

AUTOMATICKÁ MANIPULACE S NÁKLADEM POMOCÍ MOBILNÍHO ROBOTU OMRON LD 90

Golubjatnikov Daniil Sergejevič

Bakalářská práce
2025



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta aplikované informatiky

Ústav automatizace a řídicí techniky

Akademický rok: 2024/2025

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Daniil Golubjatnikov
Osobní číslo:	A22167
Studijní program:	B0714A150006 Aplikovaná informatika v průmyslové automatizaci
Specializace:	Průmyslová automatizace
Forma studia:	Prezenční
Téma práce:	Automatická manipulace s nákladem pomocí mobilního robotu Omron LD 90
Téma práce anglicky:	Automatic cargo handling using the Omron LD 90 mobile robot

Zásady pro vypracování

1. Vypracujte literární rešerši na téma mobilní robotické systémy a manipulace s nákladem.
2. Popište funkci mobilního robotu na pracovišti.
3. Implementujte mobilní robot na pracovišti.
4. Navrhněte automatickou manipulaci s nákladem pomocí mobilního robotu.
5. Diskutujte výhody a nevýhody zavedení mobilního robotu na pracovišti.

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. Ian GIBSON, David ROSEN a Brent STUCKER. *Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing*. New York: Springer, 2015. ISBN 978-1-4939-2112-6.
2. Andreas GEBHARDT a Jan-Steffen HÖTTER. *Additive Manufacturing: 3D Printing for Prototyping and Manufacturing*. Munich: Carl Hanser Verlag, 2016. ISBN 978-1-56990-582-1.
3. Jadran LENARČIČ a Manfred HUSTY. *Latest Advances in Robot Kinematics*. Dordrecht: Springer, 2012. ISBN 978-94-007-4619-0.
4. John J. CRAIG. *Introduction to Robotics: Mechanics and Control*. Edinburgh: Pearson Education, 2014. ISBN 978-1-292-04004-2.
5. Zdeněk KOLÍBAL a kolektiv. *ROBOTY a robotizované výrobní technologie*. VUT v Brně: Nakladatelství VUTIUM, 2016. ISBN 978-80-214-4828-5.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Aleš Mizera, Ph.D.**
Ústav automatizace a řídicí techniky

Datum zadání bakalářské práce: **13. prosince 2024**
Termín odevzdání bakalářské práce: **27. května 2025**

doc. Ing. Jiří Vojtěšek, Ph.D. v.r.
děkan



prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc. v.r.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 13. prosince 2024

PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že

- odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění bez ohledu na výsledek obhajoby;
- bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a bude dostupná k nahlédnutí;
- jedno vyhotovení bakalářské práce v listinné podobě bude ponecháno Univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně k uložení;
- na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – bakalářskou práci – nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá; neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji, že

- jsem na bakalářské práci pracoval(a) samostatně a použitou literaturu jsem řádně citoval(a); v případě publikace výsledků budu uveden(a) jako spoluautor;
- odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně, dne

.....
podpis autora

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá návrhem a implementací automatické manipulace s nákladem pomocí mobilního robotu Omron LD-90 v prostředí robotické laboratoře FAI UTB ve Zlíně. Úvodní teoretická část se zaměřuje na mobilní robotické systémy a jejich využití v oblasti logistiky a manipulace s materiálem. Dále je popsána funkce robotu na pracovišti, včetně jeho navigačních schopností a interakce s okolním prostředím.

Praktická část práce zahrnovala skenování prostoru laboratoře pomocí softwaru MobilePlanner a následné vytvoření mapy a cílů, ke kterým se měl robot autonomně přesouvat. Robot byl naváděn ke stanovišti vedle kolaborativního robotu ABB YuMi. Následně byly v programu Autodesk Inventor navrženy čtyři modely dílů, převedeny do G-kódu a vytištěny na školní 3D tiskárně Prusa Mini. Po odstranění zbytkového materiálu byly tyto díly umístěny na platformu vedle robotu ABB YuMi, který byl naprogramován tak, aby jednotlivé díly uchopil, předal mezi rameny a postupně je umístil na mobilního robotu Omron LD-90. Po naložení všech dílů robot autonomně odjel na další pracoviště, například ke kontrole rozměrů, nebo na stanoviště, kde byly díly sestaveny do finálního výrobku.

Závěrem lze konstatovat, že navržené řešení bylo úspěšně realizováno. Robot Omron LD-90 spolehlivě přebírá náklad a doručuje jej na určené místo, přičemž kolaborativní robot ABB YuMi správně manipuluje s díly a předává je v rámci výrobního procesu.

Klíčová slova:

Robot, Omron, mobilní robot, manipulace, logistika, systém, automatizace, náklad.

ABSTRACT

This bachelor thesis focuses on the design and implementation of automated load handling using the Omron LD-90 mobile robot in the robotic laboratory of FAI UTB in Zlín. The introductory theoretical part is dedicated to mobile robotic systems and their application in logistics and material handling. Furthermore, the robot's function in the workplace is described, including its navigation capabilities and interaction with the environment.

The practical part of the thesis involved scanning the laboratory space using the MobilePlanner software and subsequently creating a map and target destinations for the robot to reach autonomously. The robot was directed to a workstation next to the collaborative robot ABB YuMi. Four part models were then designed in Autodesk Inventor, converted into G-code, and printed on a Prusa Mini 3D printer. After removing excess material, the parts were placed on a platform next to ABB YuMi, which was programmed to grasp the parts, pass them between its arms, and gradually place them onto the Omron LD-90 mobile robot. Once all parts were loaded, the robot autonomously departed to another workstation, for example, for dimensional inspection or to a station where the parts were assembled into a final product.

In conclusion, the proposed solution was successfully implemented. The Omron LD-90 robot reliably collects and delivers cargo to the designated location, while the ABB YuMi collaborative robot correctly manipulates the parts and transfers them as part of the production process.

Keywords:

Robot, Omron, mobile robot, handling, logistics, system, automation, cargo.

Poděkování

Děkuji vedoucímu mé bakalářské práce doc. Ing. Aleši Mizerovi, Ph.D., za odborné vedení, cenné rady, vstřícnost a trpělivost, které mi věnoval při zpracování této závěrečné práce.

Při zpracování této práce byl využit nástroj umělé inteligence ChatGPT od společnosti OpenAI pro kontrolu gramatiky a stylistiky textu. Výstupy byly následně ověřeny a upraveny autorem.

OBSAH

ÚVOD	13
I TEORETICKÁ ČÁST	15
1 PŮVOD A VÝZNAM SLOVA „ROBOT“	16
1.1 HISTORIE SLOVA	16
1.2 SOUČASNÝ VÝZNAM SLOVA	17
1.3 DOPAD NA ROZVOJ ROBOTIKY	17
2 HISTORIE A VÝVOJ MOBILNÍCH ROBOTICKÝCH SYSTÉMŮ	18
2.1 POČÁTEČNÍ KONCEPCE A VÝVOJ	18
2.2 VÝZNAMNÉ ETAPY VE VÝVOJI	21
2.3 POKROKY V TECHNOLOGIÍCH	22
3 PRŮMYSLOVÉ APLIKACE MOBILNÍCH ROBOTŮ	23
3.1 LOGISTIKA A SKLADOVÁNÍ	23
3.2 ZDRAVOTNICTVÍ	25
3.3 ZEMĚDĚLSTVÍ	26
3.4 STAVEBNICTVÍ	27
3.5 VEŘEJNÉ SLUŽBY A ÚKLID	28
II PRAKTICKÁ ČÁST	29
4 CÍL PRÁCE	30
5 POPIS MOBILNÍHO ROBOTU OMRON LD-90	31
5.1 TECHNICKÉ PARAMETRY	31
6 STRUKTURA A KOMPONENTY PLATFORMY LD	32
6.1 PODVOZKOVÝ SYSTÉM	32
6.2 NAVIGAČNÍ SYSTÉMY	33
6.3 ENERGETICKÉ ZDROJE	35
6.4 ŘÍDICÍ SYSTÉM	36
6.5 KOMUNIKAČNÍ ROZHRANÍ	37
7.1 REALIZACE OMRONU V PROGRAMU PLANETMOBILE	38
7.1.1 Vytvoření projektu a import mapy	38
7.1.2 Aktivace mapy a lokalizace robotu	40
7.1.3 Umisťování prvků a plánování bodů	41
7.1.4 Připojení robotu OMRON k bezdrátové síti	43
7.2 REALIZACE VÝROBKU POMOCÍ PROGRAMU AUTODESK INVENTOR A 3D TISKÁRNY PRUSA MINI	44
7.2.1 První díl – hřídel s průchozím otvorem	44
7.2.2 Druhý díl – spojovací prvek	45

7.2.3	Třetí díl – ozubené kolo.....	46
7.2.4	Čtvrtý díl – zakončovací prvek.....	47
7.2.5	Finalizace a 3D tisk.....	48
7.3	PROGRAMOVÁNÍ ABB YuMi v PROSTŘEDÍ ROBOTSTUDIO.....	50
7.4	FOTODOKUMENTACE A POPIS PRAKTICKÉ ČÁSTI	53
7.5	VÝHODY, NEVÝHODY A NÁVRHY NA ZLEPŠENÍ ŘEŠENÍ.....	59
ZÁVĚR.....		61
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY		63
SEZNAM OBRÁZKŮ.....		65
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK		67

ÚVOD

Tématem této bakalářské práce jsou mobilní robotické systémy a jejich schopnost manipulace s nákladem. V současné době je tato oblast robotiky považována za velmi aktuální, neboť autonomní mobilní roboty jsou využívány v širokém spektru průmyslových odvětví, jako je logistika, skladování, zdravotnictví, zemědělství, stavebnictví, úklid a veřejné služby. Významné společnosti, jako jsou Amazon, KronoSpan, Continental a DHL, do těchto technologií investují s cílem zvýšit efektivitu, přesnost a bezpečnost svých procesů. Technologie autonomních systémů jsou neustále vyvíjeny a proměňují způsob, jakým jsou průmyslové činnosti organizovány a optimalizovány.

Zájem o tuto problematiku je odvozen z rostoucí potřeby efektivních řešení pro manipulaci s nákladem, která mohou nahradit či doplnit tradiční způsoby řízení logistiky a průmyslových procesů. Mobilní roboty jsou schopny se autonomně navigovat

v komplexních prostředích, detekovat překážky a vykonávat úkoly, které vyžadují vysokou míru přesnosti a bezpečnosti. Díky rozvoji senzorů, pohonů a umělé inteligence mohou být tyto roboti přizpůsobeni různým průmyslovým účelům a požadavkům.

Práce je rozdělena do několika kapitol. V první části je pojednáno o původu a významu pojmu „robot“ – o tom, odkud tento termín pochází a jaký má vliv na současnou robotiku. Následně je popsán historický vývoj mobilních robotů, včetně klíčových konceptů a technologického pokroku, který umožnil jejich autonomní pohyb a navigaci. Dále jsou popsány možnosti využití těchto zařízení v různých průmyslových odvětvích.

V praktické části byla provedena realizace autonomní manipulace pomocí mobilního robotu Omron LD-90 v prostředí robotické laboratoře FAI UTB ve Zlíně. Nejprve byl pomocí softwaru MobilePlanner proveden sken prostoru laboratoře, na jehož základě byla vytvořena digitální mapa pracoviště a definována cílová místa, ke kterým měl robot autonomně dojíždět. Následně byl naprogramován tak, aby samostatně přijížděl k těmto stanovištím a spolupracoval s kolaborativním robotem ABB YuMi, který byl umístěn na jednom z těchto bodů.

Pro simulaci přepravovaných objektů byly v programu Autodesk Inventor navrženy čtyři díly, následně převedeny do G-kódu a vytištěny na školní 3D tiskárně Prusa Mini. Po odstranění zbytkového materiálu byly díly umístěny na platformu vedle robotu ABB YuMi. Ten byl naprogramován tak, aby jednotlivé díly uchopil, předal je mezi svými rameny a umístil je na mobilního robota Omron LD-90. Po naložení všech dílů robot autonomně odjel

například na stanoviště kontroly rozměrů, případně na místo, kde byly díly sestaveny do finální podoby.

Na základě této realizace bylo ověřeno, že navržený systém je funkční – robot Omron LD-90 spolehlivě vykonává svoji úlohu a spolupráce s robotem ABB YuMi probíhá bezchybně.

I TEORETICKÁ ČÁST

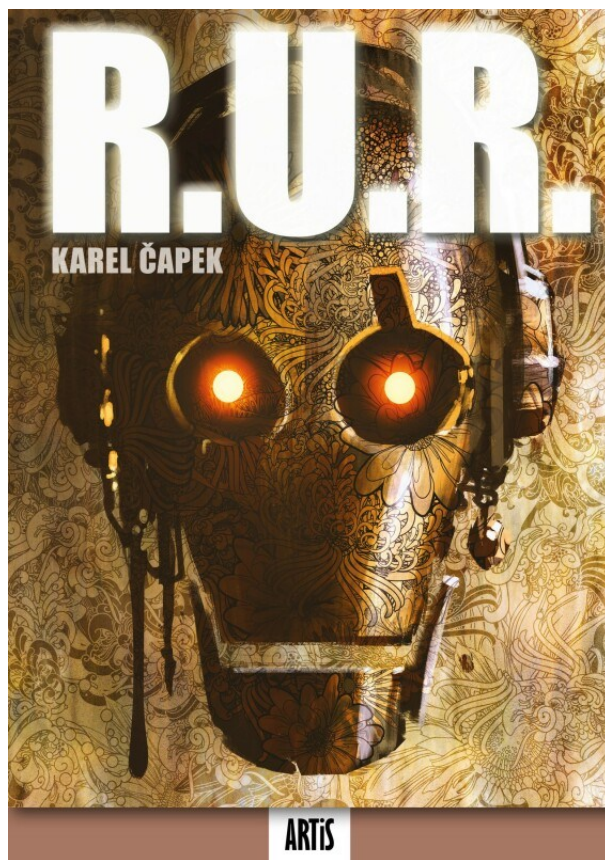
1 PŮVOD A VÝZNAM SLOVA „ROBOT“

1.1 Historie slova

Slovo „robot“ bylo poprvé použito českým spisovatelem Karlem Čapkem v jeho divadelní hře R.U.R. (Rossum's Universal Robots), která měla premiéru v roce 1921 (Čapek, 1920). Hra zobrazovala svět, kde mechanické bytosti, nazývané roboti, vykonávaly práci a sloužily lidem. Termín „robot“ však nevymyslel Karel Čapek sám – podle jeho vlastního vyjádření ho navrhl jeho bratr, Josef Čapek (KOLÍBAL, 2016).

Původ slova sahá k českému výrazu „robota“, což ve starší češtině znamenalo nucenou práci nebo nevolnickou povinnost. Tento význam se odrážel i v samotné hře, kde roboti sloužili jako pracovní síla, dokud se nevzbouřili proti lidem (Čapek, 1920).

Čapkova hra se stala ikonickou a pojem „robot“ se rychle rozšířil do světových jazyků. Již ve 20. a 30. letech 20. století se začal používat nejen v literatuře, ale i v odborných diskuzích o automatizaci a mechanizaci (KOLÍBAL, 2016).



Obrázek 1 Obálka knihy R.U.R. od Karla Čapka.

(zdroj: KNIHY DOBROVSKÝ, 2025)

1.2 Současný význam slova

Původní význam slova „robot“ se v průběhu času měnil. Dnes označuje zařízení nebo stroj, který dokáže vykonávat různé úkoly automaticky – buď na základě předem naprogramovaných instrukcí, nebo zcela autonomně za pomoci nejnovějších technologií, například umělé inteligence. Moderní význam slova „robot“ zahrnuje různé typy zařízení, od průmyslových robotů, které se podílejí na výrobě a montáži, až po autonomní stroje, schopné samostatného pohybu a rozhodování. Evoluce v této oblasti je důsledkem technologického pokroku a stále širší integrace robotických systémů do různých sektorů lidské činnosti.

1.3 Dopad na rozvoj robotiky

Karel Čapek sice vytvořil představu robotů a inspiroval tím mnoho umělců, včetně vlivného spisovatele Isaaca Asimova, ale k praktickému nasazení skutečných robotů došlo až o několik desetiletí později. První průmyslový robot, známý jako Unimate, byl vyvinut Georgem Devolem a Josephem Engelbergerem, kdy uveden do provozu byl v roce 1961 ve společnosti General Motors. Unimate byl hydraulicky ovládaný robot určený pro manipulaci s horkými odlitky a svařování, čímž nahradil lidské pracovníky v nebezpečných a monotónních úkolech. Isaac Asimov, inspirovaný Čapkovým pojmem "robot", přispěl k popularizaci robotiky ve své literární tvorbě a formuloval tři zákony robotiky, které ovlivnily etické a filozofické úvahy o vztahu mezi lidmi a roboty. Čapkův koncept robotů tak nejen ovlivnil uměleckou sféru, ale také připravil základ pro technologický pokrok vedoucí k vývoji skutečných průmyslových robotů, které dnes hrají klíčovou roli v automatizaci a moderním průmyslu (KOLÍBAL, 2016).



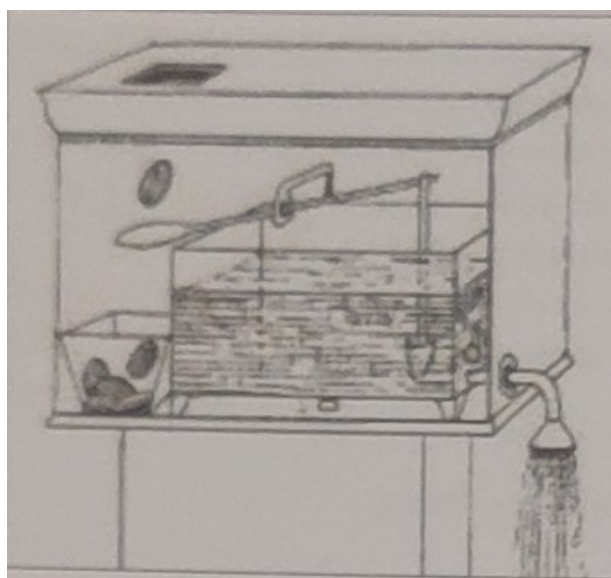
Obrázek 2 Historická fotografie robota *Unimate* při vystoupení v pořadu *The Tonight Show*.

(Zdroj: AUTOMATE.ORG, 2025)

2 HISTORIE A VÝVOJ MOBILNÍCH ROBOTICKÝCH SYSTÉMŮ

2.1 Počáteční koncepce a vývoj

Historie snah o vytvoření mechanických zařízení napodobujících lidskou činnost sahá až do antiky, respektive starověku. Již v antické řecké mytologii se objevují zmínky o automatizovaných bytostech – například o bohu Héfaistovi, který si podle Homéra vytvořil z čistého zlata mechanické pomocníky (*KOLÍBAL, 2016*). Významnou historickou postavou v této oblasti byl Hérón Alexandrijský, jenž působil v Alexandrii v 1. století našeho letopočtu. Byl znám jako vynikající mechanik a konstruktér zařízení poháněných párou. Mezi jeho nejznámější vynálezy patří dávkovač vody aktivovaný vhozením mince (viz obrázek 3) nebo oltářní automat, který po zapálení ohně automaticky lil vodu na oltář, čímž napodoboval rituální činnost (viz obrázek 4) (*KOLÍBAL, 2016*).



Obrázek 3 Hérónův automat na dávkování vody

(Zdroj: *KOLÍBAL, 2016*)



Obrázek 4 Příklad antického oltáře s figurínami, které samovolně vylévají vodu na obětní oheň

(Zdroj: KOLÍBAL, 2016)

Vývoj pokračoval i v novověku, avšak k zásadnímu technologickému zlomu došlo až ve 20. století s nástupem výpočetní techniky. Za první mobilní inteligentní robot je považován Shakey, který byl vyvinut v 60. letech 20. století ve Stanford Research Institute (dnes SRI International). Projekt vedl Charles Rosen a tým výzkumníků, kteří měli za cíl vytvořit zařízení schopné samostatného pohybu, vnímání a plánování činností. Shakey byl vybaven televizní kamerou, nárazníkovými senzory, sonarovými detektory a rádiovým spojením s externím počítačem PDP-10, který zajišťoval většinu výpočtů a zpracování dat. (WIRED, 2013)



Obrázek 5 Robot *Shakey* – první mobilní inteligentní robot vyvinutý ve Stanford Research Institute (SRI International, 1966).

(Zdroj: *WIRED*, 2013)

Robot využíval třívrstvou softwarovou architekturu, která rozlišovala nízko-, středně- a vysokoúrovňové akce. Díky plánovacímu systému STRIPS (Stanford Research Institute Problem Solver) byl schopen řešit komplexní úkoly, jako například přesun objektu, vyhýbání se překážkám nebo pohyb mezi místnostmi. I přes omezený výpočetní výkon své doby se Shakey dokázal adaptovat na změny v prostředí, čímž položil základy pro autonomní mobilní robotiku. Význam projektu dokládá i skutečnost, že některé technologie vyvinuté pro Shakeyho – jako algoritmus A* nebo metoda viditelnostního grafu – se dodnes uplatňují v navigačních systémech, zpracování přirozeného jazyka či umělé inteligenci (*WIRED*, 2013).

Na odkaz Shakeyho později navázaly moderní autonomní systémy, jako jsou roboti Kiva, vyvíjení pro skladové provozy společnosti Amazon, nebo autonomní vozidla společnosti Google, které posunuly možnosti mobilní robotiky do běžné praxe a průmyslové automatizace.

2.2 Významné etapy ve vývoji

- **1958:** Americká firma Unimation představila prvního světového průmyslového robota pod názvem „průmyslový robot UNIMATE“. Dnes však představuje jeden z nejlepších typů průmyslových robotů na světě vůbec (*KOLÍBAL, 2016*).
- **1980:** Začaly se vyvíjet mobilní roboty, které se mohly samostatně pohybovat v prostředí. Jedním z prvních byl robot Shakey od SRI International, který dokázal kombinovat senzory a rozhodovací algoritmy (*WIRED, 2013*).
- **Průmyslové roboty 1. generace** jsou roboty s programovým řízením (programovatelné roboty). Tyto roboty jsou určeny pro vykonávání pevně naprogramovaných postupných operací. Jednoduchost, s jakou lze změnit program, učinila tyto roboty dostatečně univerzální a použitelné pro různé druhy úkolů. Dá se též říci, že jsou to programovatelné manipulátory, respektive průmyslové roboty nižší (nízké) úrovně. První generace se omezuje hlavně na tzv. „pohybové aplikace“ vyjádřené souslovím „zvednout a umístit“ (pick and place). V tomto režimu („zvedni a ulož“) vykonávají manipulační práce (*KOLÍBAL, 2016*).
- **Průmyslové roboty 1.5. generace** pracují v systému „udělej a ověř“ (make and test). Pro svou činnost již využívají jednoduché senzory (*KOLÍBAL, 2016*).
- **Průmyslové roboty 2. generace** jsou roboty vybavené vnímáním. Liší se od programovatelných robotů 1½. generace především podstatně větším sortimentem a počtem senzorů, a to jak vnějších (optických, hmatových aj.), tak vnitřních (snímačů tlaku, polohy, momentu atd.), a dále i mnohem složitějším řízením. Tady už nejde jen o řízení pohybu robotu, jak tomu bylo u 1. generace. Tyto stroje ke své činnosti potřebují řídicí počítač. Jsou to průmyslové roboty vyšší úrovně; roboty, které jsou opatřené koordinačním systémem se senzorickým vybavením pro práci v systému „oko – ruka“ (eye – hand) (*KOLÍBAL, 2016*).
- **Průmyslové roboty 2.5. generace** jsou roboty, které vykonávají komplexní „percepčně-motorické“ (vnímavě-pohybové) funkce (*KOLÍBAL, 2016*).
- **Průmyslové roboty 3. generace** jsou inteligentní roboty. Principiálně se liší od robotů 2. generace složitostí a objemem řídicího systému, zahrnujícího elementy umělé inteligence. Inteligentní roboty nejsou určeny pouze k imitaci fyzické činnosti člověka, ale také k automatizaci jeho intelektuální činnosti. Charakteristickou

vlastností inteligentních robotů je jejich schopnost učení a adaptace (autonomnost) v procesu řešení úloh (tzv. kognitivní roboty). Mimo jiné má mít 3. generace základní inteligenci pro diskrétní manipulaci se součástkami, zejména při montáži (KOLÍBAL, 2016).

2.3 Pokroky v technologiích

V posledních desetiletích došlo k výraznému technologickému posunu, který zásadně ovlivnil schopnosti mobilních robotů:

- **Senzory a mapování:** Moderní roboty využívají technologie jako LIDAR, které jim umožňují přesné mapování prostředí a detekci překážek. To je klíčové pro jejich autonomní navigaci.
- **Pohon a baterie:** Díky pokroku v pohonných systémech a bateriích mohou dnešní roboty fungovat déle na jedno nabití, což je nezbytné pro dlouhodobý provoz v průmyslových i logistických aplikacích.
- **Umělá inteligence:** Algoritmy strojového učení umožňují robotům rozpoznávat objekty, optimalizovat trasy a samostatně se rozhodovat. Tento trend souvisí s řízením typu MASTER-SLAVE, kde člověk řídí robota na dálku, případně pomocí nervových signálů EMG (elektromyografických).
- **Internet věcí (IoT):** Propojení robotů s dalšími zařízeními umožňuje lepší efektivitu a kooperaci v inteligentních továrnách, například v automatizovaných výrobních centrech FANUC.

Mobilní robotika se tak stává stále pokročilejší, přičemž propojuje průmyslové roboty, biorobotické aplikace a humanoidní systémy, což ukazuje na širší směřování vývoje k větší autonomii a interakci s lidmi. (KOLÍBAL, 2016)

3 PRŮMYSLOVÉ APLIKACE MOBILNÍCH ROBOTŮ

3.1 Logistika a skladování

Humanoidní a mobilní roboti hrají zásadní roli v logistice, kde pomáhají s širokou škálou klíčových operací. Ve skladech se využívají k automatizaci procesů, jako je manipulace s materiálem, třídění zásilek nebo přeprava zboží na správná místa. Díky schopnosti samostatného pohybu a efektivní manipulace s různými typy nákladu přispívají ke zrychlení skladových operací a zlepšení jejich plynulosti. Kromě toho pomáhají s inventurami a urychlují přesné vyřizování objednávek, což zvyšuje efektivitu logistických systémů.

V současnosti se mobilní roboti intenzivně využívají ve společnostech, jako jsou Amazon a Continental, kde hrají klíčovou roli při řízení skladového provozu. Ve skladech Amazonu pomáhají automatizovat pohyb zboží, čímž zrychlují distribuci a snižují náklady na manuální práci. V Continentalu mobilní roboti přemísťují palety s nákladem a dopravují je na třídící stanici. Tam podle kódu palety rozhodují o dalším směru její cesty, což umožňuje optimalizaci logistických operací a minimalizaci chyb při manipulaci s materiálem.

Humanoidní roboti se uplatňují i v doručovacích službách, kde pomáhají s přímým předáváním zásilek zákazníkům. Díky pokročilé navigaci a schopnosti orientovat se v prostředí dokážou zajistit spolehlivé a přesné doručení, což napomáhá rychlejšímu servisu a optimalizaci dodavatelského řetězce.

Tímto způsobem robotická technologie nejen automatizuje klíčové procesy, ale také zvyšuje efektivitu a bezpečnost v logistických operacích moderních společností.



Obrázek 6 Autonomní mobilní roboty AMR společnosti Mecalux určené pro přepravu zboží ve skladu.

(Zdroj: MECALUX, 2023)

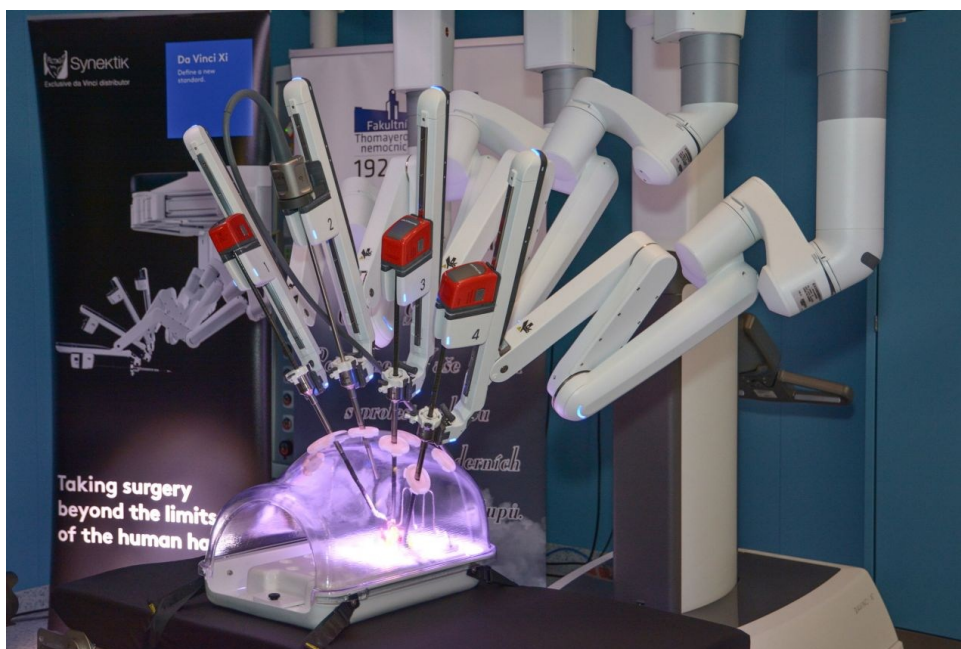
Popis: Autonomní mobilní roboty AMR od společnosti *Mecalux* jsou navrženy pro přepravu zboží v rámci skladových prostor. Díky pokročilým senzorům a navigačním systémům se dokážou bezpečně pohybovat v prostředí skladu, čímž zvyšují efektivitu a flexibilitu logistických operací (*Mecalux.sk, 2023*).

3.2 Zdravotnictví

Humanoidní roboti dnes hrají klíčovou roli v lékařství, zejména v chirurgii, kde asistují specialistům při operacích. Díky jejich schopnosti provádět extrémně přesné pohyby i v těsných prostorech pomáhají zvýšit efektivitu zákroků a minimalizovat riziko komplikací, což přispívá k lepším výsledkům léčby.

Ve sféře rehabilitace podporují pacienty s neurologickým postižením, například po mrtvici nebo poranění mozku. Pomocí speciálně navržených cvičení napomáhají obnově ztracených funkcí a urychlují proces zotavení.

Tímto způsobem technologie přispívají ke zlepšení péče a pomáhají pacientům na cestě k lepšímu zdraví.



Obrázek 7 Chirurgický robotický systém Da Vinci Xi ve Fakultní Thomayerově nemocnici v Praze.

Zdroj: (SYNETIK, 2023)

Popis: Robotický systém Da Vinci Xi umožňuje lékařům provádět minimálně invazivní chirurgické zákroky s vysokou přesností. Díky robotickým ramenům a pokročilé optice je možné provádět složité operace s minimálním zásahem do těla pacienta, což zkracuje dobu rekonvalescence a zvyšuje bezpečnost zákroku (FTN.cz, 2024).

3.3 Zemědělství

Mobilní roboty nacházejí stále větší uplatnění i v zemědělství, kde pomáhají automatizovat různé procesy a zefektivnit práci na polích a farmách.

Jednou z klíčových oblastí využití je **výsadba plodin**, kde robotické stroje umožňují přesné a rychlé zasazení semen do půdy. Díky pokročilým senzorům mohou optimalizovat hloubku a rozložení semen, čímž zvyšují jejich šanci na zdravý růst a minimalizují plýtvání.

Další důležitou funkcí je **postřik rostlin**, kdy mobilní roboty dokáží samostatně identifikovat místa, která potřebují ochranu před škůdci nebo chorobami, a aplikovat postřiky s vysokou přesností. To nejen šetří množství chemikálií, ale zároveň snižuje dopad na životní prostředí.

Neméně důležitou roli hrají také při **hnojení půdy**, kde umožňují přesné dávkování živin podle aktuálního stavu půdy a potřeb konkrétních plodin. Díky analýze dat dokážou efektivně rozložit hnojivo tak, aby podporovalo zdravý růst rostlin a zvýšilo výnosy.

Moderní zemědělské roboty jsou vybaveny umělou inteligencí a autonomní navigací, což jim umožňuje pracovat samostatně i v rozsáhlých polních oblastech. S rostoucím důrazem na udržitelnou produkci a optimalizaci využití zdrojů se očekává, že jejich role bude v budoucnu stále významnější.



Obrázek 8 Autonomní polní robot Agroboti Robotti pracující na zemědělské půdě.

Zdroj: (AGROPORTAL24h.cz, 2021)

Popis: Agroboti Robotti je autonomní robot schopný pracovat na poli nepřetržitě po dobu 24 hodin. Jeho využití zahrnuje setí, pletí a další zemědělské operace, čímž přispívá k efektivitě a udržitelnosti zemědělské produkce (AGROPORTAL24h.cz, 2021).

3.4 Stavebnictví

Ve stavebnictví se mobilní roboty stále více využívají k automatizaci nebezpečných nebo opakujících se úkolů, což pomáhá zvýšit efektivitu a zároveň minimalizovat rizika pro pracovníky. Mezi hlavní oblasti jejich použití patří demolice, svařování, manipulace s těžkými materiály a další stavební činnosti, které vyžadují přesnost a bezpečnost (*MIRDO.cz, 2025*).

Další významnou inovací jsou mobilní robotické drony vybavené termokamerami, které umožňují kontrolu úniku tepla z budov. Tyto drony dokážou efektivně monitorovat stav izolací a identifikovat problematická místa, což pomáhá při energetických auditech a optimalizaci spotřeby energií. Díky schopnosti analyzovat rozsáhlé plochy z výšky mohou odhalit konstrukční vady nebo nedostatečné zateplení budov, čímž přispívají k snížení energetických nákladů a zlepšení celkové efektivity stavebních projektů (*Dronemkunasek.cz, 2025*).

Robotická technologie se tak stává klíčovým nástrojem v moderním stavebnictví, kde nejen automatizuje složité procesy, ale také zvyšuje bezpečnost, snižuje náklady a pomáhá vytvářet energeticky efektivní budovy.



Obrázek 9 Vrtací robot *Hilti Jaibot* určený pro automatizované vrtání kotevních otvorů ve stavebnictví.

(Zdroj: *HILTI, 2023*)

Popis: Hilti Jaibot je poloautonomní vrtací robot, který dokáže přesně vrtat kotevní otvory podle digitálních podkladů stavby. Tím se zvyšuje přesnost a snižuje riziko chyb při instalaci elektroinstalací a potrubních rozvodů (*Hilti.cz, 2023*).

3.5 Veřejné služby a úklid

Humanoidní roboti se stále častěji objevují v domácnostech, kde pomáhají s každodenními úkoly, jako je úklid, vaření nebo interakce s dětmi. Jsou schopni vykonávat čisticí práce, například vysávání a vytírání podlah, přičemž využívají pokročilé senzory a navigační systémy k orientaci v prostoru (*Botland.cz, 2023*).

Vedle humanoidních robotů se v domácnostech hojně uplatňují mobilní robotické vysavače, které využívají LiDAR senzory k mapování prostoru. Díky této technologii dokážou efektivně plánovat trasu úklidu, vyhýbat se překážkám a optimalizovat čištění podlah.

Kromě domácností se mobilní roboti uplatňují i v městské logistice. Například v Moskvě jsou roboty Yandex běžně využívány pro doručování jídel. Tyto autonomní stroje fungují podobně jako kurýři – po objednání jídla se vydají do restaurace, vyzvednou zásilku a doručí ji zákazníkovi na určené místo. Uživatelé mohou sledovat pohyb robota v aplikaci a po jeho příjezdu si zásilku odemknout (*The Moscow Times, 2020*).

Robotická technologie tak nejen zjednodušuje každodenní život, ale také zvyšuje efektivitu a komfort v domácnostech i městských službách.



Obrázek 10 Autonomní doručovací robot *Yandex Rover* při rozvozu jídla v Moskvě.

(Zdroj: *THE MOSCOW TIMES, 2020*)

II PRAKTICKÁ ČÁST

4 CÍL PRÁCE

Úvodním záměrem bakalářské práce bylo poukázat na výhody a nevýhody využití mobilních robotů v prostředí průmyslové automatizace. Dále bylo cílem navrhnout a zdokumentovat proces automatizované manipulace se součástkami s využitím mobilního robotu OMRON LD-90 a kolaborativního robotu ABB YuMi. Práce zahrnovala celý proces – od návrhu a realizace součástek pomocí softwaru Autodesk Inventor a 3D tisku na tiskárně Prusa Mini, až po vytvoření funkčního systému automatizovaného přemísťování součástek mezi dvěma pracovišti.

Hlavním cílem bakalářské práce bylo navrhnout, realizovat a zdokumentovat proces automatizované manipulace se součástkami za využití mobilního robotu OMRON LD-90 a kolaborativního robotu ABB YuMi. Součástí bylo propojení obou zařízení do funkčního celku, který umožní přenášet součástky mezi pracovišti a provádět jejich přesnou manipulaci.

Dílčí cíle práce byly následující:

- provést rešerši vývoje a současných aplikací mobilní robotiky a kolaborativních robotů,
- seznámit se s konstrukcí a technickými parametry robota OMRON LD-90,
- popsat strukturu a komponenty platformy mobilního robotu včetně navigačního systému, pohonu a řídicí jednotky,
- navrhnout a vytvořit 3D model výrobku a vytisknout ho pomocí 3D tiskárny Prusa Mini,
- nakonfigurovat a naprogramovat robota OMRON v prostředí MobilePlanner,
- realizovat programování robota ABB YuMi v prostředí RobotStudio,
- vytvořit funkční scénář spolupráce mezi OMRON a ABB YuMi pro automatizovaný přenos a nakládání součástek,
- zaznamenat a vyhodnotit průběh praktické části pomocí fotodokumentace a navrhnout možná zlepšení celého procesu.

5 POPIS MOBILNÍHO ROBOTU OMRON LD-90

5.1 Technické parametry

Mobilní roboty OMRON jsou založeny na platformě LD OEM, která je určena pro autonomní přepravu nákladu v různých typech prostředí. Platforma nabízí dvě základní varianty: (OMRON, 2021).

- OMRON LD-60 – určený pro přepravu nákladu do 60 kg (132 lb)
- OMRON LD-90 – výkonnější verze pro přepravu nákladu do 90 kg (198 lb)

Obě verze mají shodné základní funkce a konstrukci, liší se především maximální nosností. Níže jsou uvedeny vybrané technické parametry modelu OMRON LD-90, který byl použit v rámci této práce: (OMRON, 2021).

- Maximální nosnost: 90 kg
- Napájení: Dobíjecí lithium-iontová baterie
- Výdrž baterie: až 15 hodin provozu (v závislosti na zátěži a pohybu)
- Rychlost: až 1,8 m/s
- Navigace: SLAM (Simultaneous Localization and Mapping)
- Senzory:
 - LIDAR (pro orientaci v prostoru a detekci překážek)
 - Infrared a ultrazvukové senzory
 - IMU (Inertial Measurement Unit)
 - Přední a zadní bezpečnostní zóny
- Rozměry: cca 692 mm (délka) × 500 mm (šířka) × 383 mm (výška)
- Komunikace: Ethernet, Wi-Fi

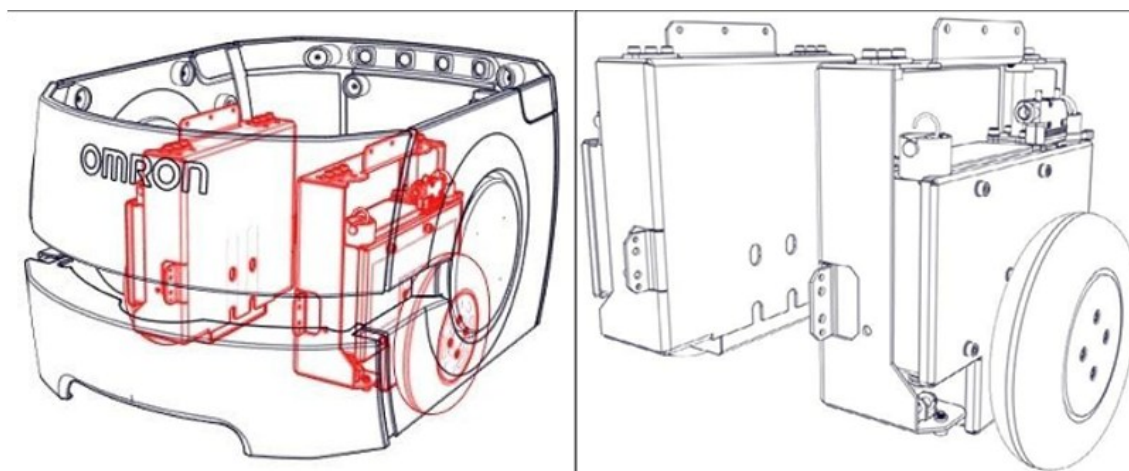
Řídicí systém: Ovládání pomocí softwaru MobilePlanner, podpora REST API a integrace s externím PLC

6 STRUKTURA A KOMPONENTY PLATFORMY LD

6.1 Podvozkový systém

Podvozkový systém robotů LD-90 je navržen tak, aby zajišťoval vysokou stabilitu a manévrovatelnost. OEM platformy LD jsou relativně malé, lehké a velmi obratné. Díky silnému hliníkovému šasi a pevné konstrukci jsou velmi odolné a mají stupeň krytí IP20.

Každá platforma má dvě kola s diferenciálním pohonem a odpružená pasivní kolečka vpředu a vzadu, která zajišťují rovnováhu. Hnací kola jsou nezávisle odpružená a mají pevné pneumatiky s pěnovou výplní. Kola jsou umístěna ve středové linii platformy, takže se platforma může otáčet na místě. (OMRON, 2021).



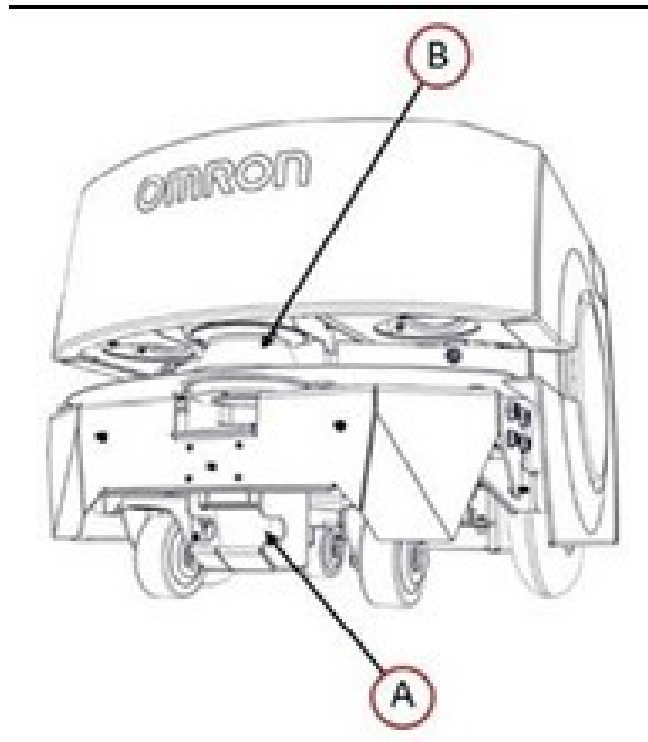
Obrázek 11 Pohony LD

(Zdroj: OMRON, 2021)

- Hlavní pohonná kola: Dvě hlavní kola, který zajišťuje pohyb vpřed, vzad a otáčení robota kolem osy.
- Stabilizační kolečka: Čtyři stabilizační kolečka zajišťují rovnováhu robota během provozu.
- Konstrukce: Podvozek je vyroben z odolných materiálů, které umožňují robotům operovat i v náročných průmyslových podmínkách.

6.2 Navigační systémy

Navigace robotů LD-90 využívá pokročilé technologie pro efektivní pohyb a detekci překážek. Mezi klíčové komponenty patří: (OMRON, 2021).

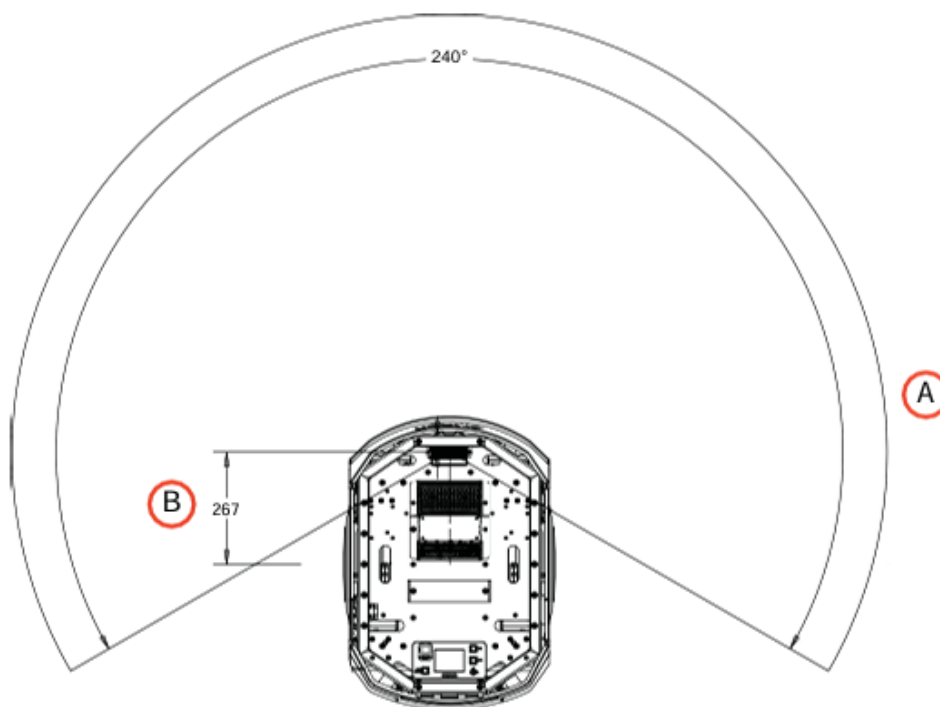


Obrázek 12 Lasery platformy LD OEM (nárazníkový kryt je odstraněn)

(Zdroj: OMRON, 2021)

- **Lidar senzory:** Platforma LD-90 je vybavena dvěma lidarovými senzory pro navigaci a bezpečnost.
 - **Bezpečnostní skenovací lidar:** Tento senzor poskytuje 500 údajů v zorném poli 240° a je umístěn 190 mm nad podlahou. Je navržen pro přesné skenování okolí a identifikaci překážek, ale má omezenou schopnost detekce skla, zrcadel a vysoce reflexních povrchů.
 - **Nízký přední lidar:** Umístěný na předním nárazníku, tento lidar detekuje nízké překážky, které nemusí být viditelné pro bezpečnostní skenovací lidar.

- **SLAM (Simultaneous Localization and Mapping):** Tato technologie umožňuje robotům orientaci v neznámých prostředích a vytváření mapy prostoru pro efektivní pohyb.
- **Sonarové senzory:** Robot je vybaven páry sonarových senzorů s dosahem až 5 metrů, které slouží k detekci překážek při couvání nebo při vjezdu do dokovací stanice.
- **Gyroskop a snímače kol:** Gyroskop sleduje otáčení platformy a snímače kol poskytují údaje o ujeté vzdálenosti a směru, což doplňuje navigační lidar při lokalizaci.



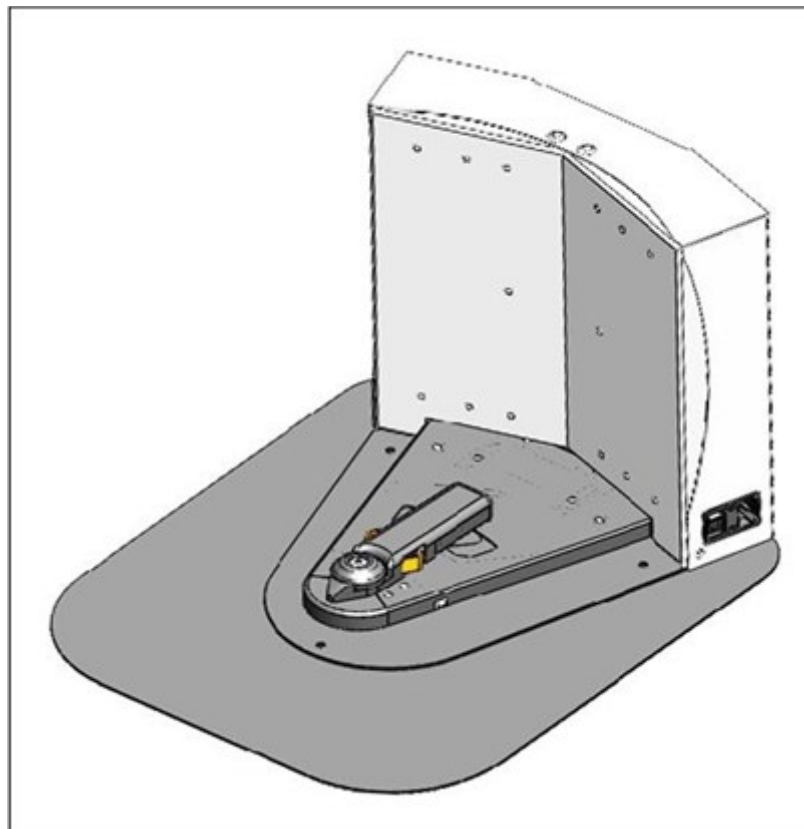
Obrázek 13 Zorné pole laseru (A), střed laseru (B)

(Zdroj: OMRON, 2021)

6.3 Energetické zdroje

Roboty LD-90 jsou napájeny vysoce kapacitními bateriemi, které zajišťují dlouhou výdrž a spolehlivost. Klíčové vlastnosti: (OMRON, 2021).

- **Baterie:** Lithium-iontové baterie s rychlým nabíjením a dlouhou životností.
- **Energetická úprava:** Systém řízení spotřeby energie minimalizuje plýtvání a maximalizuje efektivitu.
- **Automatické nabíjení:** Robot LD-90 je schopen automaticky dojet na dokovací stanici, kde může být baterie nabíjena ručně nebo automaticky.



Obrázek 14 Dokovací stanice

(Zdroj: OMRON, 2021)

Dokovací stanice je navržena pro jednoduchou instalaci a lze ji upevnit na podlahu nebo na stěnu pomocí nástěnného držáku. Stanice je vybavena odpruženou patkou, která kompenzuje nerovnosti povrchu a zajišťuje spolehlivé připojení robota.

Při skladování baterie doporučuje výrobce následující opatření:

- **Teplotní podmínky:**
 - Jeden měsíc: +5 až 45 °C.
 - Jeden rok: 20 až 25 °C.
- **Stav nabití:** Baterie by se měla začít skladovat plně nabitá. Pokud je baterie skladována delší dobu, doporučuje se ji pravidelně dobíjet, aby nedošlo k jejímu úplnému vybití, což by ji mohlo poškodit.
- **Úplné dobítí:** Baterii je třeba plně dobít každých šest měsíců, aby zůstala v dobrém stavu.
- **Pozice skladování:** Baterii vždy skladujte ve svislé poloze.

6.4 Řídicí systém

Pro řízení systému robotu OMRON LD-60/90 je klíčový software ARAM (Advanced Robotics Automation Management). Tento software spravuje všechny autonomní funkce na vysoké úrovni, včetně: (OMRON, 2021).

- Vyhýbání se překážkám: Robot zpracovává údaje ze senzorů a plánuje bezpečné dráhy.
- Plánování trasy: Dynamicky generuje a aktualizuje cesty pro efektivní pohyb.
- Lokalizace a navigace: Robot neustále aktualizuje svou polohu v rámci mapovaného prostoru.
- Odometrie a senzory: Zpracovává data z gyroskopu, enkodérů a dalších senzorů, což umožňuje přesné řízení pohybu.
- Řízení baterie: Zajišťuje správu energie a bezpečné nabíjení.

Software ARAM komunikuje s aplikací MobilePlanner, která umožňuje uživatelům nastavovat provozní parametry a sledovat výkon robotu. ARAM spravuje také digitální a analogové vstupy a výstupy, což umožňuje integraci externích zařízení a senzorů specifických pro konkrétní aplikace mohu text doplnit nebo rozšířit (OMRON, 2021).

6.5 Komunikační rozhraní

Roboty LD-90 využívají širokou škálu komunikačních technologií, které umožňují jejich snadnou integraci a ovládání: (OMRON, 2021).

- Wi-Fi a Ethernet: Umožňují vzdálený monitoring a ovládání robotů.
- API rozhraní: Poskytuje možnost propojení robota s vlastními systémy řízení a aplikacemi.
- Notifikace: Robot je schopen zasílat upozornění o svém stavu nebo potřebě servisního zásahu.
- Software MobilePlanner: Tento program umožňuje kompletní konfiguraci, monitoring a ovládání robota LD-90. Uživatelé mohou nastavovat parametry robota, sledovat jeho pohyb a provádět diagnostiku.
- Manuální ovládání: Robot lze ovládat ručně pomocí joysticku nebo vzdáleně přes počítač, což zvyšuje flexibilitu nasazení v různých prostředích.

7 REALIZACE PRAKTICKÉ ČÁSTI A PROGRAMOVÁNÍ ROBOTŮ

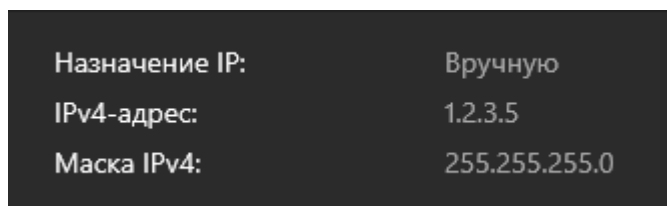
7.1 Realizace OMRONU v programu PlanetMobile

V této části práce je podrobně popsán proces konfigurace, plánování a programování mobilního robota OMRON LD-90 prostřednictvím softwaru PlanetMobile. Cílem bylo vytvořit základní projekt, ve kterém robot autonomně vykonává zadané úkoly – zejména přepravu materiálu mezi definovanými body v rámci vymezeného prostoru.

7.1.1 Vytvoření projektu a import mapy

Prvním krokem v realizaci bylo spuštění mobilního robota OMRON LD-90, který byl umístěn na dokovací stanici. Zapnutí probíhalo pomocí zadního zeleného tlačítka. Po aktivaci systém provedl kontrolu senzorů, hardwarových komponent a inicializaci potřebných modulů. Následně byl k robotovi připojen ruční ovladač, který umožňuje manuální řízení pohybu a regulaci rychlosti.

Po úvodním oživení byl robot přesunut poblíž místa, kde probíhalo síťové připojení. Pomocí ethernetového kabelu byl propojen s notebookem. Na straně počítače bylo nutné upravit síťové nastavení – IP adresa byla nastavena na 1.2.3.5 a maska podsítě na 255.255.255.0, aby byla zajištěna kompatibilita s výchozí konfigurací robota.

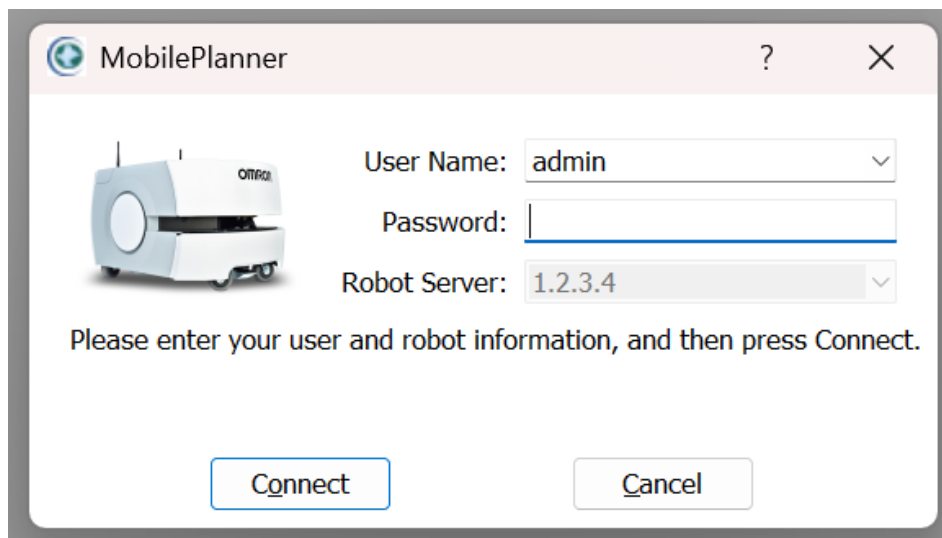


Назначение IP:	Вручную
IPv4-адрес:	1.2.3.5
Маска IPv4:	255.255.255.0

Obrázek 15 Síťové nastavení

(Zdroj: vlastní)

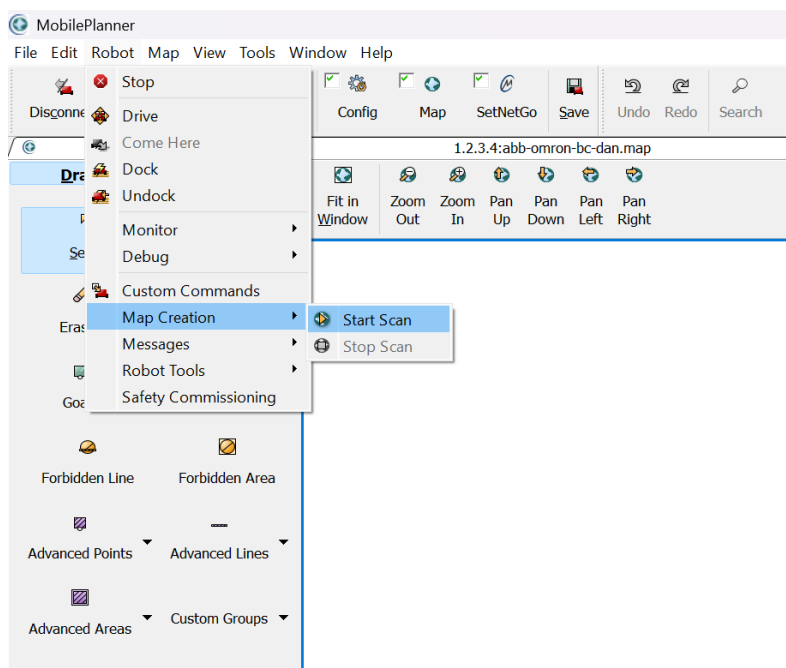
Dalším nezbytným krokem bylo připojení licenčního USB klíče, bez kterého není možné spustit software PlanetMobile. Po spuštění programu je nejprve nutné zadáním IP adresy robota určit, ke kterému zařízení se chceme připojit – v tomto případě byla použita adresa 1.2.3.4. Po potvrzení připojení se zobrazí přihlašovací okno, do kterého je třeba zadat přihlašovací údaje. Výchozí uživatelské jméno i heslo je „admin“. Po úspěšném přihlášení je navázáno spojení s robotem OMRON a uživatel může pokračovat ve vytváření nové mapy prostřednictvím rozhraní PlanetMobile.



Obrázek 16 Přihlašovací okno softwaru MobilePlanner

(Zdroj: vlastní)

V prostředí MobilePlanner byla přes hlavní nabídku Robot > Map Creation > Start Scan spuštěna funkce pro skenování prostoru (viz Obrázek 17). Následně byl robot pomocí ovladače manuálně veden po celé laboratoři. Současně se v reálném čase na obrazovce zobrazovala digitální rekonstrukce prostředí, kde bylo možné sledovat, jak robot detekuje okolní překážky, stěny a objekty.



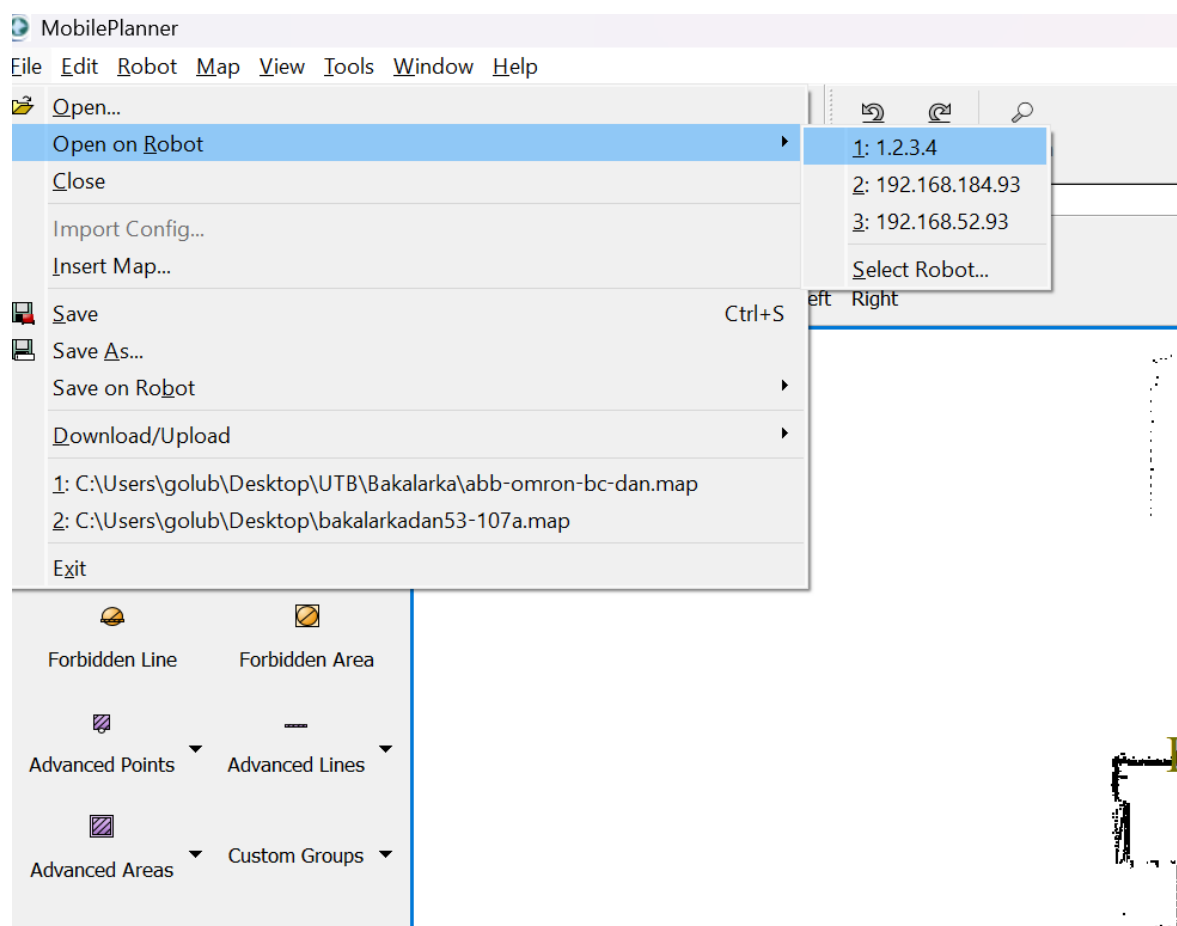
Obrázek 17 Spuštění skenování prostoru pomocí funkce Start Scan v prostředí MobilePlanner

(Zdroj: vlastní)

Po úplném projetí prostoru, ověření zachycení všech rohů a kritických oblastí byl proces ukončen pomocí funkce Stop Scan, a vytvořená mapa byla uložena s příslušným názvem.

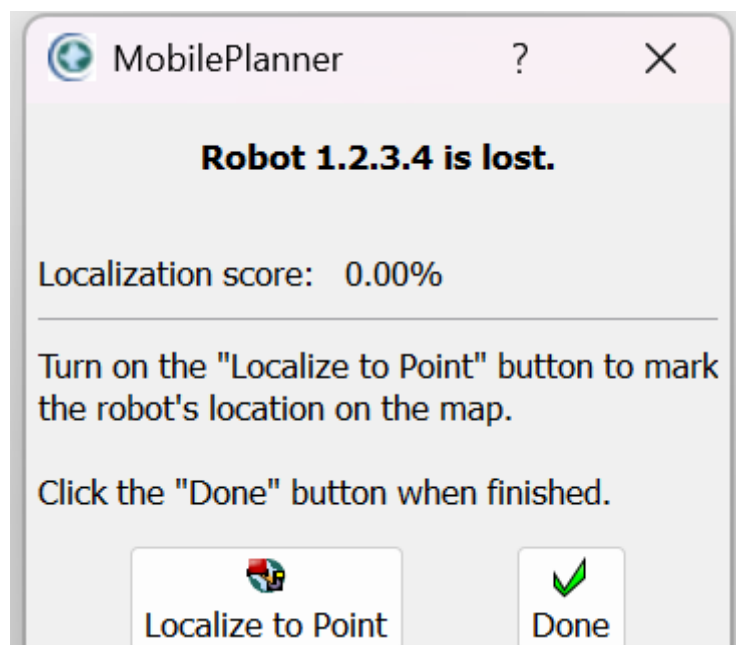
7.1.2 Aktivace mapy a lokalizace robotu

Po otevření uložené mapy na robotu (funkce Open on Robot, viz Obrázek 18) systém automaticky zobrazil simulaci pohybu robotu během skenování. Pro úspěšnou navigaci je důležité, aby aktuální pozice robotu odpovídala jeho zobrazení na mapě. Pokud systém oznámí hlášení typu „Robot 1.2.3.4 is lost“ (viz Obrázek 19), je nutné provést ruční lokalizaci pomocí nástroje Localize to Point, kterým uživatel označí reálnou pozici robotu v mapě. Ideální je dosáhnout lokalizační shody alespoň 90–100 %.



Obrázek 18 Otevření uložené mapy na robotu pomocí funkce Open on Robot v prostředí MobilePlanner

(Zdroj: vlastní)

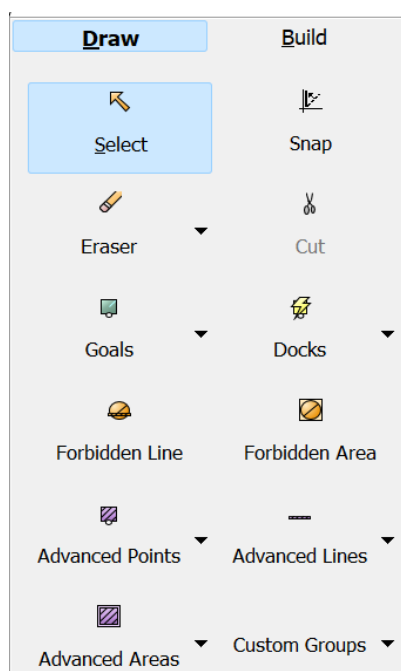


Obrázek 19 Chybové hlášení o ztrátě lokalizace robota a možnost ručního umístění pomocí funkce Localize to Point

(Zdroj: vlastní)

7.1.3 Umisťování prvků a plánování bodů

Po úspěšné lokalizaci robota bylo možné přejít k **definování prvků v mapě** prostřednictvím nabídky **Draw** (viz Obrázek 20). K dispozici jsou následující nástroje:



Obrázek 20 Panel nástrojů „Draw“ a „Build“ v softwaru MobilePlanner

(Zdroj: vlastní)

- Goals – cílové body, kam má robot jet,
- Docks – dokovací stanice,
- Forbidden Areas / Lines – zakázané oblasti a linie, které robot nesmí překročit,
- Advanced Zones – zóny pro zpomalení, zrychlení nebo zvláštní chování.

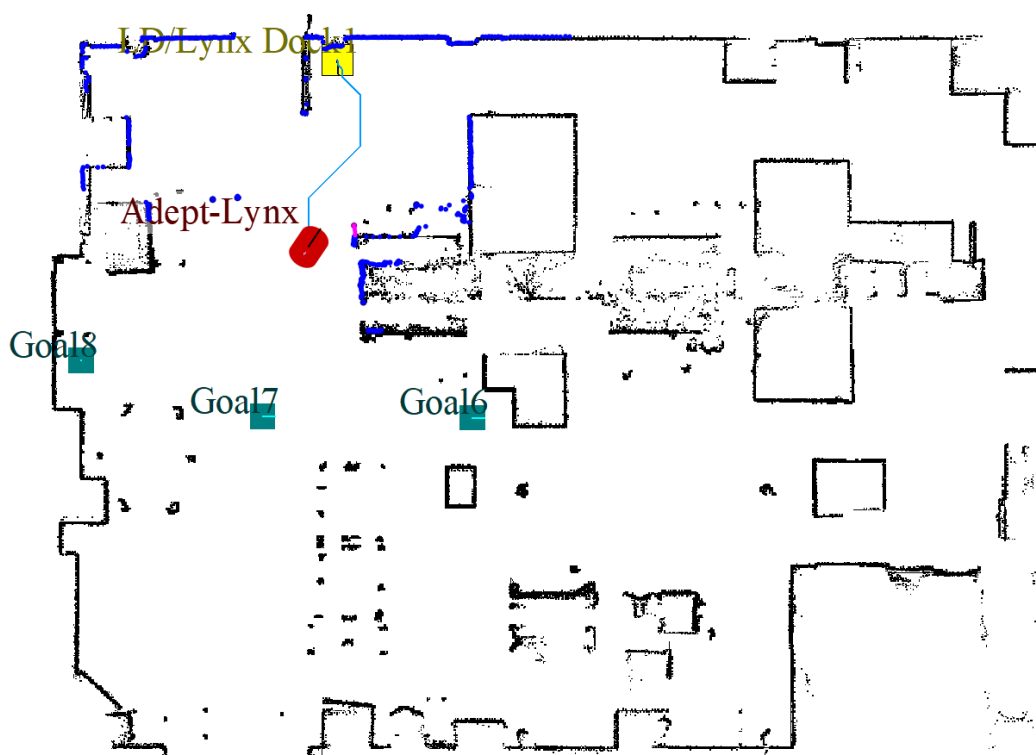
Pomocí těchto nástrojů byly vytvořeny tři klíčové body:

Goal 1 – pozice mezi dvěma pracovními stanovišti, kde robot zastaví po opuštění dokovací stanice.

Goal 2 – stanoviště u kolaborativního robota ABB YuMi, kam je robot naveden pro předání dílu.

Goal 3 – finální stanoviště, kde probíhá kompletace, kontrola nebo měření výrobku, buď lidskou silou, nebo jiným robotickým systémem (viz Obrázek 21).

Současně byla do mapy zakreslena **dokovací stanice**, která odpovídá skutečnému místu fyzického nabíjení robotu.



Obrázek 21 Zobrazení naskenované mapy s definovanými cíli a dokovací stanicí v softwaru MobilePlanner

(Zdroj: vlastní)

7.1.4 Připojení robotu OMRON k bezdrátové síti

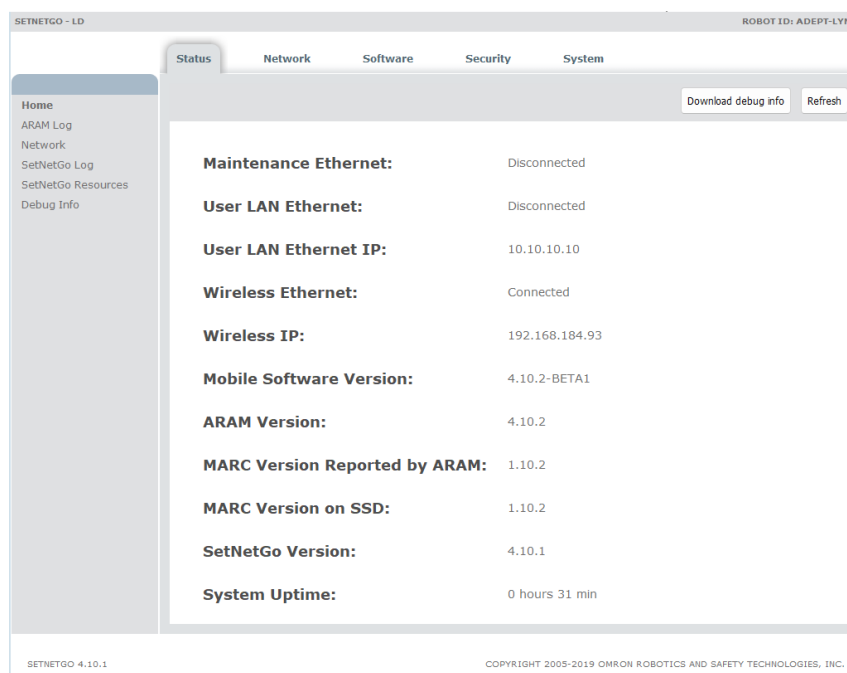
Dalším důležitým krokem pro funkční mobilitu robotu OMRON je zajištění bezdrátového připojení, které umožňuje komunikaci bez nutnosti přímého ethernetového propojení. K tomu slouží integrovaná funkce SetNetGo.

Po otevření funkce SetNetGo v záložce Network lze vybrat dostupné Wi-Fi síť. Pro správnou komunikaci je klíčové, aby byl robot připojen ke stejné bezdrátové síti jako ovládací notebook. V rámci této konfigurace byl vytvořen mobilní hotspot prostřednictvím mobilního telefonu, ke kterému se následně připojil i notebook.

Po úspěšném připojení bylo ověřeno, že k síti jsou připojena dvě zařízení (robot a notebook), a tím byla zajištěna síťová propojenost. Následně byl odpojen ethernetový kabel a ovladač robota. Aplikace MobilePlanner byla restartována, aby bylo možné se znovu přihlásit pomocí nové IP adresy, kterou systém přiřadil zařízení.

IP adresa robotu byla zjištěna přímo z jeho informačního displeje, a po jejím zadání bylo možné opětovně přistoupit k připojení. Přihlašovací údaje zůstaly výchozí, tedy uživatelské jméno i heslo bylo „admin“.

Tímto způsobem byl robot plně připraven pro bezdrátové ovládání a bylo možné pokračovat v mapování prostoru a zadávání tras.



Obrázek 22 Zobrazení stavu síťového připojení robotu OMRON v rozhraní SetNetGo

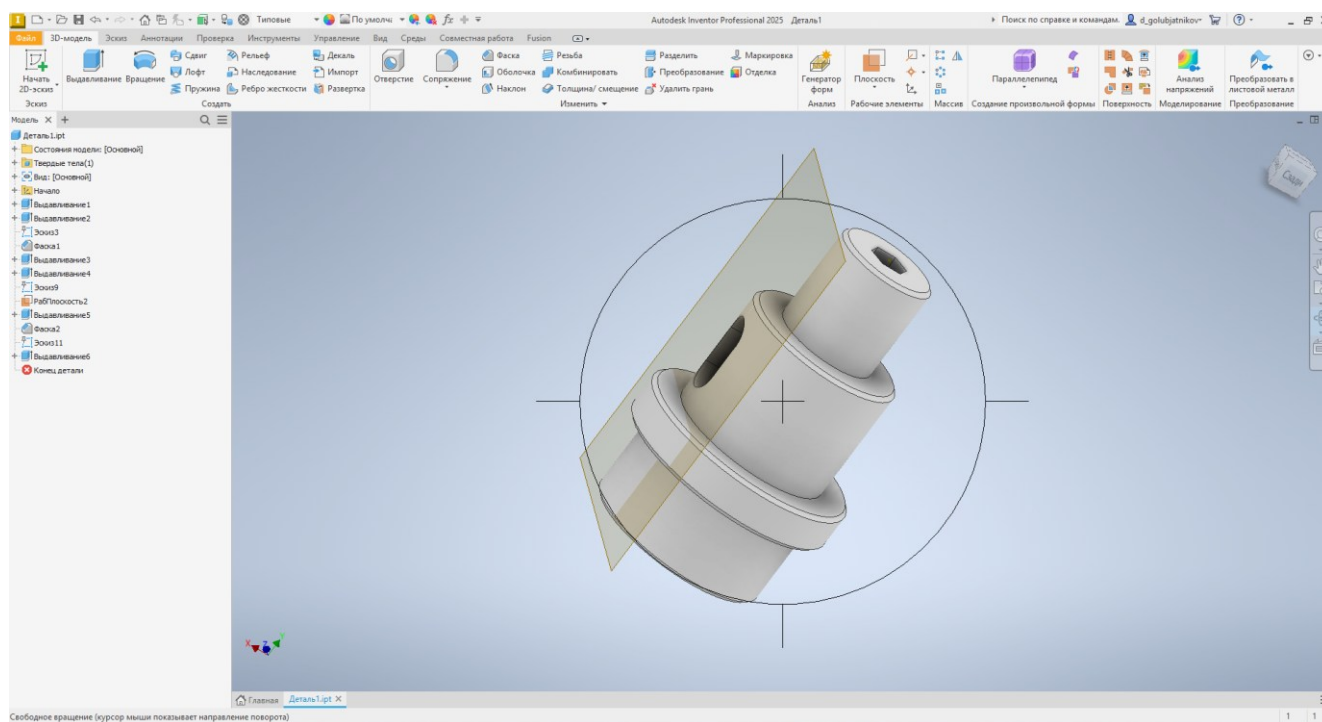
(Zdroj: vlastní)

7.2 Realizace výrobku pomocí programu Autodesk Inventor a 3D tiskárny Prusa Mini

Na začátku návrhu bylo nezbytné provést přesné měření pomocí metru a posuvného měřítka. Měřeny byly jednak otvory určené pro skladování dílů na platformě robotu OMRON LD-90, jednak rozteč čelistí gripperu pro uchopení a předávání jednotlivých dílů. Následně probíhalo rozhodování, zda navrhnout čtyři samostatné díly, nebo vytvořit jednu kompletní součástku, která bude rozdělena na čtyři části. Z praktických i konstrukčních důvodů byla zvolena druhá varianta – inspirací pro návrh byla klasická průmyslová hřídel, která byla rozdělena do čtyř konstrukčních částí.

7.2.1 První díl – hřídel s průchozím otvorem

Jako první byl vytvořen díl ve tvaru válce s průchozím otvorem, který tvořil základ celé sestavy (viz Obrázek 23). Tento díl slouží jako nosná část a referenční základ pro kompletaci. Model byl exportován ve formátu STL pro 3D tisk a zároveň uložen v nativním formátu Autodesk Inventoru pro další práci.

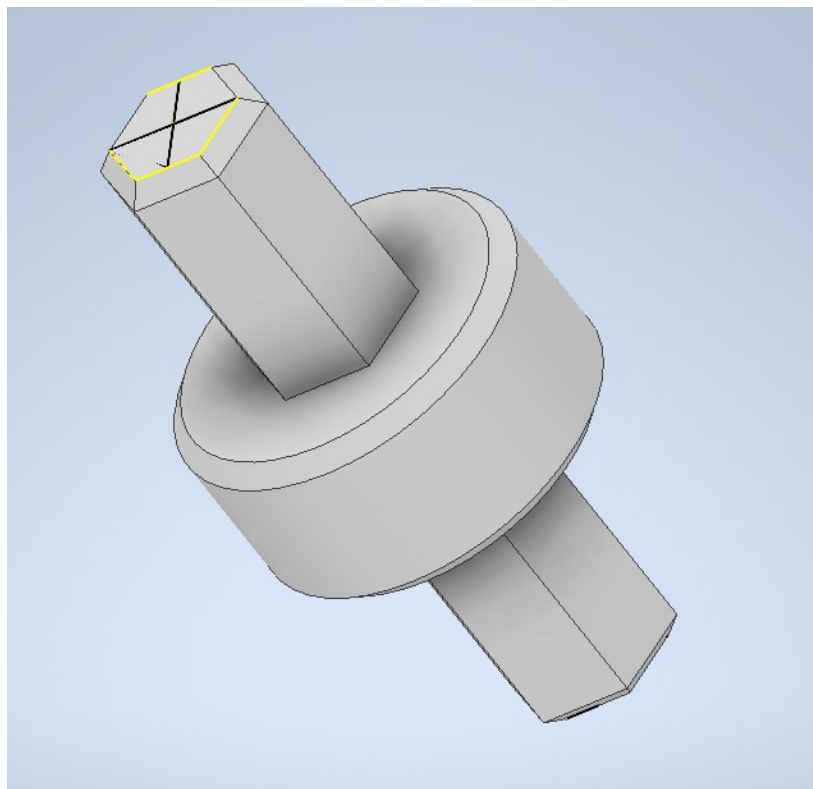


Obrázek 23 3D model prvního dílu (hřídele) v návrhovém rozhraní programu Autodesk Inventor

(Zdroj: vlastní)

7.2.2 Druhý díl – spojovací prvek

Druhým dílem byl spojovací prvek mezi jednotlivými částmi sestavy. Konstrukce začala vytvořením základního válce, jehož hrany byly zkoseny pod úhlem $1 \times 45^\circ$. Na obou stranách byly následně vytaženy hranoly se šestiúhelníkovým průřezem, které rovněž obsahují zkosení pod stejným úhlem pro lepší kompatibilitu při skládání (viz Obrázek 24). I tento díl byl uložen ve formátech STL a IPT.

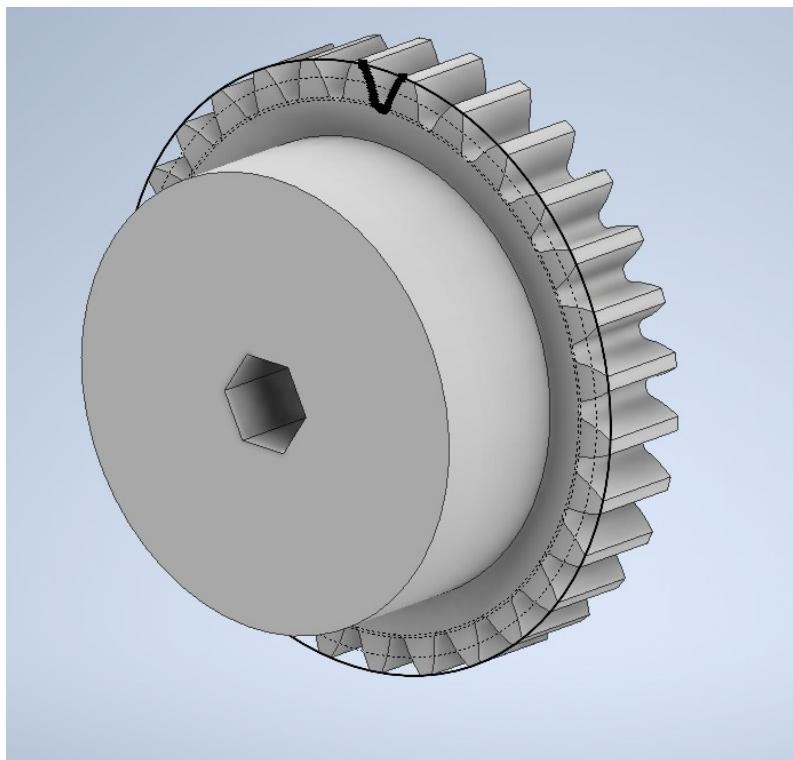


Obrázek 24 Druhý díl – spojovací prvek s hranoly a zkosením v prostředí Autodesk Inventor

(Zdroj: vlastní)

7.2.3 Třetí díl – ozubené kolo

Třetí díl představuje ozubené kolo, které bylo navrženo kombinací dvou válcových těles. Větší válec slouží jako základ pro zuby, menší pak jako montážní podklad. Samotné ozubení bylo vytvořeno pomocí funkce Design Tooth Gear v softwaru Inventor, která umožňuje generovat ozubení podle zvoleného průměru a dalších parametrů (viz Obrázek 25). Model byl opět uložen v obou výše zmíněných formátech.

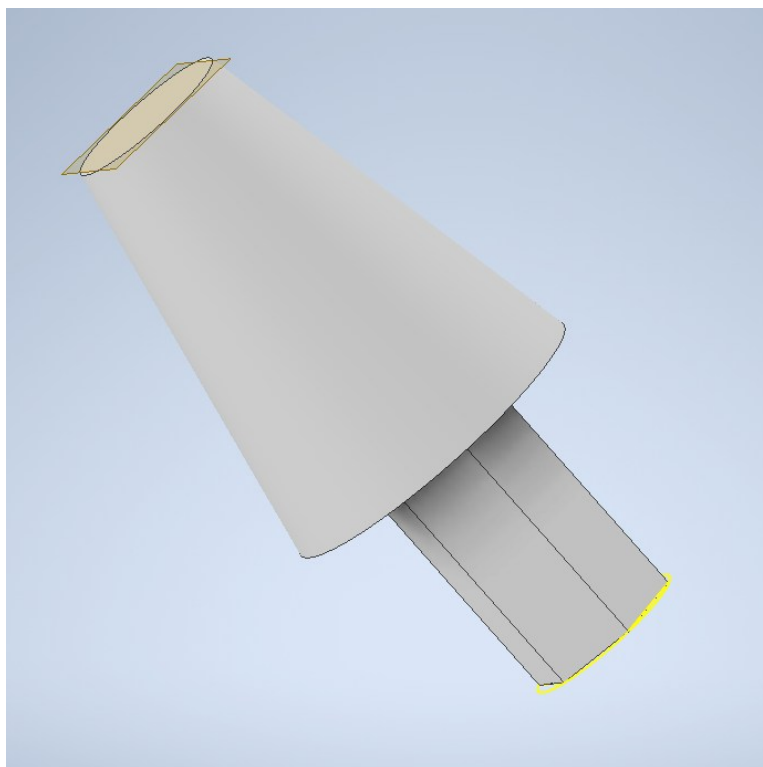


Obrázek 25 Třetí díl – 3D model ozubeného kola

(Zdroj: vlastní)

7.2.4 Čtvrtý díl – zakončovací prvek

Poslední díl tvoří zakončovací část celé součástky. Konstrukčně se jedná o kombinaci šestihranu a válce, přičemž horní část byla zkosená pod úhlem $5 \times 78,69^\circ$ (viz Obrázek 26). Tento tvar napomáhá stabilnímu nasazení i případnému vizuálnímu odlišení zakončení. Model byl exportován a uložen stejně jako předchozí díly.



Obrázek 26 Čtvrtý díl – zakončovací prvek

(Zdroj: vlastní)

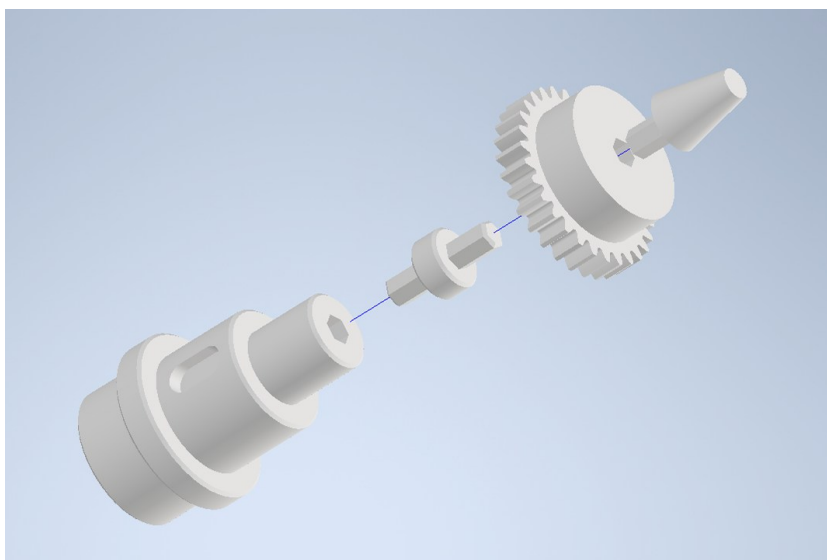
7.2.5 Finalizace a 3D tisk

Po dokončení návrhů jednotlivých dílů byly všechny komponenty sestaveny do finálního 3D modelu kompletní součástky pomocí funkce Sestava v prostředí Autodesk Inventor. Následně byl vytvořen i animovaný model, který znázorňuje proces skládání a rozkládání celé součástky pro lepší představu o funkčním propojení jednotlivých částí (viz Obrázek 27 – sestavená součástka a Obrázek 28 – animace sestavení).



Obrázek 27 Sestavená součástka

(Zdroj: vlastní)

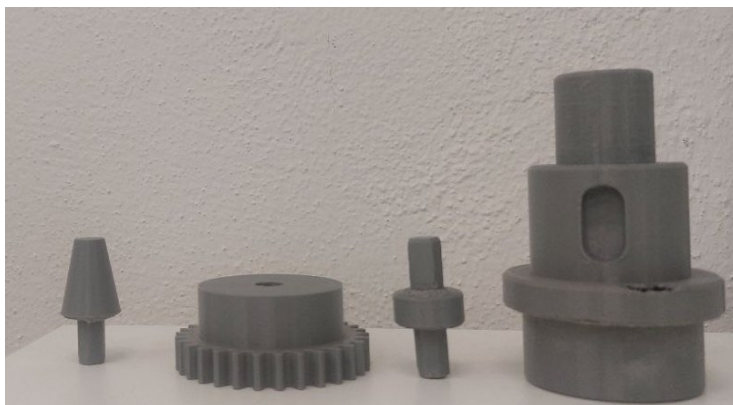


Obrázek 28 Animace sestavení

(Zdroj: vlastní)

Všechny díly ve formátu STL byly převedeny do formátu G-code pomocí softwaru PrusaSlicer verze 2.9.1. Hotové G-code soubory byly přeneseny na USB flash disk a připraveny k tisku na 3D tiskárně Prusa Mini.

Tisk probíhal po jednotlivých dílech. Po dokončení každého výtisku byly součásti ručně opracovány pomocí pilníku a brusného papíru za účelem odstranění přebytečného materiálu a nerovností vzniklých při tisku. Tato úprava zajistila snadnější a přesnější kompletaci celého modelu. Po opracování byly díly připraveny pro další praktickou fázi, kdy byly přesunuty na pracoviště kolaborativního robota ABB YuMi.



Obrázek 29 Vytisknuté součástky určené k manipulaci kolaborativním robotem ABB YuMi a mobilním robotem OMRON LD-90

(Zdroj: vlastní)

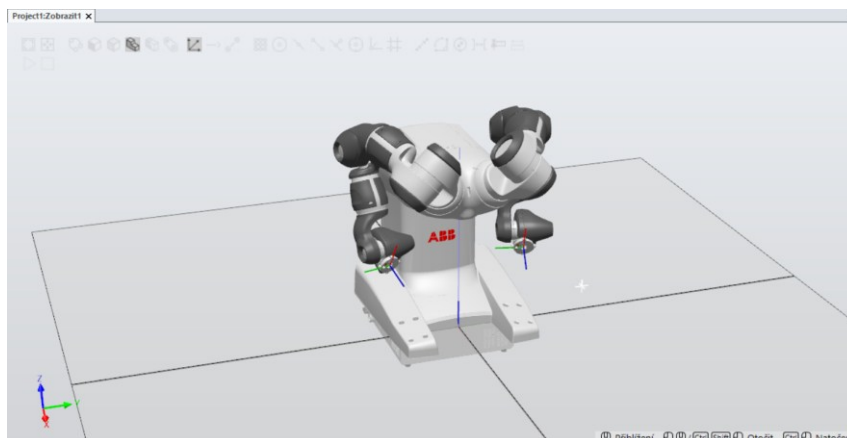


Obrázek 30 Finální sestava vytištěných dílů

(Zdroj: vlastní)

7.3 Programování ABB YuMi v prostředí RobotStudio

Na úvod bylo nezbytné stáhnout a nainstalovat software RobotStudio, který slouží k simulaci a programování robotických systémů ABB. Pomocí školní Wi-Fi jsem se přihlásil ke školnímu účtu a aktivoval dočasnou licenci na 90 dní. V prostředí simulace jsem následně přidal 3D model kolaborativního robotu ABB YuMi (viz Obrázek 31) a otestoval základní funkce a ovládání pohybu.



Obrázek 31 3D model robotu ABB YuMi v prostředí simulace softwaru RobotStudio

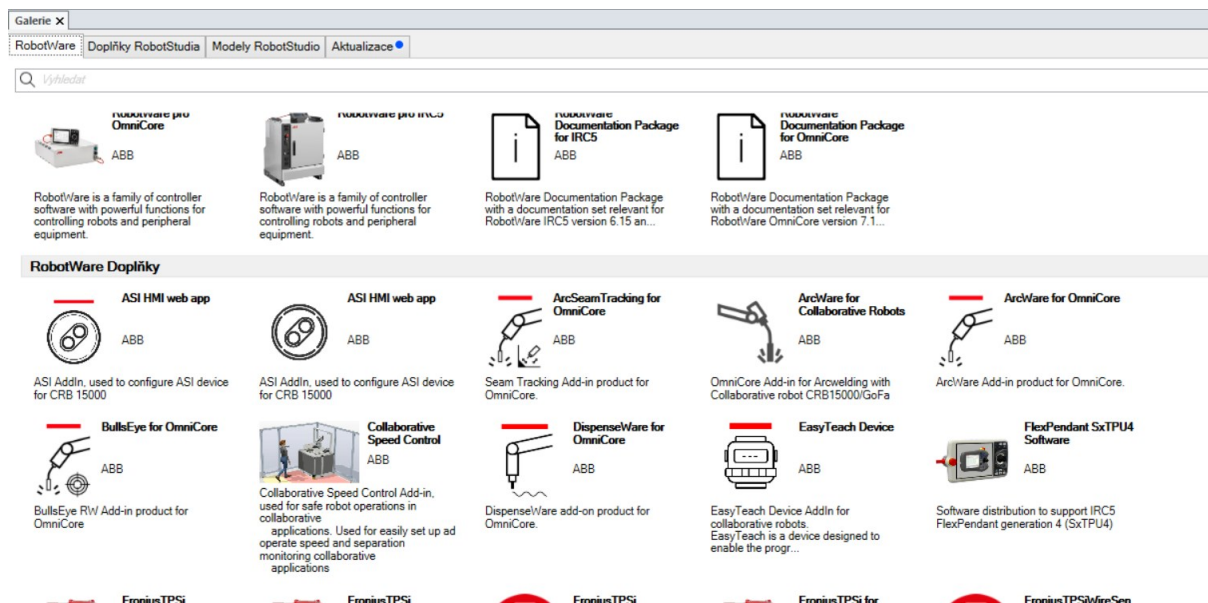
(Zdroj: vlastní)

Poté bylo přistoupeno k připojení skutečného robotu ABB YuMi v robotické laboratoři UTB pomocí ethernetového kabelu. Software RobotStudio byl spárován s řídicím kontrolérem robotu. Následně byly staženy potřebné knihovny a rozšíření pro ovládání kolaborativního robotu (viz Obrázky 32 a 33), což umožnilo plnohodnotnou konfiguraci zařízení. Dalším krokem byla kalibrace griperu pomocí kontroléru.



Obrázek 32 Nainstalované balíčky a rozšíření v softwaru RobotStudio pro ovládání robotu ABB YuMi

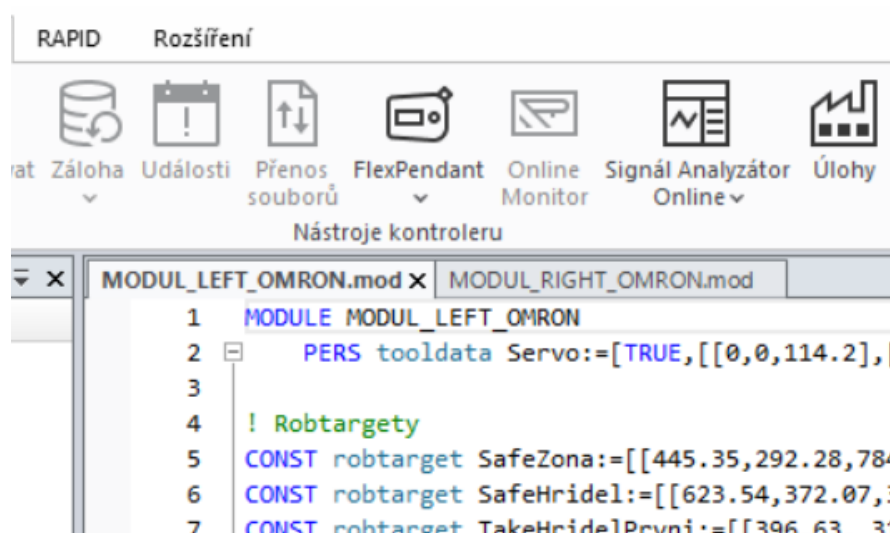
(Zdroj: vlastní)



Obrázek 33 Galerie dostupných doplňků a modulů v softwaru RobotStudio

(Zdroj: vlastní)

Po úspěšném navázání spojení byly provedeny základní testy funkčnosti a konfigurace systému. Poté již bylo možné přistoupit k vytváření programu v jazyce RAPID. Každé rameno robotu bylo programováno samostatně, přičemž pro levé a pravé rameno byly vytvořeny oddělené moduly (viz Obrázek 34).



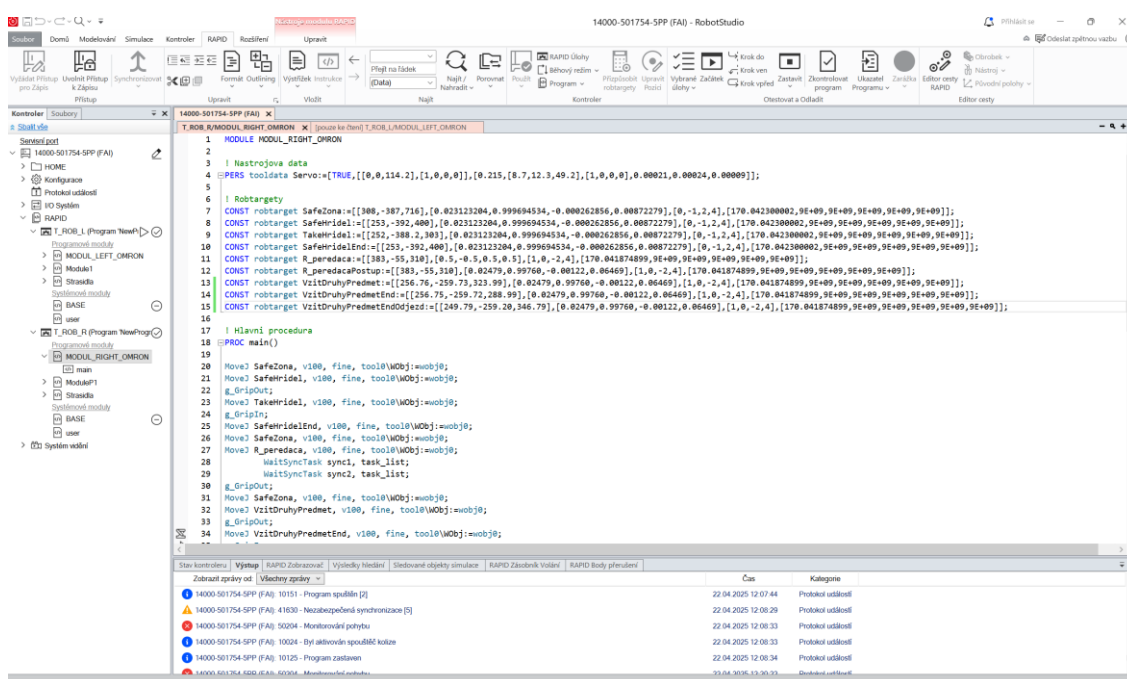
Obrázek 34 Ukázka modulů MODUL_LEFT_OMRON a MODUL_RIGHT_OMRON v prostředí RobotStudio pro řízení obou ramen robotu ABB YuMi

(Zdroj: vlastní)

Použitá struktura kódu zahrnovala funkce pro řízení pohybu, uchopování a synchronizaci ramen:

- MoveJ – kloubový pohyb ramene do předem definované pozice,
- WaitSyncTask – synchronizace obou ramen během spolupráce,
- CONST robtarget – definice pevných souřadnic v prostoru,
- g_GripIn a g_GripOut – uživatelsky definované funkce pro ovládání uchopovačů.

Tato struktura umožnila efektivní a plynulou spolupráci obou ramen při manipulaci se součástmi, kdy robot postupně přebíral díly, předával je mezi rameny a vkládal do přepravního prostoru mobilního robotu OMRON LD-90.



Obrázek 35 Kompletní pohled na strukturu programu v jazyce RAPID – moduly MODUL_LEFT_OMRON a MODUL_RIGHT_OMRON v prostředí RobotStudio

(Zdroj: vlastní)

7.4 Fotodokumentace a popis praktické části

Prvním krokem bylo navedení robotu OMRON LD-90 k definovanému cílovému bodu. Robot se přiblížil k místu určení, které bylo předem nastaveno v softwaru MobilePlanner. Po dosažení cílové pozice se robot zastavil a následně byl spuštěn nakládkový proces pomocí kolaborativního robotu ABB YuMi.



Obrázek 36 Přistavení robotu OMRON LD-90 k pracovnímu stanovišti a spuštění nakládkového procesu pomocí robotu ABB YuMi

(Zdroj: vlastní)

Následně kolaborativní robot ABB YuMi aktivoval své pravé rameno, které se nejprve zvedlo do bezpečné zóny a poté se začalo přibližovat k první součástce. Po dosažení blízké vzdálenosti se rameno zastavilo a došlo k otevření uchopovače, jak je znázorněno na Obrázku 37.



Obrázek 37 Přiblížení pravého ramene robotu ABB YuMi k první součástce a otevření uchopovače

(Zdroj: vlastní)

Následně se rameno robotu přiblížilo k součástce, uchopovač se sevřel a součástka byla zvednuta do bezpečné zóny. Z této pozice bude robot pokračovat v dalších pohybech, jak je znázorněno na Obrázcích 38 a 39.



Obrázek 38 Uchopení součástky pravým ramenem robotu ABB YuMi

(Zdroj: vlastní)



Obrázek 39 Zvednutí součástky do bezpečné zóny robotu ABB YuMi

(Zdroj: vlastní)

Pravé rameno následně pokračovalo do své finální pozice pro předání součástky. Po dosažení této pozice a zastavení vyslalo signál a aktivovalo levé rameno. To se přesunulo z bezpečné zóny na pozici předání, přiblížilo se k součástce, zastavilo se v blízké vzdálenosti a otevřelo uchopovač. Následně pokračovalo v pohybu až na vzdálenost potřebnou k převzetí součástky.



Obrázek 40 Přesun pravého ramene do pozice předání a aktivace levého ramene robotu ABB YuMi pro převzetí součástky

(Zdroj: vlastní)

Levé rameno následně pokračovalo v pohybu s cílem umístit první součástku na mobilního robotu OMRON LD-90. Po přesném položení součástky došlo k otevření uchopovače a rameno se stáhlo zpět do bezpečné vzdálenosti. Poté se znovu aktivovalo pravé rameno, které se přesunulo ke druhé součástce a otevřelo uchopovač pro její uchopení.



Obrázek 41 Přemístění součástky levým ramenem na mobilního robotu OMRON LD-90 a návrat ramene do bezpečné zóny

(Zdroj: vlastní)

Manipulace s druhou a dalšími součástkami probíhala stejným způsobem – jejich uchopením pravým ramenem ze základní pozice, přemístěním na pozici předání, převzetím levým ramenem a následným uložením na mobilního robotu OMRON LD-90. Po naložení všech součástek robot pokračoval v pohybu na další pracovní stanoviště, kterým může být například kontrola a měření součástek, robotizované sestavování výrobků nebo lidské pracoviště určené ke kompletaci.



Obrázek 42 Proces nakládky více součástek robotem ABB YuMi a jejich uložení na mobilní robot OMRON LD-90 před odjezdem na další stanoviště

(Zdroj: vlastní)

7.5 Výhody, nevýhody a návrhy na zlepšení řešení

Zavedení mobilních robotických systémů, jako je OMRON LD-90 ve spojení s kolaborativním robotem ABB YuMi, představuje moderní a efektivní přístup k automatizaci výrobních a logistických procesů. Nicméně i tato řešení mají své výhody a nevýhody, které je nutné při návrhu i provozu zohlednit.

Nevýhody a omezení:

Jednou z hlavních nevýhod je vysoká pořizovací cena celého systému a s tím spojené nároky na kvalifikovaný personál. Nasazení takového řešení si vyžaduje odborníky, kteří jsou schopni roboty nejen správně naprogramovat, ale také provádět jejich pravidelnou údržbu, kalibraci senzorů a servis. Tyto požadavky mohou být pro menší firmy finančně neúnosné, což omezuje širší využití této technologie v těchto firmách.

Dalším omezením může být fakt, že pro některé jednoduché nebo velmi specifické úkony může být lidská pracovní síla rychlejší a flexibilnější. V případech, kdy se jedná o malé série nebo nárazové činnosti, nemusí být investice do mobilních robotických systémů efektivní.

Výhody a přínosy:

Mezi hlavní výhody mobilních robotických systémů patří schopnost pracovat nepřetržitě 24/7. Roboty nevyžadují přestávky, pracují konstantní rychlostí a s vysokou přesností. Provozní náklady jsou nízké, vyžadují pouze dobíjení baterií a pravidelnou údržbu, jako je kalibrace senzorů, kontrola stavu pohonných jednotek či výměna opotřeбенých dílů.

Návrhy na zlepšení a rozvoj systému:

Prvním návrhem na zlepšení je pravidelná kalibrace mobilního robotu OMRON LD-90 a robotu ABB YuMi. Během realizace projektu bylo zjištěno, že při dojíždění OMRONu na cílovou pozici docházelo k odchylkám v rozmezí ± 5 cm. Robot se mohl zastavit lehce pootočený nebo posunutý, což vedlo k nepřesnostem při předávání a ukládání součástek. Kalibrace by zajistila vyšší přesnost navigace a snížila riziko chyb.

Dalším krokem ke zvýšení efektivity systému je integrace programovatelného automatu (PLC) jako centrální řídicí jednotky. PLC by umožnil koordinaci mezi oběma roboty, včetně výměny informací o chybových stavech, prioritách úloh nebo potvrzení

úspěšného dokončení operací. Jednotná řídicí platforma by přispěla ke zlepšení provozní plynulosti celé výrobní buňky.

Pro zvýšení přesnosti nakládacího procesu doporučujeme využití integrované kamery robotu ABB YuMi. Kamera by při příjezdu robotu OMRON nasnímala jeho aktuální pozici a na základě těchto dat by mohla automaticky upravit souřadnice cílových pozic. Tím by se eliminoval vliv drobných odchylek v zastavení OMRONu. Zároveň by kamera mohla zajišťovat kontrolu správnosti umístění součástek a včas detekovat případné odchylky.

ZÁVĚR

Tato bakalářská práce se zabývala mobilní robotikou, konkrétně využitím mobilního robotu OMRON LD-90 ve spojení s kolaborativním robotem ABB YuMi. Práce byla rozdělena na teoretickou a praktickou část. V teoretické části byl objasněn historický vývoj pojmu „robot“, popsány klíčové etapy vývoje mobilních robotických systémů a jejich současné průmyslové aplikace, včetně logistiky, zdravotnictví či veřejných služeb.

Praktická část se zaměřila na konkrétní implementaci a využití platformy OMRON LD-90. Nejprve byly popsány její technické parametry a následně rozebrána struktura a jednotlivé komponenty – od podvozkového systému, navigace a energetického zdroje, až po řídicí a komunikační jednotky. V práci byla také realizována samostatná výroba součástky pomocí 3D tiskárny Prusa Mini a programu Autodesk Inventor, čímž byl simulován celý tok materiálu od návrhu až po přepravu.

V rámci programování byla platforma OMRON nakonfigurována v prostředí MobilePlanner a ABB YuMi byl řízen prostřednictvím RobotStudio. Výsledkem byla funkční integrace obou zařízení, kdy OMRON zajišťoval přepravu součástek mezi pracovišti a ABB YuMi prováděl jejich manipulaci. Celý proces byl podrobně dokumentován pomocí fotodokumentace, která zachycuje jednotlivé kroky – od přistavení robotu a uchopení dílů až po jejich uložení a další přesun.

Součástí závěru jsou i návrhy na zlepšení celého systému. Byla identifikována potřeba pravidelné kalibrace robotů kvůli odchylkám v přesnosti zastavení. Dále bylo navrženo využití PLC jako centrální řídicí jednotky pro efektivnější komunikaci mezi zařízeními. Významné zlepšení by rovněž přinesla integrace kamery ABB YuMi, která by umožnila dynamickou korekci pozic během nakládky.

Tato práce tak ukazuje praktickou realizaci robotického řešení s důrazem na spolupráci více systémů a možnosti jeho dalšího rozšíření a vylepšení. Výsledky demonstrují potenciál mobilní robotiky v kontextu moderní výroby a inteligentní logistiky.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

AGROPORTAL24h.cz. Nový rekord, robot Agrointelli Robotti jezdil 24 hodin bez zastavení [online]. 2021. [cit. 27. 3. 2025]. Dostupné z: <https://www.agroportal24h.cz/clanky/novy-rekord-robot-agrointelli-robotti-jezdil-24-hodin-bez-zastaveni>

AUTOMATE.ORG. A tribute to Joseph Engelberger and the Unimate robot [online]. [cit. 18. 3. 2025]. Dostupné z: <https://www.automate.org/robotics/engelberger/joseph-engelberger-unimate>

BOTLAND.cz. Roboti mezi námi: Roboti v každodenním životě [online]. 2023 [cit. 2. 4. 2025]. Dostupné z: <https://botland.cz/blog/roboti-mezi-nami-roboti-v-kazdodennim-zivote/>

DRONEMKUNASEK.cz. Dron s termokamerou Kolín [online]. [cit. 30.3.2025]. Dostupné z: <https://www.dronemkunasek.cz/dron-s-termokamerou-kolin/>

HILTI. Hilti Jaibot – robot pro automatizované vrtání [online]. 2023. [cit. 1. 4. 2025]. Dostupné z: <https://www.hilti.cz/content/hilti/E3/CZ/cs/business/news/jaibot.html>

KNIHY DOBROVSKÝ. Obálka knihy R.U.R. [online]. [cit. 15. 3. 2025].

Dostupné z: https://www.knihydobrovsky.cz/thumbs/book-detail-fancybox/mod_eshop/produkty/r-u-r-9990003190215-15

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

MECALUX. Autonómne mobilné roboty (AMR) [online]. 2023. [cit. 22. 3. 2025]. Dostupné z: <https://www.mecalux.sk/automaticky-sklad/amr-autonomne-mobilne-roboty>

MirDo.cz. Jak umělá inteligence a robotika mění stavebnictví [online]. [cit. 28.3.2025]. Dostupné z: <https://www.mirDo.cz/jak-umela-inteligence-a-robotika-meni-stavebnictvi/>

OMRON Robotics and Safety Technologies. Platforma LD-60/90 – Uživatelská příručka [překlad původní uživatelské příručky I611-E-07 (11970-000 Rev N)]. Překlad. 2021.

SYNETIK. Robotický systém Da Vinci Xi – přesná a bezpečná robotická chirurgie [online]. 2023. [cit. 24. 3. 2025]. Dostupné z: <https://www.synetik.cz/produkty/da-vinci-xi-roboticka-chirurgie>

THE MOSCOW TIMES. Yandex Launches Food Delivery Robots [online]. 2020-12-09. [cit. 5. 4. 2025]. Dostupné z: <https://www.themoscowtimes.com/2020/12/09/yandex-launches-food-delivery-robots-a72288>

WIRED. Tech Time Warp of the Week: Shakey the Robot, 1966 [online]. [cit. 21. 3. 2025]. Dostupné z: <https://www.wired.com/2013/09/tech-time-warp-shakey-robot>

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Obálka knihy R.U.R. od Karla Čapka.	16
Obrázek 2 Historická fotografie robota <i>Unimate</i> při vystoupení v pořadu <i>The Tonight Show</i>	17
Obrázek 3 Hérónův automat na dávkování vody.....	18
Obrázek 4 Příklad antického oltáře s figurínami, které samovolně vylévají vodu na obětní oheň	19
Obrázek 5 Robot <i>Shakey</i> – první mobilní inteligentní robot vyvinutý ve Stanford Research Institute (SRI International, 1966).	20
Obrázek 6 Autonomní mobilní roboty AMR společnosti Mecalux určené pro přepravu zboží ve skladu.	24
Obrázek 7 Chirurgický robotický systém Da Vinci Xi ve Fakultní Thomayerově nemocnici v Praze.	25
Obrázek 8 Autonomní polní robot Agriointelli Robotti pracující na zemědělské půdě.	26
Obrázek 9 Vrtací robot <i>Hilti Jaibot</i> určený pro automatizované vrtání kotevních otvorů ve stavebnictví.	27
Obrázek 10 Autonomní doručovací robot <i>Yandex Rover</i> při rozvozu jídla v Moskvě.	28
Obrázek 11 Pohony LD	32
Obrázek 12 Lasery platformy LD OEM (nárazníkový kryt je odstraněn)	33
Obrázek 13 Zorné pole laseru (A), střed laseru (B)	34
Obrázek 14 Dokovací stanice	35
Obrázek 15 Síťové nastavení	38
Obrázek 16 Přihlašovací okno softwaru MobilePlanner	39
Obrázek 17 Spuštění skenování prostoru pomocí funkce Start Scan v prostředí MobilePlanner	39
Obrázek 18 Otevření uložené mapy na robota pomocí funkce Open on Robot v prostředí MobilePlanner	40
Obrázek 19 Chybové hlášení o ztrátě lokalizace robota a možnost ručního umístění pomocí funkce Localize to Point.....	41
Obrázek 20 Panel nástrojů „Draw“ a „Build“ v softwaru MobilePlanner	41
Obrázek 21 Zobrazení naskenované mapy s definovanými cíli a dokovací stanicí v softwaru MobilePlanner	42
Obrázek 22 Zobrazení stavu síťového připojení robota OMRON v rozhraní SetNetGo	43
Obrázek 23 3D model prvního dílu (hřídele) v návrhovém rozhraní programu Autodesk Inventor.....	44
Obrázek 24 Druhý díl – spojovací prvek s hranoly a zkosením v prostředí Autodesk Inventor	45
Obrázek 25 Třetí díl – 3D model ozubeného kola	46

Obrázek 26 Čtvrtý díl – zakončovací prvek	47
Obrázek 27 Sestavená součástka	48
Obrázek 28 Animace sestavení.....	48
Obrázek 29 Vytisknuté součástky určené k manipulaci kolaborativním robotem ABB YuMi a mobilním robotem OMRON LD-90	49
Obrázek 30 Finální sestava vytištěných dílů	49
Obrázek 31 3D model robotu ABB YuMi v prostředí simulace softwaru RobotStudio	50
Obrázek 32 Nainstalované balíčky a rozšíření v softwaru RobotStudio pro ovládání robotu ABB YuMi	50
Obrázek 33 Galerie dostupných doplňků a modulů v softwaru RobotStudio	51
Obrázek 34 Ukázka modulů MODUL_LEFT_OMRON a MODUL_RIGHT_OMRON v prostředí RobotStudio pro řízení obou ramen robotu ABB YuMi	51
Obrázek 35 Kompletní pohled na strukturu programu v jazyce RAPID – moduly MODUL_LEFT_OMRON a MODUL_RIGHT_OMRON v prostředí RobotStudio	52
Obrázek 36 Přistavení robotu OMRON LD-90 k pracovnímu stanovišti a spuštění nakládkového procesu pomocí robotu ABB YuMi	53
Obrázek 37 Přiblížení pravého ramene robotu ABB YuMi k první součástce a otevření uchopovače	54
Obrázek 38 Uchopení součástky pravým ramenem robotu ABB YuMi.....	55
Obrázek 39 Zvednutí součástky do bezpečné zóny robotu ABB YuMi	55
Obrázek 40 Přesun pravého ramene do pozice předání a aktivace levého ramene robotu ABB YuMi pro převzetí součástky	56
Obrázek 41 Přemístění součástky levým ramenem na mobilního robotu OMRON LD-90 a návrat ramene do bezpečné zóny	57
Obrázek 42 Proces nakládky více součástí robotem ABB YuMi a jejich uložení na mobilní robot OMRON LD-90 před odjezdem na další stanoviště	58

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

R.U.R. – *Rossumovi univerzální roboti* (divadelní hra K. Čapka, ve které se poprvé objevilo slovo „robot“)

°C – stupeň Celsia (jednotka teploty)

mm – milimetr (jednotka délky)

m/s – metr za sekundu (jednotka rychlosti)

kg – kilogram (jednotka hmotnosti)

A* – vyhledávací algoritmus (kombinuje délku cesty a odhad do cíle; používá se pro nalezení optimální trasy)