál větší zastoupení v odvětví skladování. Firmy začínají více využívat jejich potenciál, který je souběžně s postupujícím vývojem stále větší, roboti tak nacházejí zastoupení v mnoha skladových funkcích. Jednou z těchto funkcí je i inventarizace. V následujících podkapitolách bude představen vývoj automatizace a typy robotickým platformem používaných k inventarizaci.

1.1. Vývoj v odvětví skladování a inventarizace

S vývojem v průmyslu na průmysl 4.0 se vyvíjejí i odvětví zaměřená na skladování a management skladů. Vyvíjí se řízení skladování 4.0 a jedním z největších pokroků v tomto odvětví náleží právě technologickým pokrokům. Sklady zavádějí moderní Warehouse Management System (WMS), zaměřený na zvýšení efektivity a snížení nákladů. Jednou z hlavních cest vývoje je automatizace. Automatizace může být buďto digitální, fyzická nebo kombinovaná. Většina skladů je již do nějaké míry automatizovaná byť třeba jen digitálně, průmysl 4.0 cílí na rozšíření této automatizace a větším důrazem na fyzickou automatizaci [2]

1.1.1. Digitální automatizace

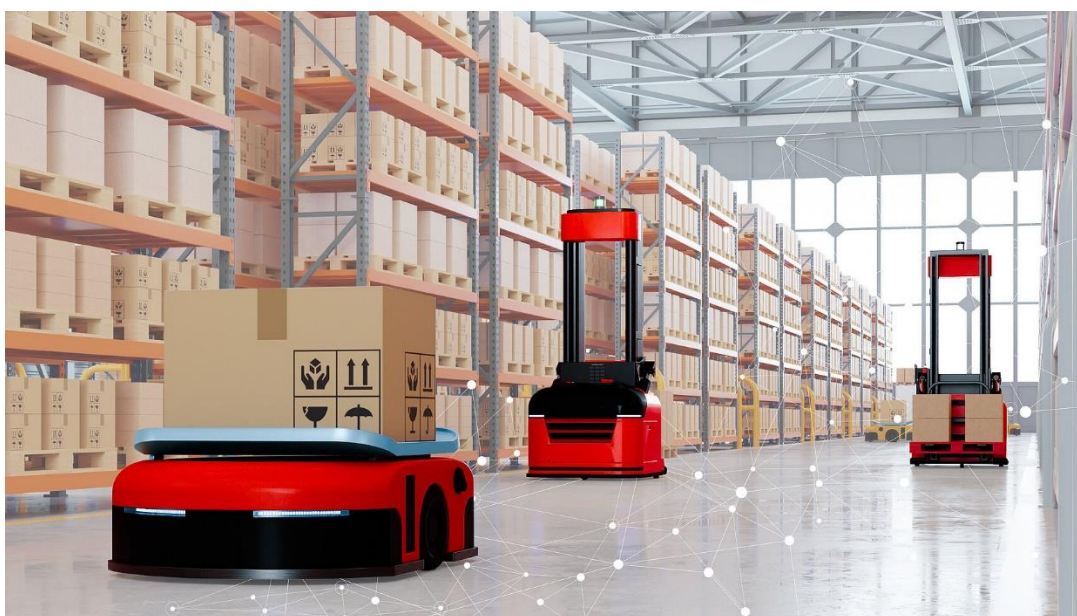
Digitální automatizace využívá data a software aby snížila manuální pracovní zátěž a zvýšila efektivitu. Příkladem může být dnes již standard odvětví, bar kódy a jejich skenování. V rámci vývoje a adaptování moderních technologií se testují možnosti zavedení umělé inteligence do managementu skladu. Umělá inteligence by mohla fungovat v různých stupních autonomie, podle některých návrhů by mohla pracovat plně autonomně a využívat při své práci tzv. Big data. S přístupem k takovým informacím by potom mohla skladování vést k co největší optimalizaci do míry člověkem nedosažitelné. [1] [2] Dle některých teorií by implementací umělé inteligence mohly obchodní řetězce těžit z až 87% velké přidané hodnoty. [3]

1.1.2. Fyzická automatizace

Fyzickou automatizací je myšleno využívání technologií k minimalizování pohybu a fyzické práci pracovníků skladiště. V jednoduché podobě může fyzická automatizace vypadat jako pás, na který pracovník naloží artikly, které potřebuje někam přemístit. Nejnovější pokrok však už práci pracovníků pomáhá ještě výrazně více, nebo ji v ideálním případě úplně nahrazuje. V poslední době se nejvíce rozrůstá použití robotů, robotických platform a dronů. V kombinaci s umělou inteligencí mají roboti potenciál velmi zefektivnit celé odvětví. [2] [3]

1.2. Automated Guided Vehicles (AGVs)

Automaticky naváděné platformy, nebo také AGVs se pohybují po skladu nejčastěji za pomoci magnetických pásek, které sledují ke svému cíli, mohou se ale také řídit nahranou mapou a kontrolovat svou pozici vůči okolí. Tyto typy robotických platforem mohou být výjimečně vybaveny schopností inventarizace, avšak nejčastěji jsou využívány k manipulaci a převozu artiklů v rámci skladu. [3]



Obrázek 1.1: příklad 2 různých AGVs. Převzato z [4]

1.3. Autonomous Mobile Robots (AMR)

Autonomní mobilní roboti, taktéž AMRs jsou vybaveni nejnovějšími chytrými sensory a navigačními technologiemi. Nepotřebují proto předem nastavenou trať, po které by se měli pohybovat a svůj pohyb optimalizují dle momentální situace. Mohou si vytvářet své vlastní cesty a za pohybu cestu upravovat aby se vyhnuli překážkám či zdržením. AMR roboti jsou často využíváni ke každodenní inventarizaci ve skladu ale také k dalším úkolům, jako je například třídění určitých artiklů. Díky AMR robotům má skladiště každodenní přesný přehled nad svým inventářem což má pozitivní efekt na chod celého skladu. [3]



Obrázek 1.2: Inventarizační AMR robot TagSurveyor. Převzato z [5]

1.4. Drony

Drony mohou pomoci zoptimalizovat inventarizační procesy ve skladu rychlým skenováním artiklů a udržováním automatického inventáře. Při spojení s pokročilým systém managementu skladu (WMS) mohou teoreticky pracovat polo autonomně či plně autonomně. Prozatím je však většina komerčně využívaných dronů řízená operátorem. [3]

Létající drony nepotřebují k navádění po skladu značení, nebo laserové navádění. Drony se orientují optickými systémy v kombinaci s deep-learningovými technologiemi. Svými menšími rozměry nezabírají tolik místa a je méně pravděpodobné že by způsobily zpomalení ostatních skladových procesů. Mohou se také pohybovat velkými rychlostmi nad pracovníky a ostatními zařízeními, čímž dále zefektivňují svou práci. Snáze a rychleji se také dostávají do hůře dostupných míst, zejména vysokých regálů. Doporučené využití dronů je ve větších skladech, s vysokými, jedno paletovými regály a delšími koridory. [6] [3]

Drony jsou ve skladech nejčastěji využívány právě pro inventarizaci. Některé firmy je ale adaptovali i pro jiné funkce, jako například Infra skladová logistika. V takovém případě přímo dron sám přenáší určité lehčí artikly v rámci skladu. Kvůli energetické náročnosti a menší únosnosti zatím tato funkce nenašla plošnějšího využití. Další, častěji aplikované využití dronů, je nasazení na inspekci a sledování skladu. V takovém případě dron pracuje poměrně standardně a operátor jej využívá k monitorování skladu. [6] [3]



Obrázek 1.3: Koncept inventarizačního dronu. Převzato z [7]

1.5. Volba formy experimentální všesměrové inventarizační platformy pro sestavení v rámci této práce

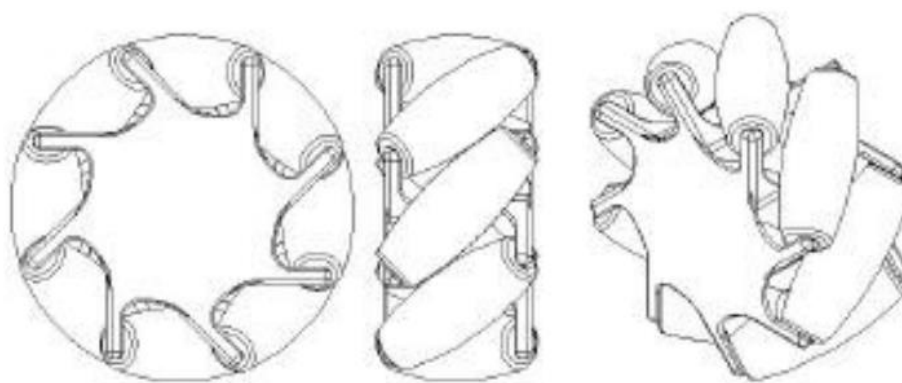
Nápad na všesměrovou, operátorem řízenou inventarizační platformu vznikl po konzultaci s logistickou firmou, která vyjádřila zájem o podobnou platformu, když nebyla spokojená se současnou nabídkou inventarizačních dronů na trhu a jejich zaváděcí cenou. Vznikl tedy koncept operátorem řízené platformy převážející ukotvený dron, který by mohl dosahovat vyšších pater skladu (12m) a součástí platformy by byla i baterie díky které by měl dron větší životnost, nežli se zabudovanou, což bylo jedním ze zmíněných nedostatků současné nabídky.

V rámci této práce však nebylo možné sehnat dron s dostatečnými vlastnostmi a proto bylo rozhodnuto vytvořit konceptuální inventarizační platformu se svislým posuvem vyřešeným za pomoci statického pojezdu, po kterém se bude pohybovat kamera.

2. Všesměrové podvozky na bázi kol Mecanum

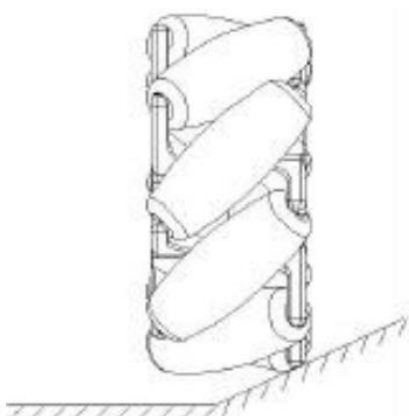
2.1. Kola Mecanum

Kola Mecanum, patentovaná Bengtem Erlandem Ilonem, fungují na principu centrálního kola s množstvím nejčastěji gumových válečků umístěných pod úhlem (nejčastěji 45°) po obvodu hlavního kola (obr. 1.1). Při rotačním pohybu kola nakloněné válečky přetransformují část rotační energie do síly normálové ke směru kola. Různým složením individuálních směrů a rychlostí otáčení jednotlivých kol lze poté složit výsledný silový vektor v jakémkoli žádaném směru, beze změny nasměrování kol samotných. [8]



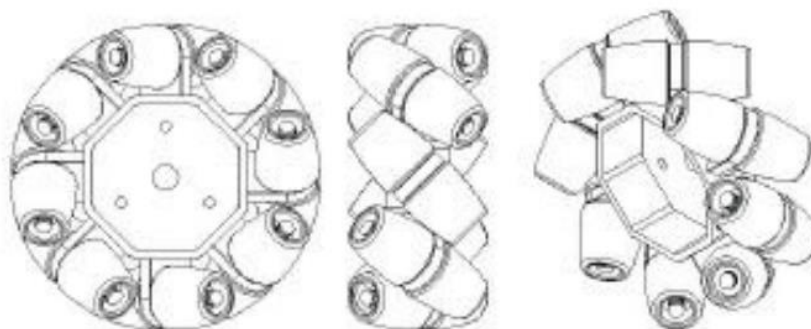
Obrázek 2.1: Kolo Mecanum Převzato z [8]

Neupravená kola fungují velmi dobře na rovném a upraveném terénu, jako je například ve skladištích, mohou však mít problém pokud jsou používány na nerovnoměrném terénu. Při styku s nakloněným, nebo nerovným terénem může dojít ke styku ve špatném místě, tedy na okraji kole a kolo poté ztrácí schopnost řádně fungovat (obr. 1.2). [8]



Obrázek 2.2: Problémový kontakt kola na nevhodném povrchu. Převzato z [8]

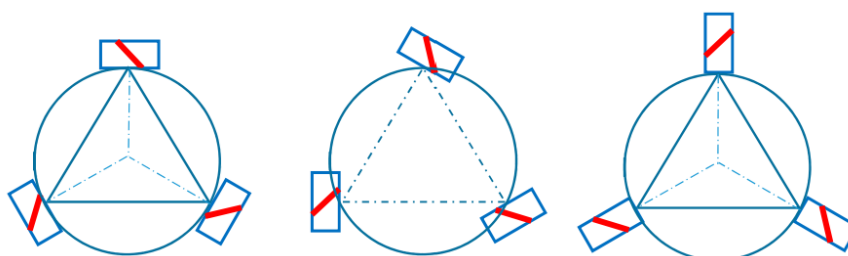
Řešením nevhodného povrchu může být do jisté úrovně vyřešeno jinou konstrukcí válečků, které jsou umístěny v párech namísto jednoho původního a nabízí tak lepší možnosti styku s méně vhodným povrchem (obr. 1.3). [8]



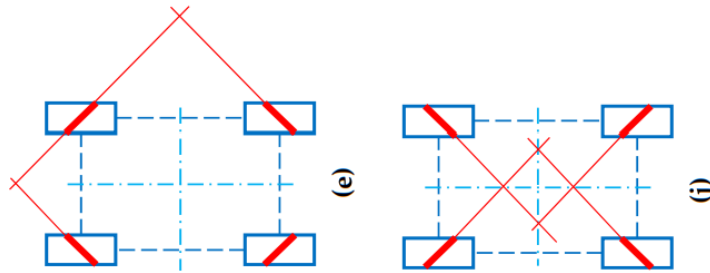
Obrázek 2.3: Upravená kola. Převzato z [8]

2.2. Platforma s koly Mecanum

Protože má každé kolo v rovině 3 stupně volnosti, lze kombinací 3 a více kol mecanum vytvořit Mecanum kolovou platformu. Taková platforma se koordinací směru a rychlosti otáčení jednotlivých kol může pohybovat v dané rovině jakýmkoli směrem a stává se z ní tedy všesměrová platforma. Díky jednoduché struktuře a flexibilitě využití všesměrového pohybu jsou všesměrové platformy na bázi Mecanum široce využívány. Nejčastěji se konstruuje platformy s kombinací 3 a 4 kol. V případech kdy je potřeba přepravovat velké zátěže se však využívají platformy s více koly, taková konstrukce ale v některých případech ztrácí možnost pohybovat se všemi směry. [9]

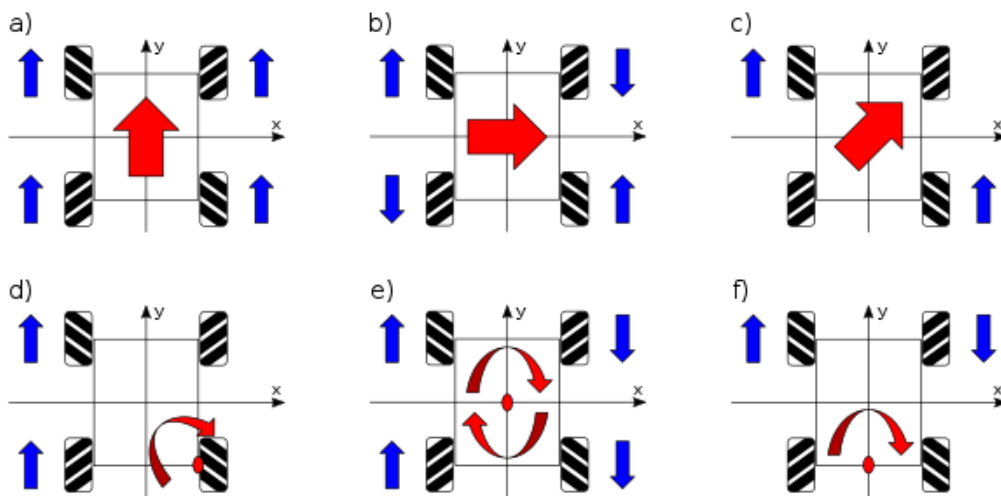


Obrázek 2.4: Schéma zapojení se 3mi koly. Převzato z [9]



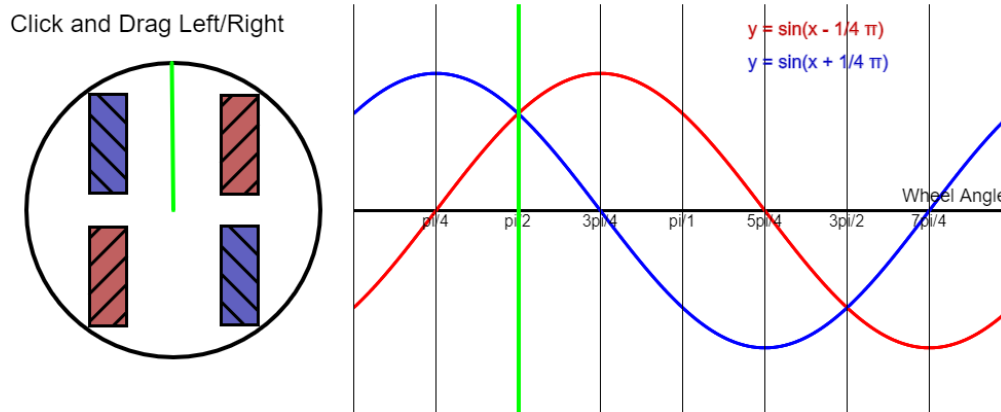
Obrázek 2.5: Schéma zapojení se 4mi koly. Převzato z [9]

Verze se 4mi koly je využívána nejčastěji. V této konfiguraci je platforma schopná pohybovat se po rovině do jakéhokoli směru a zároveň je stabilní a má flexibilní využití. [9] Kola jsou poskládána symetricky a ve stejném směru, pro ovládání v tomto zapojení se směr nemění a řízení probíhá pouze kombinací jednotlivých rychlostí otáčení (obr. 1.6). Ani tento design však není perfektní, například při pohybu přímo vpřed se ztrácí síla v otáčení válečků, nebo při diagonálním pohybu se otáčí pouze 2 kola a zbylá dvě vytvářejí na svých stykových plochách třecí sílu, kterou musí hnací dvojice překonávat. [8]



Obrázek 2.6: kombinace otáčení kol pro jednotlivé směry. Převzato z [10]

Závislost rychlosti otáčení vzhledem ke směru v rovině se dá popsat dvěma funkcemi, každou pro jeden diagonální pár kol (obr. 1.7). Tyto vztahy mohou být nápomocné například při programování platformy na systému čtyř Mecanum kol. Tyto rovnice však popisují pouze vztah pro jízdu jakýmkoli směrem, avšak bez otáčení platformy, takové pohyby se ale dají při programování poměrně snadno zahrnout do programu platformy. [11]



Obrázek 2.7 závislost rychlostí na směru pohybu. Převzato z [11]

2.3. Kinematika všesměrové mecanum platformy

Pro čtyř kolovou mecanum platformu je zaveden souřadnicový systém do středu platformy (obr 1.8), úhel pootočení rotujících válečků od směru kola je označen jako α a diagonální čáry na obrázku 1.8 označují rozmístění válečků vzhledem ke kontaktní ploše po které se platforma má pohybovat. Za předpokladu, že kola při kontaktu s povrchem nepodkluzují a platforma se bude pohybovat pouze v horizontální rovině, můžeme za pomoci kinematické analýzy popsat zavést inverzní kinematiku systému takto: [12]

$$V_{\omega} = J(\alpha) \cdot V_0 \quad (1)$$

Kde $V_{\omega} = [\omega_1 \ \omega_2 \ \omega_3 \ \omega_4]^T$ je rychlost otáčení kola. $V_0 = [v_x \ v_z \ \omega_0]^T$ je obecná rychlost středu platformy v zavedeném souřadnicovém systému XOZ. $J(\alpha)$ je Jacobiho matice inverzních rovnic pohybu.

$$J(\alpha) = \frac{1}{r} \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{\tan \alpha} & -\frac{L_1 \tan \alpha + L_2}{\tan \alpha} \\ 1 & -\frac{1}{\tan \alpha} & \frac{L_1 \tan \alpha + L_2}{\tan \alpha} \\ 1 & \frac{1}{\tan \alpha} & -\frac{L_1 \tan \alpha + L_2}{\tan \alpha} \\ 1 & -\frac{1}{\tan \alpha} & \frac{L_1 \tan \alpha + L_2}{\tan \alpha} \end{bmatrix} \quad (2)$$

Vyjádření obecné inverzní matice $J(\alpha)^+$ je

$$J(\alpha)^+ = (J(\alpha)^T J(\alpha))^{-1} J(\alpha)^T,$$

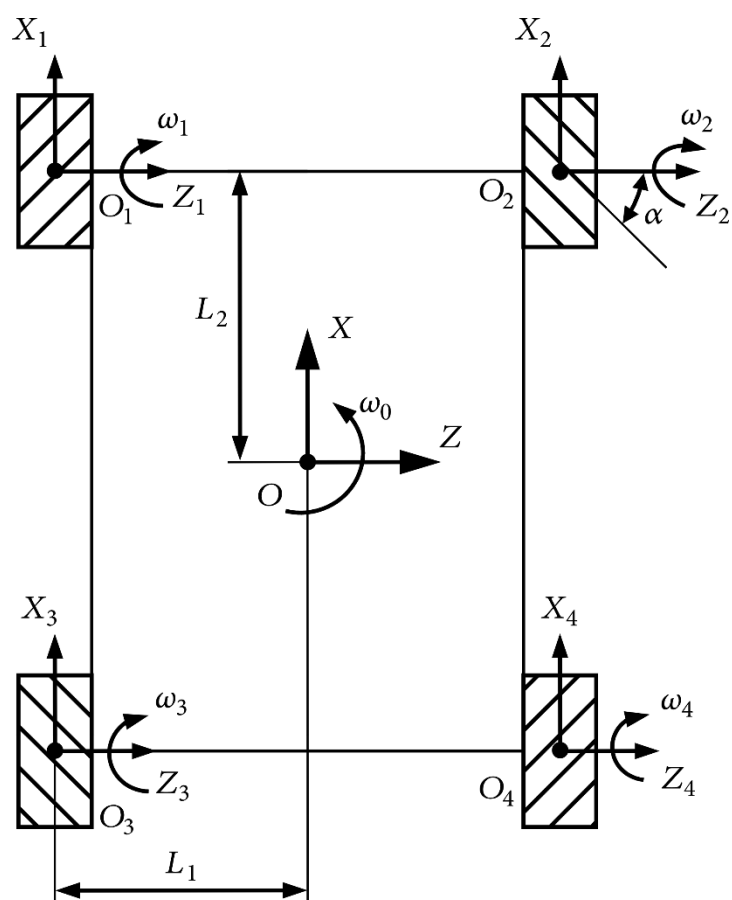
$$J(\alpha)^T J(\alpha) = I_3$$

(3)

V tomto modelu, pro $\alpha = 45^\circ$, získáváme rovnici pro dopředný kinematický systém:

$$\begin{bmatrix} v_x \\ v_z \\ \omega_0 \end{bmatrix} = \frac{r}{4} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \\ -\frac{1}{L_1 + L_2} & \frac{1}{L_1 + L_2} & -\frac{1}{L_1 + L_2} & \frac{1}{L_1 + L_2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \\ \omega_3 \\ \omega_4 \end{bmatrix}$$

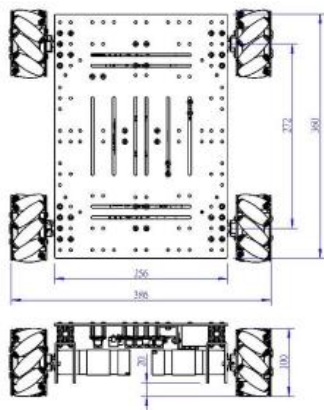
(4)



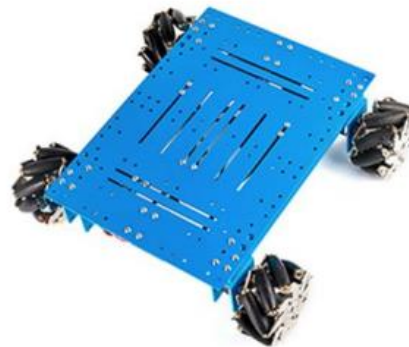
Obrázek 2.8 Schéma podvozku a zavedení SS. Převzato z [12]

2.4. Všesměrová platforma Makeblock

Pro sestavení experimentálního modelu byla vybrána všesměrová platforma s koly Mecanum od firmy Makeblock. Firma Makeblock vydala sadu s názvem Mecanum Wheel Robot Kit, tato sada obsahuje součásti s eloxovaného hliníku potřebné pro stavbu robotického šasi a hardwarové komponenty (blíže popsané v kapitole 2.1) potřebné k rozchození platformy. Balení obsahuje komponenty, které umožňují složení šasi ve dvou konfiguracích, menší (obrázek 1.9) a větší (obrázek 1.10).

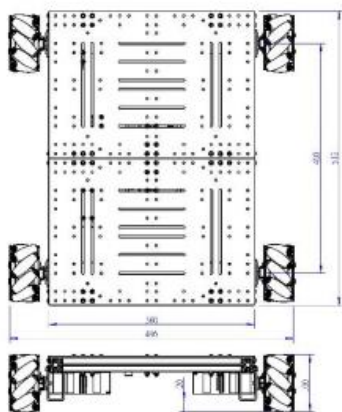


Size I Size Chart

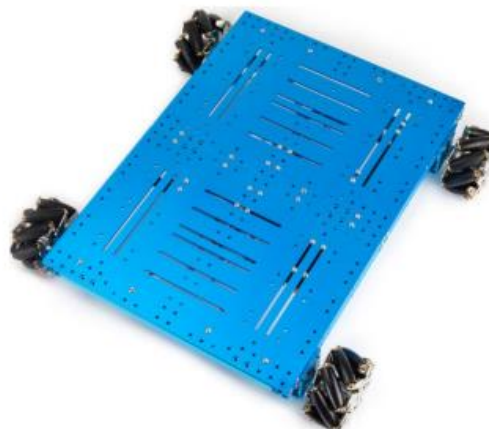


Size I Product Image

Obrázek 2.9 Menší konfigurace. Převzato z [13]



Size II Size Chart



Size II Product Image

Obrázek 2.10 Větší konfigurace. Převzato z [13]

Type	Size (mm)	Rated Load (kg)	Max. Operation Speed (m/s)
Size I	360 x 386 x 100	10	1
Size II	496 x 512 x 100	40	1

Obrázek 2.11 specifikace konfigurací. Převzato z [13]

Platforma od firmy Makeblock byla vybrána pro sestavení experimentálního modelu z několika důvodů. Mezi hlavní důvody patří kompatibilita použitého hardwaru, který je založený na platformě Arduino a je proto kompatibilní s programováním pro Arduino. To je velkou výhodou při další stavbě experimentální inventarizační platformy, kdy bude výrazně lehčí hardwarová i softwarová integrace dalších částí. Dalším důvodem jsou specifikace šasi, které má ve větší konfiguraci největší plochu z běžně dostupných variant a snese jmenovitou zátěž 40kg [13] [14], což bylo pro některé koncepty na počátku práce důležité. Cena a dostupnost také hrála roli, neboť škola již měla jednu platformu od firmy Makeblock k dispozici a nebylo nutné vynakládat další finanční prostředky na koupi jiné varianty.

2.5. Jiné varianty všesměrových platform

2.5.1. Stavebnice robotického podvozku s Mecanum Omni koly z webu Laskakit

Jde o stavebnici základního všesměrového podvozku. Platforma je dostupná na českém trhu bez nutnosti importu ze zahraničí a její cena je výrazně nižší, než cena platformy od firmy Makeblock. Podvozek je však svými rozměry velmi malý (220x170x70mm) [15] a proto by byl pro další práci nevhodný.



Obrázek 2.12: platforma z webu Laskakit. Převzato z [15]

2.5.2. OSOY00 4WD Mecanum Wheel Robot Car Platform Chassis

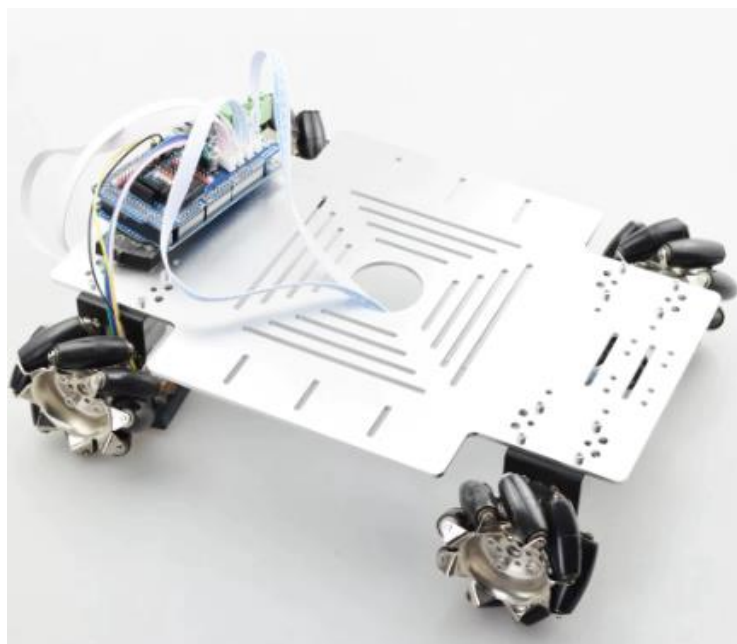
Tato platforma také používá mecanum kola pro dosažení všesměrového pohybu. V balení není přidána řídicí jednotka, ale enkodéry pro motory jsou kompatibilní s programováním přes Arduino, nebo RaspberryPi. Výhodou tohoto modelu je dostupná CAD dokumentace, díky které by se dalo velmi dobře vytvářet množství komponentů přesně sedících na desce platformy. Nevýhoda této platformy je ale nižší nosnost 3kg a poměrně malé rozměry (230x170x53mm). Cenově již tato platforma také vyjde jako poměrně vyšší investice. [16]



Obrázek 2.13: Platforma OSOY00. Převzato z [16]

2.5.3. Big Load Smart RC Mecanum Wheel Robot Car Chassis Kit

Tato platforma opět využívá kol typu Mecanum k všesměrovému pohybu. Součástí kitu je veškerý potřebný hardware pro oživení platformy. Platforma je řízena přes Arduino Mega2560, což znamená dobrou kompatibilitu při dalším přidávání komponent a programování platformy pro inventarizaci. Nosnost platformy je 25kg a její rozměry jsou (320x230x80mm). Má tedy vhodné parametry pro stavbu experimentální inventarizační platformy. Cena je podobná platformě Makeblock, avšak problematická by mohla být dostupnost. Jedná se o optimální variantu, v případě že by nemohla být použita platforma od firmy Makeblock. [17]



Obrázek 2.14: platforma Big Load Smart RC. Převzato z [17]

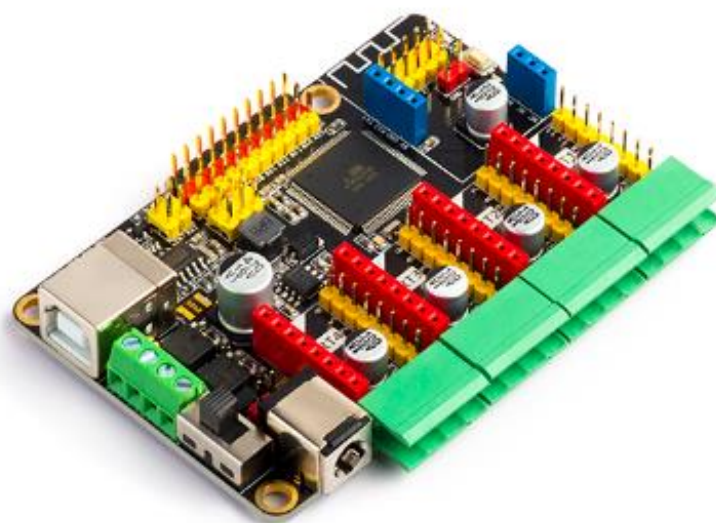
3. Řízení robotické platformy a dalších komponent

Pro sestavení inventarizační platformy byla vybrána jako základ sada Mecanum Wheel Robot Kit od společnosti Makeblock. Ta poskytuje hardware potřebný k pohybu samotného šasi, jedná se o open source hardware na bázi arduina a je proto možné využít řídicí desku na více činnostech než řízení podvozku. V následující sekci je představen hardware a software, který je využíván pro řízení podvozku a ovládání funkcí přidanych pro inventarizaci

3.1. Hardware ze sady Makeblock

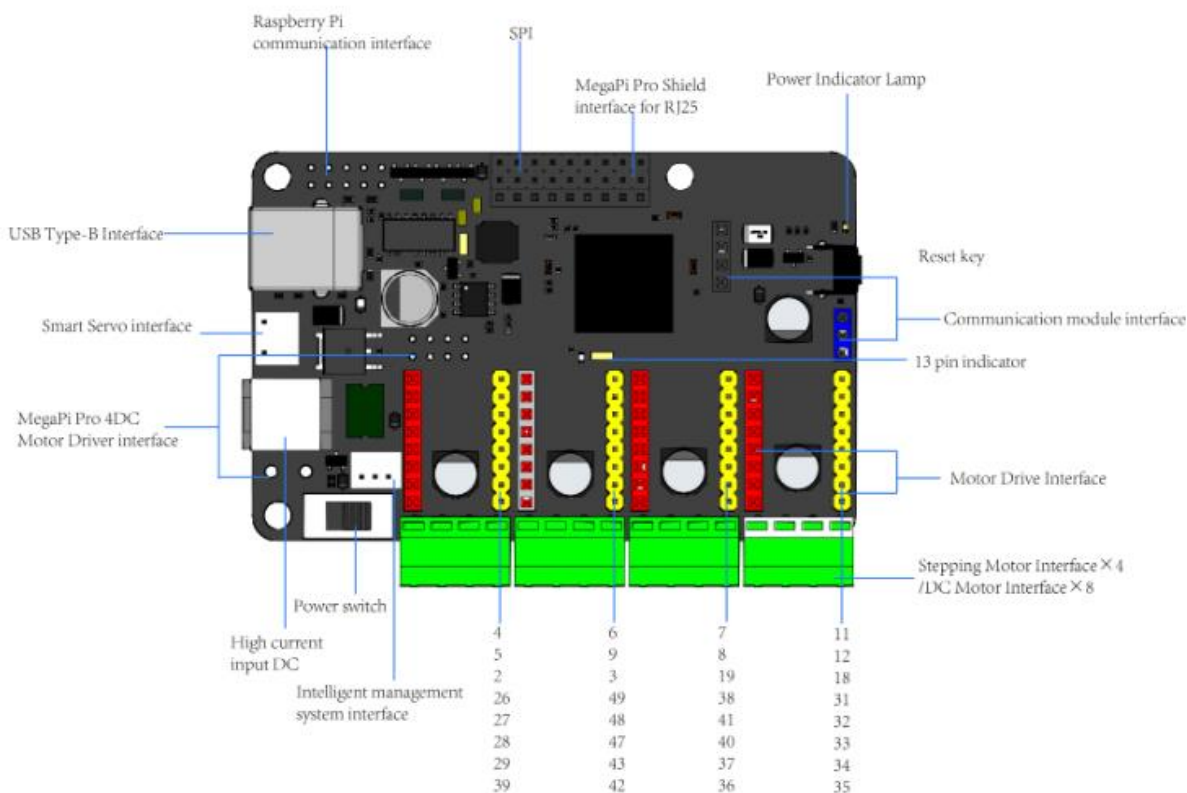
3.1.1. MegaPi Pro

MegaPi Pro je řídicí deska založená na platformě Arduino ATmega2560 a je plně kompatibilní s programováním standardního arduina. Deska byla vytvořena specificky pro kontrolu různých motorových zařízení, k tomu je i specificky vybavená. Deska má mikrokontrolér ATMEGA2560-16AU s taktem 16 MHz a paměť 256kB. Provozní napětí desky je 5 V a podporuje vstupní napětí/proud DC 6-12V/10A. Deska má rozměry 86 mm x 53 mm a obsahuje 43 Input/Output (I/O) pinů. Deska má také čtyři motorová rozhraní, která mohou snadno komunikovat enkóderovými nebo krokovými drivery pro řízení DC, enkóderových nebo krokových motorů. Součástí je i modul pro bezdrátovou Bluetooth nebo 2.4G komunikaci, jedno rozhraní pro chytrá serva, které dokáže řídit až 6 chytrých serv souběžně a jedno čtyř-směrné rozhraní pro řízení až čtyř DC motorů. Jako jedna z možností je i připojení rozšiřující deskové rozhraní RJ25, které nabízí připojení dalších zařízení přes Makeblock porty [18]



Obrázek 3.1: Deska MegaPi Pro. Převzato z [18]

MegaPi Pro je kompatibilní s Arduino programováním, ale desku je možné ovládat i pomocí Raspberry Pi. Komunikace a programování desky probíhá přes vestavěný USB-B interface, bezdrátově nebo přes komunikační rozhraní pro RaspberryPi, které je součástí desky. Deska je programovatelná přes Arduino software (IDE), grafické programovací jazyky mBlock 3 a mBlock 5, nebo přes Raspberry Pi jazykem Python. [18]



Obrázek 3.2: rozmístění rozhraní na desce. Převzato z [18]

Díky mnoha rozhraním pro řízení různých motorů je MegaPi Pro ideální volbou při stavění robota který využívá DC, krokové nebo servo motory. Hodí se tedy velmi dobře i pro stavbu všesměrové inventarizační platformy, která bude využívat nejenom čtyři DC motory pro pohyb Mecanum kol, ale bude potřebovat i další pohon pro pohyb pojezdu s kamerou.

3.1.2. Me High Power Encoder/DC Motor Driver

Jedná se o enkodér/driver od společnosti Makeblock, je založený na čipu ATmega328P a slouží k preciznímu ovládání rychlosti a polohy jednoho nebo dvou DC motorů. Driver má rozměry 100mm x 47mm x 18mm a jeho vstupní napětí může být

5V, nebo 6-12V. Součástí driveru je i PID regulátor, který lze modifikovat dle různých požadavků. Vestavěná je i resetovatelná ochrana proti zkratu a dual in-line package (DIP) přepínač. Driver má operační teplotu od -40°C do +85°C. [19]



Obrázek 3.3: High Power Driver. Převzato z [19]

3.1.3. Me 36 DC 12V Motor

Tento motor byl vyvinut společností Makeblock speciálně pro pohánění různých větších platforem, šasi či aut a robotů s vyššími výkony. Za tímto účelem nabízí lepší výkon, větší kroutící moment ale je potřeba řídit jej pouze v kombinaci s řídicím modulem, nebo driverem. Napětí motoru je 12V a nezatížený má otáčky 240rpm. [19]



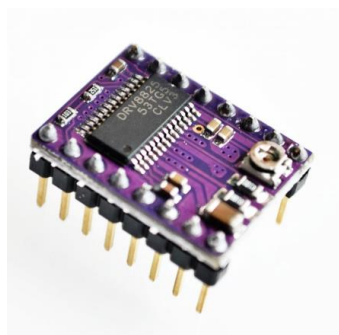
Obrázek 3.4: Me 36 12V Motor. Převzato z [20]

3.2. Další hardware pro sestavení pojezdu

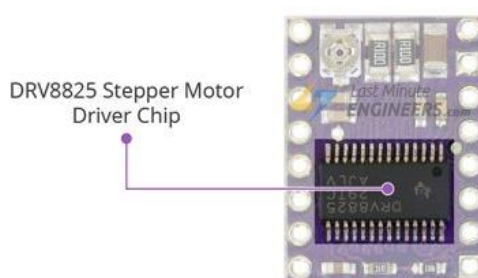
Pro sestavení mechanismu pro pohyb snímacího zařízení ve svislém směru byl vybrán přístup pojezdu poháněným krokovým motorem. Takový mechanismus bude potřebovat krokový motor na pohon pojezdu a driver pro řízení krokového motoru.

3.2.1. Motorový driver DRV8825

Driver DRV8825 je driver krokových motorů schopný řídit bipolární krokový motor. Jedná se o vylepšenou verzi staršího modelu A4988, je řízen čipem DRV8825 (obrázek 3.6) z Texas Instruments. Oproti starší verzi může pracovat s vyššími napětími, zvládá výstupní kapacitu pohonu až 45V, díky čemuž dokáže řídit i motory s napětím 2.5A na každé cívce. DRV8825 má zabudovaný překladač, tím snižuje potřebu kontrolních pinů na dva, jeden pro kontrolování kroků a druhý pro kontrolování směru. [21]

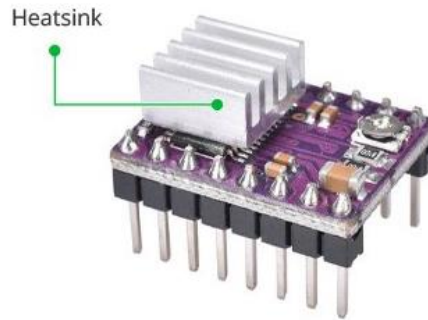


Obrázek 3.5 Motorový driver 8825. Převzato z [22]

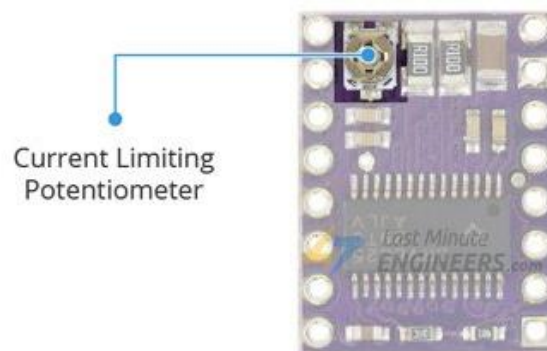


Obrázek 3.6 čip DRV8825. Převzato z [21]

I když je driver schopný uřídit až 2.5A na jednotlivé cívce, zvládne dodávat pouze 1.5A bez kritického přehřívání. V případě potřeby použití proudu o velikosti 1.5A a více, je ale nutné zajistit čipu chlazení. Nejčastějším řešením je instalování chladiče přímo na čip (obrázek 3.7). Aby se zamezilo problémům s přehříváním driveru, nebo poškození motoru k němu připojeným, je důležité nastavit za pomoci vestavěného potenciometru (obrázek 3.8) limit proudu dle potřeby [21]

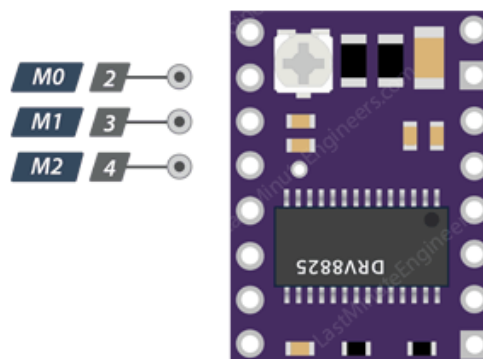


Obrázek 3.7: DRV8825 s instalovaným chladičem. Převzato z [21]



Obrázek 3.8: potenciometr pro nastavení maximálního proudu. Převzato z [21]

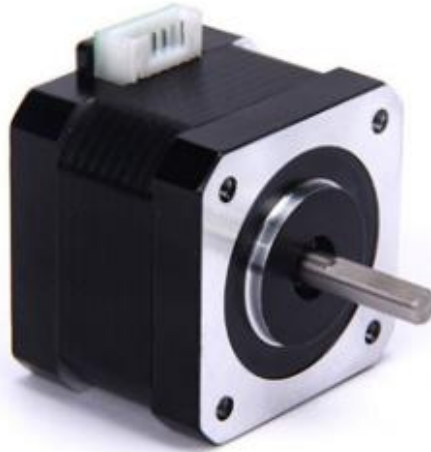
Driver 8825 je schopný řídit motory v šesti rozlišeních: plný krok, půl krok, čtvrtinový krok, osminový krok, šestnáctinový krok a 1/32nový krok. Jedná se o takzvané mikrokrokování a driver jej dosahuje buzením cívek středními hodnotami proudu. Mikrokrokování je ovládáno třemi piny M0, M1 a M2 (obrázek 3.9), různými kombinacemi zapojení těchto pinů je možné nastavit jedno ze šesti rozlišení. [21]



Obrázek 3.9: piny ovládající mikrokrokování. Převzato z [21]

3.2.2. Krokový Motor J-4218HB1401

Pro pohon pojezdu byl vybrán motor J-4218HB140, který má operační proud 1.4A, odpor 2.3Ω. Motor má jednu 34mm dlouhou hřídel. Motor byl vybrán, protože byl k dispozici v Univerzitním inventáři. [23]



Obrázek 3.10: použitý krokový motor. Převzato z [23]

3.2.3. Xiaomi Mi Home Security Camera 360° 1080P

Jedná se o chytrou domácí kameru s full HD rozlišením. Využívá dvoumotorový krk, díky němuž se může otáčet až o 360° horizontálně s vertikálním úhlem 115°. Může být instalována v jakékoli pozici i hlavou vzhůru. Kamera nabízí řadu pokročilých funkcí, jako je například detekce pohybu, noční vidění, nebo bezdrátové ovládání a ukládání záznamu. [24] Kamera byla vybrána díky tomu, že má dobré rozlišení a byla dostupná ze školního inventáře.



Obrázek 3.11: Kamera Xiaomi Mi Home Security. Převzato z [24]

3.3. Software pro ovládání desky

Desku MegaPi Pro je možné programovat pomocí Arduino IDE, mBlock 3, mBlock 5 nebo Python. Python umožňuje komunikaci s Raspberry Pi. V rámci této práce ale není dále využit.

3.3.1. Arduino IDE

Arduino IDE je open-sourceový software používaný k psaní, editování a uploadování kódů do Arduino desek a desek s Arduinem kompatibilními. Arduino IDE zároveň konvertuje napsaný kód do binárních souborů, se kterými pak desky pracují, spolu s tím nabízí i další funkce jako debugovací podporu, konzolovou podporu a další. Dohromady se prostředí nazývá Integrované Vývojové Prostředí – Integrated Development Environment, tedy IDE. Arduino IDE podporuje programovací jazyky C a C++ a je multi-platformové, funguje tedy na operačních systémech Windows, macOS i Linux. IDE je dobré jak pro začátečníky tak pokročilé uživatele. [25]

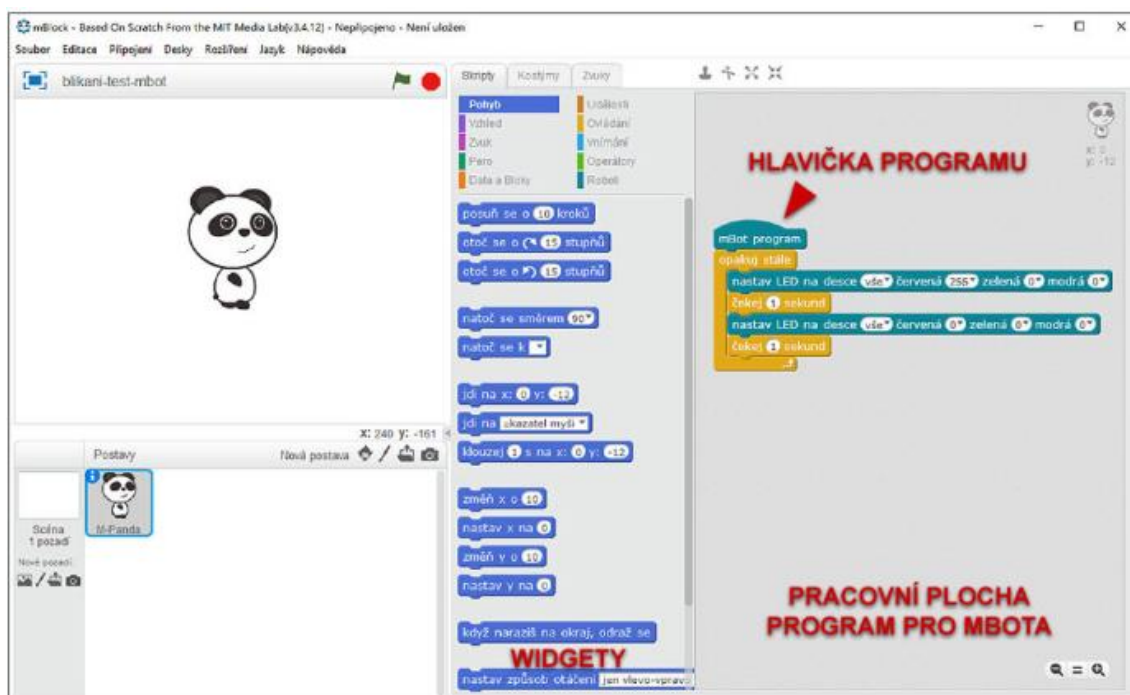
Programování přes Arduino IDE je náročnější než přes rozhraní mBlock, nabízí však vytvoření komplikovanějších a optimalizovanějších kódů. Použití Arduino IDE naráží na zastaralé a nekompletní knihovny a databáze poskytované společností Makeblock. Toto programovací rozhraní již nebude v práci dále využíváno a práce se zaměří na rozhraní více podporované vydavatelem hardware.

3.3.2. mBlock 3

mBlock 3 je starší, stále dostupná verze programovacího rozhraní od firmy Makeblock. Rozhraní je založené na programovacím jazyku Scratch 2.0 a funguje na principu blokového programování. Rozhraní bylo vyvinuto jako začátečníkům snadno přístupná cesta do programování a to se promítá i do funkcí tohoto rozhraní. Uživatelé mají možnost programovat si spritové postavičky a vytvářet jednoduché 2D hry, mBlock 3 je však také zaměřený na programování desek založených na Arduinu, k tomu nabízí širokou sadu ovládacích prvků pro vlastní hardwarové produkty a je tak ideální cestou jak snadno naprogramovat sadu od firmy Makeblock. [26]

Po vytvoření kódu v blocích se může uživatel podívat na kód přeložený do Arduino C kódu a případně jej ještě před nahráním do řídicí desky upravit. mBlock 3 je dostupný na více operačních systémech, jmenovitě Windows, macOS, Linux a ChromeOS. [26]

Problémem mBlock 3 je, že firma Makeblock přechází na rozhraní mBlock 5 a široké internetové databáze s návody, knihovny a vysvětleními přestávají být podporovány a v některých případech se stávají již nepřístupnými nebo nedohledatelnými.



Obrázek 3.12: Příklad programování v mBlock 3. Převzato z [27]

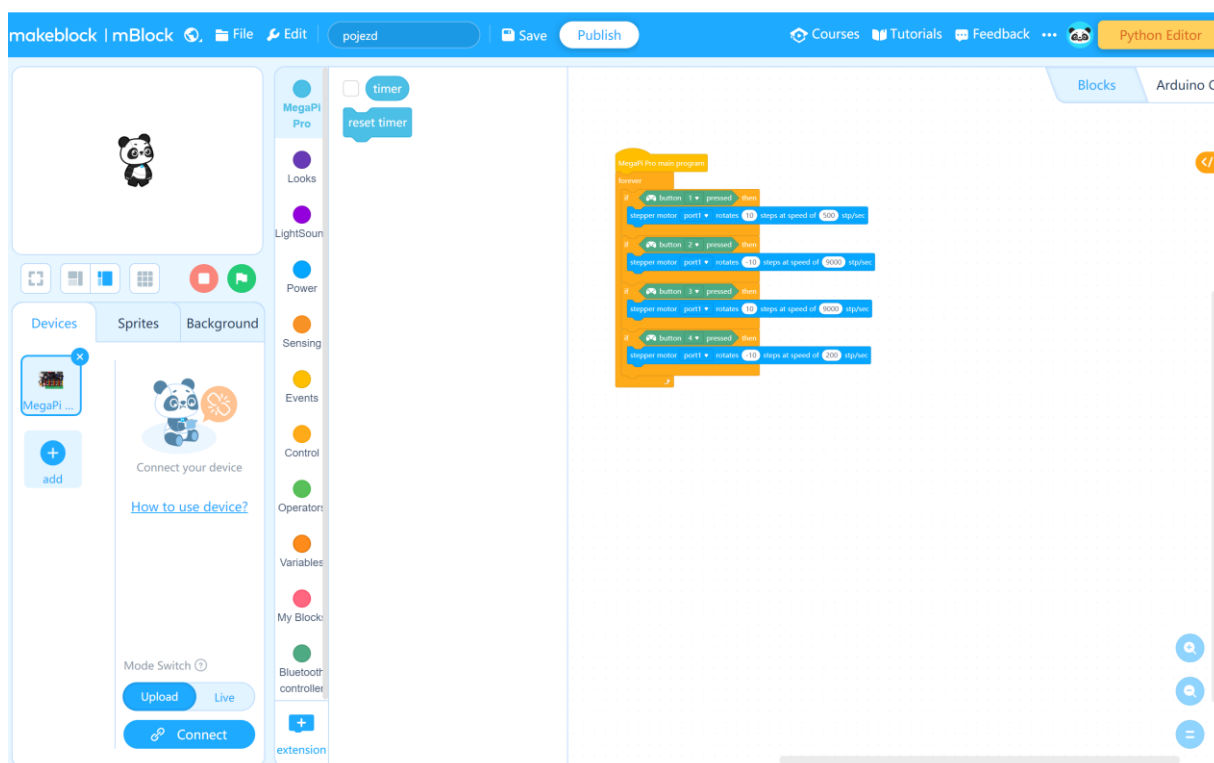
3.3.3. mBlock 5

mBlock 5 je v roce 2022 nejnovějším programovacím rozhraním od společnosti Makeblock. mBlock 5 je založený na novější verzi programovacího jazyku Scratch 3.0 a stejně jako mBlock 3 funguje primárně na principu blokového programování. Novější verze rozhraní nabízí několik vylepšení oproti starší verzi. Primárně se jedná o rozšíření funkcí. Součástí mBlock 5 je i prostředí pro sdílení programů a dalších výtvarů, součástí tohoto sdíleného prostředí jsou i výukové programy zaměřené mladší a méně zkušené uživatele, které učí i základy umělé inteligence. [28] [29]

Pro pokročilejší uživatele nabízí lepší možnost skrýt zjednodušené části rozhraní a oddělit programování hardwaru od her a spritových programů. mBlock 5 podporuje větší knihovnu řídicích desek a dalšího hardwaru než jeho předchůdce, má také možnost live zkoušení programu, kdy připojená deska reaguje na povel přímo z rozhraní mBlock 5 a program není nutné na desku nahrát. [28] [29]

Stejně jako mBlock 3 nabízí i mBlock 5 možnost transformovat psaný kód do Arduino C jazyka před nahráním na desku. Navíc ale nabízí možnost přepnout celé prostředí do Pythonu a programovat v něm, tato funkce je zaměřená čistě na pokročilejší uživatele a již není založená na blokovém programování. mBlock 5 je dobrým rozhraním pro programování řídicích desek založených na Arduino, zejména ve chvíli kdy se pracuje s dalším hardwarem od společnosti Makeblock. [28] [29] Nevýhodou je chybějící dokumentace, což je problém zejména při práci se starším hardwarem. Ne všechny starší tutoriály z mBlock 3 byly přepsány a proto může být problematické pracovat se starším hardwarem.

mBlock 5 byl nakonec zvolen pro programování všesměrové inventarizační platformy, protože v tomto případě byl nevhodnější.

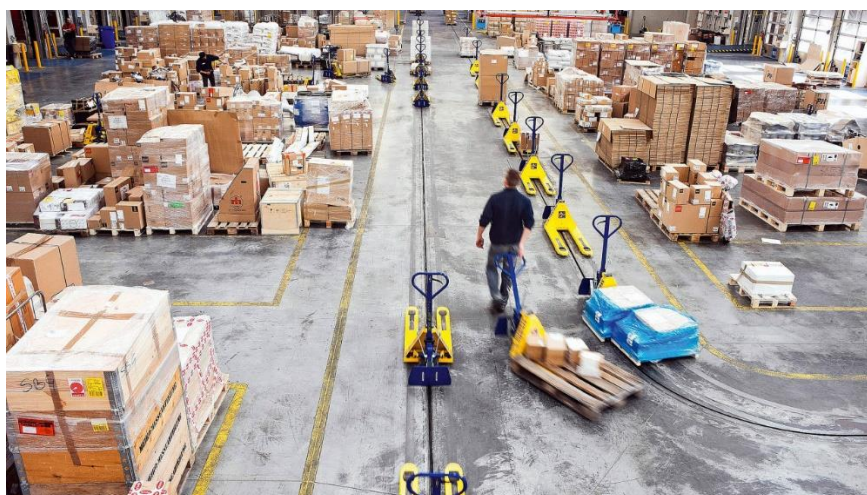


Obrázek 3.13: Příklad programování v mBlock 5

4. Navržení, sestavení a oživení inventarizační platformy

4.1. Návrh platformy

Původní návrh inventarizační platformy počítal s využitím dronu, protože byl však dron nedostupný, bylo rozhodnuto sestavit experimentální platformu se statickým pojezdem. Taková platforma nebude mít vertikální dosah jako varianta s dronem, bude ale méně náročná na operátora a s pojezdem a natáčecím úhlem kamery by mohla najít uplatnění v částech skladu, kde se nenachází vysoké regály. Takovým místem by mohla být například cross-dock (obrázek 4.1), vychystávací zóna, nebo část skladu kde se palety neskládají nad sebe.



Obrázek 4.1 příklad cross-docku. Převzato z [30]

V konstrukci byl kladen důraz na všesměrové vlastnosti platformy, které se ve skladu hodí v rámci pohybování, stabilitu pojezdu a kamery aby mohla dobře snímat zkoumané artikly. Jako vedlejší zaměření při konstrukci byla jednak velikost platformy, kdy bylo žádané, aby platforma nebyla příliš malá a ve skladovém prostředí přehlednější a také maximalizace zbývajících prostoru který platforma nabízí. Takový prostor by mohl být potenciálně dále využit při provozu platformy například při převážení potřebných věcí.

4.1.1. Výběr Hardwaru a Softwaru

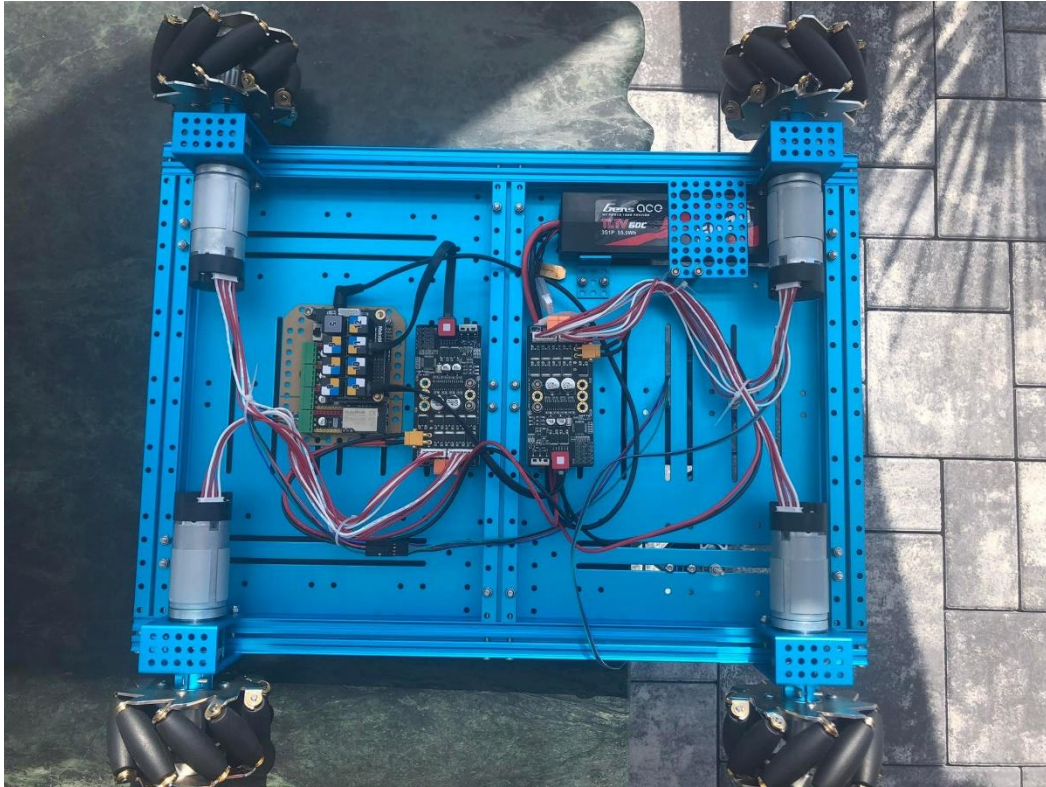
K sestavení základu platformy byla vybrána sada Mecanum Robot Wheel Kit od společnosti Makeblock, vzhledem k požadavkům na velikost, další úložný prostor a jeho únosnost bylo rozhodnuto pro konstrukci ve větší variantě. Z této sady jsou

využity komponenty jak pro postavení fyzické platformy, tak konstrukci pohonné a řídicí jednotky. Pro sestavení pojezdu byl vybrán na úpravu 3D-tištěný model pojezdu s řídicí tyčí a řemenovým pohonem dostupný ze školního inventáře. Pohon tohoto pojezdu bude mít na starosti Krokový motor J-4218HB1401, který splňuje požadavky na potřebný kroutící moment a je též dostupný ze školního inventáře. Pro snímací kameru byla vybrána kamera Xiaomi Mi Home Security, ta splňuje veškeré požadavky potřebné pro navrhovanou všesměrovou platformu. Samotná řídicí deska by nezvládla uřídit připojený krokový motor a proto je součástí návrhu i motorový driver DRV8825, ten je vhodný zejména díky vyšším napětím se kterým platforma pracuje kvůli napájení hlavních čtyř motorů.

Pro naprogramování bylo vybráno rozhraní mBlock 5. Platforma by se dala naprogramovat i přes rozhraní Arduino IDE, ale omezené knihovny pro ovládání motorových driverů tuto cestu příliš zkomplikovaly. mBlock 5 byl zvolen na úkor rozhraní mBlock 3, z toho důvodů že novější varianta je více podporovaná, má uživatelsky vstřícnější prostředí a část materiálů dostupná pro mBlock 3 je aplikovatelná i pro mBlock 5.

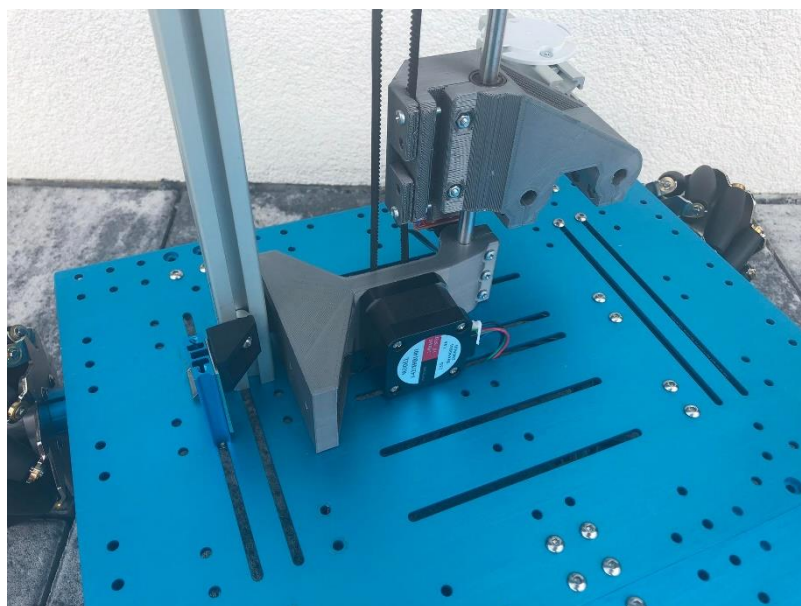
4.2. Konstrukce platformy

Základem konstrukce inventarizační platformy bylo sestavení základu ve formě základu platformy z dílů od firmy Makeblock. Při sestavování byly dodrženy doporučené spoje a rozvržení, s výjimkou vynechání line-follower komponentu, jehož součásti byly použity později při konstrukci pojezdu. Podvozek byl sestaven ve větší konfiguraci (obr. 4.2) a na hlavní ploše tak nabízí dostatek místa jak pro konstrukci pojezdu tak případné další využití. Kola Mecanum byla rozmístěna do konfigurace vhodné pro čtyřkolovou platformu, popsané v kapitole 2.2

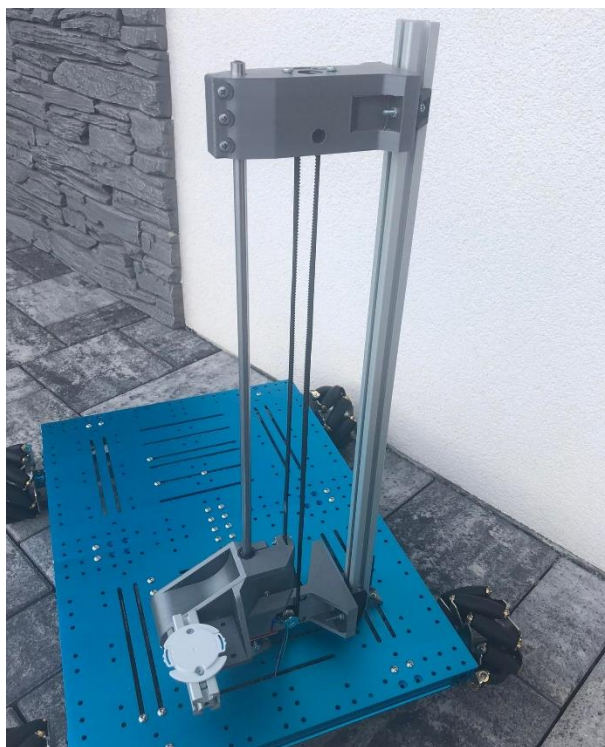


Obrázek 4.2: Složení a zapojení podvozkové části

Díky připravenosti podvozku na další stavění se dalo využít již předpřipravených děr a zdírek ve velikosti M4 pro uchycení pojezdu. Na pojezd byly použity součásti dříve určené pro jiný projekt, ty byly upraveny a s pomocí hliníkového profilu ukotveny na všesměrovou platformu. Pojezd byl umístěn u kraje podvozku aby se zlepšil zorný úhel kamery a většího prostoru, který na platformě zůstane volný, umístění bylo také vybráno tak, aby vyhovovalo dobrému zapojení krokového motoru pohánějící řemen a jím pojezd. (obr. 4.3)



Obrázek 4.3: Konstrukce pojezdu a zapojení motoru



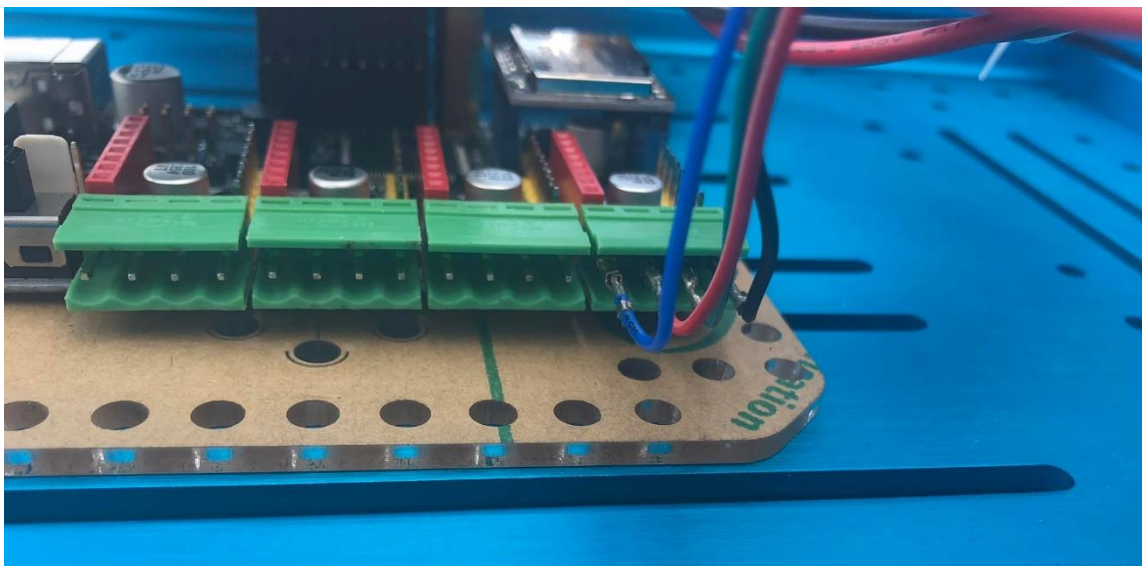
Obrázek 4.4: Pojezd přimontovaný k podvozkové platformě

K pojízdné části pojezdu byl připevněn úchyt na vybranou kameru(obr. 4.4), tedy Xiaomi Mi Home Security. Ta se díky vlastnostem držáku dá snadno nainstalovat, či odebrat. Kamera je napájena externě z vlastní Powerbanky a ovládána na dálku, přes mobilní nebo počítačové prostředí. Využití kamery je tedy nezávislé a nelimituje se na schopnosti separátně operující řídicí desky MegaPi Pro.



Obrázek 4.5: Připevnění kamery na platformu

Pro zapojení motoru byl vybrán port1 na desce MegaPi Pro, hlavně kvůli omezenému prostoru v okolí portů 2-4. Daný port je připravený na spojení s motorem od firmy Makeblock, takové spojení vybraný motor nemá a z toho důvodu je nutné přepínat motor přímo na výstupy z desky.

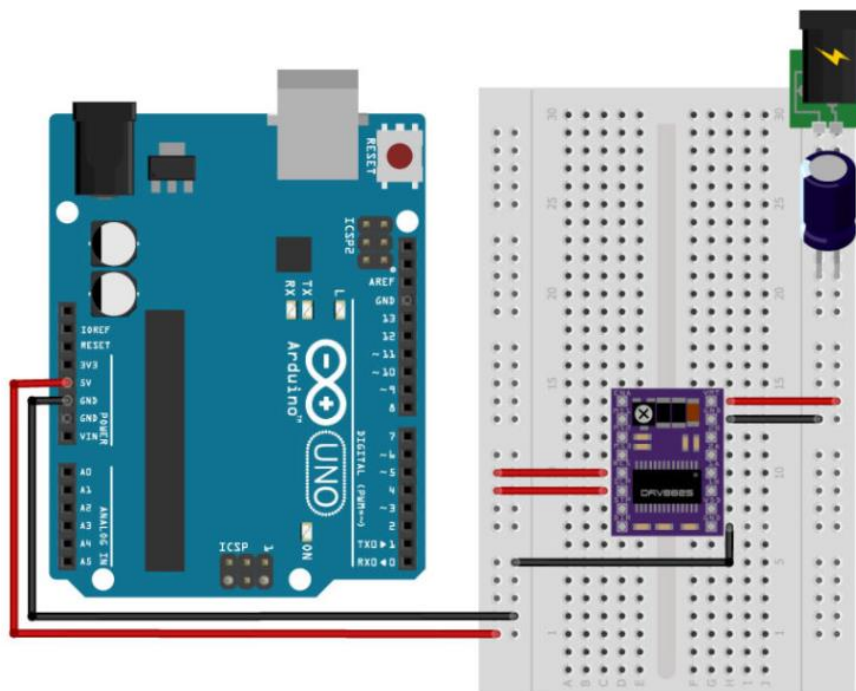


Obrázek 4.6: zapojení motoru k řídicí desce

4.3. Zapojení DRV8825

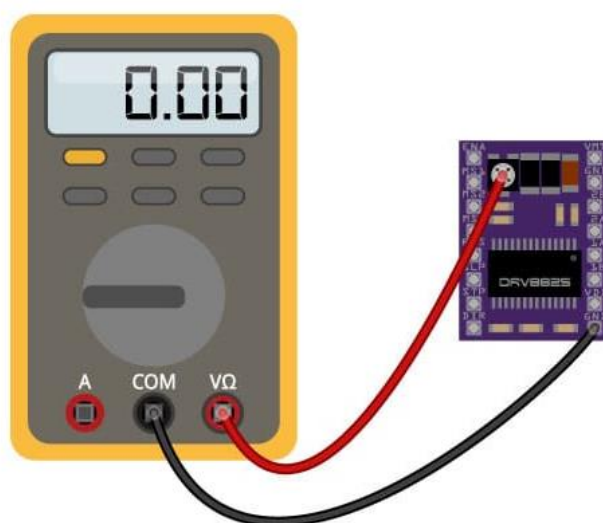
Driver je pro správnou funkci krokového motoru důležitý a je proto potřeba jej správně zapojit. Před zapojením driveru, je potřeba nastavit přes zabudovaný potenciometr limit průchozího proudu. To je důležité jednak pro správný chod motoru ale v horším případě by se mohl motor vyššími hodnotami proudu poškodit.

Při nastavování maximálního proudu je nejdříve potřeba zjistit, jaká je požadovaná maximální hodnota. V tomto případě je hodnota 1.4A dle specifikací použitého motoru. K nastavení max. proudu je využita deska Arduino UNO, 12V zdroj napětí, multimetr, Arduino Breadboard a malý šroubovák. Schéma zapojení viz obr.4.7.



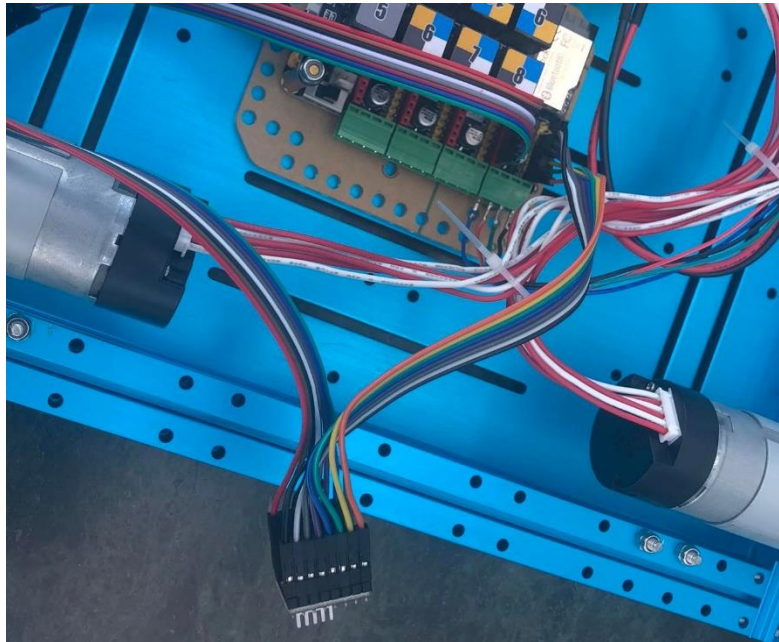
Obrázek 4.7: Zapojení DRV8825 při nastavování max. proudu. Převzato z [31]

Po zapojení je potřeba driver napájet jak z externího zdroje napětí (12V) tak přes řídicí desku Arduino (5V) v opačném případě se driver nezapne. Pro tento proces je dobré mít krokový motor odpojený, riskuje se jeho potenciální poškození, není to ale nutné. Po zapojení a zapnutí napájení může být změřeno referenční napětí mezi potenciometrem a pinem korespondujícím se zemí driveru (obrázek 4.8). Pro přepočítání na limitní proud je pak využita rovnice $I_{limitní} = 2 \cdot U_{ref}$. Měřené napětí se dá ovlivňovat otáčením potenciometru za pomoci šroubováku.

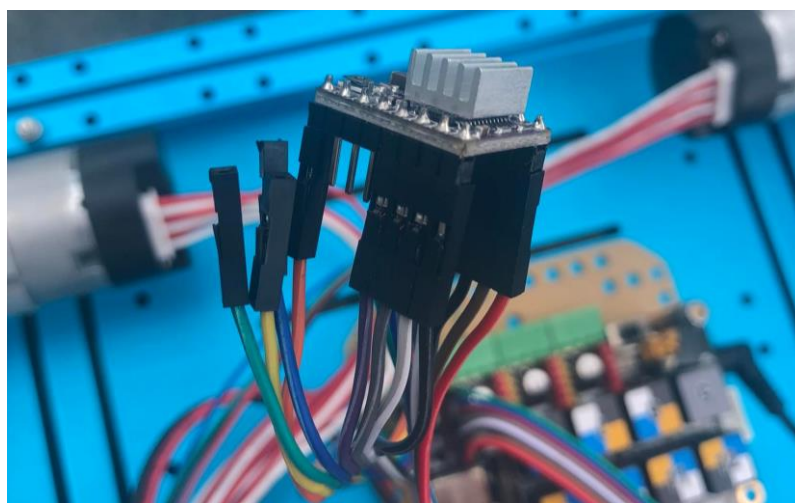


Obrázek 4.8: Odečítání referenčního napětí. Převzato z [31]

Po nastavení referenčního napětí, bylo možné driver připojit k řídicí desce. Protože deska má ale dvě řady pinů připravené v konfiguraci M (male) a F (female), zatímco driver 8825 má obě řady pinů M, je třeba driver na desku přepínat za pomoci pinovacích kabelů (obrázek 4.9). Při zapojování pinů na desku byly vynechány tři piny (obrázek 4.10) na driveru a sice M0, M1 a M2. Nezapojením těchto pinů bude mít vliv na output, který je tím nastaven na hodnotu low a driver tak pracuje ve fullstep módu (plnokrokovém režimu).



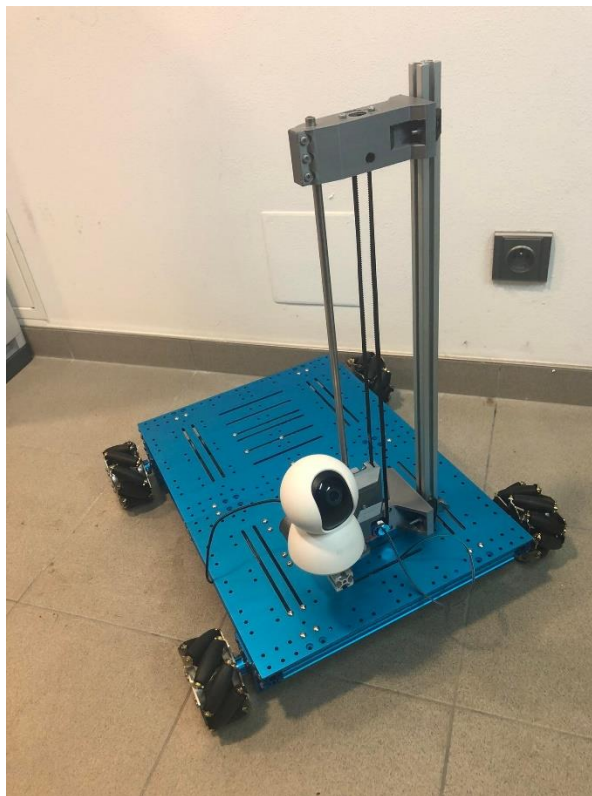
Obrázek 4.9: Přepínání driveru na řídicí desku



Obrázek 4.10: Odpojení 3 pinů kontrolujících velikost kroků

4.4. Finální podoba Platformy

Zapojením driveru byla inventarizační platforma z hardwarové části dokončena. Konstrukce splnila požadavek na všesměrové vlastnosti pohybu a svislý pohyb snímacího zařízení.

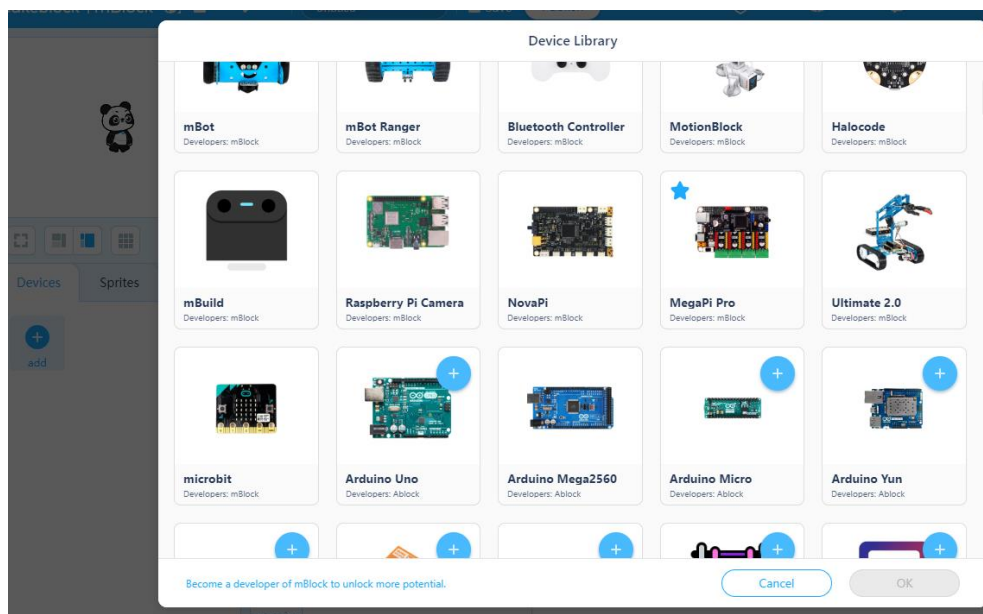


Obrázek 4.11: Finální podoba inventarizační platformy

4.5. Naprogramování

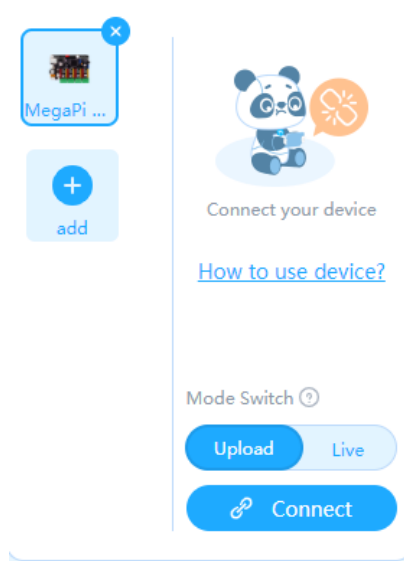
Naprogramování desky proběhlo přes prostředí mBlock 5. mBlock 5 se dá bezplatně stáhnout a kvůli online-sdílejícím funkcím požaduje vytvoření účtu. Je také možnost programovat přímo v internetovém prohlížeči, to je ale horší varianta kvůli rychlosti, dostupným funkcím i ukládání vytvořených programů.

Po spuštění programu je nejdříve potřeba vybrat z nabídky jakou desku, robota nebo zařízení bude uživatel programovat. Tato možnost se nachází pod tlačítkem add, dobře viditelném v levém dolním rohu. Po stisknutí tlačítka add se otevře knihovna zařízení, ve které stačí najít hledané zařízení, v tomto případě desku MegaPi Pro (obrázek 4.11)



Obrázek 4.12: výběr desky, v pozadí tlačítko add

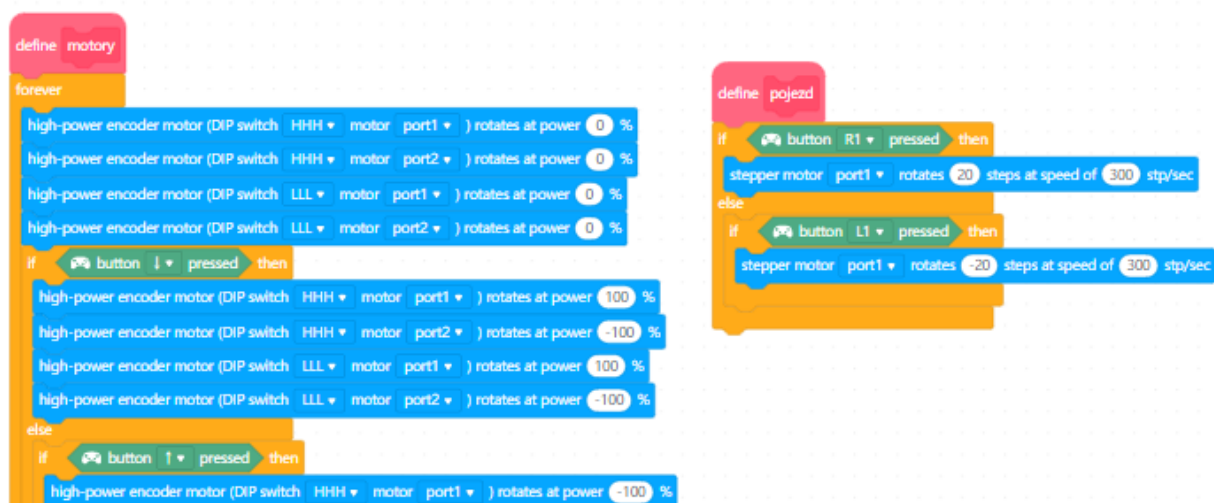
Po zvolení desky MegaPi Pro se změní v programu nabídka bloků k programování, pouze na bloky, se kterými zvládne deska pracovat. Protože platforma má být ovládaná na dálku bluetooth ovladačem, je potřeba stáhnout doplněk s bloky na dálkové ovládání. Ten se nachází pod tlačítkem v levém dolním rohu nadepsaném extension. Po stisknutí se otevře nabídka možných doplňků pro vybranou desku a je nutné vybrat dodatek Bluetooth Controller. Když je dodatek na dálkové ovládání stažen, je možné začít skládat z jednotlivých bloků, některé bloky jsou však zatím nedostupné a to kvůli live funkci mBlock 5, live funkce dovoluje v reálném čase zkoušet program na připojeném zařízení, ale není možné v tomto režimu používat všechny bloky. Důležité bloky, které nejsou k dispozici je začátek hlavního programu pro MegaPi Pro a příkazy dálkovým ovladačem. Je tedy nutné změnit režim z live, na upload (obrázek 4.12). K tomu slouží velké tlačítko v levém dolním rohu rozhraní.



Obrázek 4.13 Změna na režim Upload

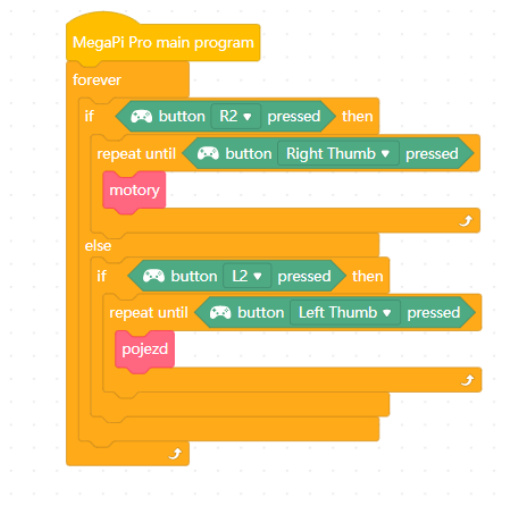
Nyní už je možné skládat potřebný program pro řízení robotické platformy. Při skládání programu je důležité používat správné bloky, pro ovládání motorů byly použity bloky volající na high-power motor encoder, tedy enkodéry, který je v platformě nainstalovaný. Při ovládání těchto enkodérů je potřeba zvolit správnou kombinaci DIP přepínačů, ty je potřeba na enkodérech fyzicky přepnout do zvolené kombinace. Pro ovládání krokového motoru je, taktéž ze záložky power, použit blok volající na stepper motor, zde stačí vybrat port, kam je motor připojený, počet kroků a rychlost otáčení.

Pro ovládání motorů a přehlednost v kódu, byly vytvořeny nové bloky, ty byly zdefinovaly v případě hlavních motorů nastavením směru a výkonu motorů v reakci na vybraná tlačítka ovladače (obrázek 4.13) a v případě krokového motoru počtu kroků a rychlosti v reakci na vybraná tlačítka (obrázek 4.13)



Obrázek 4.14 Zkrácený blok motorů a blok pojezdu

S těmito vytvořenými bloky, které pokrývají hlavní funkce, které je potřeba řídit, je možné napsat zjednodušený hlavní program využívající tyto bloky. Protože řídicí deska vykazovala během testování náznaky, že program kdy vše běží souběžně, je příliš dlouhý a nemusela by všechny funkce stíhat, bylo nutné program upravit. Ve finální verzi jsou tak zavedeny další dva povely pro tlačítka ovladače, kterým přepíná, jestli je řízena motorová část, nebo pojezdová. S těmito úpravami funguje program bez problémů.



Obrázek 4.15: Hlavní program

Hlavní program je možné prohlédnout si i v Arduino C kódu, přepnutím slidu na pravé části obrazovky.

```

4  #include <MePS2.h>
5  #include <Arduino.h>
6  #include <Wire.h>
7  #include <SoftwareSerial.h>
8  #include <MeMegaPiPro.h>
9
10 double angle_rad = PI/180.0;
11 double angle_deg = 180.0/PI;
12 MeEncoderOnBoard Encoder_1(SLOT1);
13 MeEncoderOnBoard Encoder_2(SLOT2);
14 MeEncoderOnBoard Encoder_3(SLOT3);
15 MeEncoderOnBoard Encoder_4(SLOT4);
16 MeEncoderNew superMotor 7 1(0x09 + 7,1);

```

Obrázek 4.16: začátek kódu v Arduino C

Připojení desky je následně možné pomocí USB-B konektoru. Upload se zahájí stiskem tlačítka Connect a následně Upload. Program se přes mBlock 5 sám přeloží do kódu pro platformu a je možné ji používat/otestovat.

4.6. Experimentální ověření funkčnosti

Pro ověření funkčnosti byly zvoleny jednoduchá kritéria, inventarizační platforma musí spolehlivě reagovat na ovládání a možnost dálkového řízení. Její ovládání musí být dostatečně precizní a uživatelsky přívětivé. Platforma musí být také schopná využívat všesměrové schopnosti a kamera musí být schopna zachytit v dobrém obrazu štítek ve výšce 120cm, což odpovídá výšce, se kterou by se platforma mohla setkat na vyšších paletách.

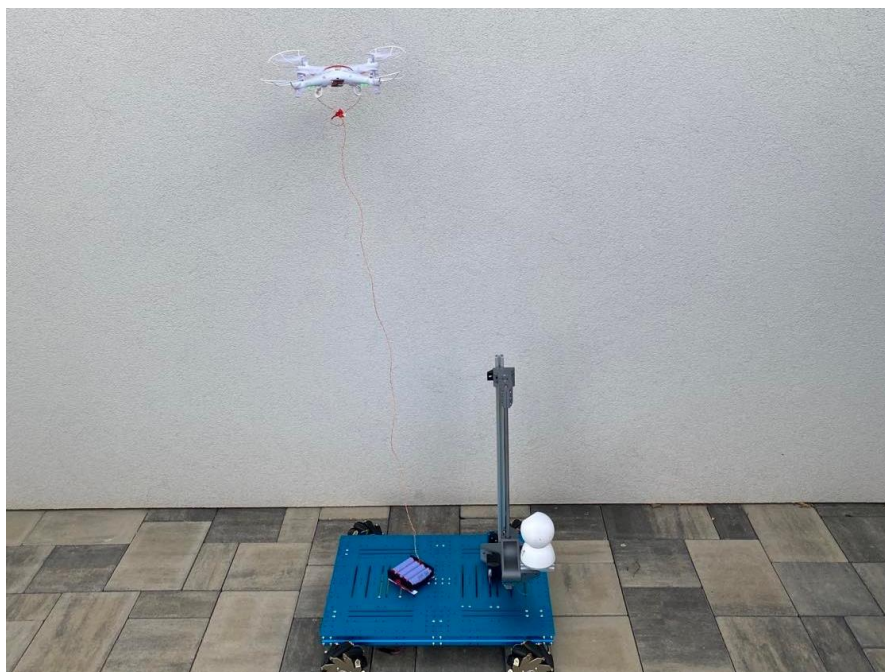
Platforma test zvládla velmi dobře. Řízení bylo intuitivní a snadno ovladatelné. Všesměrové pohyby byly také testovány a platforma dokázala, že je schopna pohybovat se do jakéhokoli směru bez otáčení kol. Kamera má vysoké rozlišení a s výškou 120cm neměla problém. Z pořízených fotek se dá usoudit, že by byla schopna s dobrým rozlišením skenovat i kódy umístěné ve větší výšce. Ovládání bylo snadné a nebyl problém platformu řídit na dálku pouze přes živý přenos kamerou. Zaznamenaným problémem byla poměrně velká rozteč mezi válečky jednotlivých kol, ta způsobila roztřesený a mírně rozmazaný obraz ve větších rychlostech.



Obrázek 4.17: Fotka pořízená kamerou platformy při experimentálním testu ve výšce 120cm.

4.7. Konceptuální návrh s dronem

Původní verze konceptu inventarizační platformy se neuskutečnila, ale k dispozici byl slabší dron bez možnosti unést kameru. S tímto dronem byl proveden zkušební test jako proof of concept, na inventarizační platformě byl uložen elektrický zdroj energie pro dron a ten mohl vzlétnout na místě, kam ho dovezla platforma. Zkušební let měl pozitivní výsledek a nabízí se do budoucna prozkoumat možnost využití dronů v podobném nasazení, nebo možná i ve spolupráci s kamerou umístěnou na platformě.



Obrázek 4.18: zkušební let s dronem

5. Závěr

Cílem této práce bylo navrhnout možnost zefektivnění procesu inventarizace za využití všesměrové platformy. Byla provedena rešerše na současný stav v odvětví a možnosti sestavení neautonomní inventarizační platformy. Práce prozkoumala možnosti sestavení takové platformy, potřebný hardware a návrh na možné složení za použití takového hardwaru. Práce zkoumala i jaký software by se dal pro účel sestavení inventarizační skladové robotické platformy použít.

Z vybraného hardwaru a softwaru byla vytvořena experimentální inventarizační všesměrová platforma na základu Mecanum kol a řízená díky desce MegaPi Pro a programovaná přes rozhraní mBlock 5. V průběhu práce byl splněn cíl vytvoření programu pro ovládání vytvořené platformy. A ta byla plně funkční, dle návrhu. Platforma byla experimentálně ověřena a obstála v testu, když splnila nastavená kritéria. Postup konstrukce, programování a výsledky testování byly v práci zdokumentovány a mohou sloužit při stavbě podobného zařízení.

Využití technologie neautonomních či polo autonomních inventarizačních platforem má v dnešním prostředí stále potenciál a tato práce může sloužit jako koncept pro další vývoj, vylepšení a aplikování této technologie.

Zdroje

- [1] „ARMENTA, Antonio. History of Warehouse Management Systems (WMS). Control Automation [online]. 2022, 13. 3. 2022 [cit. 2022-06-22]. Dostupné z: <https://control.com/technical-articles/history-of-warehouse-management-systems-wms/>“.
- [2] „JENKINS, Abby. Warehouse Automation Explained: Types, Benefits & Best Practices. Oracle Netsuite [online]. 10. 12. 2020 [cit. 2022-06-22]. Dostupné z: <https://www.netsuite.com/portal/resource/articles/inventory-management/warehouse-automation.shtml>“.
- [3] „Warehouse Robotics and WMS Software: Everything You Need to Know. Laskakit [online]. [cit. 2022-07-15]. Dostupné z: <https://www.logiwa.com/blog/warehouse-robotics>“.
- [4] „Automated Guided Vehicles (AGV). KENDRION [online]. [cit. 2022-07-15]. Dostupné z: <https://www.kendrion.com/en/markets/automation-robotics/automated-guided-vehicles-agv>“.
- [5] „Zebra fetch robotics [online]. [cit. 2022-07-17]. Dostupné z: <https://fetchrobotics.com/tagsurveyor/>“.
- [6] „Wawrla, L.; Maghazei, O.; Netland, T. (2019) Applications of drones in warehouse operations. Whitepaper. ETH Zurich, D-MTEC, Chair of Production and Operations Management. Downloaded from www.pom.ethz.ch [online]. [cit. 2022-07-14].“.
- [7] „Drone Technology Improves Warehouse Performance. Inboundlogistics [online]. 08-2020n. l., 08-2020 [cit. 2022-08-15]. Dostupné z: <https://www.inboundlogistics.com/articles/drone-technology-improves-warehouse-performance/>“.
- [8] „DIEGEL, Olaf, Aparna BADVE, Glen BRIGHT, Johan POTGIETER a Sylvester TLALE. Improved Mecanum Wheel Design for Omni-directional Robots. Auckland, 2002. Institute of technology and Engineering, Massey University, Auckland.“.
- [9] „LI, Yunwang, Sumei DAI, Lala ZHAO, Xucong YAN a Yong SHI. Topological Design Methods for Mecanum Wheel Configurations of an Omnidirectional Mobile Robot. Symmetry. 10.10. 2019n. l., 27.“.
- [10] „Mecanum wheel. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2022-07-13]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Mecanum_wheel“.

- [11] „BOWHAY, Dawson. How a Mecanum Drive Works. Github [online]. [cit. 2022-08-13]. Dostupné z: <https://seamonsters-2605.github.io/archive/mecanum/>“.
- [12] „Yunwang Li, Sumei Dai, Yuwei Zheng, Feng Tian, Xucong Yan, "Modeling and Kinematics Simulation of a Mecanum Wheel Platform in RecurDyn", Journal of Robotics, vol. 2018, Article ID 9373580, 7 pages, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/9373580>“.
- [13] „Makeblock [online]. [cit. 2022-07-14]. Dostupné z: <https://www.makeblock.com/project/mecanum-wheel-robot-kit>“.
- [14] „RPishop.cz [online]. [cit. 2022-08-13]. Dostupné z: <https://rpishop.cz/makeblock/3255-mecanum-wheel-robot-kit.html#description-anchor>“.
- [15] „Laskakit [online]. [cit. 2022-07-14]. Dostupné z: <https://www.makeblock.com/project/mecanum-wheel-robot-kit>“.
- [16] „Ubuy [online]. [cit. 2022-07-14]. Dostupné z: <https://www.ubuy.cz/cs/product/21ASKZ4-osoyoo-4wd-omni-wheel-robotic-mecanum-wheel-robot-car-platform-chassis-with-dc-speed-encoder-motor-f>“.
- [17] „Toykidmama [online]. [cit. 2022-07-14]. Dostupné z: <https://toykidmama.com/25kg-big-load-smart-rc-mecanum-wheel-robot-car-chassis-kit-omni-platform-with-ps2-mega2560-controller-for-arduino-project-37314>“.
- [18] „Mblock.cc [online]. [cit. 2022-07-14]. Dostupné z: <https://www.mblock.cc/doc/en/hardware-guide/hardware-guide.html>“.
- [19] „Docs.Makeblock [online]. [cit. 2022-07-14]. Dostupné z: <http://docs.makeblock.com/diy-platform/en/electronic-modules.html>“.
- [20] „DomiRobot [online]. [cit. 2022-07-14]. Dostupné z: <https://www.domirobot.com/makeblock-36mm-encoder-dc-motor-pmu2160>“.
- [21] „Control Stepper Motor with DRV8825 Driver Module & Arduino. LastMinuteEngineers [online]. [cit. 2022-08-14]. Dostupné z: <https://lastminuteengineers.com/drv8825-stepper-motor-driver-arduino-tutorial/>“.
- [22] „DRV8825 driver pro krokové motory. Laskakit [online]. [cit. 2022-07-15]. Dostupné z: <https://lastminuteengineers.com/drv8825-stepper-motor-driver-arduino-tutorial/>“.

- [23] „AliExpress [online]. [cit. 2022-07-14]. Dostupné z:
] <https://www.aliexpress.com/item/32813348978.html>“.
- [24] „Mi Home Security Camera 360° 1080P. Makeblock [online]. [cit. 2022-07-22].
] Dostupné z: <https://www.mi.com/global/camera-360/>“.
- [25] „JOBIT, Joseph. Beginners Guide to Arduino IDE and Arduino Programming.
] CIRCUIT DIGEST [online]. 23-3-2022 [cit. 2022-07-15]. Dostupné z:
<https://circuitdigest.com/article/getting-started-with-arduino-programming-using-arduino-ide>“.
- [26] „Makeblock Mblock 3. Granteq Inovative Human Interactions [online]. [cit.
] 2022-07-21]. Dostupné z:
<http://www.granteq.com/makeblock/pages/software/mblock3/mblock3.html>
“.
- [27] „MERTA, Ondřej. Jak se programuje mBot. ONDRANAUCI.CZ [online]. 17-11-
] 2020 [cit. 2022-07-22]. Dostupné z: <https://ondranauci.cz/jak-se-programuje-mbot/>“.
- [28] „What is Mblock. MBlock.cc [online]. 17-11-2020 [cit. 2022-07-22]. Dostupné z:
] <https://www.mblock.cc/introduction-to-product/>“.
- [29] „MBlock 5. MBlock.cc [online]. [cit. 2022-07-22]. Dostupné z:
] <https://www.makeblock.com/software/mblock5>“.
- [30] „Cross-docking zrychluje toky zboží. Logistika [online]. [cit. 2022-07-22].
] Dostupné z: <https://logistika.ekonom.cz/c1-66342560-cross-docking-zrychluje-toky-zbozi>“.
- [31] „How to control a stepper motor with DRV8825 driver and Arduino.
] Makerguides [online]. [cit. 2022-07-22]. Dostupné z:
<https://www.makerguides.com/drv8825-stepper-motor-driver-arduino-tutorial/>“.