



Diplomová práce

System kolaborativní robotiky

Collaborative robot system

Autor: BcA. Alžběta Derková

Studijní program: N212 Design

Studijní obor: Design

Vedoucí: MgA. Martin Tvarůžek

Praha, únor 2024

© BcA. Alžběta Derková

České vysoké učení technické v Praze, 2024

Klíčová slova: kolaborativní robotika, mobilní platforma, stojan, kolaborativní robot, robot, výrobní firma

Key words: collaborative robotics, mobile platform, stand, collaborative robot, robot, manufacturing company

Zadání diplomové práce

České vysoké učení technické v Praze, Fakulta architektury

2/ ZADÁNÍ diplomové práce

Mgr. program navazující

jméno a příjmení: Alžběta Derková

datum narození: 18.08.1998

akademický rok / semestr: 2023 / ZS

obor: Design

ústav: 15150 Ústav designu

vedoucí diplomové práce: MgA. Martin Tvarůžek

téma diplomové práce: Systém kolaborativní robotiky

viz přihláška na DP

zadání diplomové práce:

1/ popis zadání projektu a očekávaného cíle řešení

Návrh systému využití kolaborativní robotiky pro malé výrobní firmy. Cílem diplomové práce bude rozpoznání potřeb zákazníka i uživatele a reflektování těchto potřeb v návrhu.

2/

Pro AU/ součástí zadání bude jasně a konkrétně specifikovaný stavební program

Pro D/ součástí zadání budou jasně a konkrétně specifikované jednotlivé fáze projektu, které jsou nezbytnou součástí řešení

Analytická část, formulace vize, návrhový proces a prototypování, výsledný návrh, vizualizace a model

3/ popis závěrečného výsledku, výstupy a měřítka zpracování

Výstupem bude dvakrát tištěná kniha, plakát ve stanovené velikosti, model v měřítku (měřítko bude specifikováno během vývoje), portfolio v libovolném formátu, CD s elektronickými daty.

4/ seznam dalších dohodnutých částí projektu (model)

Datum a podpis studenta

16.10.2023 Derková

Datum a podpis vedoucího DP

16.10.2023 M. Tvarůžek

Datum a podpis děkana FA ČVUT

registrováno studijním oddělením dne

13 -11- 2023

16.10.2023

I. Hlaváček

W

Prohlášení autora

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE FAKULTA ARCHITEKTURY	
AUTOR, DIPLOMANT: BcA. Alžběta Derková AR 2023/2024, ZS	
NÁZEV DIPLOMOVÉ PRÁCE: (ČJ) SYSTÉM KOLABORATIVNÍ ROBOTIKY (AJ) COLLABORATIVE ROBOT SYSTEM	
JAZYK PRÁCE: český	
Vedoucí práce:	MgA. Martin Tvarůžek Ústav: Design
Oponent práce:	Ing. Marek Mikulec
Klíčová slova (česká):	kolaborativní robotika, mobilní platforma, stojan, kolaborativní robot, robot, výrobní firma
Anotace (česká):	Tato diplomová práce se zabývá návrhem systému pro efektivnější využití kolaborativní robotiky v malých výrobních firmách. Návrh se skládá z mobilní platformy pro robot a dokovací stanice. Cílem projektu bylo vytvořit produkt, který zjednoduší proces přemístování robotu mezi jednotlivými pracovišti a poskytne uživateli maximální komfort.
Anotace (anglická):	This thesis deals with the design of a system for more effective use of collaborative robotics in small manufacturing companies. The design consists of a mobile robot platform and a docking station. The aim of the project was to create a product that simplifies the process of moving the robot between workstations and provides the user with maximum comfort.

Prohlášení autora

Prohlašuji, že jsem předloženou diplomovou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s „Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.“

V Praze dne

podpis autora-diplomanta

9.1.2024



Tento dokument je nedílnou a povinnou součástí diplomové práce / portfolia a CD.

Poděkování

Ráda bych poděkovala vedoucímu mé diplomové práce panu MgA Martinu Tvarůžkovi a asistentovi Ing. Tomáši Blahovi za cenné rady a čas, který mi na společných konzultacích věnovali. Také za odborný dohled nad mou prací a pomoc při hledání vhodných řešení.

Dále bych ráda poděkovala firmě Zlín Robotics a panu Ing. Marku Miklovi ze společnosti HCR CZECH za to, že mi poskytli užitečný vhled do fungování oboru a odpověděli na mnoho mých otázek. Také bych chtěla poděkovat firmě Steinco, že mi poskytli svůj produkt pro výrobu modelu.

Nakonec bych ráda poděkovala mým blízkým, kteří mi poskytli své rady, podporu a pomoc při prototypování.

Anotace

Tato diplomová práce se zabývá návrhem systému pro efektivnější využití kolaborativní robotiky v malých výrobních firmách. Návrh se skládá z mobilní platformy pro robot a dokovací stanice. Cílem projektu bylo vytvořit produkt, který zjednoduší proces přemísťování robotu mezi jednotlivými pracovišti a poskytne uživateli maximální komfort.

Annotation

This thesis deals with the design of a system for more effective use of collaborative robotics in small manufacturing companies. The design consists of a mobile robot platform and a docking station. The aim of the project was to create a product that simplifies the process of moving the robot between workstations and provides the user with maximum comfort.

Obsah

Zadání diplomové práce	4
Prohlášení autora	5
Poděkování	6
Anotace.....	7
1. Úvod	10
1.1 Motivace	10
1.2 Cíle.....	11
2. Analytická část.....	13
2.1 Definice pojmů.....	13
2.2 Historie robotiky	13
2.3 Vliv pandemie covidu-19 na rozvoj robotizace.....	15
2.4 Rozdíly mezi průmyslovými a kolaborativními roboty.....	16
2.5 Robotizace v malých firmách	17
2.6 Potenciál kolaborativní robotiky.....	18
2.7 Výhody kolaborativních robotů	20
2.8 Parametry kolaborativních robotů	23
2.9 Rozhovory ve firmách	23
2.10 Rešerše mobilních platforem pro kolaborativní roboty.....	25
3. Výstup analýzy a formulace vize	28
3.1 Vize.....	29
3.2 Cílová skupina	30
4. Proces navrhování.....	32
4.1 První varianty	32
4.2 Rozměry mobilní platformy	34
4.3 Dokovací stanice	36
4.4 Uložení výsuvného sloupu	39
4.5 Tvarování platformy.....	40
4.6 Větrací mřížka	42
5. Prototypování a testování	44
6. Výsledný návrh	51
6.1 Používání.....	51

6.2	Platforma	53
6.3	Rukojeť.....	54
6.4	Sloup	55
6.1	Ovládací panel.....	56
6.1	Kolečka	57
6.2	Dokovací stanice	57
6.3	Vizualizace finálního řešení.....	59
7.	Technická dokumentace	62
7.1	Kótovaný výkres dokovací stanice v měřítku	62
7.2	Kótovaný výkres platformy v měřítku.....	63
8.	Závěr a reflexe	64
8.1	Potenciální pokračování projektu	65
9.	Obrazové a grafické zdroje.....	66
10.	Zdroje.....	67

1. Úvod

V rámci mé diplomové práce jsem se zaměřila na konceptuální návrh systému využití kolaborativní robotiky s důrazem na jeho aplikaci ve výrobním prostředí. Tento systém se skládá z mobilní platformy určené pro umístění kolaborativního robotu spolu s jeho kontrolerem a externí dokovací stanice. Během své práce jsem toto téma postupně formovala a měnila, až do finální podoby kolaborativního systému.

1.1 Motivace

Původně jsem se zamýšlela nad návrhem samotného kolaborativního robotu, protože jsem považovala toto téma za zajímavou oblast s bohatými možnostmi pro kreativní přístup a hledání nových řešení. Nicméně, po důkladné rešerši jsem dospěla k závěru, že můj přínos by byl limitovaný. Konstrukce robotů je nesmírně komplexní a zabývá se jí celá řada specialistů ve firmách, které tyto stroje vyrábějí. Změna základní stavby robotu by mohla zasáhnout do jeho funkčnosti, a proto bych se v podstatě omezila pouze na návrh nového opláštění. To by samo o sobě byl zajímavý úkol vyžadující trochu více sochařský přístup, ale nebyl by zde téměř žádný prostor pro inovaci. Kromě toho je vzhledu kolaborativních robotů věnována poměrně velká pozornost, obzvláště v porovnání s ostatními strojními zařízeními, a proto je většina z nich i vizuálně kvalitně zpracována. Rozhodla jsem se tedy přeorientovat na hledání způsobů využití kolaborativní robotiky v průmyslovém prostředí. Snažila jsem se navrhnout systém, který by pomohl zvýšení produktivity v rámci výrobního procesu v malých firmách.

Trh s kolaborativními roboty se v posledních letech výrazně rozrůstá. Důvodem je rostoucí poptávka po automatizaci a zvyšování produktivity v mnoha odvětvích, jako je například průmysl, zdravotnictví, potravinářský průmysl nebo logistika. Velký posun v oblasti vývoje kolaborativních robotů umožňují také inovace v oblasti sensoriky, pokročilých řídicích systémů a rychlý vývoj umělé inteligence.¹ Proto spolu s poptávkou po robotech roste také zájem o jejich příslušenství. Kolaborativní roboty se stávají důležitým prvkem v průmyslové automatizaci mimo jiné díky své schopnosti reagovat na rychle se měnící potřeby výrobních prostředí. Právě to je jedním z klíčových benefitů kolaborativních robotů. Úroveň flexibility, kterou přinášejí do průmyslového prostředí, je neobvyklá. Tato vlastnost umožňuje efektivní využití jednoho robotu pro širokou škálu činností, což značně zvyšuje jeho výkonnost a také celkovou hodnotu pro průmyslový proces. Oproti jiným průmyslovým strojním zařízením vynikají kolaborativní roboty schopností snadné programovatelnosti, což vede k výraznému rozšíření možností jejich využití. V případě, že potřebujeme u nějakého strojního zařízení provést změny v činnosti, kterou vykonává, je tato změna často provázena velkými časovými a finančními ztrátami. Většinou je potřebný zásah úzce zaměřeného odborníka, který dokáže

stroj přeprogramovat. Kolaborativní roboty poskytují rozhraní, které programování výrazně zjednodušuje, což jednak zkracuje dobu potřebnou na zaškolení, jednak samotná změna programu nevyžaduje tolik času. Díky tomu se časté změny programu robotu stávají mnohem dostupnější, i když to může mít vliv na návratnost.²

Způsobů, jak využít výhody, které kolaborativní robot má, je mnoho. Jedním jsou výše zmíněné časté změny jeho činnosti. Ty může uživatel využít v případě, že se jeho výrobní procesy rychle mění a on je nucen se tomu přizpůsobovat. Další možností je, že robot má několik pracovišť a je mezi nimi přemísťován. Tento systém je vhodný pro firmy, které ho nedokáží na jednom pracovišti zcela vytěžit. V takovém případě má v sobě robot několik programů a vykonává ten, který je přidělen pracovišti, na kterém se zrovna nachází. Přemísťování kolaborativních robotů není tak náročné, jako je tomu u jiných strojních zařízení, protože oproti nim mají velmi nízkou hmotnost. Váha kolaborativních robotů se pohybuje mezi 10 a 30 kilogramy, s ohledem na konkrétní model a jeho nosnost. Produkt, který je předmětem této práce, je určen pro roboty střední velikosti. Tyto roboty, které mají užité zatížení okolo 5 kilogramů a dosah mezi 900 a 1000 milimetry, váží přibližně 17 kilogramů, v závislosti na výrobci.

Kolaborativní robot je dodáván spolu s ovládacím boxem, nazývaným kontroler (v angličtině controller), a ovládacím panelem. Kontroler je počítač, který přijímá instrukce od programu nebo uživatele a následně na jejich základě řídí pohyby robotu. Ovládací panel je mobilní zařízení obvykle s dotykovým displejem, které slouží k interakci mezi uživatelem a robotem, jako je programování nebo monitorování jeho stavu. Tyto prvky pracují společně a robot bez ovládacího boxu nemůže fungovat. Proto když uživatel přemísťuje kolaborativní robot, musí přemístit i ostatní části tohoto systému a na novém místě znovu vše zapojit.

1.2 Cíle

Mým cílem bylo najít řešení, které pomůže větší efektivitě při využívání kolaborativních robotů. Také pro mě byla velmi důležitá ergonomie a pohodlí uživatele. Snažila jsem se o to, aby používání produktu bylo příjemné a jednoduché a nevyžadovalo speciální trénink nebo pokročilé technické znalosti.

Nejprve jsem se zaměřila na fázi analýzy, během které jsem se snažila pochopit odvětví průmyslové automatizace a robotizace. Také jsem chtěla objevit potřeby a problémy uživatelů této technologie. Tato fáze zahrnovala rešerše existujících řešení, studování textových zdrojů o tématu, provádění rozhovorů ve firmách, které se problematikou zabývají i konzultace s odborníky. Důkladná rešerše byla klíčovým prvkem mé práce, protože jsem díky ní vytvořila koncept projektu, který přináší inovaci. Následně jsem své domněnky ověřovala v praxi díky vytvoření papírových modelů, na kterých bylo možné provést testování. Na základě výsledků testování jsem upravovala parametry návrhu až do finální podoby. Během navrhování jsem se snažila reflektovat nejen ergonomickou a estetickou

rovinu, ale také najít rovnováhu v otázce financí. Pracovala jsem na návrhu, který svým tvarováním a kvalitou odpovídá odvětví kolaborativní robotiky, současně však výrazně nezvyšuje náklady potřebné na pořízení této technologie.

Ve své práci jsem se snažila navrhnout funkční nástroj, který by podporoval přizpůsobivost kolaborativních robotů a pomohl by odstranit překážky, které s sebou změny ve výrobním prostředí přinášejí. Systém, na kterém jsem pracovala, umožňuje vytvořit libovolné množství stanovišť, na kterých robot pracuje. Jedno stanoviště může být například u pásu a úkolem robotu bude přemisťovat výrobky z pásu do krabice, na druhém stanovišti bude robot obsluhovat CNC stroj a na třetím svařovat. Na těchto stanovištích bude upevněna dokovací stanice. Jedná se o díl, který je upevněn k podlaze výrobní haly a zezadu jsou do něj přivedeny kabely. Samotný kolaborativní robot je upevněn na mobilní platformě. Tato platforma má v sobě uložený a zapojený ovládací box. Uživateli proto stačí platformu přemístit na požadované pracoviště a zajet do dokovací stanice. Stiskem tlačítka se platforma zamkne v přesné pozici a současně se kabely, které jsou do stanice přivedeny, zapojí do platformy. Uživateli poté jen spustí program určený pro dané pracoviště. Robot je na platformě připevněn k výsuvnému válci, který automaticky vyjede do potřebné pracovní výšky. Poté robot začne rovnou vykonávat naprogramovanou činnost. Tento systém výrazně zjednodušuje a zrychluje proces přemisťování kolaborativního robotu mezi pracovišti a poskytuje vysokou úroveň pohodlí pro uživatele.

2. Analytická část

2.1 Definice pojmů

Pojem „robot“ má poměrně široký a obecný význam. Samotný výraz vychází ze slova „robota“, které bylo známo již od 17. století a označovalo povinnou neplacenou práci poddaných pro feudální vrchnost. Nářečně se toto slovo používalo také obecněji pro označení těžké, zvláště nepříjemné práce, podobně jako pojmy „dřina“ nebo „lopota“. Slovo „robot“ v podobném významu, který známe dnes, poprvé slavně publikoval český spisovatel Karel Čapek, který jej použil ve svém vědeckofantastickém dramatu R.U.R., tedy Rossumovi univerzální roboti. Tento pojem mu poradil jeho bratr malíř Josef Čapek. Na rozdíl od současného chápání tohoto slova byli roboti v R.U.R. byli biologického původu. Od té doby je jako robot označováno jakékoli automatické nebo mechanické zařízení³.

V literatuře se pojem „robot“ objevuje jak v životném, tak i v neživotném rodě. Obě tyto varianty jsou gramaticky správně, i když existuje doporučení, které usnadňuje výběr vhodného tvaru. Slovo je možné skloňovat podle dvou různých vzorů. Prvním vzorem, který v této práci používám i já, je neživotný vzor „hrad“. Ten se většinou používá pro roboty, které svým tvarem nepřipomínají živé bytosti, například kuchyňské roboty nebo roboty průmyslové. Druhou variantou je skloňování podle životného vzoru „pán“, které se používá pro humanoidní roboty podobné těm, které ve svém díle popsal Karel Čapek⁴. Když se začaly objevovat roboty, které mohou pracovat ve společném prostoru s lidmi, začaly se označovat jako kolaborativní roboty, což je překlad anglického „collaborative robot“. V češtině se někdy označují také doslovněji jako „spolupracující roboty“. Často se můžeme setkat se zkrácenou formou tohoto označení, a to „cobot“ nebo „kobot“.

2.2 Historie robotiky

Představa automatického zařízení, které by pomáhalo s různými úkony a ulehčovalo práci, provází lidstvo už stovky let. Jedním z raných příkladů může být snaha o vytvoření dveří, které se samy otevírají. V roce 850 našeho letopočtu vznikla ilustrovaná kniha s názvem „Book of Ingenious Devices“, což můžeme přeložit jako „Kniha o důmyslných zařízeních“, případně doslovně z perštiny „Kniha triků“. Tato kniha obsahovala popis asi sta zařízení i s návody na jejich použití. Nacházely se v ní mechanismy pocházející z Řecka, Persie, Číny i Indie, ovšem mnoho z nich bylo vynalezeno nebo výrazně zdokonaleno samotnými autory knihy, třemi bratry známými jako Banu Musa⁵. Fascinace automatickými zařízeními pokračovala také v renesanci. Nejvýraznější osobností byl bezesporu Leonardo da Vinci. Ten za svůj život vymyslel a vytvořil nespočet vynálezů, kterými chtěl usnadnit každodenní život, ale také posunout hranice známé mechaniky. Mezi jeho díly najdeme

širokou škálu vynálezů od létajících strojů, přes tanky a jiné bojové stroje, až po tachometr nebo anemoskop.⁶

V historii robotiky hrál významnou roli také už výše zmiňovaný Karel Čapek s hrou R.U.R. Nejenže propůjčil robotům jejich název, ale také je postavil do značně dystopického světla. Dalším spisovatelem, kterým měl vliv na vývoj robotiky byl Isaac Asimov, který je autorem více než tří set vědeckých, vědecko-populárních a sci-fi knih. Ve svém díle také zformoval tři zákony robotiky, které se z literatury přenesly i do seriózních vědeckých kruhů. Tyto zákony zní:

1. Robot nesmí ublížit člověka nebo jeho nečinností dopustit, aby mu bylo ublíženo.
2. Robot musí poslouchat člověka, kromě případů, kdy je v rozporu s prvním zákonem.
3. Robot musí být chráněn před poškozením, kromě případů, kdy je v rozporu s prvním či druhým zákonem⁷.

Zlomovým okamžikem ve vývoji robotiky byla průmyslová revoluce, která s sebou přinesla poptávku po výrobě s ní také motivaci k automatizaci. První skutečný průmyslový robot se jmenoval Unimate a vznikl v roce 1954. Jeho vynálezcem byl George Charles Devol, který je považován za „praotce robotiky“. Jednalo se o hydraulický manipulátor, který se používal například v automobilovém průmyslu pro zpracování kovů a svařování. O několik let později se George Devol spojil s podnikatelem Josephem F. Engelbergerem a založili společnost Unimation. V roce 1961 byl první robot Unimate nainstalován v továrně General Motors a používal se k bodovému svařování a jako manipulátor pro tlakové lití. Společnost General Motors poté nainstalovala dalších 66 robotů Unimate a zájem projevila také automobilka Ford. I přesto, že tato první zařízení byla v porovnání s dnešními roboty poměrně primitivní a disponovala jen omezenou programovatelností, ukázalo se, že představují neocenitelné nástroje pro zvýšení efektivity výroby. Bylo zjevné, že robotika bude mít v automobilovém průmyslu své místo.⁸

V šedesátých a sedmdesátých letech se průmyslové roboty dále vyvíjely. Spolu s rostoucí poptávkou rostla také konkurence, což podnítilo další výzkum. V tomto období se začala zvedat potřeba automatizace úkolů ve výrobě, a tak se zaměření robotů přesunulo od zvedání těžkých břemen k přesnějším úkonům. Díky rozvoji součástek, jako jsou mikroprocesory, bylo možné vytvářet efektivní řídicí systémy a rozšiřovat možnosti použití robotů. Začaly proto vznikat menší roboty, které disponovaly pokročilými ovládacími prvky a hodily se na jemnější práci, jako je například utahování šroubů a matic. Dále se roboty začaly využívat pro úkony, které jsou pro lidské pracovníky nebezpečné, jako je práce v prostředí s vysokou teplotou. To výrazně zlepšilo bezpečnost provozu a také pomohlo zvýšit

produktivitu pracovní síly tím, že uvolnilo kvalifikované dělníky, aby se mohli soustředit na důležitější výrobní operace.⁹¹⁰

Během osmdesátých let začaly být tyto roboty vnímány jako stroje budoucnosti a tomu odpovídala energie vynaložená na jejich zdokonalování. V tomto období byl položen základ průmyslovým robotům, které používáme dnes. Vývoj technologií spojený také s podstatným snížením nákladů na počítačový hardware, jako jsou například mikroprocesory, vedl k výraznému zvýšení množství operací, které mohou roboty vykonávat. Začaly se také používat sensory a lasery, které umožňují robotu omezené vnímání jeho okolí. Dalším krokem byla snaha, aby mohly roboty pracovat po boku lidí. To vedlo ke vzniku kolaborativních robotů neboli cobotů. Koncept kolaborativních robotů se zrodil v 1995 jako součást výzkumného projektu vedeného nadací General Motors Foundation. Cílem bylo vytvořit roboty, kteří mohou pracovat v přímém kontaktu s lidmi bez nutnosti bezpečnostních klecí nebo jiných bariér. Vývoj v této oblasti probíhá dodnes a kolaborativní roboty nacházejí využití v mnoha oblastech průmyslu i mimo něj. Roboty bývají menší a lehčí než tradiční průmyslové roboty a jsou snadněji programovatelné. Díky tomu jsou flexibilnější a lépe se přizpůsobují změnám ve výrobě. Lidé a kolaborativní roboty pracující dohromady poskytují unikátní sadu dovedností, které by samostatně nedosáhli.¹¹ Od počátku 21. století byl vývoj průmyslové robotiky z velké části poháněn pokrokem v softwaru. Rozvíjející se obory, jako je strojové učení a umělá inteligence, nyní posouvají hranice schopností robotů a dávají jim možnost učit se a samostatně se rozhodovat.¹²

2.3 Vliv pandemie covidu-19 na rozvoj robotizace

Pandemie koronavirové choroby covid-19, kterou vyhlásila Světová zdravotnická organizace v březnu roku 2020, měla obrovský vliv na téměř všechny aspekty lidské společnosti, včetně průmyslu. Pandemie sice způsobila celosvětové hospodářské zpomalení, zároveň však vedla ke zvýšení poptávky po automatizaci a robotizaci v různých průmyslových odvětvích. Některé zdroje uvádí, že svět robotizace je možné dělit na dobu „předcovidovou“ a „pocovidovou“.¹³ Jedním z důvodů je to, že v průběhu pandemie řešily roboty problém s dodržováním bezpečných rozestupů mezi pracovníky ve výrobě a omezovaly tak riziko šíření onemocnění. Také problém s nedostatkem pracovních sil se ještě prohloubil v důsledku pobytu zaměstnanců v karanténě. V mnoha firmách, které nad zavedením robotizace a automatizace přemýšlely již dříve a jen čekaly na vhodnou chvíli, pandemie zafungovala jako spouštěč a proces zavádění robotů jen urychlila. Stejně jako jiná odvětví i průmysl se musel ve velmi krátkém čase přizpůsobit novým okolnostem, což mělo za následek rychlý transfer poznatků z výzkumu do praxe. Pandemie vedla k celé řadě změn a kromě negativních dopadů přinesla také řadu zajímavých inovací a nových příležitostí včetně urychlení vývoje průmyslu, kterého bychom se bez ní v této formě nedočkali.¹⁴

2.4 Rozdíly mezi průmyslovými a kolaborativními roboty

Průmyslový robot definoval profesor P. N. Beljanin takto: „Průmyslový robot je autonomně fungující stroj – automat, který je určen k reprodukci některých pohybových a duševních funkcí člověka při provádění pomocných a základních výrobních operací bez bezprostřední účasti člověka a který je k tomuto účelu vybaven některými jeho schopnostmi (sluchem, zrakem, hmatem, pamětí apod.), schopností samo výuky, samoorganizace a adaptace, tj. přizpůsobivosti k danému prostředí.“¹⁵ A podle normy ISO 8373 je definován takto: „Průmyslový robot je automaticky řízený, programovatelný, multifunkční manipulátor programovatelný v třech a více osách, který může být upevněn na místě nebo být mobilní, užívaný pro průmyslové automatizované aplikace.“¹⁶ Kolaborativní roboty vznikly později než ty průmyslové. Obě tyto kategorie robotů nabízí řadu výhod a specifických vlastností. Každá z nich slouží jinému účelu a využije své přednosti v jiných aplikacích. Déle se nachází bližší popis konkrétních rozdílů mezi těmito zařízeními.

Prvním rozdílem jsou bezpečnostní aspekty. Kolaborativní roboty jsou navrženy tak, aby mohly pracovat ve stejném prostředí jako lidé. Jsou pro tento účel vybaveny řadou senzorů a softwarových systémů, které zajišťují bezpečný provoz. Kvůli snížení rizika úrazu jsou u kobotů také individuálně nastavovány parametry běhu. Jedním z nich je rychlost. Kolaborativní roboty zpravidla pracují v nižších rychlostech, než roboty průmyslové. Díky tomu nejsou tak nebezpečné v případě srážky s člověkem. Ruku v ruce s tímto opatřením jde také jejich tvarování. To je většinou tvořeno zaoblenými tvary, aby se limitovaly ostré hrany, které by mohly být nebezpečné. Současně mají roboty senzory, které zjistí, že došlo k nějakému kontaktu a robot zastaví, takže nedojde k vážnějšímu poranění¹⁷.

Kormě rychlosti napomáhá bezpečnějšímu provozu také váha kolaborativních robotů. Na jejich opláštění je většinou použitý výrazně lehčí materiál než je ten, ze kterého jsou vyrobeny průmyslové roboty. Tělo kobotů je většinou vyrobeno z hliníku metodou odlévání. Díky této technologii je také možné docílit jejich zaoblených tvarů. Pro výrobu průmyslových robotů se často používá litina. Vzhledem k tomu, že pracují ve vyšších rychlostech a mají větší užité zatížení, je jejich konstrukce robustnější. Průmyslové roboty disponují větší silou a často jsou schopny dosahovat větší přesnosti, hodí se proto na činnosti, které zahrnují zvedání velmi těžkých břemen nebo vyžadují velmi vysokou přesnost. Jsou ideální pro operace, které se stále opakují a jejich průběh se nemění. Všeobecně jsou kolaborativní roboty menší a lehčí, proto je možné je snadno přemísťovat, kdežto průmyslové roboty bývají stacionární a jejich pozice a pracoviště se většinou nemění¹⁸.

Další oblastí, ve které se tato zařízení liší, je programování. Kolaborativní roboty umožňují online programování, během kterého je operátor v přímém kontaktu s robotem. Jsou vybaveny intuitivním grafickým rozhraním, které proces programování zjednodušuje a je proto snazší se ho naučit. Tato metoda programování se podílí na tom, že jsou koboty více dostupné. Uživatelsky přívětivé prostředí umožňuje rychlé přizpůsobení činností robotu i pro malé firmy nebo méně technicky zdatné uživatele. Je možné použít i programování pomocí

ručního vedení robotu po trase, které může provádět i nekvalifikovaný operátor. Díky tomu jsou kolaborativní roboty vhodné i do prostředí, kde se často mění náplň jejich činnosti¹⁹.

Kolaborativní roboty bývají o něco dostupnější variantou než roboty průmyslové. Pořizovací cena robotů se velmi liší v závislosti na jejich užitém zatížení, dosahu a dalších parametrech. Průmyslové roboty mají pořizovací náklady poměrně vysoké, doba návratnosti se však pohybuje okolo tří až čtyř let, takže je to pro firmy stále dobrá investice, neboť životnost průmyslových robotů je v rozmezí dvanáct až patnáct let²⁰. Pořízení kolaborativního robotu s sebou také přináší nemalé náklady. Podle informací, které jsem získala díky návštěvě firem HCR CZECH a Zlín Robotics, stojí pracoviště s kolaborativním robotem mezi 400 tisíci a milionem korun, přičemž asi 70% z této částky tvoří cena robotu a zbytek jsou náklady na implementaci. Výhodou kolaborativních robotů je, že většinou nevyžadují příliš velké náklady na změnu infrastruktury ve výrobě. Průmyslové roboty z bezpečnostních důvodů nesmějí sdílet společný prostor s lidskými pracovníky a proto je často třeba postavit nová oddělená pracoviště. Kolaborativní roboty lze díky jejich povaze snadněji implementovat do již existujících výrobních procesů. Vždy záleží na konkrétní aplikaci a náklady na vybudování pracoviště se mohou lišit. Návratnost kolaborativních robotů se odvíjí od činnosti, kterou vykonávají. Při vhodném využití kobotů může být doba návratnosti jeden až dva roky²¹.

Rozdíly mezi těmito zařízeními definují rozličné použití v průmyslovém prostředí. Průmyslové roboty se hodí pro velké, vysoce specializované výrobní linky, zatímco koboty jsou užitečné pro menší, flexibilnější výrobní scénáře a spolupráci s lidskými pracovníky.

2.5 Robotizace v malých firmách







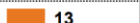
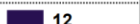



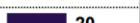
Automatizace výroby je téma, které bylo dlouhou dobu doménou spíše velkých společností, v současné době však stále více proniká i mezi menší firmy. Roboty mohou pomoci snížit náklady na práci a zvýšit výrobní kapacitu, což může pomoci malým firmám konkurovat větším hráčům na trhu. Díky robotizaci se výrobní procesy mohou stát rychlejšími, přesnějšími a konzistentnějšími, což vede k lepší kvalitě výrobků a vyšší spokojenosti zákazníků.

Častou překážkou pro zavedení robotizace do výroby bývají vysoké počáteční investice. Velké společnosti většinou disponují dostatečným kapitálem nebo alespoň možností získat finance od investorů nebo bankovních institucí. Pro malé firmy to může být problém. Dobrou zprávou je, že se tato oblast rychle rozvíjí a dnes je již mnohem dostupnější. Čím větší bude poptávka menších firem po automatizaci, tím více se dodavatelé budou touto problematikou zabývat. Díky novým technologiím se výrazně snižuje pořizovací cena i náklady na přeškolení zaměstnanců. Malé firmy také mohou začít s malými projekty a postupně je rozvíjet, jakmile si ověří výhody automatizace a získají potřebné zkušenosti²².

2.6 Potenciál kolaborativní robotiky

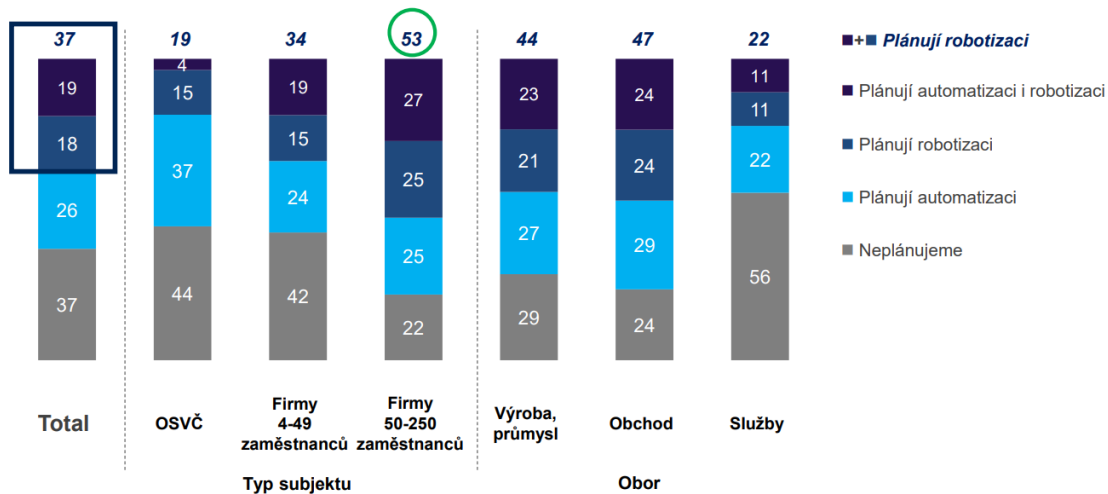
Trh s kolaborativními roboty se v posledních letech výrazně rozrůstá. Důvodem je rostoucí poptávka po automatizaci a zvyšování produktivity v mnoha odvětvích, jako je například průmysl, zdravotnictví, potravinářský průmysl nebo logistika. Velký posun v oblasti vývoje kolaborativních robotů umožňují také inovace v oblasti sensoriky, pokročilých řídicích systémů a rychlý vývoj umělé inteligence. Díky svým nesporným výhodám se kolaborativní roboty staly nejrychleji rostoucím segmentem robotického průmyslu.²³ Tématem robotizace se u nás zabývá mimo jiné Asociace malých a středních podniků a živnostníků České republiky (AMSP ČR). Jedná se o politicky nezávislou asociaci, která zastřešuje malé a střední podniky, živnostníky, cechy, spolky a sdružení.²⁴ AMSP ČR provedla průzkum, jehož cílem bylo zmapovat robotizaci v malých a středních podnicích. Zúčastnili se OSVČ, majitelé, jednatelé i ředitelé z dvou set firem, které mají 4-250 zaměstnanců. Průzkum probíhal v březnu roku 2022 formou online dotazníku. Mezi hlavní závěry výzkumu patří zjištění, že potenciál pro využívání nástrojů robotizace je dvojnásobný oproti nynějšímu stavu. V současné době využívá kolaborativní roboty 5 % malých a středních podniků. Průmyslové roboty pak najdeme u 13 % firem a mobilní robotiku u 7 %. Z výsledků uvedených v tabulce 1 je zjevné, že nejvíce robotizované jsou střední firmy, které působí v oboru výroby a průmyslu. Je možné pozorovat větší procento mobilní robotiky v oblasti obchodu a služeb, protože tyto roboty se často využívají kromě zásobování výroby materiálem i ve skladech. Z tabulky je také patrné, že nějakou formu automatizace výroby používá 40 % firem s více než padesáti zaměstnanci.²⁵ AMSP ČR uvádí, že potenciál dalšího rozvoje robotiky je velký. Z průzkumu vyplynulo, že investici přímo do kolaborativních robotů zvažuje 11 % společností a mezi středně velkými firmami je to dokonce 20 %. Automatizace a robotizace jde ruku v ruce s moderní komunikační infrastrukturou, takže firmy musí investovat i do těchto oblastí, aby zajistily správné fungování celého systému.

Jaké z daných nástrojů používáte?
v %

	OSVČ	Firmy 4-49 zaměstnanců	Firmy 50+ zaměstnanců	Výroba, průmysl	Obchod	Služby
Internet věcí  34	33	37	25	22	49	35
Chytré senzory  31	33	24	45	32	31	29
3D tiskárny  31	30	31	29	31	24	35
Automatizované finanční procesy  29	19	31	31	27	31	29
Sběr dat  27	19	24	38	32	24	24
Automatizace výroby  23	4	19	40	42	10	11
Průmyslové roboty  13	11	11	16	21	8	7
Virtuální realitu  12	7	11	16	9	14	14
Chytré brýle pro rozšířenou realitu  8	19	4	9	6	8	8
Mobilní robotiku (AGV, MIR)  7	4	9	4	5	8	8
Kolaborativní roboty  5	4	3	7	6	4	3
Žádné z uvedených  20	33	19	13	16	16	26

Obrázek 1: Nástroje robotizace, které firmy používají

Plány robotizovat/automatizovat výrobu/produkci v %



Obrázek 2: Plány firem robotizovat

Co bylo hlavním hybatelem pro rozhodnutí o robotizaci/automatizaci v %, báze subjekty plánující robotizaci/automatizaci

	OSVČ	Firmy 4-49 zaměstnanců	Firmy 50+ zaměstnanců	Výroba, průmysl	Obchod	Služby
Větší efektivita, zrychlení	23	20	21	28	25	23
Úspora	23	33	25	16	20	21
Finance, dostatek financí, peníze	12	13	13	9	9	10
Spolehlivost, jistota, kvalita práce	11	20	10	9	13	8
Zdražování lidských zdrojů, vyšší mzdy	10	0	9	14	13	5
Nedostatek pracovníků	8	0	7	12	7	8
Zjednodušení práce	6	0	7	5	5	8
Prosperita, posun firmy, modernizace	5	0	7	2	4	8
Konkurence, vývoj trhu	5	0	1	12	5	0
Úspora času	5	7	6	2	0	8
Proklientský přístup	1	0	1	0	0	0
Nevím	8	7	7	9	9	10
Něco jiného	8	27	7	2	15	3

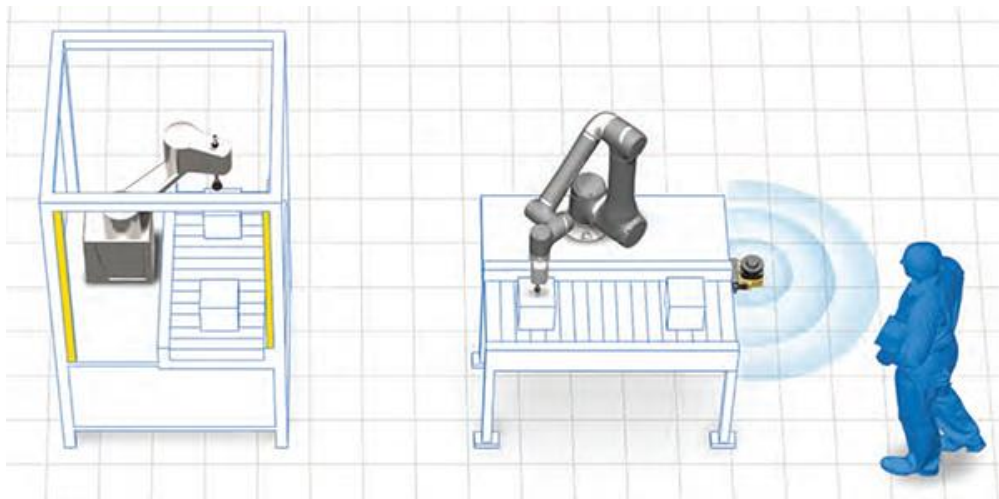
Obrázek 3: Hlavní hybatele rozhodnutí robotizovat

2.7 Výhody kolaborativních robotů

Bezpečnost

Kolaborativní roboty jsou obvykle vybaveny pokročilými bezpečnostními prvky, které jim umožňují provoz v blízkosti lidí bez nutnosti použití zábran nebo jiných bezpečnostních opatření. Pro tento účel jsou vybaveny řadou senzorů a monitorovacích systémů, které zajišťují, že roboty mohou v reálném čase detekovat a reagovat na změny ve svém okolí, čímž se minimalizuje pravděpodobnost nehod. Kromě toho mají roboty zaoblené tvary nebo dokonce ochranné návleky, aby se při případném nárazu limitovalo riziko zranění. Díky tomu je práce s nimi mnohem bezpečnější než práce s tradičními průmyslovými roboty.

Nařízení a doporučení pro návrhy pracovišť, které využívají kolaborativní roboty, jsou uvedeny v technické specifikaci s označením ISO/TS 15066²⁶. Byla zavedena poté, co se kolaborativní robotika začala více rozšiřovat a dosavadní normy ISO 10218-1 a ISO 10218-2 nebyly dostačující. Vznikly totiž v roce 2006, kdy se tento obor teprve začínal. V nové technické specifikaci jsou uvedeny maximální hodnoty síly nárazu do jednotlivých částí těla. Tyto hodnoty bývají označovány jako „prahová úroveň bolesti“ a robot je nesmí nikdy překročit.²⁷



Obrázek 4: Bezpečnostní systémy v kolaborativní robotice

Vyšší efektivita

Jednou z klíčových výhod, kterou kolaborativní roboty přinášejí do průmyslových výrobních procesů, spočívá v jejich schopnosti zvýšit efektivitu výroby. Toho dosahují především prostřednictvím přesného a rychlého provádění opakujících se úkolů. Významným přínosem je také jejich schopnost pracovat nepřetržitě 24 hodin denně, což vede k podstatnému zkrácení výrobních cyklů. V porovnání s lidským operátorem se u

kolaborativních robotů nevyskytuje zvýšená chybovost či snížení kvality výroby způsobené únavou nebo jinými lidskými faktory. Roboty jsou schopny udržet nezměněnou produktivitu a přesnost výroby bez ohledu na délku pracovní směny, což představuje klíčový prvek při snaze dosáhnout co nejvyšší efektivity v průmyslovém prostředí.

Díky využití pokročilých technologií jsou kolaborativní roboty extrémně přesné, a to umožňuje, aby byl každý úkon vykonán vždy stejně a v souladu s přesně definovanými parametry. Díky tomu je možné dosahovat naprosté konzistence v kvalitě výroby a výrazně snížit množství chyb. Tyto vlastnosti nabízejí výrobním firmám možnost dosahovat vyšší úrovně efektivity a konkurenceschopnosti na trhu, zatímco minimalizují rizika spojená s lidskými faktory. Průmyslové roboty dosahují ještě vyšší efektivity než roboty kolaborativní, a to hlavně díky vyšším rychlostem a většímu užitému zatížení. Ty ovšem z bezpečnostních důvodů není možné pro mnoho aplikací použít. Zejména není možné, aby průmyslové roboty sdíleli pracovní prostor s lidskou obsluhou. Pro mnoho úkonů je tedy vhodnější použít kolaborativní roboty, aby nemuselo docházet k tak dramatickým změnám v infrastruktuře.²⁸

Lepší využití lidské síly

Kolaborativní roboty jsou schopny vykonávat velmi širokou škálu úkonů. Roboty je možné využít pro náročné nebo dokonce nebezpečné úkoly, které nejsou vhodné pro lidské pracovníky. Vykonávání repetitivních úkonů je pro člověka velmi náročné a ubíjející. Dlouhodobé vykonávání těchto činností má negativní vliv na jeho mentální i fyzické zdraví. Pomocí využití robotů pro tento typ činností se uvolní lidská síla pro vykonávání složitějších, různorodějších a kreativnějších úkolů. Dlouhodobým jednostranným zatěžováním může u operátora docházet k únavovým zraněním a nemocem z povolání, kterým je možné tímto způsobem předcházet. Nejčastější faktory, které vedou k nemocem z povolání jsou jednostranné přetěžování, vibrace a nepříznivé prostředí, jako je výskyt prachu s obsahem volného krystalického oxidu křemičitého.²⁹

Snadná programovatelnost

Na flexibilitě kolaborativních robotů se velkou měrou podílí jejich snadná programovatelnost. Existuje několik metod, jak robot programovat. Podle způsobu, jak se program vytváří, lze programování rozdělit na on-line a off-line.

Během on-line programování je operátor v přímém kontaktu s robotem prostřednictvím ovládacího panelu. Výhodou tohoto způsobu je zjednodušení procesu programování, čímž se zvyšuje dostupnost a umožňuje rychle a efektivně programovat operátorům s různou úrovní technických znalostí. Nevýhodou on-line programování je nutnost zastavení provozu během tvorby programu. Je možné ho rozdělit na dvě metody, Teach-in a Play-back. Metoda Teach-

in používá intuitivní grafické rozhraní na ovládacím panelu (teach pendantu). Díky tomuto uživatelsky přívětivému systému lze dosáhnout výrazného zjednodušení procesu programování a tím zvýšit dostupnost a umožnit operátorům s různou úrovní technických znalostí rychle a efektivně programovat kolaborativní roboty pro konkrétní úkoly. Tato metoda také poskytuje vysokou míru přesnosti.

Druhou metodou on-line programování je Play-back. Při procesu programování operátor sám rukou vede rameno robotu, které si trasu zaznamenává a následně ji opakuje. Největší výhodou této metody je, že programování může provádět i nekvalifikovaná obsluha. Nevýhodou je na druhou stranu malá přesnost trasy způsobená nedokonalostí pohybu operátora. Z toho důvodu je tento způsob programování vhodný pro operace, které nevyžadují přílišnou přesnost, jako je například lakování.

Během off-line programování není operátor v přímém kontaktu s robotem a programování probíhá na počítači ve specializovaném softwaru. Programátor vymodeluje pracovní prostředí včetně použitých strojních zařízení a efektorů a na jeho základě vytvoří pracovní cyklus. Ten je možné následně upravovat tak, aby vyhovoval požadovaným kritériím, jako je například čas. Největší výhodou off-line programování je možnost připravit program bez nutnosti zastavit provoz. Dále je také možné v softwaru zkontrolovat kolizní stavy a předejít tak zranění nebo poškození robotu. Tímto způsobem programování je také možné docílit vyšší efektivity. Nevýhodou je navýšení nákladů v důsledku nutnosti pořízení programovacího softwaru, který je navíc většinou jiný pro každou značku robotu³⁰.

Nižší náklady

Kolaborativní roboty jsou oproti jejich alternativám poměrně dostupnou variantou, což je jeden z důvodů jejich velkého rozšíření. Tradiční průmyslové roboty většinou vyžadují rozsáhlé úpravy infrastruktury. Z bezpečnostních důvodů totiž musí být zcela odděleny od lidské obsluhy. Použití průmyslových robotů s sebou tedy kromě pořizovacích nákladů přináší velké investice do vybudování pracoviště, které znamená také omezení provozu výroby. Kromě toho je pro programování průmyslových robotů nutná spolupráce s kvalifikovaným profesionálem. Kolaborativní roboty lze integrovat do stávajících pracovišť bez výrazných změn. Nabízí tak řešení s nižšími náklady na implementaci a rychlejší návratností investic pro výrobce. V rámci rozhovorů ve firmách HCR CZECH a Zlín Robotics jsem se dozvěděla, že cena robotizovaného pracoviště se pohybuje mezi 400 tisíci a milionem korun, přičemž asi 70% z této částky tvoří cena kolaborativního robotu. Návratnost kolaborativních robotů je velmi dobrá. Odvíjí se od konkrétní aplikace, pokud je činnost pro robot vhodná, může se doba návratnosti pohybovat již mezi jedním a dvěma lety. To je také jedním z důvodů, proč je kolaborativní robotika vhodná varianta pro malé firmy.

2.8 Parametry kolaborativních robotů

Užité zatížení

Jedním z nejdůležitějších parametrů kolaborativních robotů je jejich užité zatížení. Tato hodnota uvádí maximální hmotnost, se kterou je robot schopný bezpečně manipulovat. Pokud robot používá koncový efektor, je třeba jeho váhu od této hodnoty odečíst.

Dosah

Vedle užitého zatížení je dosah dalším důležitým parametrem kolaborativních robotů. Jedná se o maximální dosažitelnou vzdálenost koncovým efektozem robotu od jeho základny. Tento parametr je důležitý jak pro vhodné nastavení pracoviště, tak pro vymezení bezpečnostní zóny kolem robotu.

Hmotnost

V tomto parametru se kolaborativní roboty velmi liší například od těch průmyslových. Váha kolaborativních robotů se totiž pohybuje mezi 10 a 30 kilogramy, jedná se tedy o velmi lehké stroje³¹. Díky tomu je možné s nimi jednoduše manipulovat. Další výhodou je malý nárok na nosnost plochy, na které je robot uchycen.

2.9 Rozhovory ve firmách

Navštívila jsem firmu HCR CZECH s.r.o., která sídlí v Otrokovicích a zabývá se distribucí a integrací kolaborativních robotů HCR od značky Hanwha. Měla jsem schůzku se zástupcem obchodu panem Ing. Markem Miklem, během které jsem se dozvěděla mnoho užitečných informací z praxe. Zjistila jsem, že kolaborativní roboty jsou vhodné do provozů, které pracují v alespoň částečné sériové výrobě. Návratnost je u kobotů poměrně dobrá a je možné ji zlepšit hlavně vhodným použitím. Nejlepší využití automatizace je u jednoduchých, opakujících se činnostech. Kolaborativní roboty však mají tu výhodu, že je možné je využít u mnoha aplikací, u kterých by jiné nástroje robotizace vůbec použít nešly nebo by to znamenalo velké změny v infrastruktuře i výrobních procesech. Debatovali jsme nad možnostmi nějaké inovace. Jako vhodný nástroj pro větší dostupnost kolaborativních robotů se zdá být ještě větší uživatelská přívětivost programovacího prostředí. Kromě toho by vhodnému využívání kobotů ve výrobě pomohla konzultace s odborníkem, který by navrhl ideální podobu automatizace. Již na této schůzce jsem se zabývala otázkou možnosti využití robotu na více pracovištích. S tím se u svých zákazníků někdy setkávají. Na jednotlivých pracovištích jsou pak umístěny protikusy v podlaze, do kterých se robot se stojanem přišroubuje. Ptala jsem se, na jaký účel malé firmy nejčastěji kolaborativní roboty používají. Mezi nejrozšířenější aplikace patří pick and place, obsluha strojů, montáž, paletizace, balení, obsluha forem, leštění a nanášení. Jze je využít i pro kontrolu kvality, to s sebou ale přináší další náklady na kamerový systém, který je třeba dobře odladit.

Dále jsme se zabývali jednotlivými modely značky Hanwha, tedy HCR-3A, HCR-5A a HCR-12A. Číslo u názvu modelu označuje jejich užité zatížení. Od tohoto možného zatížení se ještě odečítá váha koncového efektoru. Největší model používá hlavně na paletizaci a nabízí dobrou návratnost. Při paletizaci bývá robot umístěn 600 cm nad zemí a je schopen produkty skládat asi do 1,5 metru, poté už nedosáhne na celou délku europalety. Nejvíce mě zaujal prostřední model, jehož nejčastější užití je na tzv. handling, neboli manipulaci, nanášení lepidel, svařování a zakládání CNC stroje. Během návštěvy HCR CZECH jsem měla příležitost podívat se také na produkty, které firma používá pro prezentaci na konferencích a podobných akcích. Mezi nimi jsou například cykloidní převodovky, které se nachází uvnitř kloubů kolaborativních robotů. Mohla jsem tak částečně nahlédnout i dovnitř stroje. Kromě toho zde také byla řada efektorů, tedy nástrojů, které kobot používá k vykonávání různých činností. Dále jsem se byla podívat do skladu, kde se nacházela řada kolaborativních i průmyslových robotů. Firma se zabývá i implementacemi jejich produktů, takže se zde nacházelo několik robotizovaných pracovišť v procesu výroby. Bylo velmi zajímavé nahlédnout do odvětví z této perspektivy.

V rámci rešerše jsem navštívila také firmu Zlín Robotics, která se specializuje na průmyslovou automatizaci a robotizaci. Tato firma se zabývá hlavně implementacemi a tvorbou robotizovaných pracovišť s použitím kolaborativních robotů značky Techman, konkrétně modely TM5 a TM12. Koboty této značky jsou všechny vybaveny kamerovým systémem, který je možné použít pro identifikaci pracoviště a zjištění polohy robotu. Na druhou stranu nevýhodou příslušenství s kamerovým systémem je navýšení ceny. Při návštěvě Zlín Robotics jsem se dozvěděla hlavně hodně informací ohledně bezpečnosti. Jednotlivé parametry robotu se nastavují individuálně, podle konkrétní aplikace. Je třeba řídit se nařízením a doporučeními, které jsou uvedeny v technické specifikaci s označením ISO/TS 15066. Nachází se zde mimo jiné limity rychlostí robotu nebo maximální možná síla, kterou může robot narazit do jednotlivých částí těla člověka. Tyto parametry nastavuje implementační firma u konkrétního pracoviště. Poté se provádí validace pomocí testů. Pokud je pracoviště vyhodnoceno jako nedostatečně bezpečné, je nutné přidat další bezpečnostní prvky, jako jsou klece nebo senzory. Kolaborativní roboty jsou samy o sobě certifikovány, pokud jsou použity jako součást automatizovaného pracoviště, je třeba získat bezpečnostní certifikaci pro celý tento systém.

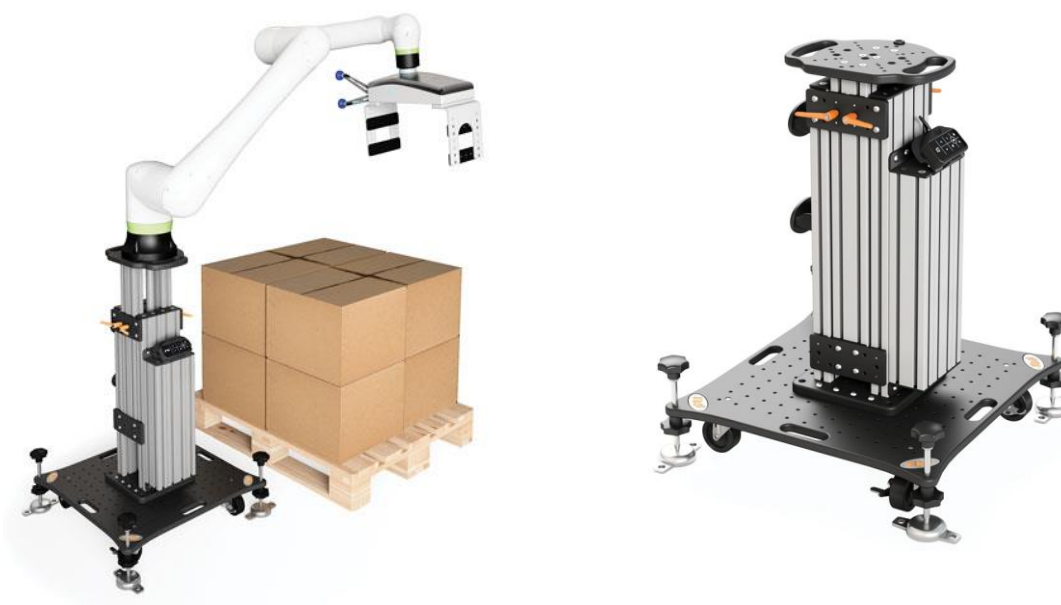
V průběhu návštěvy firmy Zlín Robotics jsem měla příležitost nahlédnout do jejich dílny. Zabývali jsme se primárně otázkou bezpečnostních systémů, které se u robotizovaných pracovišť používají. Tento rozhovor byl pro mě velmi poučný. Zjistila jsem, že i přesto, že výrobci kolaborativních robotů často uvádí, že jejich produkty mohou spolupracovat s člověkem, sdílet společný prostor a nepotřebují žádné bezpečnostní prvky, realita může být trochu jiná. Pracoviště, která využívají kolaborativní robotiku, musejí splňovat určitá kritéria, která často zahrnují použití nějakých bezpečnostních prvků. Navržení automatizovaného pracoviště je individuální a je třeba vždy zvážit rizika, která mohou nastat, aby si implementační firma mohla být jistá, že nedojde k ohrožení zdraví pracovníků.

I na této schůzce jsem se ptala na nejčastější využití kolaborativní robotiky v malých firmách. Dle zkušenosti Zlín Robotics je to hlavně pick and place a obsluha strojů. Zajímalo mě také jejich pohled na největší výhody kobotů. To je podle nich snadné programování a možnost přemísťování. Právě na možnost přemísťování se zaměřili při vývoji mobilního stojanu UMS.

2.10 Rešerše mobilních platforem pro kolaborativní roboty

EMI corp

Jednou z hlavních firem, která zabývá výrobou stojanů pro kolaborativní roboty, je EMI corp. Kromě klasických stojanů nabízí také mobilní platformy, které umožňují přesouvat robot po výrobní hale. Nabízejí i stojany s elektricky poháněným výsuvným sloupem, které umožňují uživateli nastavit si 4 možné výšky. Po zvolení jedné z výšek se doporučuje ručně utáhnout oranžové páky. Cena těchto stojanů se pohybuje okolo 4 700\$, což je v přepočtu asi 105 000Kč. Firma nabízí také příslušenství k prodávaným stojanům, jako jsou například háčky nebo police na ovládací boxy nebo systém na upevnění kabelů³². Považuji za pozitivní, že tato firma má v nabídce poměrně širokou škálu produktů, které lze využít pro kolaborativní robotiku. Jako nevýhodu bych označila nutnost přišroubovat 8 šroubů pokaždé, když chce uživatel platformu přesunout. Podstavce, které zvednou kola a umožní platformu zafixovat na místě, je také třeba ručně vyšroubovat a zajistit, aby byla platforma vodorovně. Pokud nemá dokoupeno příslušenství, musí také operátor separátně přemístit ovládací box, ovládací panel a všechny potřebné kabely. Pokud není platforma vybavena elektrickým výsuvem sloupu, je pro zvednutí robotu do požadované výšky potřeba práce dvou operátorů.



Obrázek 5: EMI mobilní základna s elektrickým zvedáním



Obrázek 7: Háček na ovládací box Techman, EMI



Obrázek 7: Systém na uložení kabelů, EMI

Easy Robotics

Je průkopníkem v navrhování, vytváření a výrobě pokročilých řešení průmyslové automatizace. Jejich vývoj tímto směrem odstartoval produkt ProFeeder, což je robotická buňka určená pro úkony jako je leštění, dokončovací operace nebo pick and place. Součástí této řady je také model ProFeeder Flex. Jedná se o mobilní stojan pro kolaborativní robot, který umožňuje přesun po areálu továrny. Je tak možné ho přistavit například k CNC stroji. Cena tohoto modelu se pohybuje mezi 6 300€ a 9 000€, což je v přepočtu na koruny zhruba 155 000 - 220 000Kč.



Obrázek 8: ProFeeder Flex, Easy Robotics

Zlín Robotics

Zlín Robotics je firma, která se zabývá průmyslovou automatizací a robotizací. Jejich náplní je mimo jiné implementace kolaborativních robotů značky Techman. Zákazníkům nabízí i svůj univerzální mobilní stojan UMS, který je vyvinut speciálně pro roboty právě této značky. Stojan umožňuje přesouvat robot mezi pracovišti. Součástí těla UMS je i ovládací box, díky čemuž je přesouvání a zapojování robotu na novém místě jednodušší.³³



Obrázek 9: Univerzální mobilní stojan UMS, Zlín Robotics

3. Výstup analýzy a formulace vize

V průběhu analýzy a rešerše jsem zjistila mnoho užitečných informací, které mi pomohly najít téma, kterým se chci zabývat. Na počátku jsem chtěla navrhovat přímo kolaborativní robot. Myslím si, že je to zajímavé téma. Na jednu stranu se jedná o strojní zařízení, které vyžaduje technický přístup a pochopení principů práce v průmyslu. Na druhou stranu se jedná o velmi umělecký proces, protože kolaborativní roboty se oproti ostatním strojům vyznačují neobvyklou tvarovostí a vyžadují až sochařský přístup. Koboty mají zaoblené tvary hlavně z bezpečnostních důvodů, ostrá hrana by mohla při kolizi s operátorem způsobit zranění. Současně jim však toto tvarování poskytuje jedinečný výraz. U kolaborativních robotů se klade poměrně velký důraz na design a jejich estetiku. Tento přístup je v průmyslu poměrně ojedinělý. Výrobci kobotů jsou si vědomi, že vzhled ovlivňuje jejich postavení na trhu, a proto jsou ochotni do něj investovat. I když jsem nakonec od návrhu samotného kolaborativního robotu upustila, tento důraz na design jsem stále brala v potaz. Netýká se totiž jen stroje, ale také jeho příslušenství.

Ve snaze pochopit toto odvětví mi velmi pomohly návštěvy firem, které se robotizací zabývají. Díky velmi dlouhým rozhovorům jsem zjistila, jak kolaborativní robotika funguje v praxi. Tyto informace bych z jiných zdrojů nedokázala získat, proto mě tyto návštěvy velmi posunuly a urychlily proces analýzy. Ve firmě HCR CZECH, která se zabývá distribucí a integrací kolaborativních robotů HCR od značky Hanwha, jsem měla příležitost mluvit se zástupcem obchodu, panem Ing. Markem Miklem. Velmi užitečné pro mě byly obecné informace o tom, jak obor funguje, co zákazníci chtějí a jaké výhody kolaborativní roboty mají. Měla jsem také příležitost klást spoustu otázek, které mi pomohly odvětví lépe pochopit a potvrdit nebo vyvrátit některé moje domněnky.

Během snahy pochopit oblast kolaborativní robotiky jsem stále hledala nějaké téma, kterým bych se mohla zabývat. I když jsem se plánovala zabývat designem přímo robotu, snažila jsem se najít nějaký prostor pro inovaci. Zjistila jsem, že při navrhování robotického ramene bych měla velmi omezené možnosti. Roboty jsou komplexní stroje, jejichž konstrukčním řešením se zabývají stovky specialistů v mnoha světových firmách. Proto bych pravděpodobně použila konstrukci existujícího robotu a zaměřila bych se jen na návrh opláštění. Během analýzy jsem se snažila objevit nějaký prvek, který bych mohla vylepšit. V rámci konzultací jsme diskutovali nad možností nějaké inovace, protože samotný návrh opláštění by přinášel jen omezenou přidanou hodnotu. Začala jsem se proto více zabývat používáním robotu a jeho příslušenstvím.

Snažila jsem se najít možnost, jak co nejlépe využít výhody, které kolaborativní roboty mají. Jednou z jejich hlavních výhod je snadné programování. Z rozhovoru s panem Ing. Markem Miklem z HCR CHZECH vyplynulo, že ještě větší uživatelská přívětivost by mohla kolaborativní roboty ještě více zpřístupnit. Jednoduché programování dokáže odstranit

mnoho překážek v průběhu používání robotu. Jedním z hlavních rozdílů mezi kolaborativním a průmyslovým robotem je bezpečnost. Koboty mohou sdílet pracovní prostor s lidskou obsluhou. Navržením pracoviště a s ním spojenou validací bezpečnosti se zabývá implementační firma. Konkrétní parametry, které zajišťují bezpečnou spolupráci, se však nastavují individuálně pro každou zakázku. Zaměřila jsem se proto na další výhody kolaborativních robotů. Mezi ně patří neobvyklá flexibilita, nízká hmotnost a velmi široké pole využití.

Chtěla jsem proto vymyslet systém, který by umožňoval uživateli lépe těžit z výhod, které kolaborativní roboty mají. Jejich velká flexibilita potřebuje vhodné nástroje, aby mohla být dobře využita. Už na počátku jsem se rozhodla zaměřit na malé výrobní firmy. Jedním z důvodů je, že podoba robotizace a automatizace se liší od té, která se používá u velkých společnostech. Malé firmy mají jiné potřeby. Tímto tématem se v březnu roku 2022 zabývala také Asociace malých a středních podniků a živnostníků České republiky (AMSP ČR)³⁴. Asociace provedla průzkum, jehož cílem bylo zmapovat robotizaci a automatizaci v malých a středních firmách. Z tohoto výzkumu vyplynulo, že kolaborativní robotika má velký potenciál do budoucna. Díky svým nesporným výhodám se kolaborativní roboty staly dokonce nejrychleji rostoucím segmentem robotického průmyslu.³⁵ Nejvíce mě zaujalo zjištění, že potenciál pro využívání nástrojů robotizace je dvojnásobný oproti současnému stavu. V současné době využívá kolaborativní roboty 5 % malých a středních podniků. Průmyslové roboty pak najdeme u 13 % firem a mobilní robotiku u 7 %. Jako nejvíce robotizované můžeme označit střední firmy, které působí v oboru výroby a průmyslu. Nějakou formu automatizace výroby používá 40 % z dotázaných firem s více než padesáti zaměstnanci.³⁶

3.1 Vize

Robotizace je často spojena s velkými výdaji. Například u průmyslových robotů je kromě pořizovacích nákladů třeba počítat také s velkými investicemi do infrastruktury. Roboty musí pracovat na odděleném pracovišti a je třeba dodržovat přísná bezpečnostní opatření. Z tohoto důvodu jsou kolaborativní roboty vhodnou volbou zejména pro menší společnosti. Jsou navrženy tak, aby mohly pracovat ve společném prostoru s lidskými zaměstnanci, díky čemuž není potřeba vybudovávat zcela novou infrastrukturu. Chci navrhnout systém, který umožní co nejlépe vytěžit práci robotu a dosáhnout co nejefektivnějšího využití této technologie. Snadné programování se také podílí na větší dostupnosti kolaborativní robotiky pro malé firmy. Díky intuitivnímu grafickému rozhraní je doba potřebná pro zaškolení programátora výrazně kratší. Tento systém programování se dokážou naučit operátoři s různou úrovní technických dovedností. Díky tomu je změna činnosti, kterou robot vykonává, mnohem snazší. Malé firmy musí rychle reagovat na měnící se podmínky, protože jejich výroba se potýká s častými změnami. Svým návrhem chci tento proces zjednodušit. Snažím se přinést do výrobního prostředí produkt, který umožní co nejvíce využít flexibilitu,

kteřou kolaborativní robotika přináší. Mým cílem je proto dosáhnout co největšího uživatelského pohodlí při přemísťování robotu.

3.2 Cílová skupina

Cílovou skupinou, pro kterou produkt navrhují, jsou primárně malé výrobní firmy. Tuto cílovou skupinu jsem si stanovila již na počátku práce na projektu. Důvodem bylo to, že se domnívám, že kolaborativní robotika poskytuje sadu vlastností, ze kterých mohou malé výrobní firmy velmi dobře těžit. Dále lze cílovou skupinu rozdělit na dvě části, zákazníci a uživatelé. Nejedná se totiž o stejnou osobu. Zákazníky, kteří by mohli tento produkt nakupovat, by byly hlavně implementační firmy. Tedy společnosti, které se zabývají návrhem a realizací robotizovaných pracovišť. Kromě návržení vhodného použití kolaborativní robotiky mají často na starosti i zajištění bezpečnostní certifikace a programování robota. Zaměstnávají specialisty, kteří dokážou koboty správně zapojit a nastavit. Tyto firmy často spolupracují pouze s jednou značkou kolaborativních robotů. Je to případ i firem, které jsem navštívila. HCR CZECH se zabývá distribucí a implementací pouze robotů HCR a Zlín Robotics se specializuje jen na roboty značky Techman. Za určitých okolností by zákazníkem mohl být i majitel firmy, která chce robota používat. To je samozřejmě možné, v takovém případě musí majitel disponovat zaměstnanci, kteří dokážou zapojit kontroler do mobilní platformy a robota naprogramovat.

Na druhou stranu, uživatelem produktu je operátor ve výrobě. Jeho úkolem bude v případě potřeby přesunout robota na jiné pracoviště. Jedná se tedy o kteréhokoli zaměstnance malé výrobní firmy. Platforma je navržena tak, že její používání nevyžaduje žádné zvláštní znalosti nebo trénink. Operátor nemusí být zvláště technicky, manuálně ani fyzicky schopný. Platforma je uložena na kolech, takže k jejímu přesouvání není potřeba velká síla. Vše je zapojeno již během implementace, takže při používání je potřeba provést jen minimum úkonů. Proces prodeje a používání produktu by mohl vypadat následovně:

Firma, která prodává tento produkt, ho vyrábí sériově. Všechny kusy jsou stejné. Produkt je určen pro kolaborativní roboty střední velikosti, tomu odpovídají roboty s užitečným zatížením 5kg. Produkt není specifikován pro konkrétní značku, je využitelný pro všechny roboty této velikosti od velkých výrobců. Jedná se tedy o univerzální předpřipravený produkt. Zákazníkem této společnosti jsou implementační firmy. Ty nakupují vyrobené mobilní platformy a dále s nimi pracují. Zaměstnanec, který se zabývá implementací, přepojí kontroler kolaborativního robota do mobilní platformy. To udělá tak, že otevře dvířka v zadní části platformy, kde je nachystaný prostor pro ovládací box. Dole jsou vyvedeny kabely označené štítky. Pověřená osoba vyndá kontroler z jeho původní schránky a uloží ho do prostoru platformy, kde následně zapojí kabely do svorkovnice kontroleru. Poté stačí jen upevnit robota na výsuvný válec a zapojit kabely do konektorů. Tím je systém připraven na použití. Produkt může být pro implementační firmu nalakován barvami, které odpovídají barvám kobotu, kterého používají.

Malá výrobní firma, která chce využít kolaborativní robotiku, poptá služby implementační firmy. Pokud je to pro jejich aplikaci vhodné, firma jim může nabídnout systém s mobilní platformou. Následně je třeba nainstalovat dokovací stanice do podlahy ve výrobní hale v místech, kde se budou nacházet pracoviště robotu. K těmto stanicím se přivedou kabely pro ethernet, průmyslový konektor, vzduch a zdroj. Implementační firma nebo interní zaměstnanec firmy naprogramuje robot na jednotlivých pracovištích.

Operátor ve výrobě pak může s robotem libovolně manipulovat. V případě potřeby změny pracoviště přijde k platformě a stiskem tlačítka ji odemkne. Robot je v tuto chvíli v cestovní pozici, která se nastaví při programování. Poté zmáčkne tlačítko na rukojeti, táhnutím ji vysune a může ze stanice vyjet. Když přijede k požadovanému pracovišti, zajede do dané stanice. Ta má zkosené stěny, aby bylo zajištěno co nejjednodušší zajištění. Kolečka platformy jsou otočná o 360 stupňů, což poskytuje dobrou manévrovatelnost. Tyto prvky jsem testovala na papírovém modelu v životní velikosti, abych si ověřila jejich použitelnost. Po zaparkování do stanice opět jen zasune rukojeť a zmáčkne tlačítko na zamknutí, které zabezpečí platformu v přesné pozici. Rozsvícení kontrolky mu potvrdí, že zamknutí proběhlo v pořádku. Poté stačí jen spustit program určený pro dané pracoviště. Tento proces je možné provést i bez implementační firmy. Produkt mohou nakupovat přímo výrobní firmy a zapojení a programování udělat samy. Tento proces nevyžaduje vysoce specializovaného odborníka.

4. Proces navrhování

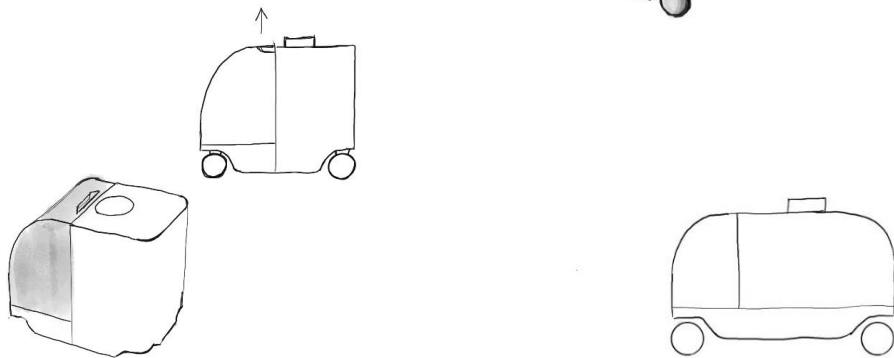
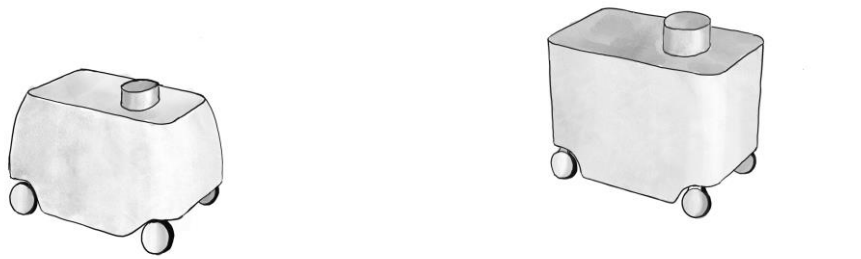
V procesu návrhu byla analýza klíčovým aspektem, neboť jsem věnovala mnoho času hledání řešení, které by přinášelo přidanou hodnotu. V první fázi projektu jsem se tedy jen snažila pochopit toto odvětví a najít prostor pro inovaci. Analýza zahrnovala rešerše existujících řešení, studování textových zdrojů o tématu, provádění rozhovorů ve firmách, které se problematikou zabývají i konzultace s odborníky. Podařilo se mi tak najít oblasti, na které se můžu zaměřit. Díky tomu jsem objevila téma, které mě zaujalo a současně také odpovídá aktuálním potřebám a výzvám. Celkově vzato, fáze analýzy představovala klíčový krok v procesu navrhování a umožnila mi najít správné směřování celého projektu. Podařilo se mi během ní identifikovat potenciál pro inovaci.

Proces navrhování nebyl lineární. Řešila jsem několik konstrukčních problémů najednou, přičemž se tyto problémy neustále navzájem ovlivňovaly. Proto jsem se neustále vracela, měnila různé parametry a postupně skládala finální návrh. V první fázi jsem začala rovnou přemýšlet nad možným řešením. Vzniklo tak pár prvotních nápadů. Brzy jsem zjistila, že mi chybí mnoho důležitých informací, které mohu zjistit pouze procesem vytváření variant a testování. Hlavním důvodem byl fakt, že podobný produkt na trhu v podstatě neexistuje a nemohla jsem se tak opřít o vyzkoušené konstrukční řešení. Velmi nápomocným se mi stalo vytváření prototypů, jak už fyzických z papíru, tak i modelů v 3D programu. Díky prozkoumání širokého pole variant se mi podařilo postupně najít vhodné řešení všech částí projektu.

4.1 První varianty

V první fázi navrhování jsem pracovala s variantou pojízdné plošiny. Systém využití dokovací stanice jsem uplatnila už zde. Tuto variantu tvoří pouze plošina s výsuvným válcem, který má zajistit odpovídající pracovní výšku robotu. Kontroler je v tomto případě uložen na plošině vedle sloupu ve svém originálním pouzdře. Tuto variantu jsem opustila z mnoha důvodů. Prvním je nedostatečná pohodlnost používání. Například vedení kabelů mezi robotem a kontrolerem by bylo viditelné a mohlo by být nepraktické. Také by nebylo dosaženo dostatečné stability.

Dále jsem začala pracovat s platformou takového tvaru, aby bylo možné umístit dovnitř kontroler. Zvažovala jsem návrh, který by umožnil celý kontroler vyjmout a manipulovat s ním samostatně. Toto řešení jsem nakonec zamítla, protože by to znamenalo mnoho konstrukčních problémů, například zapojení kabelů do kontroleru. Došlo by k narušení konceptu produktu, což je jednoduché a rychlé používání.

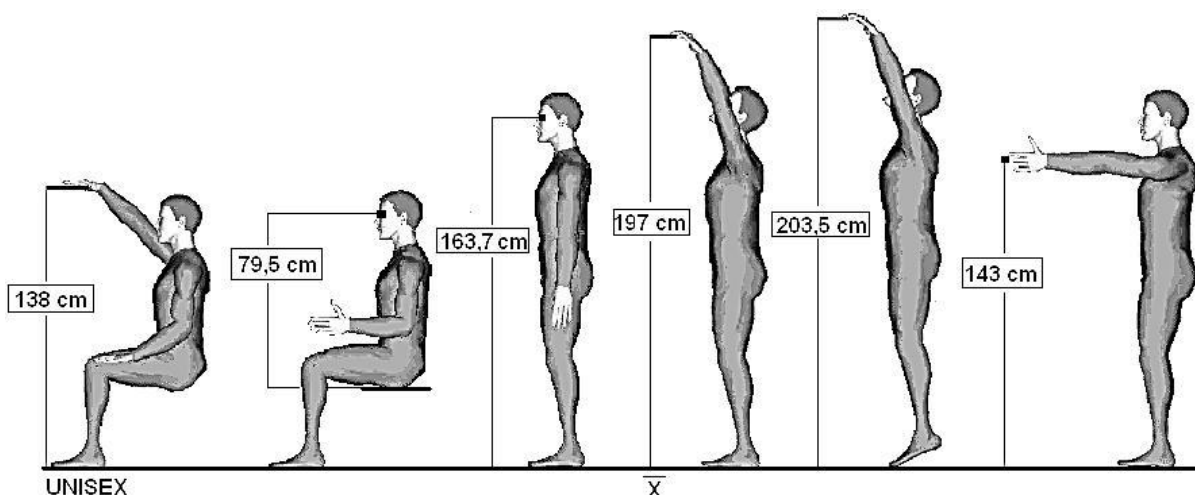


Obrázek 10: První návrhy tvarování

4.2 Rozměry mobilní platformy

Důležitým prvkem návrhu bylo stanovení rozměrů mobilní platformy. Snažila jsem se, aby byla platforma co nejmenší. Hlavním důvodem pro toto rozhodnutí bylo omezený prostor v místě pracoviště. Příliš velká stanice by zabírala mnoho místa ve výrobní hale a na některé aplikace by ji kvůli nedostatku prostoru nebylo možné použít. Jednotlivé parametry mnohokrát změnila, abych dokázala najít optimální velikost. Tyto rozměry jsem si ověřovala na papírovém modelu. Rozměry platformy byly výrazně ovlivněny konstrukčním řešením.

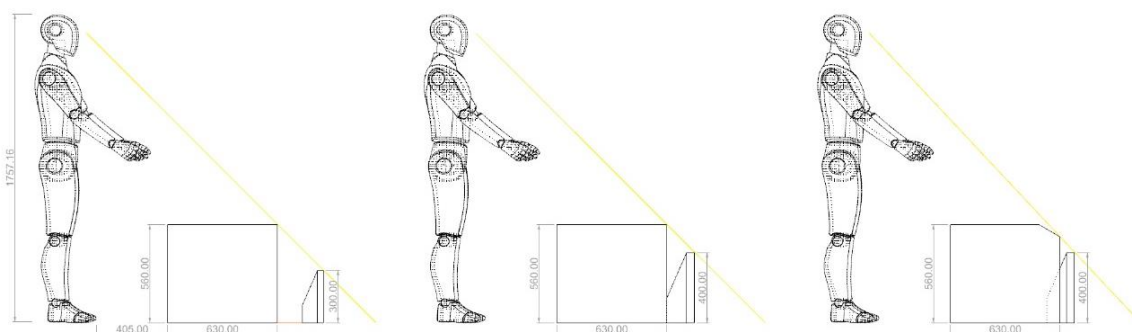
Prvním aspektem byl výsuvný sloup. Potřebovala jsem, aby byl robot při plném vysunutí alespoň 900mm vysoko. Vycházela jsem z pravidel ergonomické práce pro lidskou postavu. Navazuji na rozměry ideální pro lidské pracovníky z toho důvodu, že výrobní procesy jsou většinou přizpůsobeny právě jim. Výška pracoviště je nastavena tak, aby odpovídala pracovní rovině stojící nebo sedící osoby. Mobilní platforma je navržena tak, aby kolaborativní robot a operátor mohli sdílet společný prostor. Ať už v jednu chvíli, například každý na jedné straně pracovní plochy, nebo v jiný moment, když operátor pracuje sám na stanovišti, kde se robot zrovna nenachází. Manipulační rovina stojící nebo sedící osoby odpovídá přibližně výšce lokte nad podlahou. V dokumentu s názvem „Základní kritéria a parametry ergonomického hodnocení“ vydaném Masarykovou univerzitou je pracovní rovina definována takto: „Pro českou populaci je v závislosti na tělesné výšce v rozpětí 95 -120 cm, při práci vsedě 20 – 35 cm nad sedadlem. Při práci vyžadující zvýšené nároky na zrak se zvětšuje výška roviny o 10 až 20 cm nad loktem, při manipulaci s těžkými předměty se snižuje o 10–20 cm pod loktem.“³⁷



Obrázek 11: Ergonomie lidské postavy

Kromě pracovní výšky robotu ovlivnil rozměry platformy také potřebný prostor na ovládací box. Navrhovala jsem tento prostor poměrně velký, a to ze dvou důvodů. Prvním je snaha, aby bylo možné platformu využít pro co nejširší škálu kolaborativních robotů. Každá značka má ovládací box v jiných rozměrech. Proto jsem chtěla vytvořit velký prostor, který umožní implementaci maximálnímu počtu značek robotů. Tím druhým je pak pohodlí při zapojování. Po uložení ovládacího boxu robotu do platformy je potřeba zapojit označené dráty do svorkovnice. Chtěla jsem, aby měl pracovník, který bude tento úkon vykonávat, dostatek místa na práci i uložení kabelů. Vedlejším produktem tohoto rozhodnutí je také lepší chlazení.

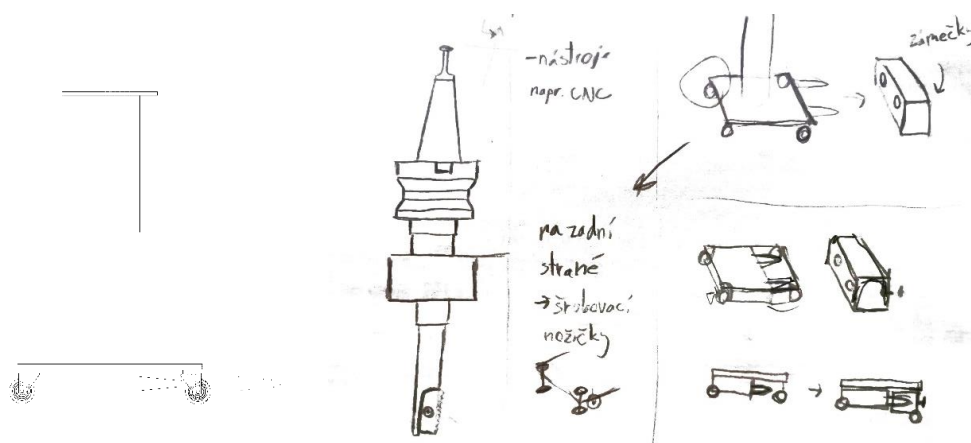
Dalším aspektem, který vstupoval do rozhodnutí o rozměrech platformy, byla konstrukce rukojeti. Tento prvek návrhu byl velkou výzvou. Vyzkoušela jsem mnoho variant, než jsem našla tu, kterou považuji za nejlepší. Co se týče šířky mobilní platformy, kromě potřeby pohodlného úchopu rukojeti ji ovlivnila také dokovací stanice. Stanice může být pouze tak široká, jako je vzdálenost mezi předními kolečky platformy. Nejvíce však tento rozměr ovlivnil tlak na příčnou stabilitu. K transportu platformy dochází i s robotem uloženým nahoře a pokud by byl některý s půdorysných rozměrů příliš malý, mohlo by dojít k překlolení. Důležitým prvkem bylo také najíždění do stanice. Pokud by byla platforma příliš vysoká nebo příliš dlouhá, najíždění do dokovací stanice by bylo obtížnější. Snažila jsem se proto velikostní platformy i výškou dokovací stanice dosáhnout co nejvíce ergonomické varianty. Aby byl dosažen dobrý výhled na stanici, seřízla jsem přední hranu platformy. Díky této úpravě má operátor vizuální kontakt se stanicí co nejdelší dobu. Finálními rozměry jsou tedy nakonec 430mm x 550mm x 630mm.



Obrázek 12: Testování zorného pole uživatele

4.3 Dokovací stanice

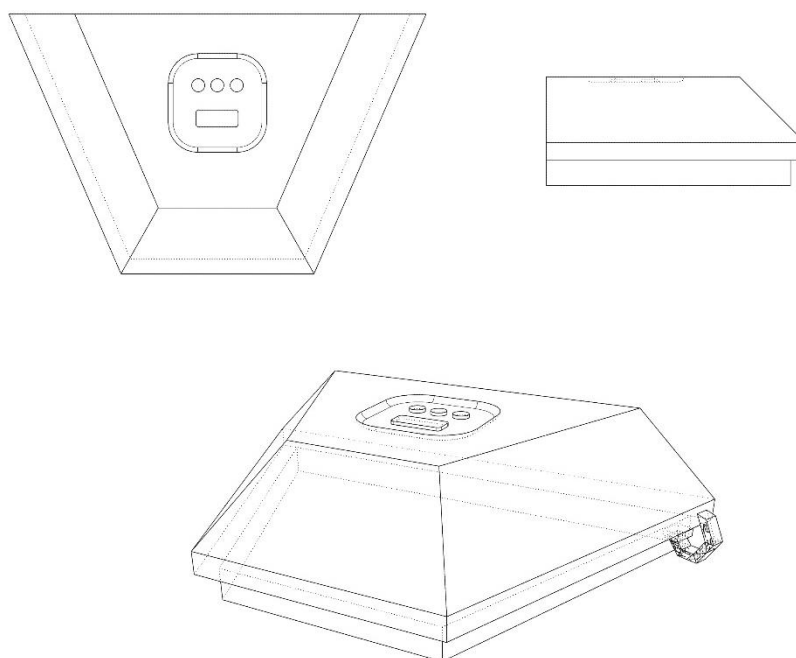
Už poměrně brzy v procesu analýzy jsem se rozhodla použít dokovací stanice. Tento systém poskytuje výjimečné uživatelské pohodlí a přináší návrhu velkou přidanou hodnotu. Také výrazně zrychluje a zjednodušuje proces změny pracoviště kolaborativního robotu, čímž pomáhá dosáhnout větší efektivity výroby. Dokovací stanice má dvě hlavní funkce. Zakotvení platformy a zavedení přívodních kabelů. Zakotvení platformy, a současně tedy i robotu, na přesně určené místo, je pro správnou funkci robotu naprosto klíčový bod, neboť přesnost robotu se rovná přesnosti jeho uložení. Seběmenší odchylka od dané pozice se projeví v práci a robotu a může mít za následek jeho poškození. Proto jsem přesnosti a pevnosti spojení věnovala velkou pozornost. Konkrétní podoba a tvar dokovací stanice se v průběhu navrhování měnil. Zkoušela jsem různé varianty, abych našla tu nejvhodnější. Rozhodnutí o tvaru dokovací stanice bylo velmi důležité pro další navrhování, protože velmi ovlivňuje vnitřní uspořádání i rozměry celé platformy.



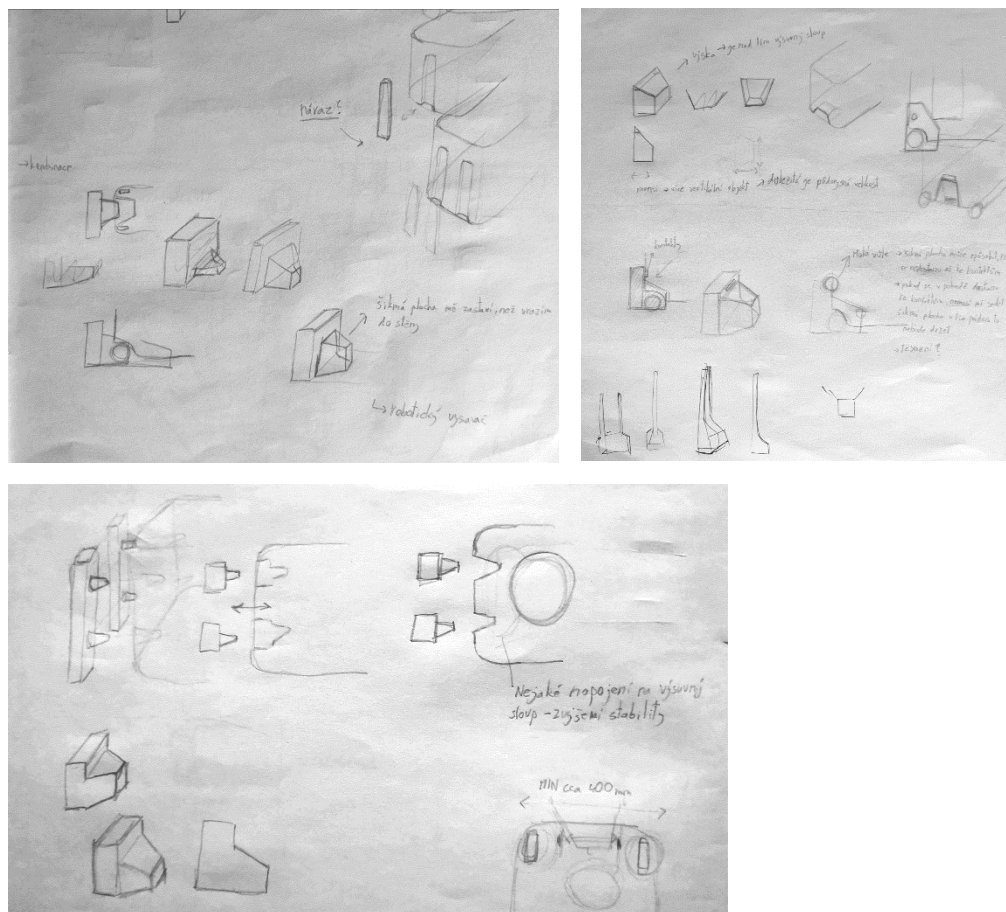
Obrázek 13: První návrhy systému fungování dokovací stanice

Úplně první návrh obsahoval použití kuželů, které by zajížděly do stanice. Tvar kuželu jsem zvolila proto, že tento tvar umožňuje zajet na přesně určené místo, i když platforma nejede úplně přesně. Stačí najet přibližně správně a tvar kuželů zavede uživatele na správnou pozici. To je důležitý prvek, se kterým pracují i všechny ostatní varianty platformy. Podobný systém se využívá například při výměně koncových nástrojů různých strojních zařízení. V tomto řešení jsou kužely umístěny na pohyblivé platformě a protikus je připevněn k podlaze v místě pracoviště. Pro zamčení platformy by byly použity elektromagnety. Tato varianta není vhodná z několika důvodů. Prvním je obtížné zajíždění do stanice, protože je nízká a tedy z pozice operátora špatně viditelná. Dalším nedostatkem je přívod kabelů, na který nezůstává příliš mnoho místa. Hlavním problémem je však stabilita. Kvůli tomu, že je stanice nízko u podlahy by nedokázala poskytnout dostatečnou oporu pro výsuvný sloup.

Dále jsem pracovala s touto variantou dokovací stanice. Místo kuželů jsem použila zešíkmené stěny, které plní stejný účel. Tento návrh počítá s tím, že by byla stanice dostatečně nízká na to, aby mohla platforma najet nad ni. S touto variantou jsem pracovala poměrně dlouho. V spodní části platformy se nachází protikus ke stanici. Tyto dva díly do sebe přesně zapadají a zajišťují, že bude platforma vždy na přesně stejném místě. Platforma najede do stanice, kde se zafixuje pomocí výsuvných zámků znázorněných na obrázku. Kabele jsou přivedeny zezadu do stanice a vyvedeny do konektorů na její horní části, na které se platforma po zakotvení shora připojí. Tato varianta má podobnou nevýhodu jako ta předchozí, a tou je nedostatečná stabilita. Tím, že je stanice nízká, sice zajistí přesné umístění platformy, ale nemusela by poskytnout dostatečnou oporu sloupu při jeho plném vysunutí. V takovém případě by mohlo dojít k rozkmitání robotu a tím k snížení přesnosti a riziku poškození. Současně je kvůli malé výšce těžké se do stanice trefit při manipulaci s platformou, protože uživatel velmi rychle ztratí vizuální kontakt. Dalším tématem, které při navrhování stanice vyplynulo, je problém s umístěním ve výrobě. Stanice musí být napevno uchycena k podlaze v místě, kde může robot pracovat. Je potřeba zajistit, aby co nejméně překážela v momentech, kdy se robot nachází na jiném pracovišti. Během konzultací jsme dospěli k tomu, že větším problémem než výška je půdorysná velikost stanice. Snažila jsem se proto dále modifikovat tento návrh a hledat vhodnější řešení.



Obrázek 14: Návrh tvaru dokovací stanice



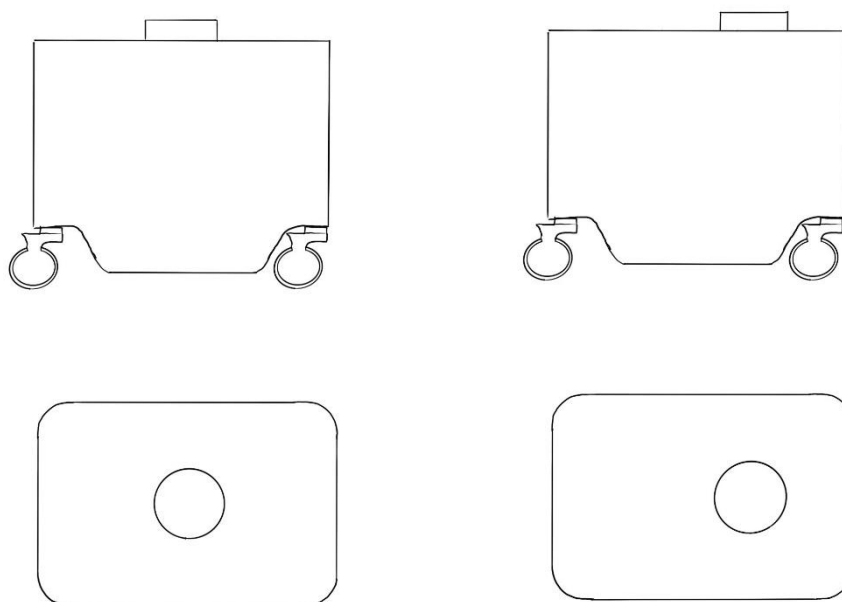
Obrázek 15: Návrhy dokovací stanice

Začala jsem proto co nejvíce rozšiřovat pole variant tvarování dokovací stanice. Zachovala jsem funkční charakteristiky předchozího návrhu a snažila se najít řešení, které nebude mít jeho nedostatky. Zkoušela jsem více prozkoumat variantu vertikální stanice. Takové řešení by umožňovalo pohodlnější najíždění do stanice, protože by ji uživatel neztratil z dohledu. Současně by bylo možné dosáhnout výrazně menší půdorysné velikosti. Uvažovala jsem nad použitím párové stanice, tedy dvou separátních dílů. Toto řešení jsem ale nakonec zamítla kvůli nedodatečné stabilitě a prostoru na konektory při zachování poměrně velkého objemu. Začala jsem tedy pracovat s variací na předchozí řešení. Využila jsem stejné principy tvarování, ale zmenšila jsem základnu stanice a naopak ji zvětšila do výšky. Samotná výška stanice mi však nezajistí stabilitu uchycení. Je potřeba, aby stanice zasahovala do hloubky platformy a zabránila tak pohybu na jejím opačném konci. Zde jsem narazila na konstrukční limitaci. V přední části platformy má být kromě protikusu stanice uložen také výškový sloup. Ten může být uložen jen tak blízko přední hraně, jak mu to umožňuje právě stanice. Musela jsem tedy zvolit kompromis mezi uložením sloupu a hloubkou stanice, kterým se nakonec stal rozměr 120mm.

4.4 Uložení výsuvného sloupu

V platformě se nachází válec, na kterém je umístěn kolaborativní robot. Tento sloup je možné vysunout a tím přizpůsobit vhodnou pracovní výšku robotu. Během navrhování jsem se zabývala otázkou, kde by měl být sloup umístěn. Pracovala jsem se dvěma variantami, umístění sloupu uprostřed, nebo v přední části platformy. Při umístění sloupu na střed platformy by bylo možné dosáhnout větší podélné stability, primárně při převážení mezi pracovišti. Vzniklo by více prostoru pro dokovací stanici, na druhou stranu by ale ubylo místo na kontroler. Robot by měl při tomto konstrukčním řešení také horší přístup k pracovišti, které je umístěno před ním. Dosah do stran je u obou variant stejný. Tím, že je u této varianty platforma vysunuta směrem do pracovního prostoru, je také více vystavena škodlivým vlivům, jako jsou různé brusné kapaliny, oleje, barvy, prach a podobně.

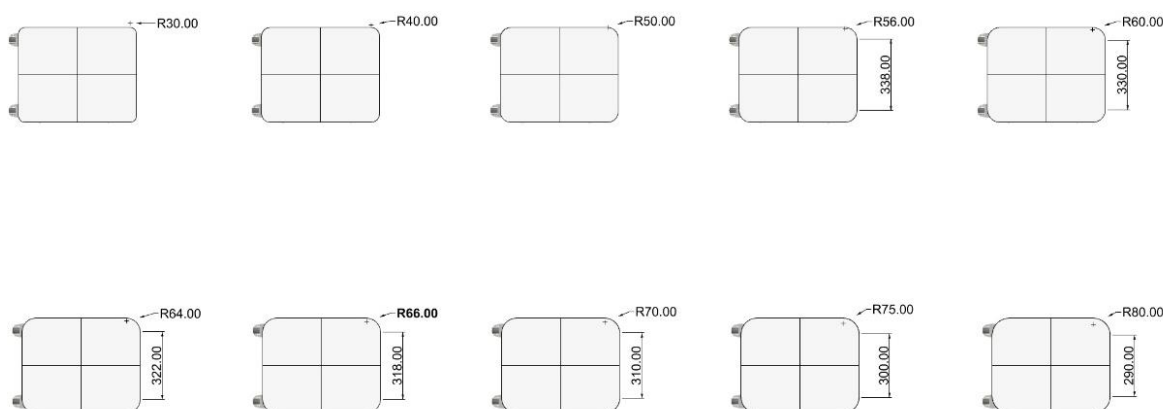
Umístěním sloupu, a tedy i robotu, do přední části platformy lze dosáhnout většího dosahu na pracoviště. Měla jsem obavu, že při tomto řešení bude narušena stabilita při převážení a platforma bude mít tendenci se naklánět dopředu. Tomuto problému je možné zabránit nastavením polohy robotu při přemísťování tak, aby se těžiště přesunulo blíže ke středu. Současně se na opačném konci platformy nachází kontroler, který je poměrně těžký a tvoří tak protiváhu ke sloupu a robotu.



Obrázek 16: Varianty uložení výsuvného sloupu

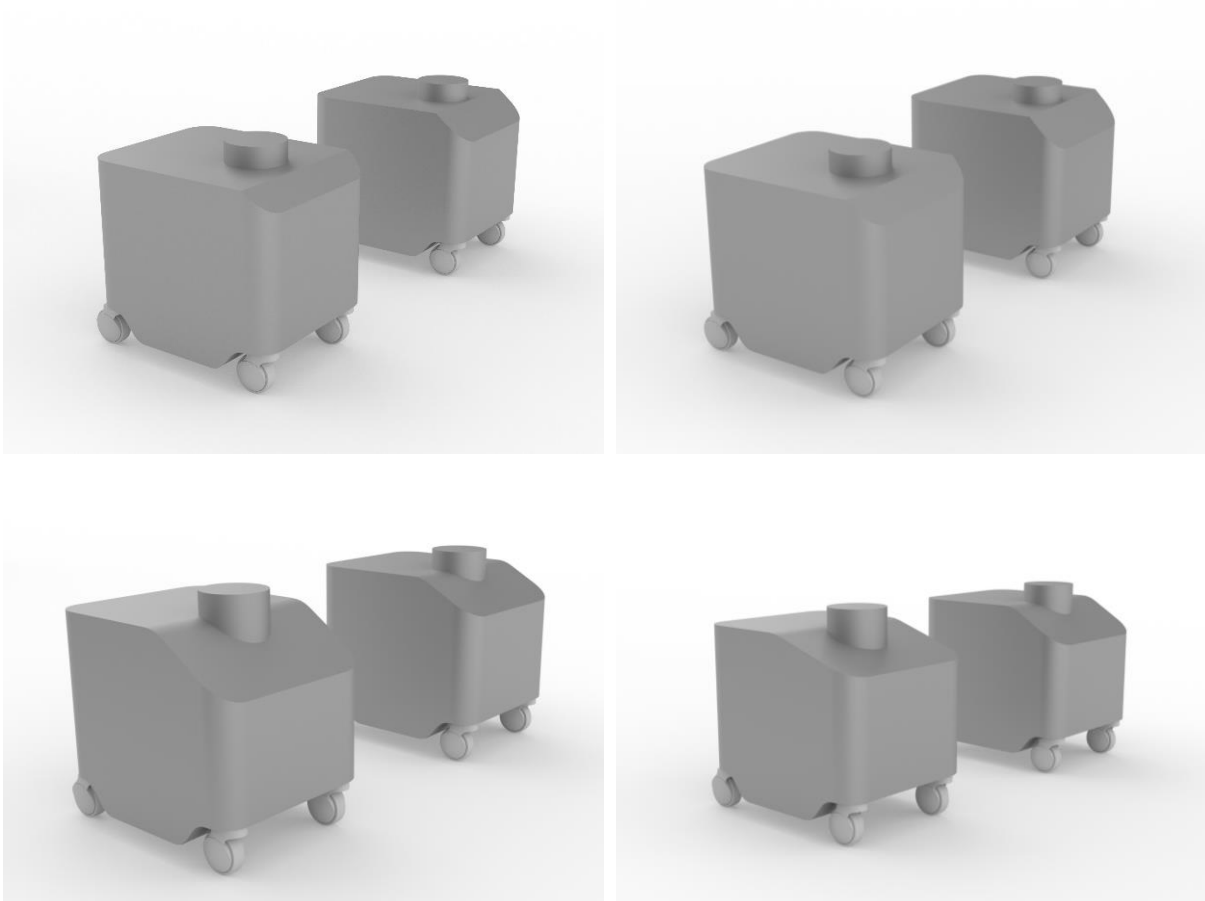
4.5 Tvarování platformy

Při navrhování platformy jsem se snažila reflektovat tvarování kolaborativních robotů. Tyto dva produkty mají fungovat společně a jejich výraz by tomu měl odpovídat. Kolaborativní roboty jsou typické svými zaoblenými hranami a měkkým tvarováním. U robotů je tomu tak i z bezpečnostních důvodů, ostré hrany by mohly snáze někoho zranit. Rozhodla jsem se proto také pracovat se zaoblením. Vyzkoušela jsem mnoho variant a nakonec se rozhodla použít zaoblení rádiusem 66mm. U většího zaoblení jsem se zaměřovala také na to, jak to ovlivní rovnou plochu platformy v přední části, do které bude zajíždět dokovací stanice. Na modelech zaoblení jsem počítala s délkou platformy pouze 560mm. Tento rozměr jsem po konzultacích v ateliéru zvětšila až na finální délku 630mm. Půdorysný tvar se příliš blížil čtverci a prodloužení platformy do délky jí dodalo směrovost a větší pocit stability. Prodloužení mi také pomohlo s konstrukčním řešením rukojeti.

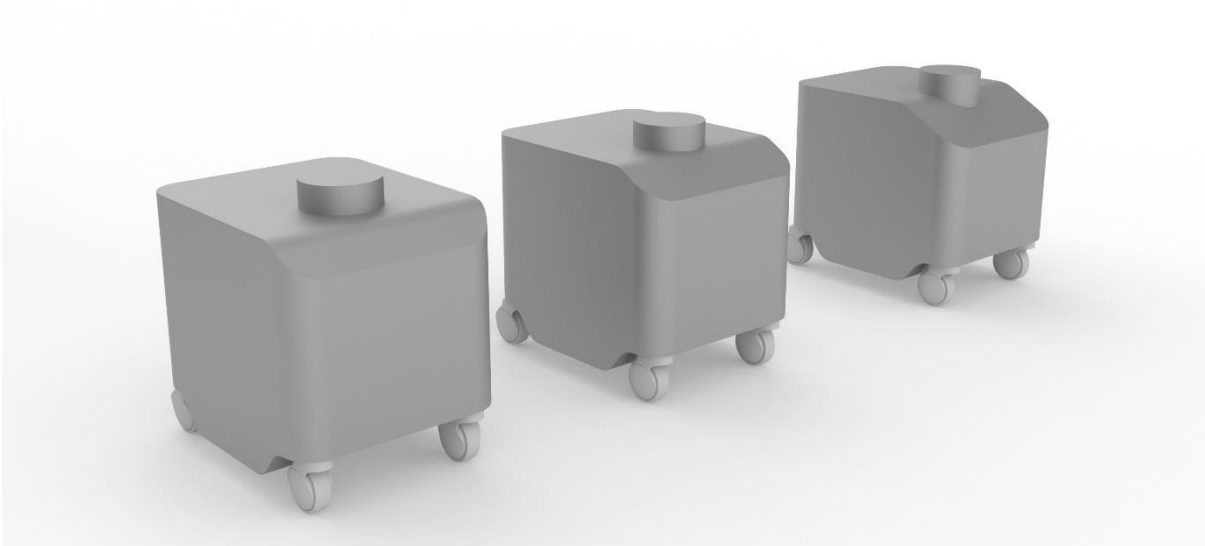


Obrázek 17: Varianty zaoblení hran platformy

Po zvolené vhodné zaoblení jsem se začala zabývat seříznutím přední hrany. Tento prvek slouží primárně k lepšímu výhledu na dokovací stanici při zajíždění. Díky seříznutí se prodlouží doba, kdy operátor vidí stanici, a to bez nutnosti snižování výšky celé platformy. Další výhodou tohoto prvku je, že produktu dodává směrovost a pomáhá pochopit, jak se s platformou manipuluje. Zkoušela jsem použít různé úhly a úrovně seříznutí a pokaždé byl výsledkem jiný výraz produktu.



Obrázek 18: Varianty seříznutí přední hrany

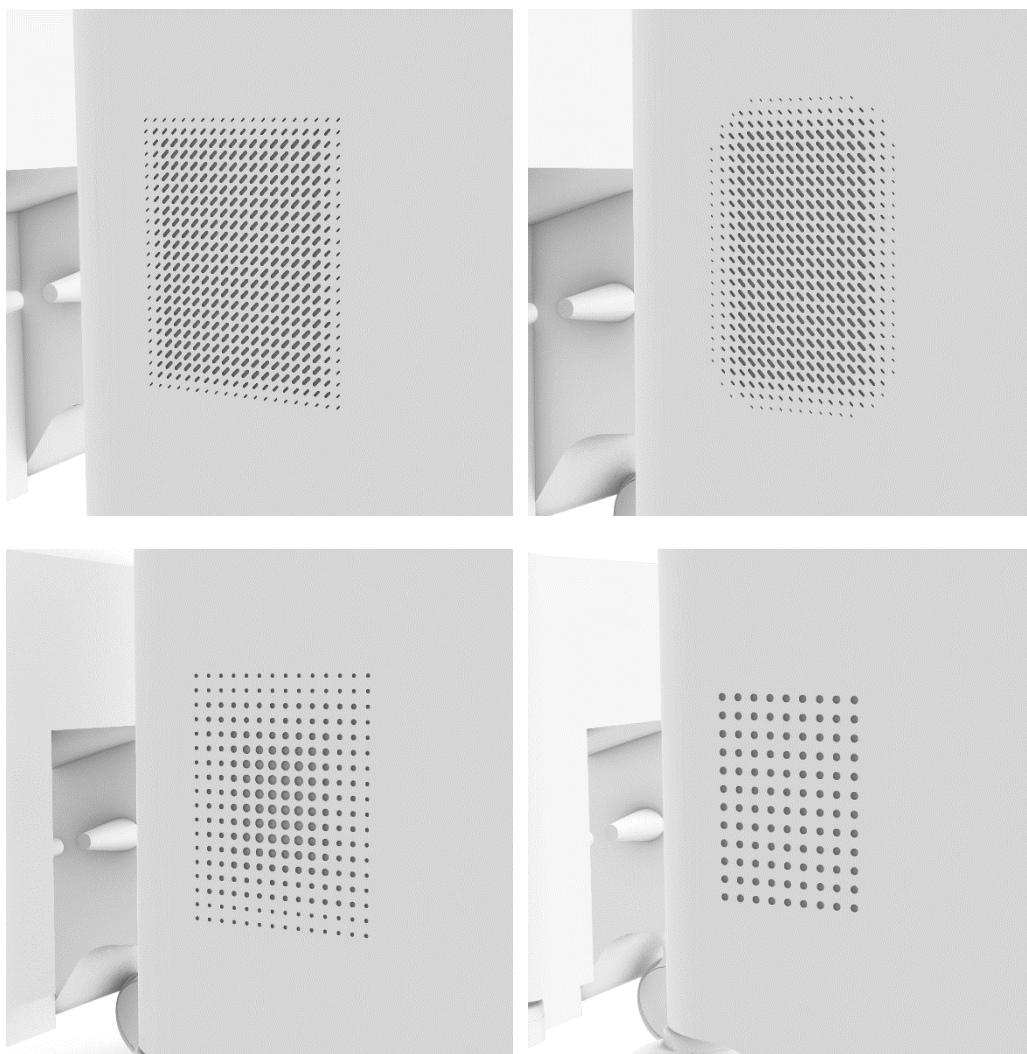


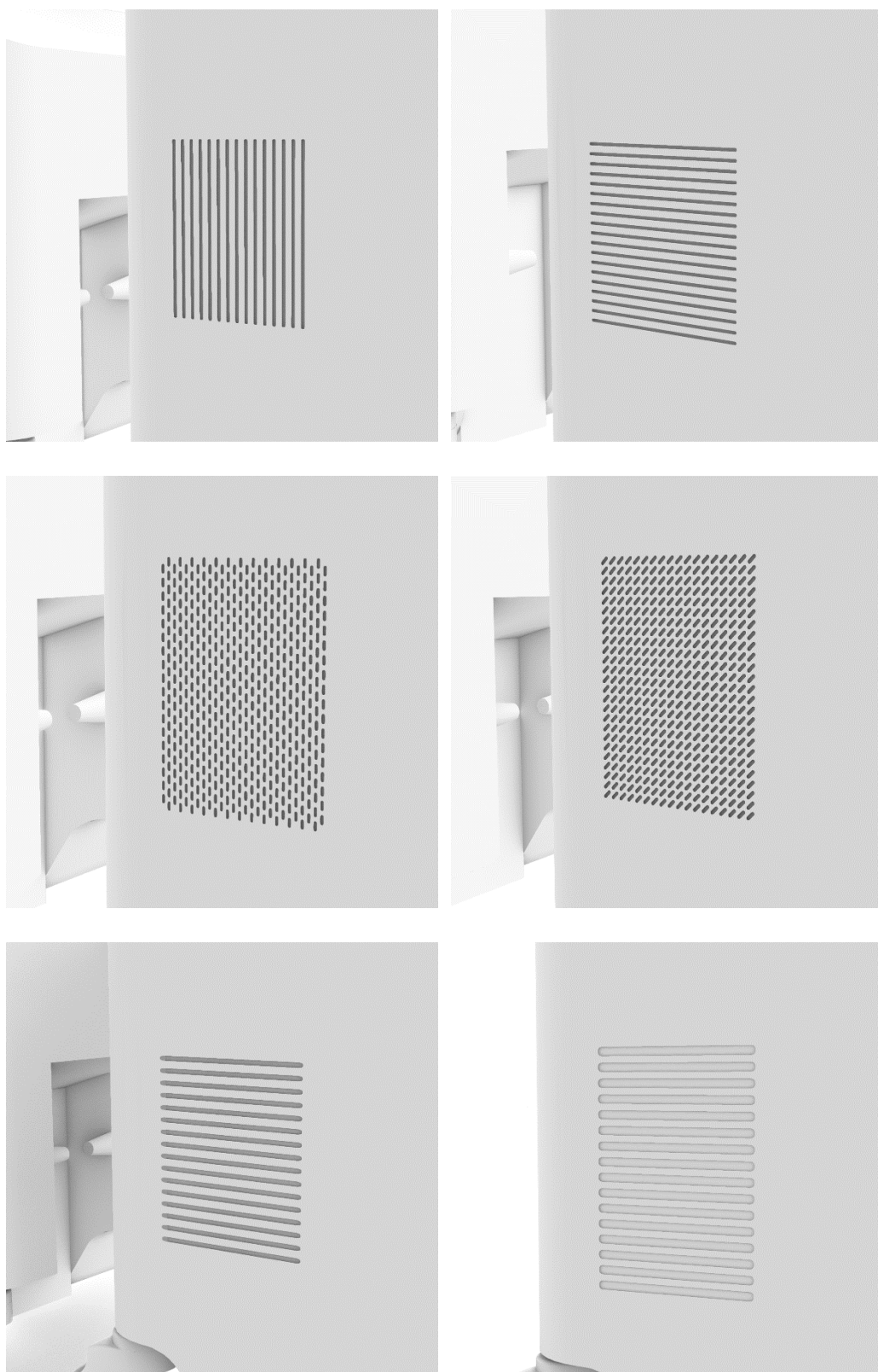
Obrázek 19: Výběr tří možností seříznutí přední hrany

Z těchto variant jsem vybrala tři varianty, které jsem považovala za nejlepší. Zvolila jsem jeden návrh z kategorie s malým seříznutím, jeden s větším a nakonec jsem vytvořila třetí model, který představoval střední cestu. Tento návrh jsem nakonec vybrala jako nejlepší a dále pracovala s ním. U každé z variant jsem testovala také různé rádiusy zaoblení horní hrany, která vznikla. I když se mi návrhy s ostrou hranou líbily, rozhodla jsem se ji zaoblit, aby kopírovala tvarování výřezu na kola ve spodní části platformy.

4.6 Větrací mřížka

V zadní části platformy je uložen ovládací box robotu. Je to počítač, který přijímá instrukce od programu nebo uživatele a následně na jejich základě řídí pohyby robotu. Tento počítač se během práce zahřívá a je proto třeba, aby byl opatřen chlazením. Na stranách prostoru, kde je uložen, jsou pro tento případ vytvořeny otvory. Během navrhování jsem se zabývala také designem této větrací mřížky. Otvory musejí být dostatečně malé, aby do nich nevletěly větší nečistoty nebo aby do nich nebylo možné dát prst. Za touto mřížkou se nachází ještě filtr, který zabraňuje pronikání prachu dovnitř do platformy. Během navrhování jsem se zabývala různým tvarováním otvorů.





Obrázek 20: Varianty větrací mřížky

Nakonec jsem pro finální podobu větrací mřížky zvolila tvar malých obdélníků se zabalenými rohy. I když mi varianty s různě velkými otvory připadaly velmi zajímavé, nakonec jsem je zamítla. Hlavním důvodem byly náklady na výrobu. Pokud se jednalo o komplikované, nepravidelné tvary, musely by se otvory vypálit na laseru. V případě jednoduchých tvarů v pravidelném uspořádání je možné použít raznici. Tím se výrazně zkrátí výrobní čas a také sníží náklady. Ve finálním návrhu jsem výřezy naklonila o 45 stupňů doleva, aby kopírovaly úhel madla.

5. Prototypování a testování

Prototypování představuje klíčový prvek v procesu tvorby návrhu. Vytvoření fyzických modelů umožňuje designérovi ověřit si fungování hmoty v reálném prostředí. Tato fáze vývoje nabízí nejen příležitost získat praktické poznatky, ale slouží také jako prostředek k identifikaci potenciálních problémů a nalezení vhodných řešení. Prostřednictvím vytvoření fyzického modelu jsem získala mnoho cenných poznatků o funkčnosti některých systémů a technických aspektů projektu, které bych jinou cestou získat nedokázala. Fáze prototypování a testování je klíčová pro každý návrh, ale v tomto konkrétním projektu hrála ještě významnější roli. Návrh je silně zaměřen na zkoumání nových konstrukčních řešení a na přístup ke známým problémům z jiné perspektivy. Testování pomocí papírových modelů sice nemůže zcela nahradit funkční prototyp, nicméně poskytuje zásadní informace. I když není možné definitivně ověřit funkčnost procesů v reálných podmínkách, pomáhá tento přístup určit, zda má smysl návrh dále rozvíjet. Prototypování mi nejen umožnilo posoudit praktickou použitelnost návrhu, ale především posunulo můj projekt do další fáze vývoje.

Konkrétně jsem se rozhodla vytvořit papírový model celého systému, zahrnující mobilní platformu spolu s maketou kolaborativního robotu a dokovací stanici. Tento prototyp nabízel možnost simulovat scénáře, které by mohly nastat během používání výrobku. Jedním z kritických momentů bylo ověřit možnost zajíždění platformy do dokovací stanice. Tento proces tvoří velkou část mého návrhu a proto bylo velmi důležité zjistit, zda má smysl tímto směrem pokračovat. Díky manipulaci s fyzickým modelem jsem také objevila mnoho témat, které jsem mohla dále rozpracovávat. Jedním je například viditelnost stanice při manipulování s platformou, na které je umístěn kolaborativní robot. Ten se nachází uprostřed přední části, takže uživateli zasahuje do výhledu. Díky úpravám v návrhu, které jsem na základě testování udělala, jsem dokázala všechny problematické momenty, které jsem objevila, odstranit.



Obrázek 21: Kartonový model mobilní platformy

Vyrobila jsem model kolaborativního systému v měřítku 1:1, abych mohla otestovat kromě funkčnosti také rozměry platformy. Tělo modelu mělo výšku 570mm, délku 560 a šířku 310. I na základě informací, které jsem získala díky tomuto prototypu jsem rozměry několikrát upravovala a měnila, aby co nejlépe odpovídaly konstrukci produktu. Nejdůležitějším bodem pro testování byl proces zajištění do dokovací stanice. Měla jsem ohledně toho hodně domněnek, které však bylo možné potvrdit nebo vyvrátit pouze pomocí fyzického ověření. Proto bylo nutné, aby byl prototyp pohyblivý. Do papírového modelu jsem umístila cestovní kufr se čtyřmi kolečky. Díky tomu bylo možné vyzkoušet manipulaci s platformou včetně zajištění do dokovací stanice. Tento prvek je pro můj návrh klíčový a vzhledem k tomu, že ho žádná s existujícími firmami nepoužívá, bylo třeba ověřit jeho funkčnost.

Největší obavou bylo, že proces zajíždění do dokovací stanice bude příliš náročný a bude obtížné se trefit. Tomu jsem se snažila předejít zkosením všech stěn stanice, bylo ale potřeba to ověřit. Poprosila jsem proto mého testovacího uživatele, aby se pokusil zajet do stanice, aniž bych mu dávala další informace. Chtěla jsem vidět, jak bude k problému přistupovat. Tento pokus jsem také nahrávala na video, abych ho mohla následně analyzovat. Uživatel přistoupil k platformě, chytil madlo, lehce se vyklonil, aby se podíval, kde se nachází stanice a pak do ní zajel bez snížení rychlosti a dalšího pozorování její polohy. Díky zkoseným hranám stanice to nebyl problém, protože šikmá plocha platformu navede do správné pozice. Důležitým prvkem pro tento mechanismus jsou otočná kolečka. Na platformě jsem použila kolečka značky Steinco, která jsou otočná o 360 stupňů a umožní tak jemné manévrování do všech směrů. Testovací zajíždění do stanice jsem zkoušela několikrát a s různými podmínkami. Například jsem požádala testovacího uživatele, aby zajel do stanice co nejvíc špatně a i tento pokus skončil úspěchem. Zajíždění jsem testovala také na sobě. Jelikož jsem menší, dříve jsem ztratila stanici z dohledu. Zkoušela jsem proto měřit zorné pole, konkrétně jak daleko od přední části platformy se nachází stanice v poslední moment, kdy ji uživatel vidí. Při výšce operátora 165cm byla celá stanice viditelná při vzdálenosti 28cm od platformy a 18cm vzdálená, když byla viditelná pouze její špička. Při výšce 185cm byla špička stanice viditelná, když byla 14cm daleko.



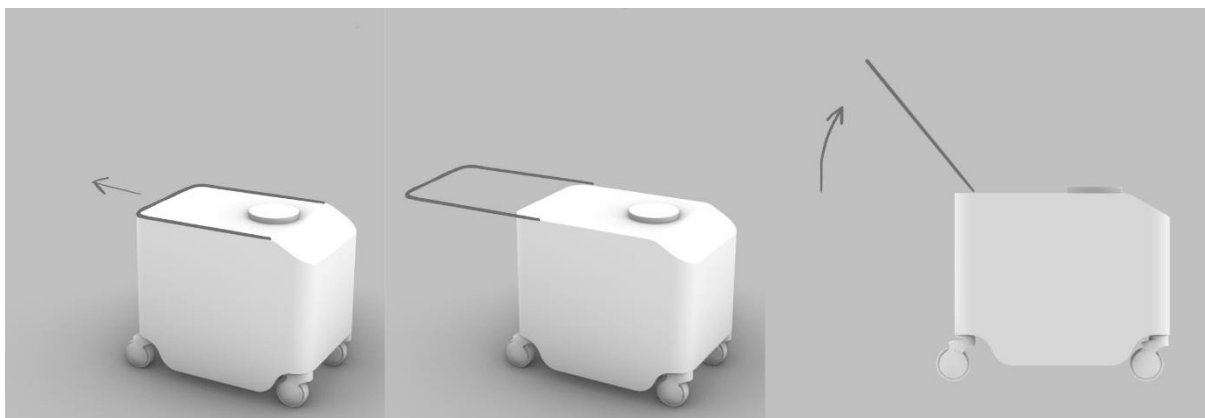
Obrázek 22: Testování ergonomie návrhu

Během testování jsme neměli problém do stanice zajet, je ovšem potřeba brát v potaz, že se jedná pouze o nedokonalý papírový model. Proto jsem návrh dále upravovala, aby bylo zajíždění ještě jednodušší a jistější. Rozhodla jsem se seříznou přední hranu, díky čemuž se výrazně zlepšil výhled na stanici. Rozhodla jsem se o něco zvýšit i samotnou stanici. Díky těmto úpravám má operátor vizuální kontakt se stanicí i ve chvíli, kdy už je její přední část za hranou platformy.

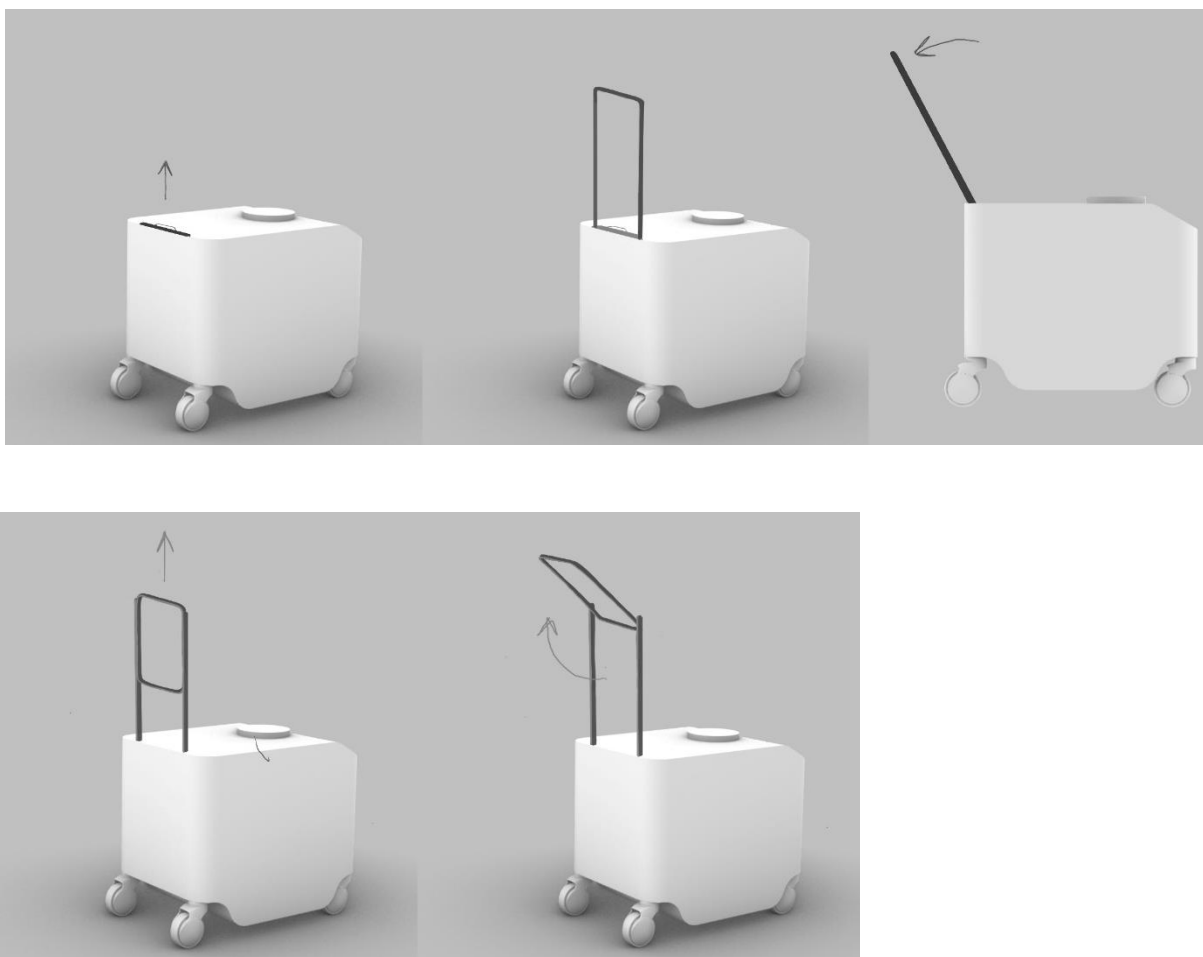
Díky pohyblivému prototypu jsem měla možnost udělat řadu dalších videí, na kterých je vidět, jak uživatel s produktem interaguje. Tato videa jsem mohla následně analyzovat a během navrhování se k nim vracet. Zjistila jsem z nich například to, jak daleko od platformy se uživatel nachází a tím pádem kolik prostoru je potřeba pro pohodlnou chůzi. Na papírovém modelu je rukojeť umístěna 110cm nad zemí. Zjistila jsem, že pro uživatele s výškou 185cm (na fotce) je tato výška pohodlná, ale pro uživatele s výškou 165cm je to příliš vysoko. Vzhledem k tomu, že průměrná výška muže v České republice je 177,8cm a průměrná výška ženy je 164,9cm, rozhodla jsem se rukojeť umístit o něco níž.³⁸ Mezi uživateli v mé cílové skupině se totiž mohou vyskytovat jak muži, tak i ženy. Umístěním madla níž je také možné dosáhnout lepšího rozložení síly a platforma bude mít menší tendenci překlápět se dopředu.

Rukojeť

Velkou výzvou byl návrh konstrukce rukojeti platformy. Největším problémem byla velikost. Rozhodla jsem se pro použití výsuvného madla, aby během práce robotu nepřekáželo. Snažila jsem se minimalizovat rozměry platformy, aby její používání nevyžadovalo velké množství prostoru na pracovišti. Nevýhodou se stalo to, že žádný z rozměrů platformy neposkytoval dostatečnou délku pro uložení výsuvné rukojeti. Nechtěla jsem však zvětšovat platformu a tím potenciálně omezovat její využití pouze kvůli madlu. Tímto tématem jsem se zabývala intenzivně, protože nebylo jednoduché najít vhodné řešení. Zkoušela jsem mnoho variant, zde jsou uvedeny ty, nad kterými jsem nejvíce uvažovala.

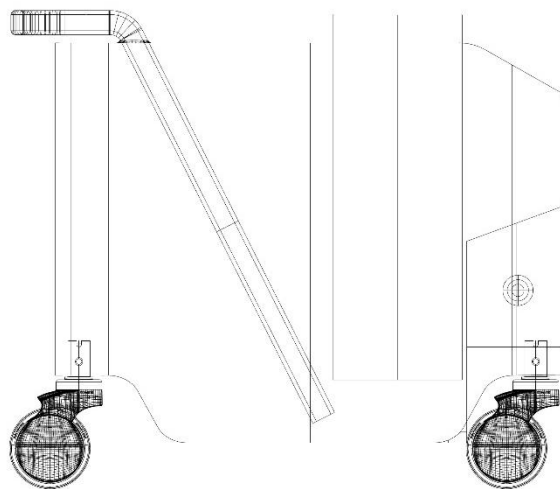


Obrázek 23: Návrh konstrukce madla

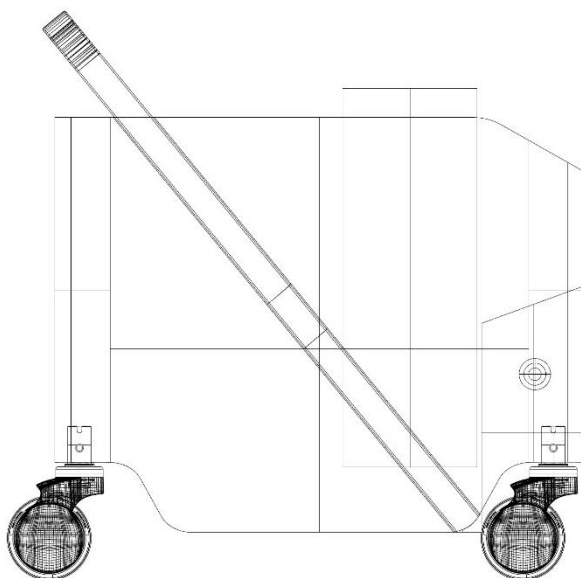


Obrázek 24: Návrhy konstrukce madla

Všechna řešení vyžadovala kromě vysunutí ještě jeden pohyb navíc, protože při pohybu pouze nahoru nemá uživatel dostatek prostoru pro chůzi během manipulování s platformou. Počítala jsem s prostorem alespoň 370mm mezi operátorem a hranou platformy. Dvojí pohyb nejen že snižoval uživatelskou přívětivost, ale také komplikoval konstrukci. U druhých dvou návrhů jsem navíc narazila na problém se šířkou madla. Kvůli zaobleným hranám platformy musejí být poměrně úzká a neposkytují dostatek prostoru pro ruce. Rozhodla jsem se proto pro zasouvání rukojeti diagonálně. To je jediný rozměr, který poskytoval dostatečnou délku, i když s nevelkou rezervou. Abych dosáhla pohodlného používání, musela jsem návrh ještě trochu upravit. Zabývala jsem se konkrétním tvarováním madla. V rámci tohoto úkolu jsem se snažila najít řešení, které by co nejméně ovlivňovalo tvar platformy. Zvažovala jsem návrh, ve kterém je horní část madla zapuštěna do platformy a tvoří její horní hranu. Tento prvek by však výrazně zkomplikoval výrobu. Pracovala jsem také s variantou, v níž rukojeť tvarově kopíruje platformu, ale nenarušuje její tvar. Samotné zakřivení madla však působilo příliš komplikovaně a jeho výroba by také nebyla snadná. Finálním návrhem se tak stala na první pohled velmi jednoduchá konstrukce.

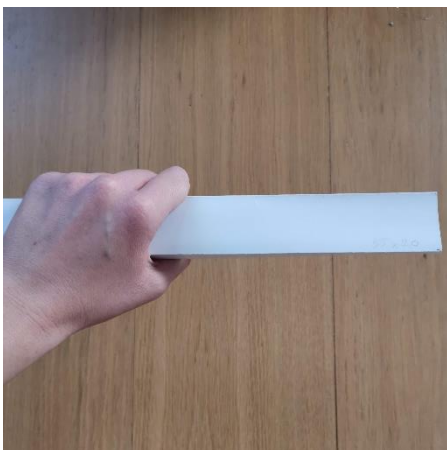
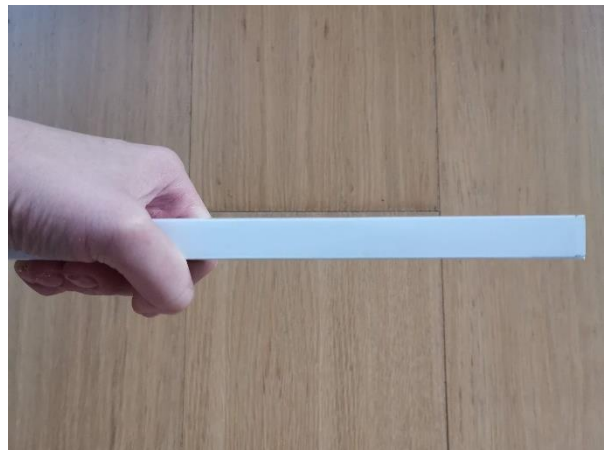


Obrázek 25: Varianta konstrukce madla



Obrázek 26: Finální konstrukční varianta madla

Po nalezení nejlepší konstrukční varianty madla jsem potřebovala vyřešit jeho konkrétní podobu. Jedná se o součást vyrobenou ohýbáním obdélníkového jeklu. Snažila jsem zjistit, jaký profil použít. Vyrobila jsem proto papírové modely, abych viděla jejich velikost v realitě. Testovala jsem jekly o velikostech 15mm x 35mm, 15mm x 40mm a 20mm x 40mm. Nejmenší profil jsem vyloučila a rozhodovala se mezi dvěma většími variantami. Po konzultacích jsem nakonec zvolila variantu 20mm x 40mm. Hlavním důvodem byl větší pocit pevnosti madla.



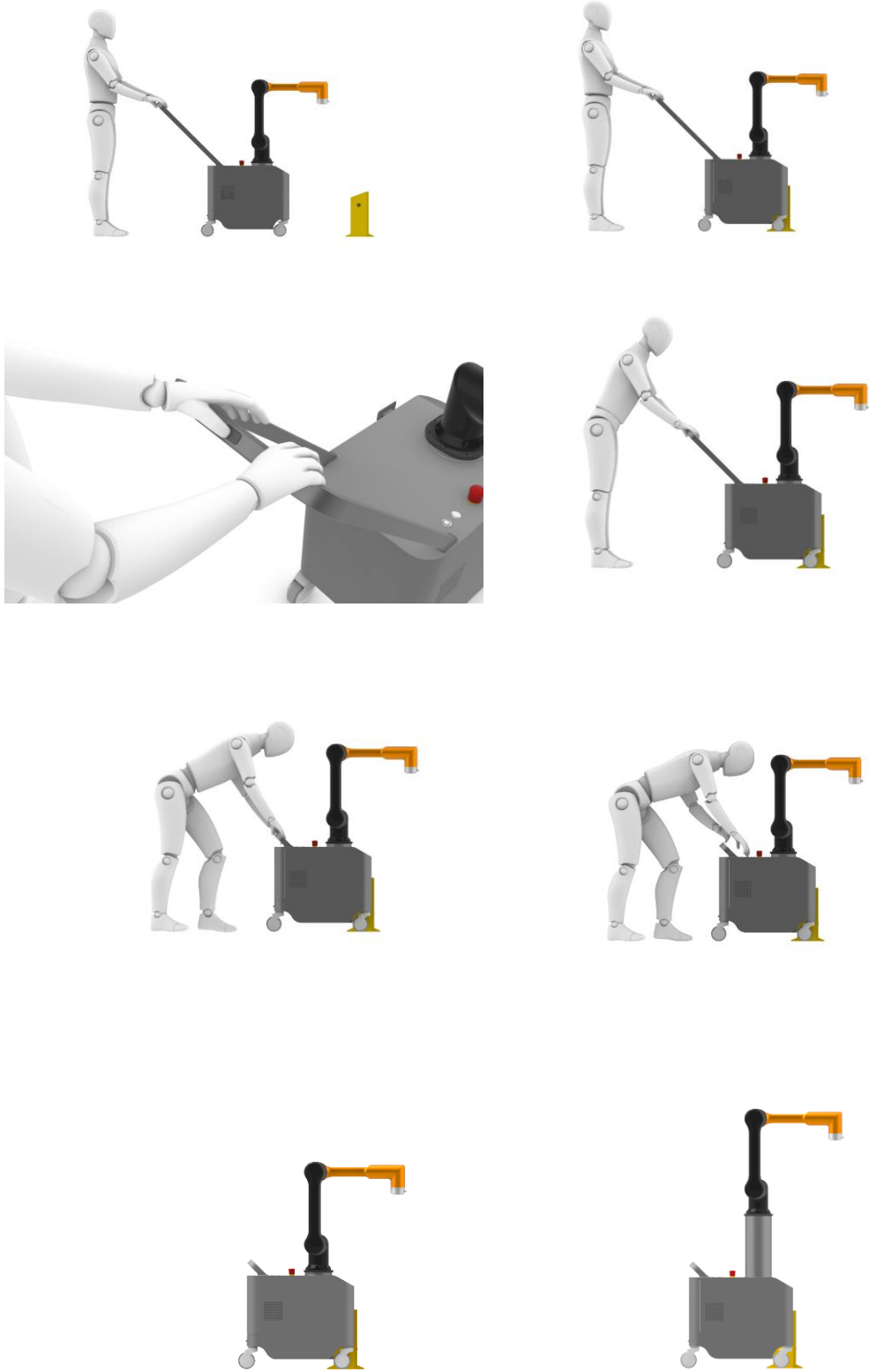
Obrázek 27: Varianty profilů pro konstrukci madla

6. Výsledný návrh

6.1 Používání

Platforma slouží k maximálnímu zjednodušení procesu přesouvání a zapojování kolaborativního robotu. Pro tento účel jsem se snažila navrhnout systém, který bude pro uživatele co nejpřívětivější. Snažila jsem se proto minimalizovat množství a složitost úkonů, které musí provést. Samotné používání produktu předchází fáze implementace, během které se celý systém zapojí. Pověřená osoba nejprve přepojí ovládací box, neboli kontroler, z původní schránky do platformy. Pro tento účel se v její zadní části nachází velký prostor, do kterého jsou vyvedeny připravené a označené kabely. Ty pak stačí zapojit do svorkovnice kontroleru. Díky tomu je možné ho propojit s dokovací stanicí, robotem i ovládacím panelem. Dokovací stanici je třeba připevnit k podlaze výrobní haly v místech, kde bude robot pracovat a následně k ní přivést potřebné kabely, tedy ethernet, 12 pinový průmyslový konektor a zdroj. Posledním krokem je umístění robotu na výsuvný sloup, což je velmi jednoduché díky podložce s předvrtanými dírami pro připevnění robotů od nejběžnějších výrobců a také konektoru pro připojení robotu umístěnému přímo na horní části sloupu. Aby bylo možné kolaborativní robot používat, je třeba naprogramovat jeho činnost na jednotlivých pracovištích. Při příštím použití stačí jen zvolit program určený pro dané místo.

Platforma umožňuje umístit robot i pouze na jedno stanoviště, její přidaná hodnota se však nejvíce projeví při přesouvání robotu mezi pracovišti. V takovém případě musí operátor pouze zmáčknout tlačítko pro odemčení, načež se platforma automaticky odpojí od zdroje a zasune kotvící kužely. V tu chvíli je možné s ní manipulovat. Pro vysunutí madla stačí zmáčknout tlačítko na jeho horní straně. Tento systém se často používá například u cestovních kufrů. Po přemístění na požadované pracoviště je třeba najet do dokovací stanice. Tento proces jsem důkladně testovala s papírovými prototypy, abych docílila co nejjednoduššího systému. Poté operátor zasune madlo stejným způsobem, jakým ho předtím vysunul a zmáčkne tlačítko pro uzamčení. Světelná signalizace mu potvrdí, že zakotvení do stanice proběhlo správně. V tuto chvíli je kolaborativní robot připraven k ke spuštění odpovídajícího programu. Ovládací panel, přes který je možné kolaborativního robot spustit, se z bezpečnostních důvodů nachází mimo pracoviště. S kontrolerem a tedy i s robotem je propojen pětimetrovým kabelem, který je zapojen do konektoru na stěně platformy pod dvířky. Po spuštění programu automaticky vyjede sloup i s kolaborativním robotem do požadované výšky, aby mohl zahájit pracovní cyklus.



Obrázek 28: Proces používání produktu

6.2 Platforma

Samotné tělo platformy je tvořeno z černého za studena válcovaného plechu. Z materiálu je laserem vyřezán požadovaný tvar, který je následně ohýbán. Jednotlivé části jsou pak svařeny dohromady. Tvarování produktu, které mu propůjčuje originální výraz, může také přinášet řadu komplikací. Během navrhování jsem několikrát narazila na otázku výrobních nákladů. Zejména zaoblené hrany platformy mohou zesložitovat její výrobu a tím zvyšovat cenu. Zabývala jsem se tedy tématem, které prvky v návrhu ponechat a které raději zjednodušit a docílit levnější výroby. Do této otázky vstupoval také ten fakt, že oblast kolaborativní robotiky je poměrně nakloněna kvalitnímu estetickému zpracování produktů. Opláštění těchto robotů je často věnována větší pozornost, než jaké se dočkají jiná strojí zařízení. Mým cílem proto také bylo, aby vzhled platformy odpovídal zaoblenému tvarování kolaborativních robotů. Abych alespoň snížila náklady potřebné na její výrobu, všechny rádiusy jsem sjednotila na 66mm. Po svaření a zabroušení je povrch produktu práškově nalakován. Zvolila jsem odstín RAL 7037, tedy barvu „dusty gray“ neboli v češtině „prachová šedá“. Důvodem, proč jsem nezvolila nějakou výraznější barevnou kombinaci je ten, že je produkt určen pro co nejširší škálu výrobců kolaborativních robotů. Každá z těchto značek se vyznačuje svými vlastními barevnými kombinacemi a jelikož se často jedná o výrazné barvy, jako je oranžová, modrá nebo zelená, chtěla jsem produkt ponechat co nejvíce neutrální.

Na platformě se nachází také háček na zavěšení kabelů. K ovládacímu panelu totiž vede 5m dlouhý kabel, který je třeba přesouvat spolu s robotem. Na straně platformy je pro tento účel připevněn háček vyrobený z ohýbaného plechu. Kromě kabelů je potřeba přemísťovat také samotný ovládací panel. Každý výrobce robotů používá jiný tvar panelu i systém jeho zavěšení, proto se přímo na platformě nenachází žádný háček. Je zde jen prostor vymezený pro jeho připevnění, a to na dvířkách platformy. Toto místo jsem zvolila z důvodu dobré přístupnosti. Boky platformy se mohou nacházet blízko stěn nebo jiného objektu, ale dvířka se nachází na straně, ke které přistupuje uživatel, je tedy vždy dostupná.

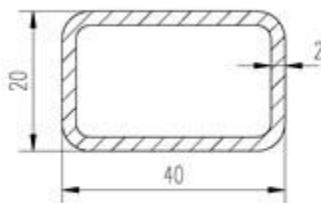


Obrázek 29: Mobilní platforma s háčkem na kabely

6.3 Rukojeť

Konstrukce rukojeti byla výzvou. Ve fázi prototypování jsem se zabývala prozkoumáváním různých řešení. Varianta s uložením diagonálně uvnitř stanice se nakonec ukázala jako nejlepší. Zabývala jsem se konkrétním designovým návrhem rukojeti. Ten se postupně vyvíjel až do finální, velmi jednoduché, podoby. Rukojeť je uložena diagonálně uvnitř platformy, pod úhlem 45 stupňů. Je možné ji zasouvat a vysouvat zmáčknutím tlačítka na jeho horní straně, podobně jako u madla cestovních kufrů.

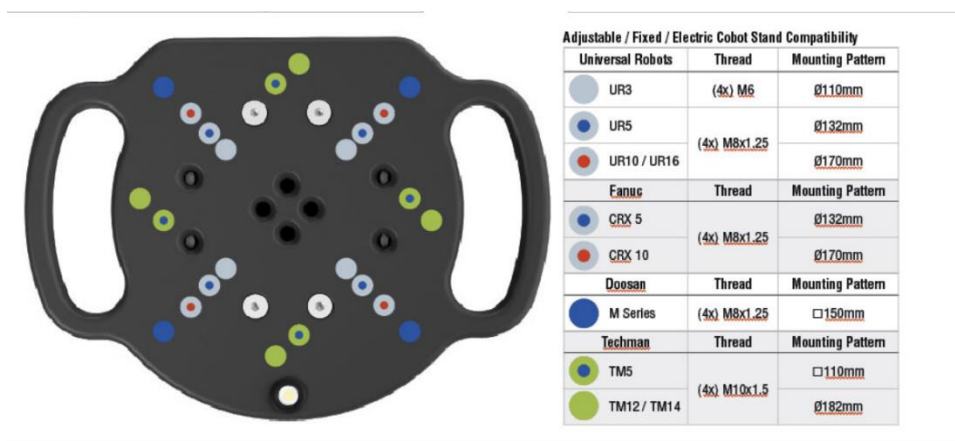
Rukojeť platformy jsem navrhovala tak, aby pro její výrobu bylo možné použít nakupovaný jekl. Po testování s fyzickými modely jsem zvolila jekl o rozměrech 40mm x 20mm a s tloušťkou stěny 2mm. Ten je následně ohýbán a opatřen stejnou povrchovou úpravou jako tělo platformy. Náročným úkolem bylo navržení detailu místa, kde rukojeť zajíždí do platformy. Nakonec jsem tento problém vyřešila tím, že část vnějšího pouzdra, do kterého madlo zajíždí, vystupuje ven z těla platformy. To napomáhá většímu pocitu jistoty při vysouvání madla. Produkt tak dokáže lépe sám komunikovat, jak funguje. Okolo místa vstupu je vytvořen svár, který je následně vybroušen. Díky tomu je možné dosáhnout plynulého přechodu mezi těmito dvěma objekty bez nutnosti dalších komplikovaných součástí.



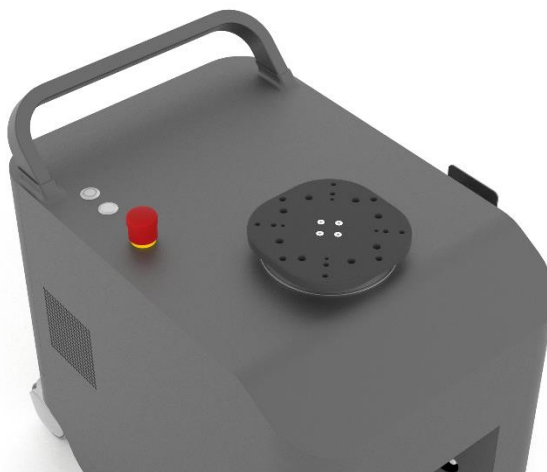
Obrázek 30: Jekl, Kondor hutní materiály

6.4 Sloup

Kolaborativní robot je umístěn na výsuvném sloupu. Proces vysunutí je možný díky závitové tyči. Ta je pro toto použití vhodná i díky tomu, že je samosvorná. Uvnitř platformy se pak nachází motor, který zajišťuje plynulý a přesný pohyb. Při maximálním vysunutí se vršek sloupu nachází ve výšce 1m. Nahoře na sloupu se nachází podložka, ke které je možné upevnit robot. Jedná se o plastový díl s převrtanými otvory. Ty jsou rozmístěny tak, že umožňují použít kolaborativní roboty všech velkých výrobců, jako jsou Universal Robots, Fanuc, Techman nebo HCR.



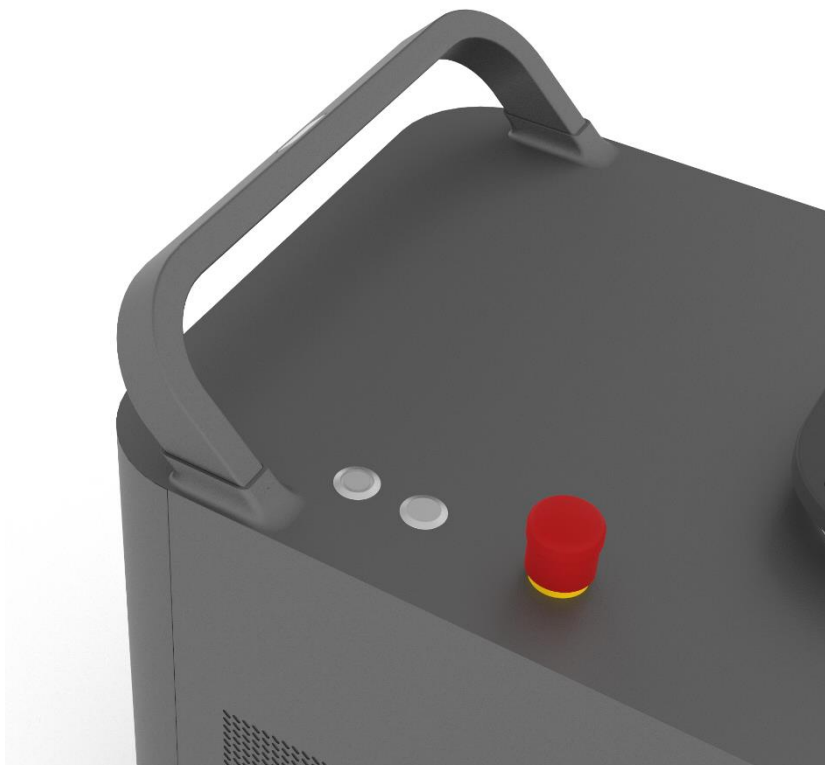
Obrázek 31: Podstavec pro robot od značky EMI



Obrázek 32: Podstavec mobilní platformy

6.1 Ovládací panel

Na horní ploše platformy se nachází ovládací panel. Panel se skládá ze dvou antivandal průmyslových tlačítek a jednoho tlačítka pro nouzové zastavení. To je třeba mít na produktu umístěné z bezpečnostních důvodů. Druhé tlačítko nouzového vypnutí se nachází na ovládacím panelu, který se prodává společně s robotem a nachází se většinou mimo pracoviště. Zbylá tlačítka slouží k ovládání výsuvných válců, které mají za úkol zafixovat platformu v dokovací stanici a k zapojení konektorů. Jedno tlačítko je opatřeno podsvícením, které signalizuje, jestli zamknutí proběhlo správně. Pokud ano, žlutě se rozsvítí a pokud ne, začne blikat. Díky tomu má operátor informaci, jestli je bezpečné robot používat. Druhé tlačítko slouží pouze k odemknutí platformy od stanice. Rozhodla jsem se pro tento účel umístit separátní tlačítko, aby si uživatel mohl být jistý, že provádí tu akci, kterou zrovna potřebuje. Panel se nachází na pravé straně platformy, protože většina uživatelů jsou praváci. Toto umístění však nijak nekomplikuje používání i pro leváky.



Obrázek 33: Ovládací panel

6.1 Kolečka

Pro svůj návrh jsem potřebovala najít vhodná kolečka. Ta musela splňovat požadavky dané prostředím, ve kterém bude produkt fungovat. Abych našla vhodná kolečka, musela jsem zjistit, s jakým zatížením budou pracovat. To je možné zjistit sečtením váhy samotného dopravního zařízení a jeho zátěže. V mém případě se zátěž rovná váze kolaborativního robotu, tedy přibližně 17kg, a jeho nosnosti, což je 5kg. Co se týče hmotnosti samotného produktu, bez konkrétněji vypracované dokumentace je možné pouze odhadovat. V platformě se nachází kontroler, výsuvný sloup i s motorem a baterie, celkovou váhu jsem proto odhadla na 70kg. Poté je třeba tuto hodnotu vydělit třemi, pro zjištění zátěže na jedno kolo. Obvykle se z celkového počtu koleček jedno odečte, aby byla zajištěna dostatečná nosnost i v případech, kdy je jedno kolo ve vzduchu vlivem nerovného povrchu³⁹. Z tohoto vzorce je možné zjistit, že požadovaná nosnost jednoho kolečka je po zaokrouhlení 31kg. Výhodou prostředí, pro které platformu navrhuji, jsou poměrně stálé podmínky, protože produkt je možné používat pouze uvnitř. Důležitým požadavkem byla také estetická provázanost s platformou, také proto jsem se začala jejich výběrem zabývat poměrně brzy ve fázi navrhování. Zvolila jsem kolečka SERIE880 o průměru 100mm od německé značky Steinco. Tento model je určen do průmyslového prostředí, je ho však možné využít i u aplikací do potravinářství, zdravotnictví, do kanceláří nebo do laboratoří. Maximální dynamické zatížení jednoho kolečka je 90kg a statické dokonce 270kg.



Obrázek 34: Kolečko Series880, Steinco

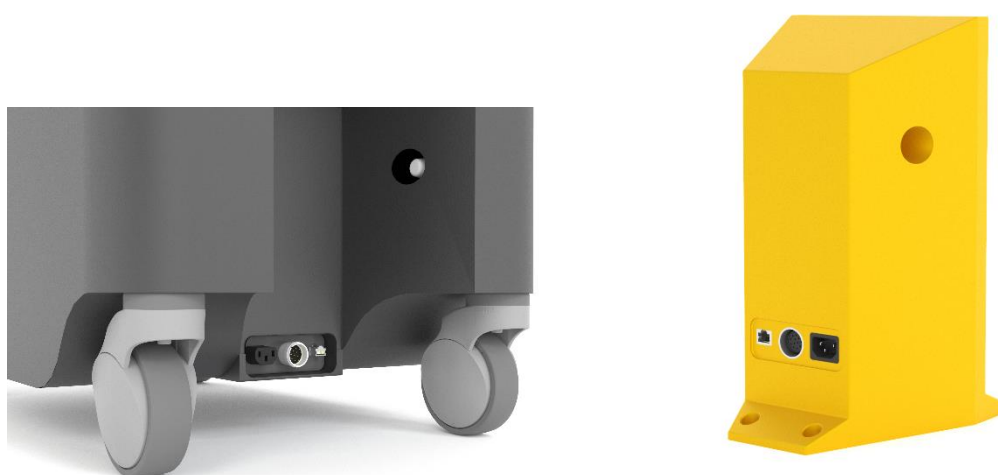
6.2 Dokovací stanice

Finální podoba dokovací stanice vzešla z fáze testování různých variant. Důraz byl kladen primárně na ergonomii používání. Návrh stanice byl klíčový pro celý projekt, protože výrazně ovlivňuje ostatní části platformy. Jedná se o samostatně stojící díl, který je pevně přimontován do podlahy výrobní haly v místech, kde má robot pracovat. Stanice plní dvě hlavní funkce. Tou první je zajištění přesné pozice robotu a jeho zakotvení. Druhou je pak napojení kabelů do platformy, potažmo kontroleru. Její design v podstatě přímo vychází z funkce. Výška stanice je stanovena tak, aby ji uživatel viděl po celou dobu, co do ní zajíždí

s platformou. Proces zajíždění není obtížný, ale vizuální kontakt dá uživateli větší pocit jistoty. Šířka je pak omezena prostorem mezi předními kolečky. Díky zešíkmeným plochám dokáže stanice navést platformu do přesné pozice i v případě, že operátor nenajede rovně. To zajišťuje, že robot se vždy nachází v přesně stejné pozici. V horní části dokovací stanice se také nachází dva otvory odpovídající výsuvným kuželům, které platforma používá, aby se do ní mohla zakotvit. Kuželovitý tvar poskytuje ještě další fázi zabezpečení, že je platforma v přesné pozici vůči pracovišti a naprosto přimknuta ke stanici.

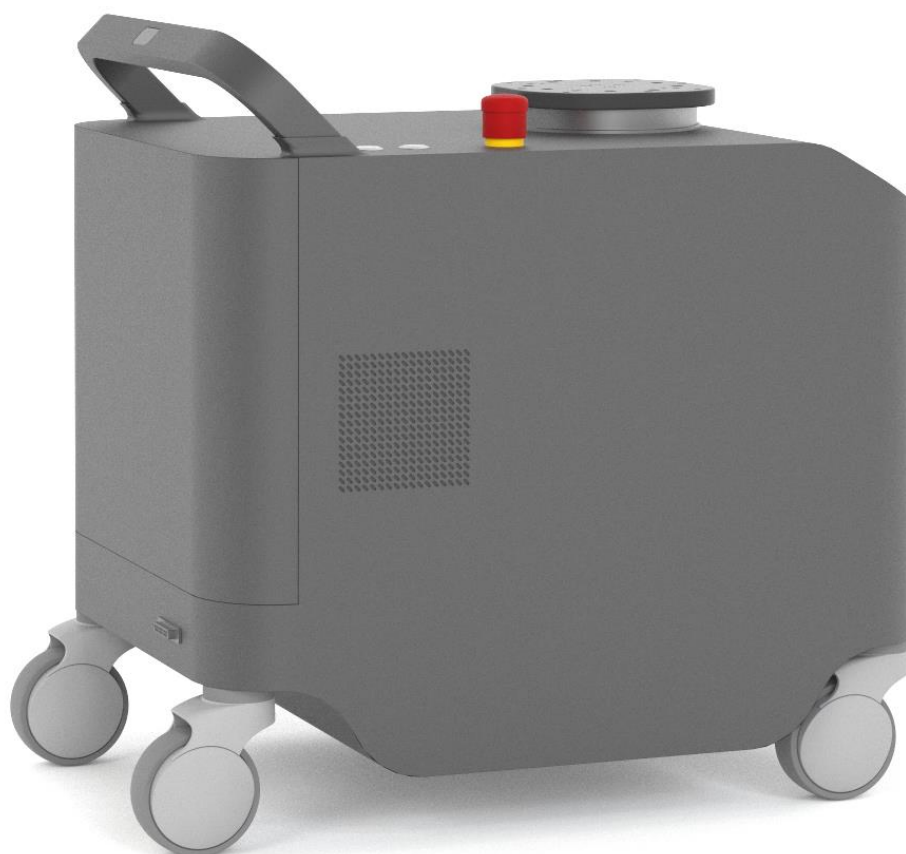
Ke stanici jsou přivedeny potřebné kabely, tedy ethernet, 12 pinový průmyslový konektor a napájecí kabel IEC. V její zadní části se nachází dvířka, za kterými jsou odpovídající konektory. Pod dvířky jsou uloženy průchodky. Tento tvar průchodek umožňuje zasunout kabel shora a je tak možné jimi vést i kabely, na jejichž konci nachází koncovka a standardní průchodky by tak nebylo možné použít. Zapojením se kabely propojí s koncovkami na druhé straně stanice. Jejich druhé části se nachází na platformě. Po zjetí a zamknutí platformy zůstane mezi konektory malá mezera. Těchto posledních pár milimetrů je překonáno elektronicky s použitím baterie v platformě. Důvodem je to, že kdyby se kontakty zapojovaly manuálně zjetím do stanice, tyto velké rázy by je mohly poškodit. Bylo by také obtížné zajistit, že zapojení proběhne opravdu správně.

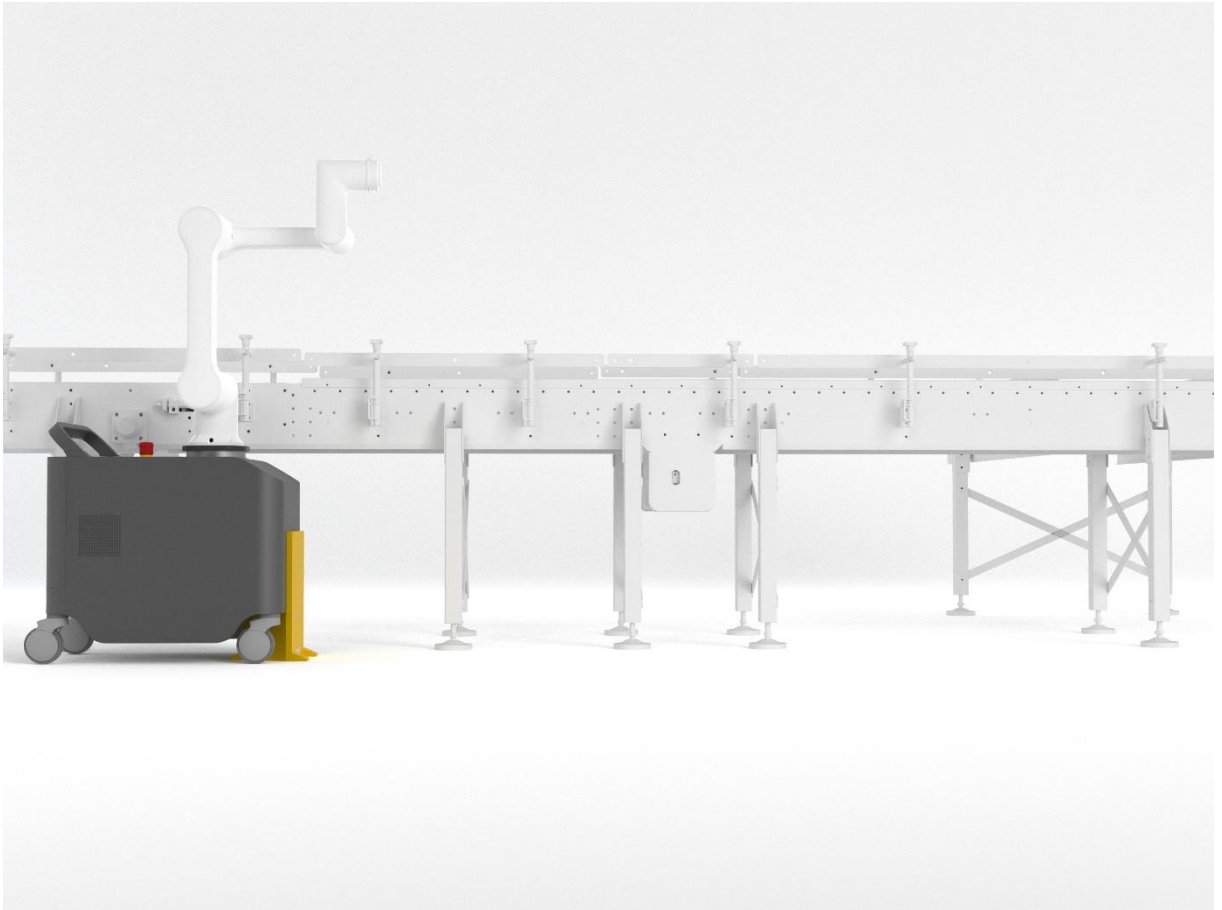
Co se týče výroby dokovací stanice a jejího protikusu, ohýbaný plech nebylo možné použít. Kvůli správnému dosednutí stykových ploch je třeba zajistit naprostou tvarovou přesnost. Proto by byl tento díl vyroben odléváním z hliníku. Aby bylo zajištěno, že nedojde k poškození povrchu a tím narušení přesnosti povrchu, díl by eloxován. Díky tomu lze dosáhnout větší tvrdosti povrchu a otěruvzdornosti. Tuto technologii je také možné použít pro žluté zbarvení stanice. Z důvodu, že bude umístěna na podlaze výrobní haly, musí být z bezpečnostních důvodů barevně zvýrazněna.

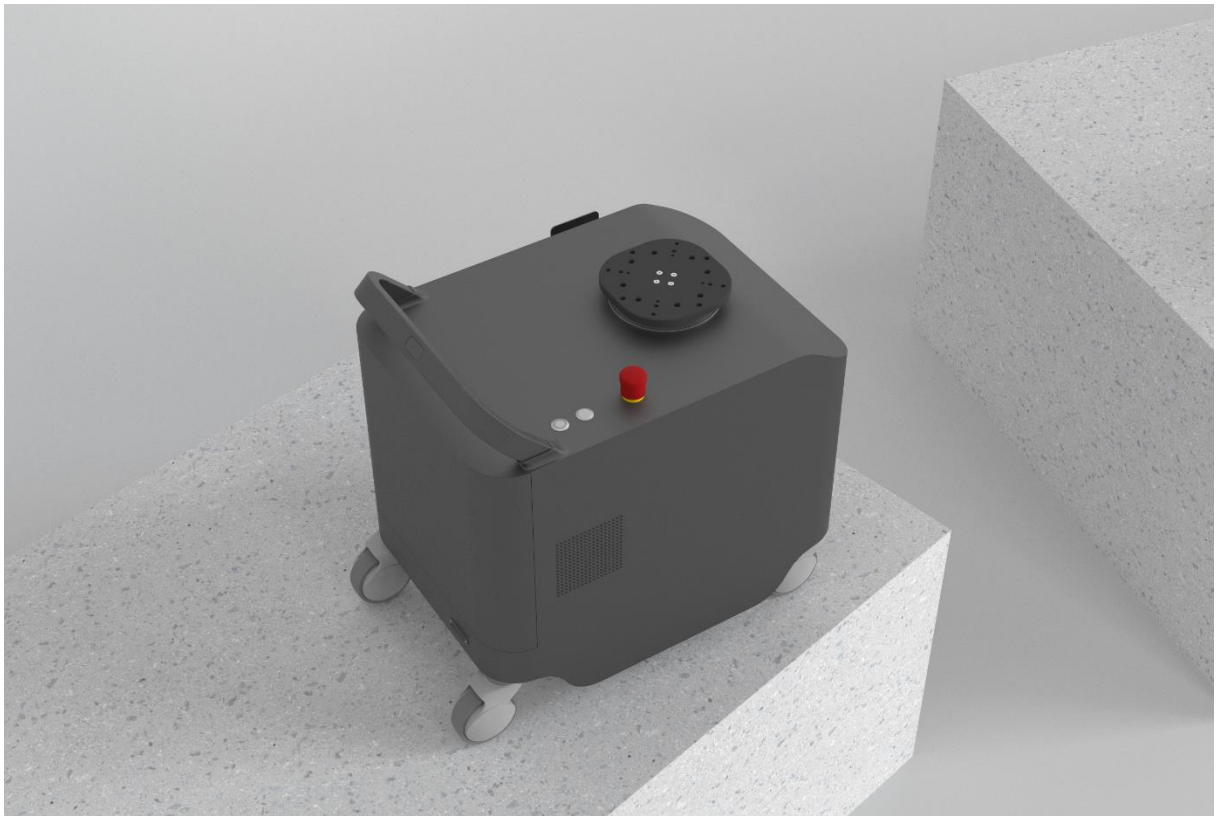


Obrázek 35: Konektory na platformě a dokovací stanici

6.3 Vizualizace finálního řešení

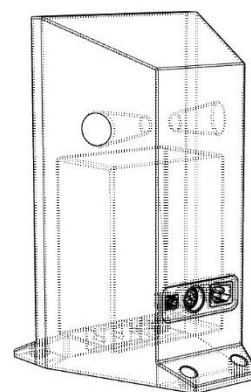
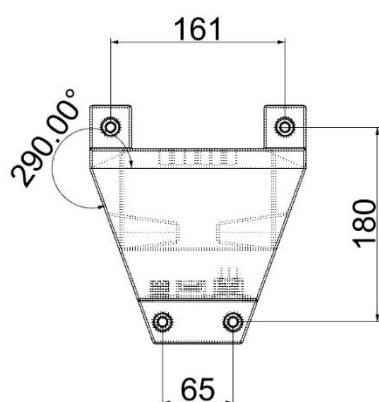
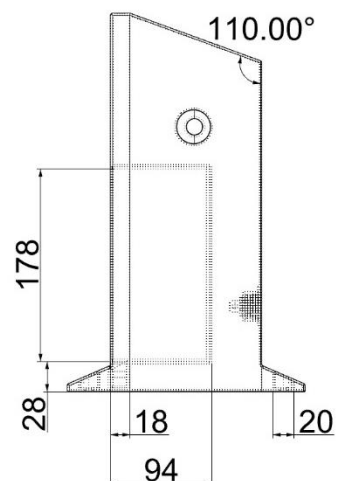
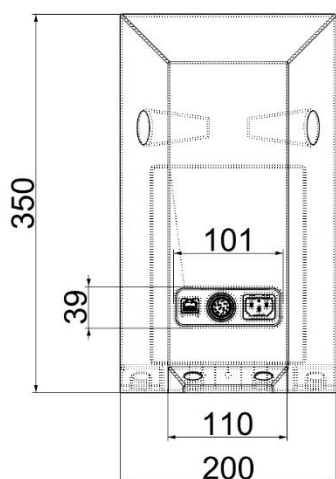






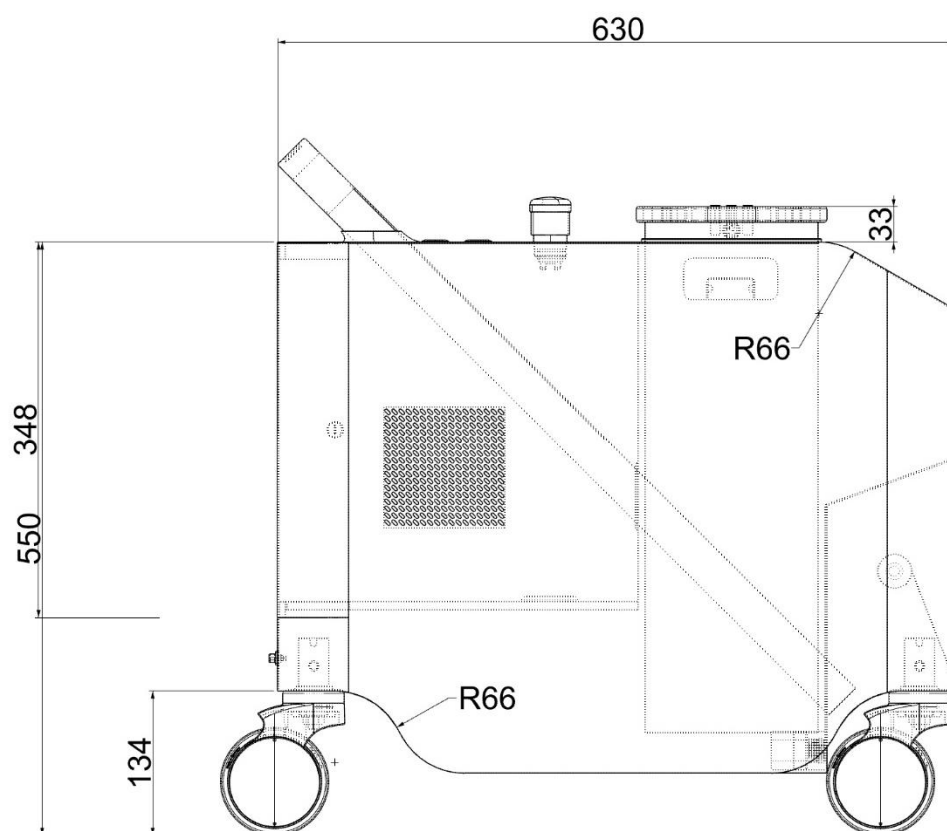
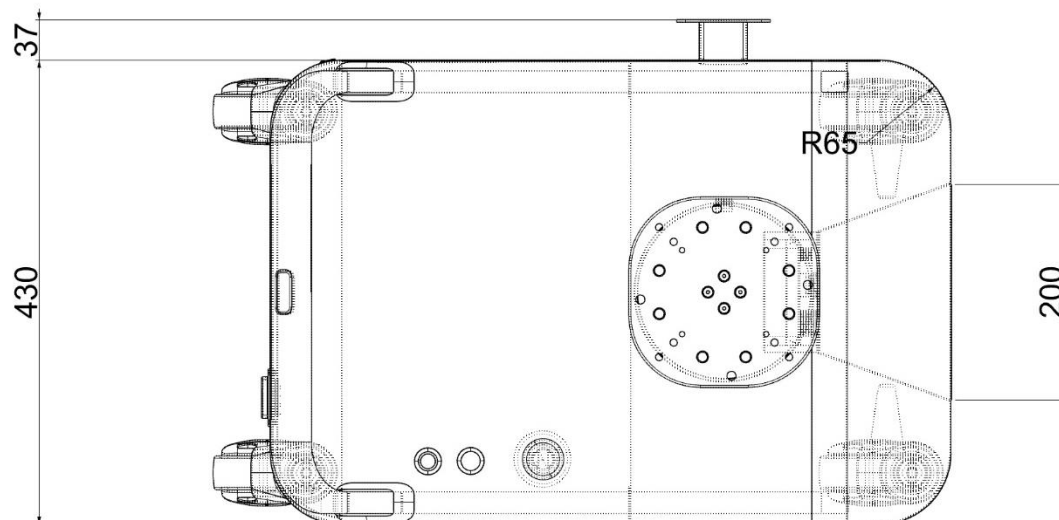
7. Technická dokumentace

7.1 Kótovaný výkres dokovací stanice v měřítku



M 1:7

7.2 Kótovaný výkres platformy v měřítku



M 1:7

8. Závěr a reflexe

Před zahájením práce jsem si jako téma stanovila návrh systému pro efektivnější využití robotizace v malých výrobních firmách. Cíleně jsem si dala poměrně otevřené zadání, které mi umožní prozkoumávat danou oblast a hledat potenciál pro rozvoj. Nevěděla jsem, kam mě toto téma zavede. V první fázi jsem se plánovala zabývat návrhem přímo kolaborativního robotu. Toto téma mě lákalo propojením velmi technického aspektu s nezanedbatelným důrazem na estetickou stránku. Postupně jsem začala do tématu více pronikat a hledala jsem možnosti, jak do tohoto zadání vnést inovaci. V tomto momentu mi velmi pomohly návštěvy dvou firem, které se tematikou kolaborativní robotiky zabývají, HCR CZECH a Zlín Robotics. Obě firmy jsem navštívila s tím, že zkusím během rozhovoru najít nějaký moment, který má potenciál pro další rozvoj. Chtěla jsem proto slyšet zkušenosti specialistů, kteří se setkali s desítkami realizací. Tyto rozhovory pro mě byly velmi cenné. Zjistila jsem, s jakými problémy se uživatelé i samotné implementační firmy setkávají a v čem vidí největší výhody této technologie. Začala jsem tak postupně formovat konkrétní podobu projektu. Rozhodla jsem se zaměřit na návrh systému, který by umožňoval malým výrobním firmám lépe využívat flexibilitu kolaborativní robotiky. Malé firmy se z principu vyrovnávají se změnami rychleji než velké společnosti. Pokud vyrábějí produkty kusově nebo v malých sériích, může u nich často docházet ke změnám v pracovních procesech. V takovém případě se může měnit povaha práce, kterou je třeba vykonávat a rigidní tradiční výrobní systémy nejsou schopny na tyto změny reagovat. Chtěla jsem jim poskytnout nástroj, který umožní rychlé přizpůsobení výroby. Myslím si, že se mi tento cíl podařilo splnit. Díky systému s dokovacími stanicemi je přemísťování robotu výrazně jednodušší a rychlejší. Není potřeba přemísťovat robot a poté zvlášť ovládací box a kabely. Také není třeba na novém pracovišti komplikovaně přišroubovávat podstavec robotu k podlaze a vše pracně zapojovat. Vše se nastaví jednou před prvním použitím. Používání produktu nevyžaduje zvláštní fyzickou sílu ani technickou zdatnost.

To, do jaké míry je navržený systém použitelný ve výrobě by bylo nejlepší ověřit na funkčním prototypu. Na trhu jsem nenašla produkt, který by využíval podobný systém, proto jsem se nemohla opřít o zaběhlé postupy. Během rešerše oblasti příslušenství ke kolaborativním robotům jsem sice objevila řadu mobilních platforem, žádná však nevyužívá systém zamknutí na pracovišti do připravené stanice ani možnost připojení všech kabelů současně. Kotvení do podlahy je většinou řešeno připevněním 8 šrouby nebo ručním vyšroubováním nožiček. Málo která také umožňuje umístit dovnitř ovládací box. V rámci semestru jsem funkčnost návrhu ověřovala na papírovém modelu v životní velikosti. Díky tomuto prototypu jsem mohla pozorovat, jak uživatel s platformou manipuluje a sama si úkony vyzkoušet. Tuto interakci jsem si natočila na video, abych ji mohla zpětně analyzovat. Byla jsem schopná identifikovat potenciální problémy a navrhnout jejich řešení. Klíčovým

momentem bylo ověření funkčnosti zajištění platformy do dokovací stanice. Snažila jsem se docílit toho, aby byl tento proces co možná nejjednodušší.

Kolaborativní robotika je velmi flexibilní nástroj. To je na jednu stranu její velká výhoda, na stranu druhou to ale do procesu navrhování přináší velkou výzvu. Zejména proto, že robot je možné použít téměř jakkoli a na cokoli. Je proto obtížné ověřit ergonomii a použitelnost systému ve všech možných aplikacích. To je jeden z důvodů, proč jsem jako cíl projektu stanovila vytvoření nástroje, který umožní efektivněji využívat flexibilitu, kterou kolaborativní roboty poskytují. Díky tomu je možné produkt využít pro širokou škálu různých aplikací. Tento přístup jsme zvolila také s ohledem na mou cílovou skupinu.

8.1 Potenciální pokračování projektu

Pokud bych měla možnost dalšího rozvoje projektu, určitě bych se v první řadě zaměřila na důkladné testování. Chtěla bych si v ověřit jednak funkčnost návrhu, ale hlavně jeho využitelnost v praxi. Zaměřila bych se tedy na hlubší analýzu cílové skupiny a jejích potřeb. Tomuto tématu jsem se hodně věnovala i v dosavadní práci, ale myslím si, že je zde ještě hodně co objevovat. V rámci projektu jsem navštívila implementační firmy, protože jsem se tak mohla dostat k velkému vzorku aplikací najednou. V dalším vývoji bych však zkusila navázat spolupráci i s několika malými výrobními firmami, které by produkt mohly využívat. Díky tomu bych mohla pozorovat, jestli produkt splňuje stanovené cíle v konkrétních scénářích. Jistě by bylo možné tímto odhalit spoustu chyb, nedokonalostí nebo potenciálu k dalšímu vylepšování. Dalším tématem, které bych více rozpracovala, je konstrukční řešení produktu. Bylo by velmi přínosné konzultovat tuto problematiku s odborníkem. Zajímá mě názor na vnitřní konstrukci produktu. Myslím, že z této spolupráce by mohly vyplynout zajímavé postřehy a návrhy na úpravu. Také bych se více zaměřila na výrobní procesy a použité materiály.

Práce na tomto projektu mě velmi bavila. Jsem ráda, že jsem mohla do tématu kolaborativní robotiky alespoň trochu proniknout. Myslím si, že se jedná o zajímavý obor, který má do budoucna co nabídnout. Bavilo mě hledání možností inovace a přistupování k problému s trochu jiné perspektivy. Řekla bych, že se mi podařilo splnit cíle, které jsem si během práce na projektu stanovila. Myslím si, že tento návrh má potenciál najít své místo na trhu.

9. Obrazové a grafické zdroje

Obrázek 1: Nástroje robotizace, které firmy používají, Dostupné z: https://amsp.cz/robotizace-v-malych-a-strednich-podnicich/#:~:text=IPSOS%20pro%20AMSP_Robotizace%20v%20MSP

Obrázek 2: Plány firem robotizovat, Dostupné z: https://amsp.cz/robotizace-v-malych-a-strednich-podnicich/#:~:text=IPSOS%20pro%20AMSP_Robotizace%20v%20MSP

Obrázek 3: Hlavní hybatele rozhodnutí robotizovat, Dostupné z: https://amsp.cz/robotizace-v-malych-a-strednich-podnicich/#:~:text=IPSOS%20pro%20AMSP_Robotizace%20v%20MSP

Obrázek 4: Bezpečnostní systémy v kolaborativní robotice, dostupné z: <https://www.digikey.com/en/articles/robots-evolve-to-cobots-in-industry-4-0>

Obrázek 5: EMI mobilní základna s elektrickým zvedáním dostupné z: <https://www.emicorp.com/item/CRS%2BMAE%2B4064/8971-Mobile-Base-with-Electric-Riser-Cobot-Pedestal/>

Obrázek 6: Háček na ovládací box Techman, EMI, dostupné z: <https://www.emicorp.com/item/CRS%2BCBM%2BTM/8945-Techman-Controller-Hanger-for-EMI-Cobot-Stands/>

Obrázek 7: Systém na uložení kabelů, EMI, dostupné z: <https://www.emicorp.com/item/CRS%2BCM%2B1%2BXL/8947-Cobot-Stand-XL-Cable-Management-Assembly/>

Obrázek 8: ProFeeder Flex, Easy robotics, dostupné z: <https://easyrobotics.biz/product/profeeder-flex/>

Obrázek 9: Univerzální mobilní stojan UMS, Zlín Robotics, dostupné z: <https://www.zlinrobotics.cz/mobilni-stojany-pro-roboty-techman>

Obrázek 10: První návrhy tvarování, archiv autora

Obrázek 11: Ergonomie lidské postavy, Nábytkářský informační systém, dostupné z: <https://www.n-i-s.cz/cz/pracovni/page/281/>

Obrázek 12: Testování zorného pole uživatele, archiv autora

Obrázek 13: První návrhy systému fungování dokovací stanice, archiv autora

Obrázek 14: Návrh tvaru dokovací stanice, archiv autora

Obrázek 15: Návrhy dokovací stanice, archiv autora

Obrázek 16: Varianty uložení výsuvného sloupu, archiv autora

Obrázek 18: Varianty zaoblení hran platformy, archiv autora

Obrázek 18: Varianty seřiznutí přední hrany, archiv autora

Obrázek 19: Výběr tří možností seřiznutí přední hrany, archiv autora

Obrázek 20: Varianty větrací mřížky, archiv autora

Obrázek 21: Kartonový model mobilní platformy, archiv autora

Obrázek 22: Testování ergonomie návrhu, archiv autora

Obrázek 23: Návrh konstrukce madla, archiv autora

Obrázek 24: Návrhy konstrukce madla, archiv autora

Obrázek 25: Varianta konstrukce madla, archiv autora

Obrázek 26: Finální konstrukční varianta madla, archiv autora

Obrázek 27: Varianty profilů pro konstrukci madla, archiv autora

Obrázek 28: Proces používání produktu, archiv autora

Obrázek 29: Mobilní platforma s háčkem na kabely, archiv autora

Obrázek 30: Jekl, Kondor, hutní materiály, dostupné z: <https://www.kondor.cz/jekl-40x20x2/d-78674/>

Obrázek 31: Podstavec pro robot značky EMI, dostupné z: <https://www.emicorp.com/item/CRS%2BMA%2B3558/8902-Mobile-Base-with-Adjustable-Height-Cobot-Pedestal/>

Obrázek 32: Podstavec mobilní platformy, archiv autora

Obrázek 33: Ovládací panel, archiv autora

Obrázek 34: Kolečko Series880, Steinco, dostupné z: <https://www.steinco.com/catalog/880R/1.XEK0.PT40>

Obrázek 35: Konektory na platformě a dokovací stanici

10. Zdroje

- ¹ Researching , FAQ, *Robots.com*, [Online], [Citace: 10. 10 2023.], Dostupné z: <https://www.robots.com/faq/show/howmuch-do-industrial-robots-cost>.
- ² Control Engineering Česko, Demystifikace programování robotů, *Vše o průmyslu.cz*, Portál pro robotizovanou výrobu [Online], 28.dubna 2019 [Citace: 10. 12 2023.], Dostupné z: <https://www.vseoprumsly.cz/robotizace/roboty-software/demystifikace-programovani-robotu.html>
- ³ Ústav pro jazyk český, Slovník spisovného jazyka českého, robota, *ssjc.ujc.cas.cz* [online]. 2011 [cit. 03.09.2023]. Dostupné z: <https://ssjc.ujc.cas.cz/search.php?heslo=robota&where=hesla&hsubstr=no>
- ⁴ Ústav pro jazyk český, Slovník spisovného jazyka českého, robot, *ssjc.ujc.cas.cz* [online]. 2011 [cit. 03.09.2023]. Dostupné z: <https://ssjc.ujc.cas.cz/search.php?hledej=Hledat&heslo=robot&sti=EMPTY&where=hesla&hsubstr=no>
- ⁵ Banu Musa, překlad a anotace Donald R. Hill, *The Book of Ingenious Devices*, Dordrecht, Nizozemsko, D. Reidel Publishing Company, 1979, str.7-19, dostupné z: http://www.islamicmanuscripts.info/reference/books/Banu-Musa-1979-Hill_The%20Book%20of%20the%20Ingenious%20Devices.pdf
- ⁶ Encyklopedie fyziky, Dějiny matematiky a fyziky, Da Vinciho odkaz, *fyzika.jreichl.com* [online], [cit. 20.08.2023]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/1579-da-vinciho-odkaz>
- ⁷ LOHNICKÝ Petr, Ochrání nás zákony robotiky?, eseje pro předmět Historie a vývojové trendy výpočetní techniky, *www.fi.muni.cz*, [online], [cit. 20.08.2023]. Dostupné z: <https://www.fi.muni.cz/usr/jkucera/pv109/2000/xlohnick.htm>
- ⁸ Unimate, Robots, *robotsguide.com*, [online], [cit. 20.08.2023]. Dostupné z: <https://robotsguide.com/robots/unimate>
- ⁹ MISITI Alex, A History of Industrial Robots, *Industrial Robotic Beginnings*, *www.wevolver.com*, [online]. 23.9.2020 [cit. 05.09.2023]. Dostupné z: <https://www.wevolver.com/article/a-history-of-industrial-robots>
- ¹⁰ Industrial Robot History. *RobotWorx* [online]. 2020 [cit. 05.09.2023]. Dostupné z: <https://www.robots.com/articles/industrial-robot-history>
- ¹¹ MISITI Alex, A History of Industrial Robots, *Industrial robots od today and tomorrow*, *www.wevolver.com*, [online]. 23.9.2020 [cit. 05.09.2023]. Dostupné z: <https://www.wevolver.com/article/a-history-of-industrial-robots>
- ¹² VOJÁČEK Antonín, Robot vs. Cobot, *automatizace.hw.cz*, *Rady a poslední novinky z oboru*, [online]. 8.9.2017 [cit. 05.09.2023]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/robot-vs-cobot.html>
- ¹³ ZIMMERMANN František , *Automatizace v malých a velkých firmách*. *MM Průmyslové spektrum – nejčtenější strojírenský časopis a jeho digitální obsah* [online]. 13.10.2021 [cit. 03.04.2023]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/automatizace-v-malych-a-velkych-firmach>
- ¹⁴ *Techmagazín: Technika včera, dnes a zítra, číslo 05/2020, ročník 11, str. 14-17*, Praha: TECH MEDIA PUBLISHING s.r.o, ISSN 1804-5413
- ¹⁵ KOLÍBAL, Zdeněk. *Průmyslové roboty I: Konstrukce průmyslových robotů a manipulátorů (PRaM)*. Brno: skriptum VUT Brno, 1993. str. 188 ISBN 80-214-0526-0
- ¹⁶ ČSN ISO 8373, *Roboty a robotická zařízení – Slovník*, Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1.12.2013, 48 str., Třídící znak: 186501
- ¹⁷ DAVID, Pradeep. *New Safety Certifications To Standardise Collaborative Robots*. *Auto Tech Review* [online]. New Delhi: Springer India, 2016, 14-15 [cit.12.5.2023]. DOI: 10.1365/s40112-016-1115-x. ISSN 2250-3390. Dostupné z: <https://link.springer.com/article/10.1365/s40112-016-1115-x>
- ¹⁸ Zástupce Zlín Robotics [ústní sdělení], *Slušovice*, 27.4.2023
- ¹⁹ MATTHIAS, Bjoern. *ISO/TS 150600 - Collaborative robots - Present status* [Online]. ABB [vid. 30. 4. 2019]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/282809861_ISO_TS_15066_-_Collaborative_Robots_-_Present_Status/link/561cf92b08aec7945a25226a/download
- ²⁰ Researching , FAQ, *Robots.com*, [Online], [Citace: 10. 10 2023.], Dostupné z: <https://www.robots.com/faq/show/howmuch-do-industrial-robots-cost>.
- ²¹ MIKL Marek, obchodní zástupce HCR CZECH [ústní sdělení], *Otrokovice*, 27.4.2023
- ²² ZIMMERMANN František , *Automatizace v malých a velkých firmách*. *MM Průmyslové spektrum – nejčtenější strojírenský časopis a jeho digitální obsah* [online]. 13.10.2021 [cit. 03.04.2023]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/automatizace-v-malych-a-velkych-firmach>
- ²³ VOJÁČEK Antonín, *Současný stav a vývoj trhu kolaborativních robotů*, *Automatizace.HW.cz*, *Elektronika v automatizaci* [online]. 12.2.2023 [cit. 25.04.2023], Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/soucasny-stav-a-vyvoj-trhu-kolaborativnich-robotu.html>
- ²⁴ *Asociace malých a středních podniků a živnostníků České republiky (AMSP ČR)*. *Asociace malých a středních podniků a živnostníků ČR – Informační servis pro malé a střední firmy* [online]. [cit. 30.04.2023]. Dostupné z: <https://amsp.cz/asociace-malych-a-strednich-podniku-a-zivnostniku-ceske-republiky-amsp-cr/>
- ²⁵ *Ipsos pro AMSP ČR, Robotizace v malých a středních podnicích, závěrečná zpráva*[online]. 03.2022, str.2-8, dostupné z: https://amsp.cz/robotizace-v-malych-a-strednich-podnicich/#:~:text=IPSOS%20pro%20AMSP_Robotizace%20v%20MSP

-
- ²⁶ ISO/TS 15066:2016, Robots and robotic devices, Collaborative robots, únor 2016, 33 stran, ICS: 25.040.30
- ²⁷ VOJÁČEK Antonín, Problematika bezpečnosti kolaborativních robotů-ISO/TS 15066, *Automatizace.HW.cz*, Elektronika v automatizaci [online]. 17.10.2019 [cit. 25.09.2023], Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/problematika-bezpecnosti-kolaborativnich-robotu-isots-15066.html>
- ²⁸ Cyber-Weld, Benefits of Using Collaborative Robots in Manufacturing, *cyberweld.co.uk*, Robotic System Integrators [online]. 20.6.2023 [cit. 25.11.2023], Dostupné z: <https://www.cyberweld.co.uk/benefits-of-using-collaborative-robots-in-manufacturing>
- ²⁹ Státní zdravotní ústav, Nemoci z povolání, *szu.cz*, [online]. [cit. 30.11.2023]. Dostupné z: <https://szu.cz/temata-zdravi-a-bezpecnosti/pracovni-prostredi-a-zdravi/nemoci-z-povolani/>
- ³⁰ Příručka: Automatizační a robotická technika. In: Strojnícka fakulta TUKE [online]. Košice: Strojnícka fakulta TU v Košiciach, 2011 [cit. 2018-04-11]. Dostupné z: http://www.sjf.tuke.sk/vitralab/files/vystupy/prirucka_sk_final.pdf
- ³¹ MIKL Marek, obchodní zástupce HCR CZECH [ústní sdělení], Otrokovice, 27.4.2023
- ³² EMI corp, *emicorp.com* [online] [cit. 30.09.2023]. Dostupné z: <https://www.emicorp.com/>
- ³³ Zlín Robotics, *zlinrobotics.cz* [online] [cit. 30.09.2023]. Dostupné z: <https://www.zlinrobotics.cz/mobilni-stojany-pro-roboty-techman>
- ³⁴ Asociace malých a středních podniků a živnostníků České republiky (AMSP ČR). Asociace malých a středních podniků a živnostníků ČR – Informační servis pro malé a střední firmy [online]. [cit. 30.04.2023]. Dostupné z: <https://amsp.cz/asociace-malych-a-strednich-podniku-a-zivnostniku-ceske-republiky-amsp-cr/>
- ³⁵ VOJÁČEK Antonín, Současný stav a vývoj trhu kolaborativních robotů, *Automatizace.HW.cz*, Elektronika v automatizaci [online]. 12.2.2023 [cit. 25.04.2023], Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/soucasny-stav-a-vyvoj-trhu-kolaborativnich-robotu.html>
- ³⁶ Ipsos pro AMSP ČR, Robotizace v malých a středních podnicích, závěrečná zpráva [online]. 03.2022, str.2-8, dostupné z: https://amsp.cz/robotizace-v-malych-a-strednich-podnicich/#::~:~:text=IPSOS%20pro%20AMSP_Robotizace%20v%20MSP
- ³⁷ Muni, Základní kritéria a parametry ergonomického hodnocení, *is.muni.cz* [online] [cit. 22.12.2023]. Dostupné z: <https://is.muni.cz/el/med/podzim2006/EPP11111/2.pred..pdf>
- ³⁸ Ústav zdravotnických informací a statistiky České republiky, Výběrové šetření o zdravotním stavu české populace, *uzis.cz* [online] [cit. 22.12.2023]. Dostupné z: https://www.uzis.cz/sites/default/files/knihovna/48_02.pdf
- ³⁹ Tente, Jak vypočítat nosnost pojezdových kol a koleček?, *tente.com* [online] [cit. 15.10.2023]. Dostupné z: <https://www.tente.com/cs-cz/know-how/load-capacity-castors-wheels>