



Bakalářská práce

Autonomní doručovací robot

Autonomous delivery robot

Autor: **William J. Meyers**

Studijní program: (B) Bakalářský
Studijní obor: (B8208) Design

Vedoucí: prof. ak. Soch. Marian Karel

Praha, červen 2023

© William J. Meyers

České vysoké učení technické v Praze, 2023

Klíčová slova: *robot, doručování, zásilka, autonomní, postman, doručovací box, omnikolečko*

Key words: *robot, delivery, parcel, autonomous, postman, delivery box, omniwheel*



2/ ZADÁNÍ bakalářské práce

jméno a příjmení: *WILLIAM MEYER*

datum narození:

akademický rok / semestr: *LS 2022/2023*

obor: *PRŮMYŠLOVÝ DESIGN*

ústav: *15150 ÚSTAV DESIGNU*

vedoucí bakalářské práce: *prof. Akad. soch. MARIAN KAREL*

téma bakalářské práce: *SMART CITY*

viz přihláška na BP

zadání bakalářské práce:

1/ popis zadání projektu a očekávaného cíle řešení

- *AUTONOMNÍ DORUČOVACÍ SLUŽBA; DORUČENÍ ZAJILKY V POSLEDNÍ MÍLI*

2/ popis závěrečného výsledku, výstupy a měřítko zpracování

*ANALYTICKÁ ČÁST, FORMULACE VIZE; TVŮRČÍ ČÁST;
VIZUALIZACE A MODEL*

3/ seznam případných dalších dohodnutých částí BP

N/A

Datum a podpis studenta

2.3.2023

Datum a podpis vedoucího DP

registrováno studijním oddělením dne

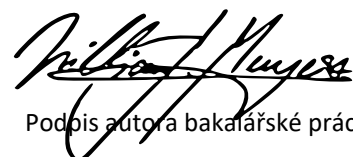
2.3.2023

České vysoké učení technické v Praze, Fakulta architektury	
Autor: William J . Meyers	
Akademický rok / semestr: 2022/2023 LS	
Ústav číslo / název: 15150 / Ústav designu	
Téma bakalářské práce - český název: Chytré město	
Téma bakalářské práce - anglický název: Smart City	
Jazyk práce: čeština	
Vedoucí práce:	prof. ak. soch. Marian Karel
Oponent práce:	Doc. Ing. arch. Patrik Kotas
Klíčová slova (česká):	<i>robot, doručování, zásilka, autonomní, postman, doručovací box</i>
Anotace (česká):	V mé bakalářské práci se zabývám návrhem autonomního doručovacího robota v souvislosti s projektem, který spojuje studenty z různých fakult ČVUT. Využil jsem příležitosti spolupracovat na tomto projektu a přizpůsobil ho svému předmětu bakalářské práce. V práci se zaměřuji na konstrukci robota, tvar jeho schránky a jeho vliv na okolí.
Anotace (anglická):	In my bachelor's thesis, I focus on designing an autonomous delivery robot in connection with a project involving students from various faculties of the Czech Technical University (ČVUT). I seized the opportunity to collaborate on this project and tailored it to fit the scope of my bachelor's thesis. The thesis addresses the robot's construction, shape of its cargo compartment/shell, and its impact on surrounding environment.

Prohlášení autora

Prohlašuji, že jsem předloženou bakalářskou 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 24. 5. 2023



Podpis autora bakalářské práce

Tento dokument je nedílnou, povinnou součástí bakalářské práce i portfolia (titulní list)

ANOTACE

V mé bakalářské práci se zabývám návrhem autonomního doručovacího robota v souvislosti s projektem, který spojuje studenty z různých fakult ČVUT. Využil jsem příležitosti spolupracovat na tomto projektu a přizpůsobil ho svému předmětu bakalářské práce. V práci se zaměřuji na konstrukci robota, tvar jeho schránky a jeho vliv na okolí.

ABSTRACT

In my bachelor's thesis, I focus on designing an autonomous delivery robot in connection with a project involving students from various faculties of the Czech Technical University (ČVUT). I seized the opportunity to collaborate on this project and tailored it to fit the scope of my bachelor's thesis. The thesis addresses the robot's construction, shape of its cargo compartment/shell, and its impact on surrounding environment.

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval panu doc. MgA. Josefu Šafaříkovi, Ph.D. a prof. ak. soch. Marianu Karlovi za jejich ohromnou podporu, odborné rady, konzultace a připomínky během realizace tohoto projektu. Nedílnou součástí mého poděkování směřuje doc. Ing. Václavu Jirovskému, Csc. za možnost se podílet na tomto projektu a také bych poděkoval mému spolučlenovi týmu aktuálně vyvíjeného projektu doručovací služby, studentovi Fakulty strojní na ČVUT, Aleši Plačkovi za odbornou pomoc při konstrukčním řešení robota. Taktéž si velmi vážím pana doc. Ing. arch. Patrika Kotase, který svolil býti mým oponentem, což pokládám za čest.

V neposlední řadě má vděčnost patřit i mým rodičům, a to za neúnavnou podporu počas procesu této práce, rovněž tak i při celém studiu.

OBSAH

ANOTACE.....	5
ABSTRACT	5
PODĚKOVÁNÍ.....	6
1. ÚVOD.....	9
1.1 Proces hledání tématu	9
1.2 Přiblížení tématu a náhlá změna rámce projektu	9
1.3 Harmonogram	10
1.4 Cíl bakalářské práce	11
1.5 Cílová skupina.....	11
2. ANALYTICKÁ ČÁST.....	11
2.1 Historie autonomního doručování.....	11
2.2 Druhy autonomních doručovacích robotů na trhu	13
2.2.1 Starship	13
2.2.2 Amazon Scout.....	14
2.2.3 DeliRo ZMS.....	15
2.2.4 Fedex Roxo	16
2.2.5 KiwiBot.....	17
2.2.6 TeleRetail Delivery Robot.....	18
2.2.7 Serve.....	19
2.3 Technologie a funkce robota	20
2.3.1 Robotův zrak a orientace v prostředí.....	20
2.3.2 Tvorba mapy pomocí robotova zraku	21
2.3.3 Co je to technologie LIDAR?.....	23
3. VÝSTUP ANALÝZY A FORMULACE VIZE.....	23
3.1 Výstup analýzy	23
3.2 Formulace vize	24
4. PROCES NAVRHOVÁNÍ.....	25
4.1 Představení doručovacího boxu pro zasazení do kontextu.....	25
4.1.1 Grafické znázornění konceptu doručovacího boxu	32
4.1.2 Kartézské rameno neboli „Gantry“.....	33

4.2	Navrhovací proces autonomního doručovacího robota	34
4.2.1	Návrh kol	34
4.2.2	Mecanum kolo.....	34
4.2.3	Omni kolo	36
4.3	Návrh krytu.....	36
4.4	Zkoušení prototypu v měřítku pro skutečný model	40
6.	VÝSLEDNÝ MODEL	43
	44
	44
	45
6.1.1	Porty pro elektromagnetický zámek.....	45
6.1.2	Hliníková skořepina.....	46
6.1.3	Vnitřní nosná konstrukce a deska	46
6.1.4	Plastový kryt	47
6.1.5	Obrazovka a senzory	48
6.1.6	Baterie a elektronický regulátor rychlosti	48
6.1.7	Umístění elektromotorů v robotovi.....	49
6.1.8	Pohled na skladbu omnikola.....	50
6.1.9	Pohled na skladbu předního klasického kola.....	50
6.1.10	Bezdrátové dobíjení	51
7.	Technická dokumentace	52
8.	Závěr a reflexe	55
9.	SEZNAM ZDROJŮ	57

1. ÚVOD

1.1 Proces hledání tématu

Od samého počátku jsem cítil vnitřní přesvědčení, že chci zaobírat v oblasti produktového designu s důrazem na jeho širší vliv na společnost. Toužil jsem vytvořit produkt, který by měl praktickou využitelnost, a zároveň by přinášel uživatelům zjednodušení jejich každodenních činností. Mou motivací byla snaha o spojení funkčnosti, techniky, různých mechanismů a technologie s estetikou. Tato snaha se ve mně více utvrdila poté, co jsem v předchozím semestru vypracoval projekt, v němž jsem vyvinul zařízení na tělo s různými senzory, schopnými monitorovat a analyzovat tělesné funkce. Tato zkušenost mě vtáhla do hlubších vod designu a ukázala mi, kam přesně se chci v oblasti produktového designu ubírat a pro jaký trh mám cit, a kdo z designérů je pro mě největším inspiračním přínosem, jmenovitě: Jony Ivy, Dieter Rams či James Dyson.

Náhle jsem se ocitl před výzvou, jak přesně tyto myšlenky a nadšení promítnout do konkrétního produktu. Přestože jsem si představoval design, který by propojil technologický pokrok s uživatelsky přívětivým a lákavým vzhledem, přičemž by zároveň vyzařoval lidskost, sofistikovanost a atraktivitu, musel jsem se zamyslet nad tím, jakou formu by tento produkt měl mít.

A právě v tomto momentu přišla poslední část mého studia a s ní nečekaná příležitost. Byl jsem osloven, abych se podílel na projektu s názvem "Autonomní služba doručování zásilek", který zadala externí instituce. Tento projekt, který bude trvat až do jara 2024, veden odbornou rukou, doc. Ing. Václavem Jirovským CSc., se mi zdál jako ideální příležitost, jak uplatnit své schopnosti a přístup v rámci dané problematiky. Byl jsem nadšen možností spolupracovat na projektu, který by měl reálný dopad na praxi a současně by mi umožnil prozkoumat potenciál autonomních technologií v oblasti doručování zásilek. To nezmiňuji reálnou možnost usilovat o něco kolektivně a vidět, jaké to doopravdy je, vyvíjet projekt v rámci týmu.

1.2 Přiblížení tématu a náhlá změna rámce projektu

Tým, který se podílí na projektu, je složen z různých odborníků. Z dopravní fakulty se na projektu podílí František Potocký, který se specializuje na logistiku. Z fakulty strojní přispívá konstruktér Aleš Plaček. Já se pak věnuji designu. Celým týmem vede doc. Ing. Václav Jirovský, CSc.

Původní zadání projektu se týkalo vytvoření doručovacího systému s rozsáhlým polem působnosti. Měli jsme vytvořit službu podobnou konkurenčním

doručovacím systémům, které jsou umístěny v různých částech měst a umožňují uživatelům vyzvednout si své zásilky. Náš systém měl zahrnovat doručovací box, kam by se zásilky ukládaly, a zajišťovat logistické řešení interakce mezi doručovatelem a uživateli.

Unikátnost našeho projektu spočívá v tom, že v přízemí, na úrovni země, jsou umístěni roboti, kteří by měli provádět rozvoz zásilek uživatelům v tzv. poslední míli. Inspirací pro tyto roboty byly již existující konkurenční společnosti, které ve světě využívají podobné roboty například k doručování jídla a nákupů. Začali jsme tedy navrhovat univerzální službu, kterou lze umístit venku a zohledňovali jsme klimatické podmínky mírného pásma, aby byl robot přizpůsobený různým povětrnostním podmínkám.

Ve druhé fázi navrhování však zadavatel změnil požadavky. Původně plánovaná venkovní doručovací služba, která byla přizpůsobena infrastruktuře, se změnila na rozvoz zásilek pouze v uzavřených areálech, jako jsou velké kancelářské komplexy. Tato změna nám přinesla určité zjednodušení, ale také komplikace. Museli jsme přepracovat celý koncept doručovacího boxu, protože musel být vhodný pro vnitřní prostory, kde není přebytek místa.

1.3 Harmonogram

Na počátku jsme čelili značným obtížím při řešení harmonogramu, neboť jsme vyčkávali na připojení konstruktéra, jehož přítomnost byla nezbytná pro zahájení projektu. Samotný projekt se započal až v začátcích měsíce dubna, od té doby jsme se pravidelně konzultovali jak s panem Jirovským, tak i interně jako tým, abychom prodiskutovali různá řešení a koncepty týkající se celého doručovacího systému. Už zmíněná komplikace vyplývající ze změny požadavků ze strany zadavatele výrazně ovlivnila reorganizaci našeho celkového harmonogramu. Tím pádem došlo ke zpoždění procesu návrhu obecně a mého navrhování vlastního.

Byli jsme nuceni přepracovat celý koncept doručování. Vzhled a konstrukční aspekty robota se bezprostředně odrážejí v konstrukčním řešení, rozměru doručovacího boxu a způsobu transportu zásilky z boxu na robota. Všechny tyto faktory mají vliv na vzhled robota, a právě proto jsme museli nejprve vyřešit celý koncept doručovacího systému, než jsem se pustil do samotného návrhu robota. Proces navrhování robota jako takového, tak byl odložen o další měsíc, až do okamžiku, kdy jsme dosáhli konečné verze doručovacího boxu.

Myslím si, že všechny tyto překážky jsou součástí skutečného světa a navzdory všem komplikacím je v podstatě přijímám s radostí, neboť mě donutily pracovat efektivněji a posílily moji schopnost kritického myšlení.

1.4 Cíl bakalářské práce

Moje vize spočívá v konceptu navržení doručovacího robota, který zaujme co nejmenší prostorovou náročnost. Cílem je dosáhnout co nejmenších rozměrů, které samozřejmě budou záviset na maximální povolené váze pro transport. Současně se snažím o vizuální adaptabilitu robota k jeho okolí. Vzhledem k tomu, že je primárně zamýšlen pro různé kancelářské prostory, usiluji o nenápadnost, minimalistický design a jednoduchost. Každá křivka robota by měla reflektovat jeho funkcionalitu a záměr. Chci, aby působil sofistikovaně, elegantně a zároveň s dynamikou, i když se na první pohled může zdát, že to odporuje požadavku nenápadnosti. Navíc je důležité, aby robot působil přívětivě na uživatele a vzbuzoval jejich důvěru pro interakci s ním.

Jedním z cílů je bezpochyby nekomplikovaná tvarovost či řešení robota, jenž nebude náročné na výrobu. Dalším cílem je implementace bezdrátového dobíjení do robota, přičemž dobíjecí stanice bude umístěna ve spodní části doručovacího boxu. Rovněž je mým záměrem ve fázi navrhování představit koncept samotného doručovacího boxu, aby bylo pochopeno, jak systém bude fungovat, neboť vše úzce souvisí s konečnou podobou robota.

1.5 Cílová skupina

Cílovou skupinou jsou tedy všechny uzavřené, převážně kryté areály a kancelářské komplexy, a to všichni uživatelé těchto prostor. Cílová skupina zahrnuje široké spektrum uživatelů, ale primárně se jedná o homogenní skupinu, která bude s robotem přicházet do styku na denní bázi. Naším uživatelem je každý, kdo se v těchto místech dlouhodobě pohybuje (resp. je zaměstnán) a potřebuje doručit zásilky hlavně střední váhy a velikosti.

2. ANALYTICKÁ ČÁST

2.1 Historie autonomního doručování

Autonomní doručovací roboti nemají dlouhou historii. Tato služba se teprve nedávno začala rozvíjet. Můžeme říci, že právě teď píšeme novou kapitolu v jejich historii. Pandemie COVID-19 a rostoucí potřeba doručení bez fyzického kontaktu přispěly k rychlému nasazení těchto robotů, které předtím procházely jen omezenými testy a čelily řadě legislativním překážkám.

Je fascinující sledovat, jak se z této potřeby vyvinula skutečná poptávka a jak společnosti reagují na nové výzvy a přinášejí inovativní řešení.¹

Jednou z předních společností na poli autonomních doručovacích robotů je Starship Technologies. Tato estonská společnost se stala průkopníkem v tomto odvětví a má za sebou již dva miliony doručení. Jejich vozový park se rozrostl na více než tisíc robotů a stále roste. Starship Technologies se zaměřuje především na doručování jídla a jejich roboti se pohybují po univerzitních kampusech, ale také ve městech jako je Londýn, Berlín nebo Helsinky.²

Nejnovější generace těchto robotů se pyšní pokročilou technologií. Využívají kamery, senzory, GPS a laserové skenery pro navigaci a bezpečný pohyb ve veřejném prostoru. Jsou schopni rozpoznávat překážky, vyhýbat se jim a plánovat optimální trasy doručování. I přesto, že mají svá omezení, jako je nutnost častého nabíjení a omezený dosah, jsou předpoklady pro jejich další rozvoj velmi slibné.³

Spolu s Starship Technologies se na trhu objevují i další významní hráči. Velké doručovací společnosti jako DHL, Amazon a Fedex si uvědomily potenciál autonomních doručovacích robotů a začaly je využívat ve svých operacích. Tyto společnosti se zaměřují nejen na doručování jídla, ale také na rozvážku balíků a zásilek. Je fascinující sledovat, jak se trh rozrůstá a jak se nové technologie integrují do každodenního života.

Nasazení autonomních doručovacích robotů na univerzitních kampusech a v komunitách s prostornými chodníky se jeví jako logický krok. Tyto oblasti jsou ideální pro testování a zdokonalování technologie. Mladí lidé a studenti se snadno adaptovali na přítomnost robotů ve svém okolí a přijali je s otevřenou náručí. Roboti se stali nedílnou součástí jejich každodenního života, ať už při objednávání jídla nebo při přepravě balíků.

Výhody autonomních doručovacích robotů jsou zřejmé. Kromě bezkontaktního doručování přinášejí také úsporu času a zvyšují efektivitu doručovacích služeb.

¹ Robots hit the streets as demand for food delivery grows | AP News. Associated Press News: Breaking News | Latest News Today[online]. Copyright © copyright [cit. 24.05.2023]. Dostupné z: <https://apnews.com/article/coronavirus-robot-food-delivery-technology-business-5b7dbb782f89ef3d586eefb9a33d5e1c>

² Starship Technologies: Autonomous robot delivery - The future of delivery - today!. Starship Technologies: Autonomous robot delivery - The future of delivery - today! [online]. Copyright © Starship Technologies [cit. 24.05.2023]. Dostupné z: <https://www.starship.xyz>

³ Robots hit the streets as demand for food delivery grows | AP News. Associated Press News: Breaking News | Latest News Today[online]. Copyright © copyright [cit. 24.05.2023]. Dostupné z: <https://apnews.com/article/coronavirus-robot-food-delivery-technology-business-5b7dbb782f89ef3d586eefb9a33d5e1c>

Zároveň otevírají nové možnosti zaměstnanosti v oblasti údržby a řízení těchto robotů. Je fascinující přemýšlet o budoucnosti, kdy budou autonomní doručovací roboti běžnou součástí našich měst a přinesou inovace do oblasti logistiky a dopravy.

V současné době se zdá, že autonomní doručovací roboti mají před sebou světlou budoucnost. Jejich nasazení se rozšiřuje do dalších oblastí a společnosti investují do výzkumu a vývoje. Nové technologie a inovace neustále posouvají hranice toho, co je možné. Jsme svědky nového pokroku a s napětím očekáváme, jak se tato oblast bude vyvíjet v příštích letech.

2.2 Druhy autonomních doručovacích robotů na trhu

V tabulce lze vidět přehled aktuálně nejrozšířenějších doručovacích robotů.

Robot	(délka x šířka x výška v cm)	Max. rychlost	Hmotnost	Nosná hmotnost	Místo možného použití
Starship	67,8x56,9x55,4	6 km/h	23 kg	10 kg	Chodník
Amazon scout	76,2x61x73,7	24 km/h	45 kg	23 kg	Cyklostezka
DeliRo ZMS	96,2x66,4x108,9	6 km/h	70 kg	50 kg	Chodník
FedEx Roxo	91,4x71,1x147,3	16 km/h	91 kg	45 kg	Cyklostezky
					Chodník(rychlost pohybu max)
KiwiBot	55,9x43,2x55,9	2,4 km/h	18 kg	10 kg	Chodník
TeleRetail Delivery robot	147,3x71,1x86,4	56 km/h	27 kg	35 kg	Místní komunikace +
Serve	79x64x105	6 km/h	73 kg	23 kg	Místní komunikace +

2.2.1 Starship

Starship doručovací robot je malé šestikolové vozidlo, které samo naviguje po chodnících a ulicích. Má senzory, kamery a chytré algoritmy, díky kterým bezpečně projíždí kolem překážek. Roboti jsou určeni pro přepravu malých balíčků, potravin a jídel, tudíž jsou ideální na místní doručování. Zákazníci si mohou objednat pomocí aplikace a sledovat doručení v reálném čase. Až robot dorazí na místo, zákazník dostane oznámení, může robota odemknout a získat svoji zásilku. Doručovací roboti jsou ekologicky šetrní, protože jsou poháněni elektřinou a neprodukují žádné emise. Jejich rychlost je záměrně nižší, aby se mohli bezpečně pohybovat v rušných oblastech. Starship Technologies provádí pilotní programy a spolupracuje s různými firmami a organizacemi, aby testovali a zdokonalovali své

doručovací roboty. Jak již bylo nastíněno, jejich roboti jsou nasazeni ve městech po celém světě a mají plány na další rozšíření.⁴



obr. 1: Starship robot

2.2.2 Amazon Scout

Amazon Scout je moderní doručovací robot, který představil Amazon. Byl spuštěn v roce 2019 a má za cíl zlepšit efektivitu doručování až k zákazníkům. Scout je kompaktní robot s elektrickým pohonem, který dosahuje výšky přibližně 73 centimetrů a váží kolem 45 kilogramů. Má tvar malého boxu a je vybaven šesti koly, která mu umožňují plynule se pohybovat po chodnících a bezpečně přecházet ulice.

Stejně jako předchozí robot Starship je robot Scout vybaven senzory, kamerami a chytrými algoritmy, které mu pomáhají rozpoznávat okolí a bezpečně se vyhýbat překážkám, jako jsou lidé, doprava nebo nerovný terén. Scout je navržen pro přepravu malých až středně velkých zásilek. Vnitřek robota je též pochopitelně uzamykatelný, aby se zabránilo odcizení obsahu. Kapacita baterie mu umožňuje

⁴ Starship Robots - Your Local, Community Helpers - Starship Technologies: Autonomous robot delivery. Starship Technologies: Autonomous robot delivery - The future of delivery - today! [online]. Copyright © Starship Technologies [cit. 24.05.2023]. Dostupné z: <https://www.starship.xyz/the-starship-robot/>

urazit několik kilometrů na jedno nabití. Přesný dosah a kapacita baterie se mohou lišit v závislosti na konkrétním modelu, neboť jich začínají vyvíjet několik.⁵



obr. 2: Amazon Scout robot

2.2.3 DeliRo ZMS

DeliRo, což je hra se slovy „deliver“ a „robot“, je autonomním robotem vyvinutým japonskou společností ZMP. Hlavním cílem DeliRo bylo minimalizovat lidský kontakt během probíhající pandemie Covid-19, což ostatně mají všichni roboti, zmínění v této práci, společného. DeliRo je vybaven boxem, který dokáže pojmout až 8 krabic s nákladem, a je schopen dosáhnout maximální rychlosti 3,7 mil/h (6 km/h). Díky svým 360stupňovým kamerám a laserovým sensorům je schopen rozpoznat své okolí a bezpečně se pohybovat. DeliRo má celkovou délku 38" (96,2 cm), šířku 26" (66,4 cm) a výšku 43" (108,9 cm). Díky své nosnosti až 110 lb (50 kg) může robot snadno přepravovat různé předměty.⁶

⁵ Meet Scout. About Amazon [online]. Copyright © 1996 [cit. 24.05.2023]. Dostupné z: <https://www.aboutamazon.com/news/transportation/meet-scout>

⁶ DeliRo Delivery Robot Dimensions & Drawings | Dimensions.com. Dimensions | Database of Dimensioned Drawings [online]. Copyright ©2023 Dimensions.com [cit. 24.05.2023]. Dostupné z: <https://www.dimensions.com/element/deliro-delivery-robot>



obr. 3: DeliRo ZMS

2.2.4 Fedex Roxo

Roxo je samořízený doručovací robot vyvinutý společností FedEx. FedEx Roxo se poprvé představil 26. srpna 2019 na sídle FedExu v Memphisu, Tennessee, ve Spojených státech. Od té doby se rozšířil i do dalších měst, jako je Manchester v New Hampshiru a Plano a Frisco v Texasu.

FedEx Roxo dosahuje maximální rychlosti 10 mil (16 km) za hodinu a je poháněn baterií. Díky senzorům a kamerám je schopen vyhýbat se chodcům a provozu. FedEx Roxo má také více párů kol, která mu umožňují stoupat po schodech a obrubnicích, čímž se podstatně liší od svých konkurentů. Celková délka FedEx Roxo je 36" (91,4 cm), odhadovaná celková šířka je 28" (71,1 cm) a odhadovaná výška je 58" (147,3 cm). FedEx Roxo váží 200 lb (91 kg) a unese zátěž o hmotnosti 100 lb (45 kg). Maximální rychlost pohybu FedEx Roxo je 10 mph (16 km/h).⁷

⁷ FedEx's delivery bot sets foot in Japan for pilot tests - FutureIoT. FutureIoT: Delivering Connected Intelligence - FutureIoT [online]. Copyright © 2022 Cxociety Pte Ltd [cit. 25.05.2023]. Dostupné z: <https://futureiot.tech/fedexs-delivery-bot-sets-foot-in-japan-for-pilot-tests/>



obr. 4: Fedex Roxo

2.2.5 KiwiBot

KiwiBot je skvělý robotický pomocník, který přináší jídlo a byl vyvinut firmou Kiwi. Už od roku 2017 funguje ve světě a aktuálně rozváží jídlo v Kalifornii. Tento chytrý robot dokonce dokáže bez problémů spolupracovat s prodejními automaty, což usnadňuje doručování.

Kiwi robot se bezstarostně dokáže postarat o až 2 objednávky jídla najednou. Jeho výbava zahrnuje tři kamery na přední straně, širokoúhlou kameru s úhlem 180 stupňů na zadní straně a dokonce i světla. Je vybaven vysoké kvality kamerami, podporou LTE, GPS a senzory, které mu pomáhají při plnění jeho úkolů. KiwiBot je tady pro bezproblémovou spolupráci mezi lidmi a roboty.

Co se týče rozměrů, KiwiBot je přibližně 55,9 cm dlouhý, 43,2 cm široký a 55,9 cm vysoký. A pokud jde o pohyb, maximální rychlost KiwiBota je 2,4 km/h. To je dostatečně rychlé pro pohodlné doručování jídla přímo k vám.⁸

⁸ KiwiBot Dimensions & Drawings | Dimensions.com. Dimensions | Database of Dimensioned Drawings [online]. Copyright ©2023 Dimensions.com [cit. 25.05.2023]. Dostupné z: <https://www.dimensions.com/element/kiwibot>



obr. 5: Kiwi Robot

2.2.6 TeleRetail Delivery Robot

TeleRetail Delivery Robot je speciální doručovací robot, který byl vytvořen, aby pomohl s doručováním nákupních tašek a různých zásilek – jak lehčího, tak i těžšího rázu. Je to takový "přenosný kufr auta", který navrhla společnost TeleRetail a poprvé se představil v lednu 2018 ve Spojených státech.

Tento chytrý robot v současnosti nabízí své služby v Evropě a Severní Americe. Nejlepší na něm je, že si jako designeři, či uživatelé, nemusíte dělat starosti s dopravními zácpami, protože se snadno vyhýbá provozu, což pomáhá šetřit až 90% nákladů na přepravu.

Když se podíváme na jeho rozměry, TeleRetail Delivery Robot má odhadovanou délku 147,3 cm, šířku 71,1 cm a výšku 86,4 cm. Váží 27 kg a je schopen nést až 35 kg váhu. Maximální rychlost, kterou tento robot dosáhne, je 56 km/h. Což je v porovnání se svými konkurenty opravdu signifikantní rozdíl.⁹

⁹ TeleRetail Delivery Robot a Mobile Shopping Trunk. The Robot Report [online]. Copyright © 2023 WTW Media LLC. All Rights Reserved. [cit. 25.05.2023]. Dostupné z: <https://www.therobotreport.com/teleretail-delivery-robot-mobile-trunk/>



obr. 6: TeleRetail Delivery robot

2.2.7 Serve

Serve se poprvé objevil v roce 2019 v Los Angeles, Kalifornie, jako součást dodávkové služby Postmates, což zahraniční ekvivalent české služby DámeJídlo.

Serve dokáže bez větších problémů jezdit po chodnících mezi chodci a se šikovností obejít požární hydranty a obdobné překážky, které jsou v blízkosti chodníku. Rovněž tak jako předchozí autonomní doručovací roboti je vybaven senzory. Podstatně se však liší svým interaktivním dotykovým displejem, skrze který dokáže komunikovat s uživateli. Ostatní roboti, které jsem uvedl buď mají obrazovku, která je neinteraktivní, nebo nemají obrazovku vůbec. Též je zcela elektrický, což je skvělé pro životní prostředí, a má dostatek místa pro uložení až 23 kg nákladu.

A co se týče rozměrů, Serve má přibližně délku 79 cm, šířku 64 cm a výšku 105 cm. Váží 73 kg, takže je dostatečně stabilní, a dokáže se pohybovat maximální rychlostí 10 km/h.



obr. 7: Serve robot

2.3 Technologie a funkce robota

2.3.1 Robotův zrak a orientace v prostředí

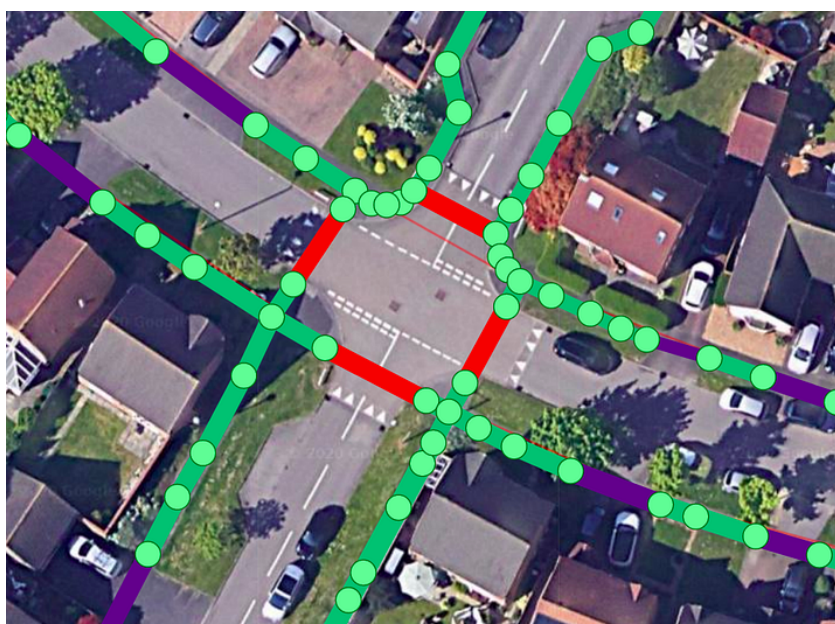
Pěší zóny jsou prostředí, kde jsou budovy po obou stranách ulice nebo jsou to parky s hodně rostlinami kolem. Je těžké přesně určit polohu jen pomocí GPS, a když chybí výrazné překážky, tak je složité použít externí senzory jako je LIDAR. Proto se používá kombinace dat z interních senzorů, GNSS (satelitního systému pro určení polohy) a speciálního filtru (AMCL), který pracuje s částicemi a využívá i LIDARová data díky rozšířenému Kalmanovu filtru (EKF).

Protože prostředí pěších zón je velmi dynamické, je lepší použít pevnou mapu namísto složitější metody SLAM. V tomto případě se používá 2D digitální mapa, která se získává pomocí speciální techniky zvané gmap-ping. Je to jednodušší a méně náročné na výpočetní prostředky než 3D mapa. Při vytváření mapy se používá 3D LIDAR s 16 úrovněmi, který je umístěn na vozidle – v tomto případě robotovi, jenž můžeme vnímat jak určitý typ vozidla. Zohledňují se jen ty údaje, které mají pozitivní výšku v systému senzoru. Tyto informace se promítají do 2D roviny a používají se při vytváření mapy a lokalizaci s pomocí metody AMCL. Kromě určení polohy vozidla v 2D prostoru metoda AMCL také poskytuje informace o přesnosti odhadu pomocí kovarianční matice. Filtr je nastaven tak,

aby generoval částice pouze kolem odhadu polohy z GNSS, a to jen na začátku a při znovuinicializaci, nikoli na celé mapě.¹⁰

2.3.2 Tvorba mapy pomocí robotova zraku

Prvním krokem při vytváření mapy pro doručovací roboty je průzkum dané oblasti a vytvoření předběžné mapy, která ukazuje chodníky, přechody a příjezdové cesty. Tato mapa slouží jako navigační systém, který umožňuje robotům plánovat svou trasu z bodu A do bodu B. Díky této mapě mohou roboti najít nejkratší a nejbezpečnější cestu a spočítat si, jak dlouho jim to bude trvat. A to nejlepší je, že všechny tyto informace mohou být získány a zpracovány před tím, než roboti vůbec dorazí na místo.



obr. 8: dráhy snímané robotem

Dalším krokem je seznámit roboty s okolním prostředím. Když robot poprvé vyrazí na svou jízdu, kamery a senzory na něm sbírají data o svém okolí. Tyto informace zahrnují tisíce linek, které označují různé objekty, jako jsou budovy, sloupy veřejného osvětlení a střechy. Na základě těchto dat je vytvořena 3D mapa světa, kterou robot používá jako svůj vlastní model světa. Teď už ví, kde se nachází a může se lépe orientovat. Protože roboti musí pokrýt různé oblasti pro dokončení doručení, je třeba spojit různé mapy do jedné velké 3D mapy. Tato mapa je vytvářena postupně a vypadá jako obrovská skládačka, která se skládá z různých částí. Server sestavuje tuto mapu na základě informací, které roboti posbírali.

¹⁰ Electronics | Free Full-Text | Interactive System for Package Delivery in Pedestrian Areas Using a Self-Developed Fleet of Autonomous Vehicles. MDPI - Publisher of Open Access Journals [online]. Copyright © 2022 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution [cit. 25.05.2023]. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/2079-9292/11/5/748>

Pokud například dva roboti zaznamenají stejnou střechu, software spojí tyto informace a propojí je s ostatními částmi mapy. Každá barevná linie na obrázku reprezentuje jednu část mapy, která byla přidána během mapování.

Posledním krokem při tvorbě mapy je získání přesných informací o šířce chodníků. K tomu se využívají obrázky pořízené kamerou, kterou robot používal při průzkumu oblasti. Tyto obrázky se porovnávají s předběžnou 2D mapou získanou ze satelitních snímků. Během tohoto procesu se do mapy přidávají další podrobnosti, které přesně určují bezpečné zóny pro pohyb robotů.



obr. 9: okolí skrze sensory robota

Samozřejmě, svět se neustále mění. Dochází k denním a sezónním změnám v krajině, probíhají stavební práce a rekonstrukce, které ovlivňují vzhled okolí. Jak tyto změny ovlivňují mapy pro roboty? Software robotů je schopný dobře zpracovat menší a střední změny v mapě. 3D modely jsou dostatečně robustní a obsahují velké množství dat, takže pokácený strom nebo zbořená budova obvykle nepředstavují problém pro schopnost robota lokalizovat se nebo použít mapu. Navíc, jak roboty každý den jezdí po svém okolí, neustále sbírají další data, která se používají k aktualizaci 3D mapy. Pokud však dojde ke kompletní změně oblasti nebo k výstavbě nových chodníků, jednoduše je potřeba mapu aktualizovat na základě nových dat, která robot nasbíral. Poté mohou další roboti znovu jezdit autonomně v této oblasti, jako by se nic nestalo. Udržování map aktuálních je klíčové pro bezpečnou a autonomní jízdu robotů.¹¹

¹¹ How Starship Delivery Robots know where they are going | by Joan Lääne | Starship Technologies | Medium. Medium – Where good ideas find you. [online]. Copyright © Starship Technologies. The design of the Starship [cit. 25.05.2023]. Dostupné z:

2.3.3 Co je to technologie LIDAR?

LIDAR, zkráceně Light Detection and Ranging, je technologie, která využívá laserového světla k měření vzdáleností a vytváření 3D map prostředí. Funguje tak, že vysílá laserové impulsy, měří jejich čas cesty a vypočítává vzdálenosti k objektům. Skenováním oblasti a kombinováním měření LIDAR generuje podrobné 3D reprezentace. Používá se při zaměřování, mapování, autonomních vozidlech a v dalších odvětvích. LIDAR se skládá z laserového vysílače, skeneru nebo zrcadlového systému a přijímače. Pomáhá vozidlům detekovat překážky a používá se při leteckých průzkumech, lesnictví, monitorování životního prostředí a dalších aplikacích.¹²

3. VÝSTUP ANALÝZY A FORMULACE VIZE

3.1 Výstup analýzy

Na základě celkové analýzy a průzkumu různých odvětví mého tématu jsem získal důležité informace, které mi pomohou při tvorbě celého konceptu mého autonomního doručovacího robota. Zjišťuji, že na trhu rapidně roste počet značek, které využívají roboty pro doručování. Z mé rešerše vyplývá, že doručovací roboti, jako například Starship, Amazon Scout, DeliRo, FedEx Roxo, KiwiBot a TeleRetail Delivery Robot, mají společné vlastnosti i rozdíly. Všichni tito roboti jsou autonomní, samostatně se navigují po chodnících a ulicích a jsou vybaveni senzory, kamerami a chytrými algoritmy pro rozpoznávání okolí a vyhýbání se překážkám. Své výhody mají v bezpečném doručování malých a středně velkých zásilek a v ekologické šetrnosti díky pohonu elektřinou bez emisí. Nicméně, mohou mít omezení v nosnosti a velikosti přepravovaných zásilek a mohou potřebovat lidský zásah v neobvyklých situacích.

<https://medium.com/starshiptechnologies/how-starship-delivery-robots-know-where-they-are-going-c97d385a1015>

¹² The Basics of LiDAR - Light Detection and Ranging - Remote Sensing | NSF NEON | Open Data to Understand our Ecosystems. Home | NSF NEON | Open Data to Understand our Ecosystems [online]. Copyright © Battelle, 2019 [cit. 25.05.2023]. Dostupné z:

<https://www.neonscience.org/resources/learning-hub/tutorials/lidar-basics>

Všichni tito roboti se primárně pohybují v exteriéru a vyžadují lidskou asistenci pro vložení nákladu. Však žádná z těchto služeb, včetně robotů, nenabízí centrální doručovací/ukládací box, který by bez lidské interference předal zásilku do robota a doveze ji ke koncovému uživateli. Studium těchto robotů jsem získal hlubší náhled na jejich fungování a technologie, které bych mohl aplikovat při formulaci vlastní vize pro doručovacího robota. Zajímá mě také o jejich dobíjení a konstrukci kol, s ohledem na manipulaci robota v různých prostorech a omezené rozměry. Ve svém návrhu bych chtěl vyvarovat případným problémům s otáčením, které mohou klasická kola způsobovat.

Na základě těchto zjištění formuluji vizi pro projekt doručovacího robota. Cílem je vytvořit robotického pomocníka, který bude schopen bez lidské asistence přebírat zásilky a doručovat je ke koncovým uživatelům. V návrhu se zaměřím na pohyb ve vnitřních prostorech a úzkých prostorech. Zároveň se budu snažit maximalizovat nosnost a kapacitu robota, aby mohl přepravovat různé druhy zásilek.

3.2 Formulace vize

Na základě provedené rešerše, analýzy jsem si stanovil jasné cíle pro můj projekt. Zároveň nesmím opomenout, že ne všechny cíle, které jsem si vytyčil byly subjektivně ušité mě, ale musel jsem reflektovat zadání, které nám zadal externí zadavatel, což je z další faktorů, jenž promítá reálné situace z této profese. Mým hlavním záměrem je tedy vytvořit autonomního doručovacího robota, který bude součástí širšího konceptu celé doručovací služby, kterou navrhuji a budu nadále rozvíjet až do následujícího roku společně se svým týmem pod vedením pana Jirovského.

Má vize je zaměřena na vytvoření robota, který bude nabízet veškeré technologické inovace používané konkurenčními značkami. Zároveň bude jednodušší na výrobu a bude vizuálně reagovat na své prostředí. Konstrukce robota bude reagovat na unikátní výzvy spojené s přepravou zásilek. Společně s týmem jsme vypracovali koncept služby, kde poštovní doručovatel nebo jiný zásilkový doručovatel vloží zásilku do doručovacího boxu. Mechanismus uvnitř boxu zásilku následně uschová do příslušného segmentu a při potřebě přepravy předá zásilku čekajícímu robotovi, který ji doručí na místo určení. Koncept je navržen tak, aby byl modulární, což znamená, že samotný autonomní doručovací robot musí být přizpůsoben tak, aby tuto vlastnost odrážel.

Koncept doručovacího boxu bude lépe nastíněn v návrhové části. S ohledem na cílovou skupinu, kterou jsou uživatelé kancelářských komplexů, je mé zaměření na to, aby robot působil přívětivě a příjemně, aniž by ztratil svou podstatu stroje

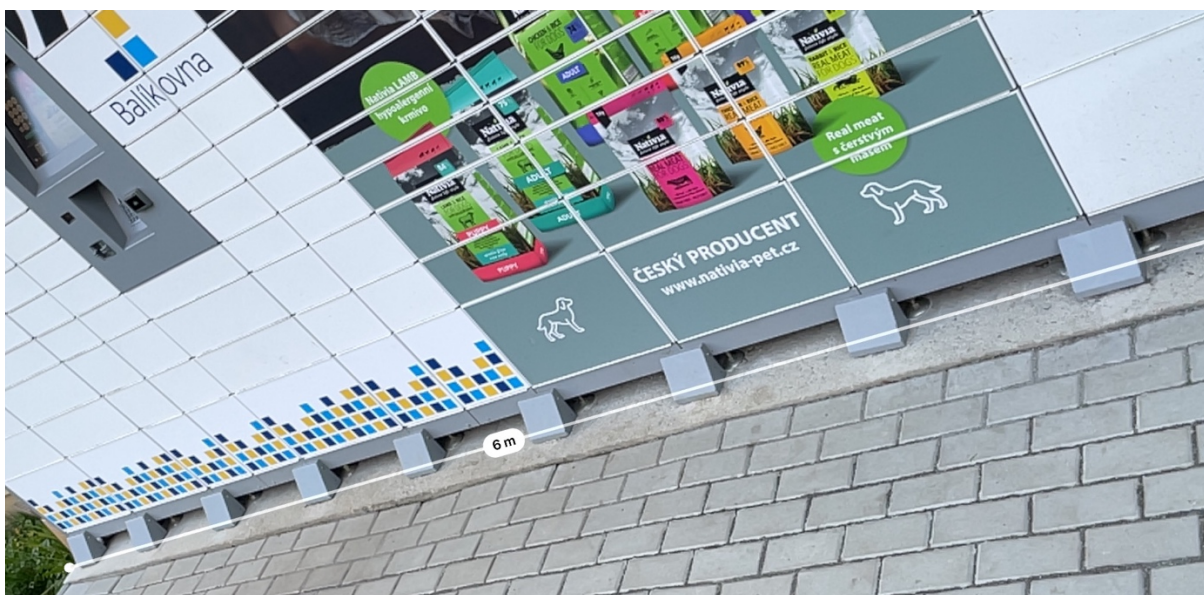
– respektive, aby nebyl humanoidní. Zvláštní důraz bude kladen na respektování nedostatku prostoru v úzkých chodbách a kancelářích. Plánuji do robota implementovat interaktivní displej s hlasovou zpětnou vazbou, která se osvědčila jako nejlepší prostředek, jak přimět uživatele nemít obavy z využívání služby a zpříjemnit interakci mezi robotem a uživatelem. Vytvoření důvěry či tzv. „prolomení ledů“ mezi člověkem a strojem je klíčovým aspektem pro jakoukoli službu, která využívá jakýkoli druh stroje. Další předností robota bude použití nových typů kol, jako je tzv. omnikoločko, které robotovi umožní snížit pohyb při otáčení a dalším manévrování.

4. PROCES NAVRHOVÁNÍ

4.1 Představení doručovacího boxu pro zasazení do kontextu

I přesto, že samotný doručovací box není předmětem mé bakalářské práce, nýbrž jen doručovací robot sám, pokládal jsem za důležité zahrnout koncept, protože autonomní doručovací robot bude právě v rámci tohoto boxu působit, a nechci, aby byl robot vytržený z kontextu, neboť kontext je přesně to, co ho ztvárňuje.

Když jsme v týmu obdrželi změněné zadání, začali jsme adaptovat koncept doručovacího boxu pro interiérové prostředí. Vzhledem k tomu jsme mohli vynechat některé faktory z procesu designování, například zvýšenou odolnost vůči klimatickým vlivům, kterým by box v exteriéru čelil. Měli jsme možnost snížit míru zabezpečení a celkovou bezpečnost boxu, protože box byl nyní navrhován pro prostory, které jsou veřejnosti nedostupné a předpokládá se, že jsou zabezpečené. Na druhou stranu jsme museli zvýšit pozornost v oblasti kompaktnosti. Museli jsme redukovat zbytečné zabírání prostoru, protože doručovací box musí být navržen tak, aby se dal implementovat do již existujících prostor, které obvykle neposkytují dostatečné rozměry. Od počátku jsme měli za cíl dosáhnout modulárnosti boxu. Nastavili jsme modul jako průměrnou maximální velikost balíků doručovaných různými doručovacími společnostmi, což je velikost 65 cm x 45 cm x 45 cm. Samozřejmě jsme také zohlednili způsob, jakým jsou doručovací boxy řešeny u konkurenčních služeb.

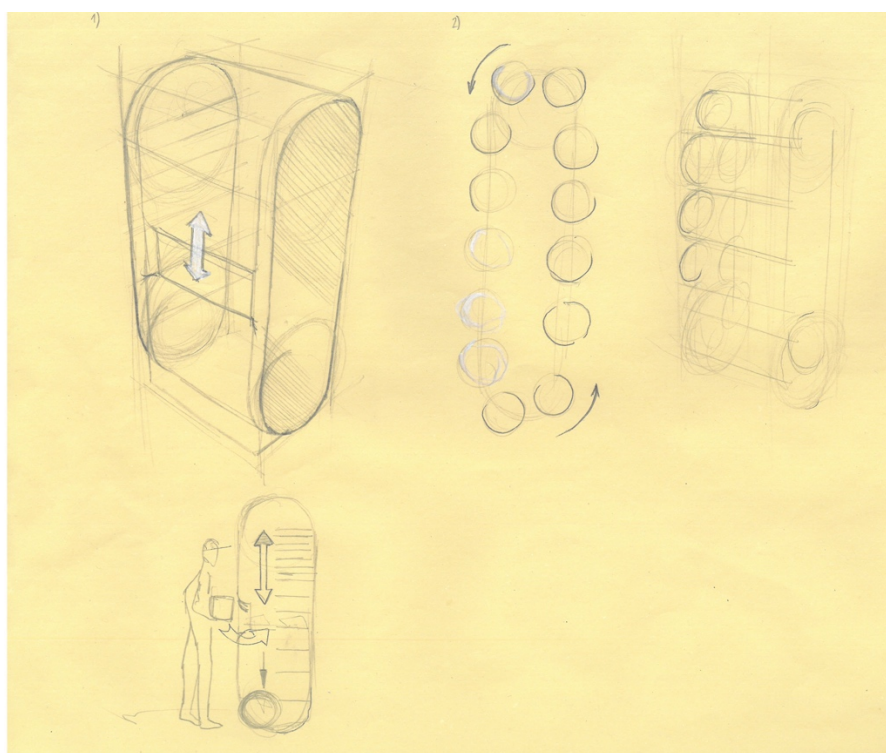


Obr. 10: archiv autora – doručovací box



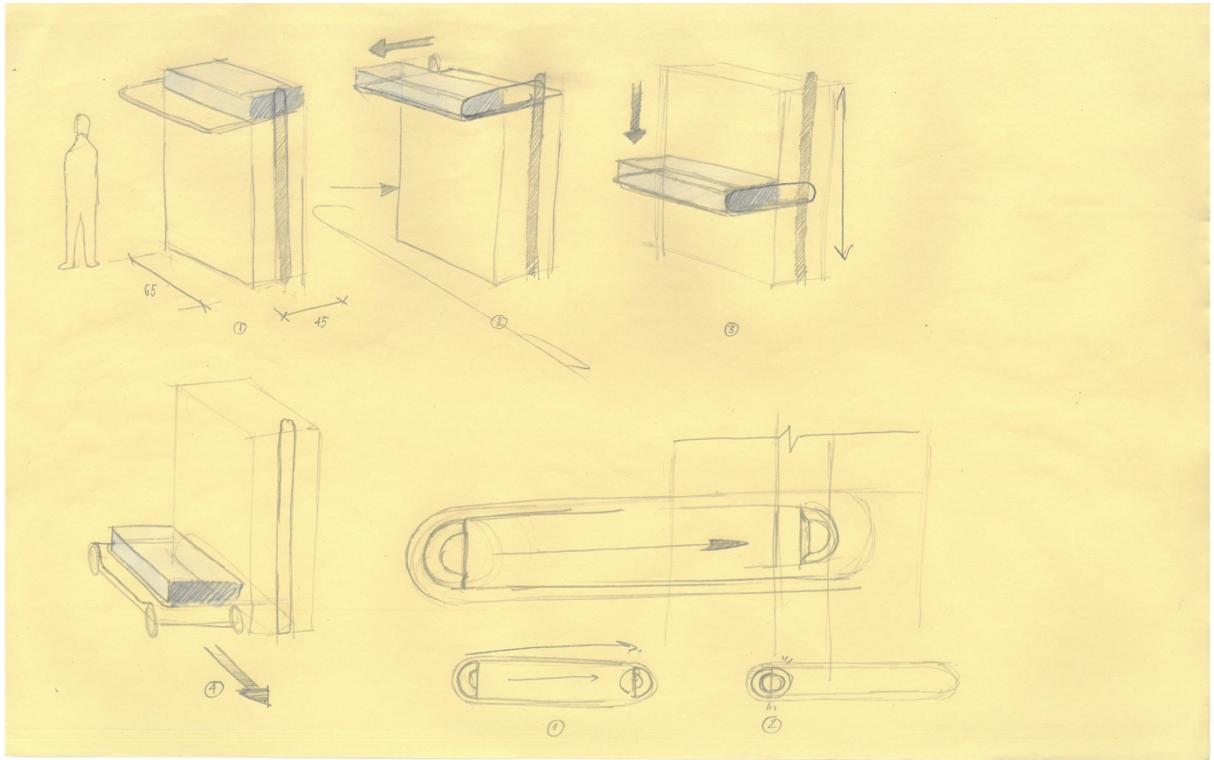
Obr. 11: archiv autora – doručovací box, rozměry

Po určení modulárních rozměrů jsme hledali vhodný mechanismus a princip, na základě kterého bude doručovací box fungovat. Obecně je snadné vymyslet doručovací box, do kterého doručovatel vloží zásilku, uzamkne ho a koncový uživatel si ji pak fyzicky vyzvedne z doručovacího boxu pomocí aplikace. Největší výzva nastává ve chvíli, kdy chcete službu plně zautomatizovat a zbavit procesu manipulace se zásilkou nutnosti, aby uživatel fyzicky přišel k doručovacímu boxu a vyzvedl si zásilku podle svého vlastního časového plánu. Naše služba by tímto přístupem byla unikátní. Původně jsme zvažovali použití principu "Pater Noster", kdy by na oběžném mechanismu byly umístěny jednotlivé kapsle, do kterých by poštovní doručovatel vložil zásilku. Pater koster by pak danou kapsli snížil na úroveň podlahy, kde by ji robot převzal a odvezl. Nakonec jsme princip "Pater Noster" vyřadili kvůli komplikované interakci mezi doručovacím boxem a robotem, i když jsme si myšlenku kapslí ponechali a následně ji rozvinuli.

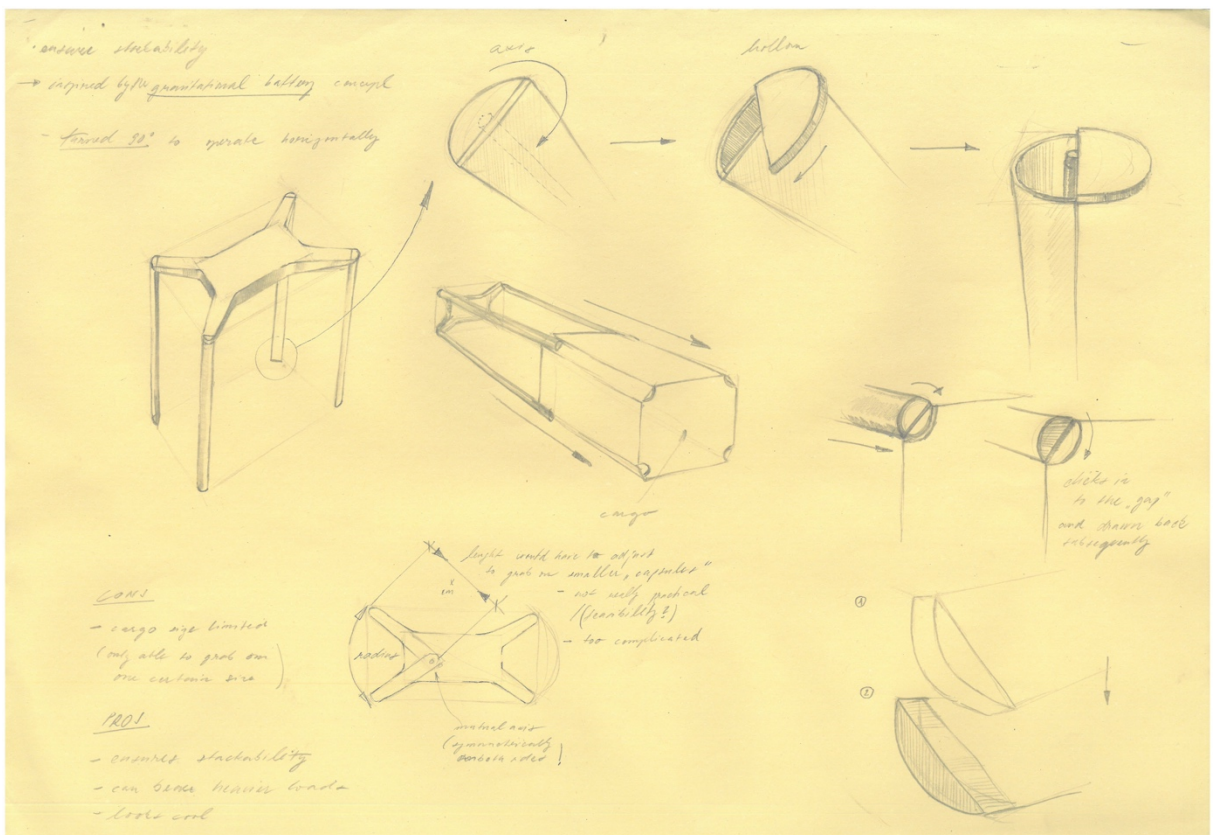


Obr. 12: archiv autora – skicy doručovací boxu

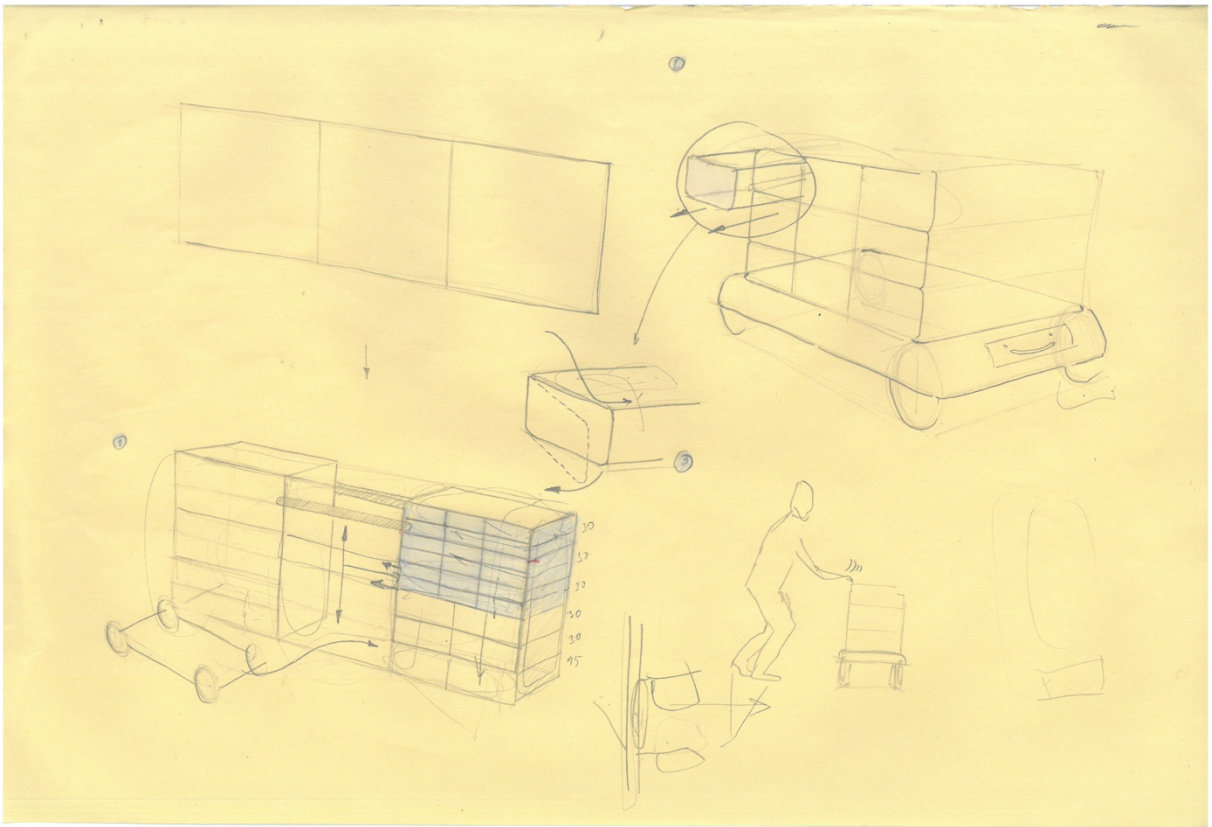
Myšlenka modulárních kapslí usnadňovala komunikaci mezi doručovacím boxem a robotem. Vytvořil jsem tedy princip, kdy by tyto kapsle byly umístěny nad sebou, podobně jako jednotlivé "skříňky" u konkurenčních služeb. Kapsle by byly umístěny nezávisle na sobě, což by umožnilo robotovi vyjmout kapsli se zásilkou, která se nachází uprostřed sloupce kapslí. Kapsle by byly umístěny v mechanismu, který se skládá z ocelového skeletu, ve kterém se pohybuje kartézské rameno, známé také jako "gantry cartesian systém", které by vytahovalo požadované kapsle se zásilkami. Nejprve představím proces návrhu doprovodnými skicami.



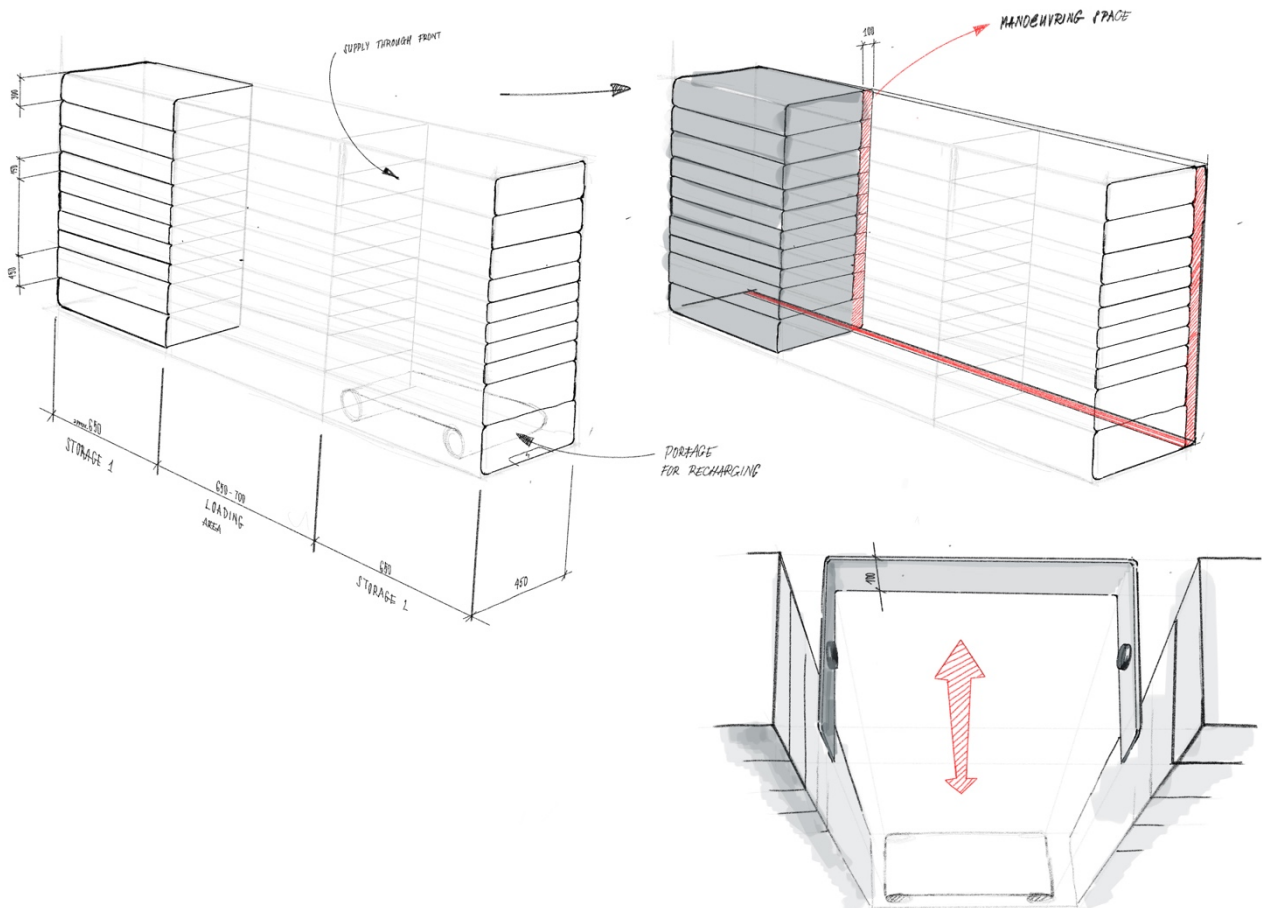
Obr. 13: archiv autora – skicy doručovací boxu



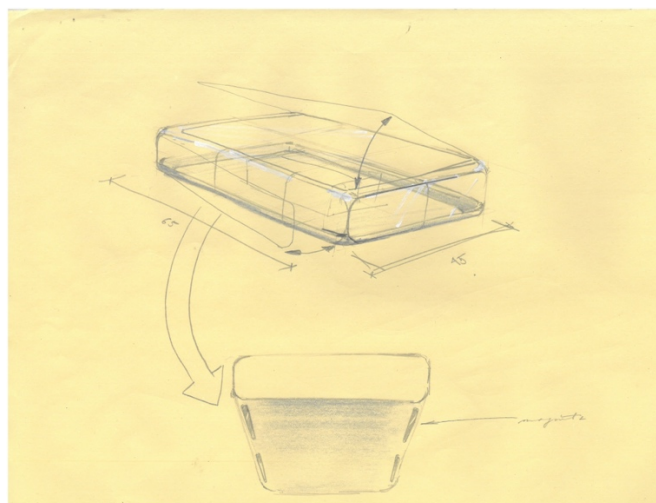
Obr. 14: archiv autora – další množnost uchopení kapsle, inspirace gravitační baterií



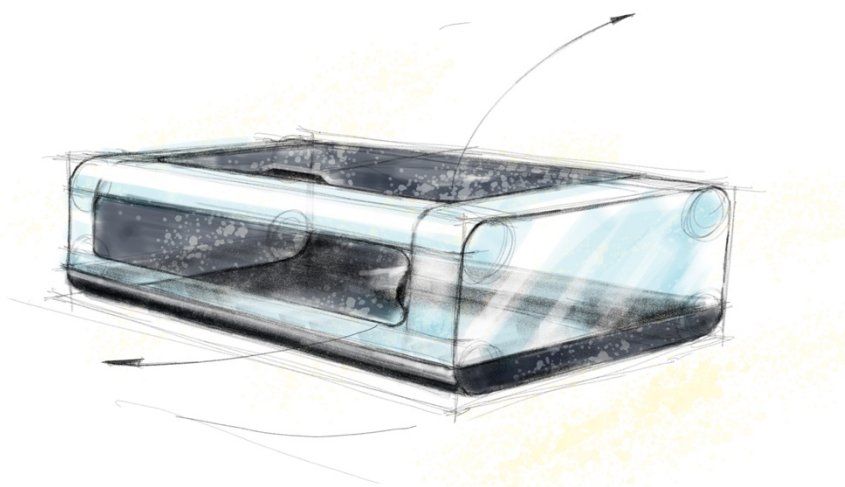
Obr. 14: archiv autora – jedna z posledních fází konceptu doručovacího boxu



V ilustraci výše je možné vidět náskrz téměř konečného principu doručovacího boxu spolu s předpokládanými rozměry jednotlivých segmentů. Doručovací box se skládá ze tří hlavních segmentů. Levé a pravé úložiště pro zásilky sestává z kapslí různé výšky, které jsou nezávisle umístěny ve sloupci, jehož výška je přibližně rovna průměrné výšce dospělého člověka. V podlahové úrovni těchto dvou segmentů, umístěných na okrajích doručovacího boxu, jsou dobíjecí stanice pro autonomní doručovací roboty. Červeně vyznačená oblast v náskru naznačuje polohu kartézského ramene, které bude přesouvat kapsle pomocí tohoto systému. Z pohledu poštovního doručovatele se kapsle obsluhují běžným způsobem, podobně jako u konkurenčních služeb, což bylo naším záměrem – minimalizovat změnu zavedeného systému a usnadnit uživatelům přizpůsobení se našemu doručovacímu systému. Kapsle se tedy dají otevřít zepředu jako klasická skříňka. Pokud kapsle dorazí k cílovému uživateli s pomocí robota, je možné kapsli otevřít shora pro snadnější a ergonomičtější přístup.



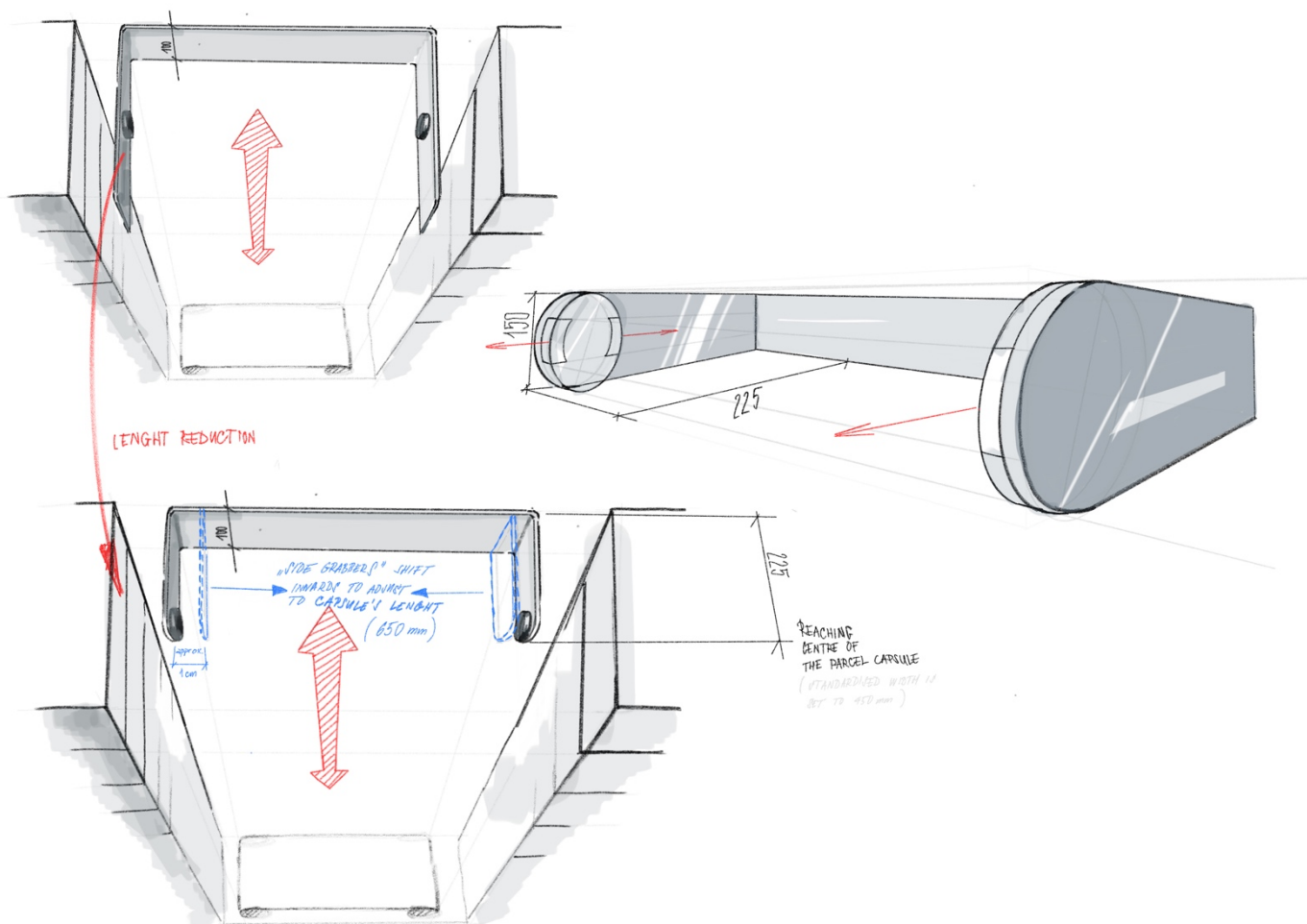
Obr. 15: archiv autora – skica kapsle pro ukládání zásilek



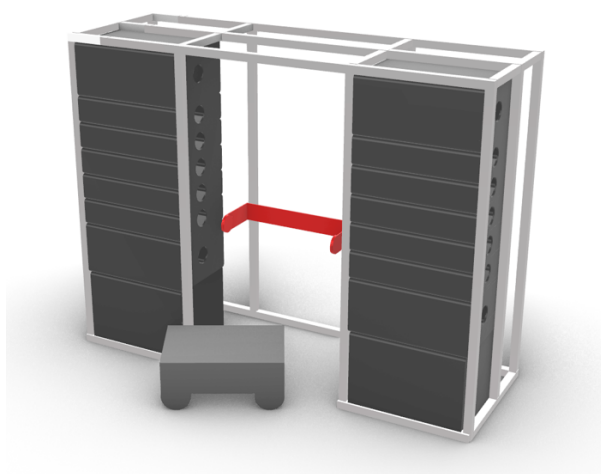
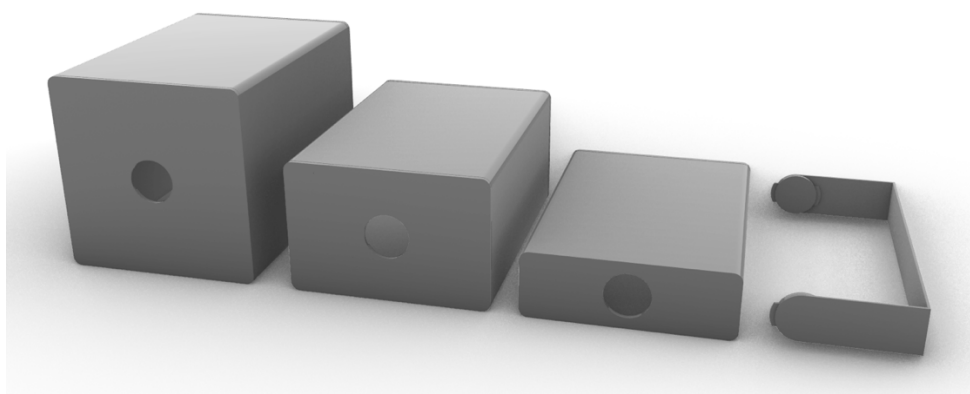
Obr. 16: archiv autora – skica kapsle a její otevírání

V nákresech výše lze vidět možnosti obsluhy a manipulace s doručovací kapslí. Velikosti, respektive výšky, kapslí jsem přizpůsobil námi danému modulovému rozměru. V přítomné době počítáme nad třemi velikostmi S, M a L, kdy šířka a délka kapslí zůstává u všech stejná, jen se mění výška, jenž je 15 cm, 30 cm a 45 cm. Zadávatel či další potenciální klienti si mohou složení boxu personalizovat podle toho, jaké velikosti zásilek potřebují transportovat nejčastěji. Třetím segmentem je nakládací segment, kde se kartézské rameno primárně posouvá po ose Z a rozkládá kapsle po celém systému.

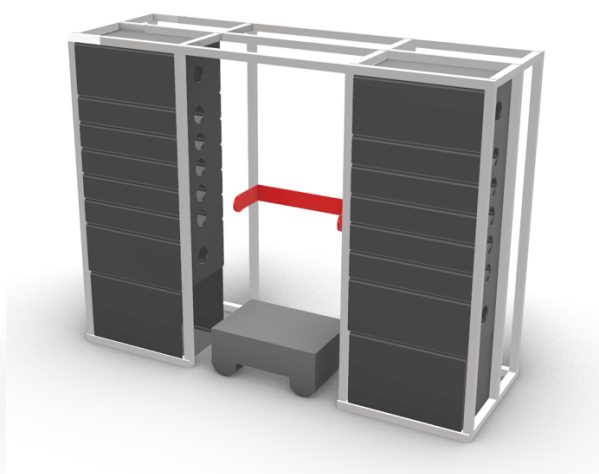
Na kartézském rameni je umístěno další rameno, které má dvě konzole s kruhovými zámkami. Tento zámek slouží k uchycení kapsle, kdy pomocí teleskopického mechanismu ji uzamkne a umožní manipulaci s ní.



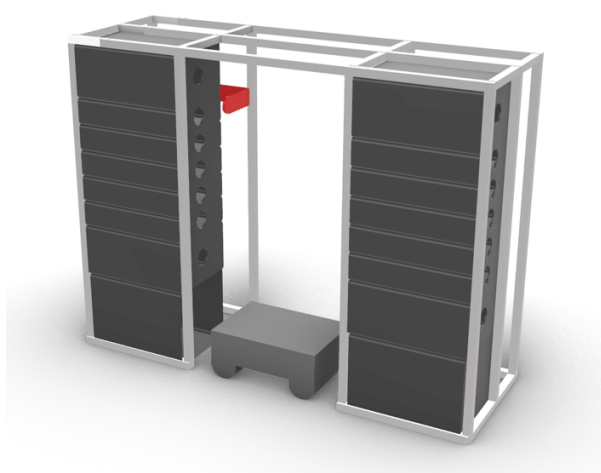
4.1.1 Grafické znázornění konceptu doručovacího boxu



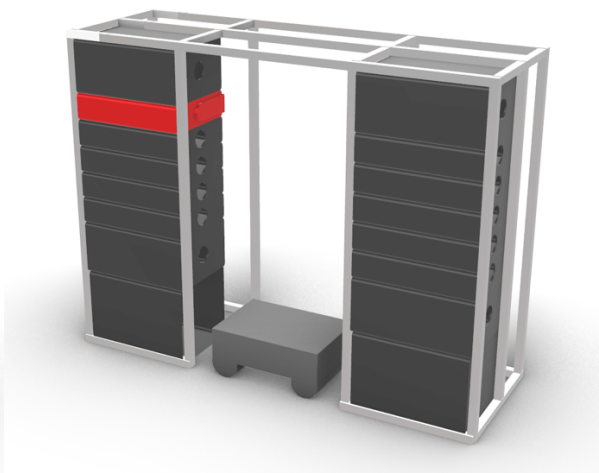
1



2

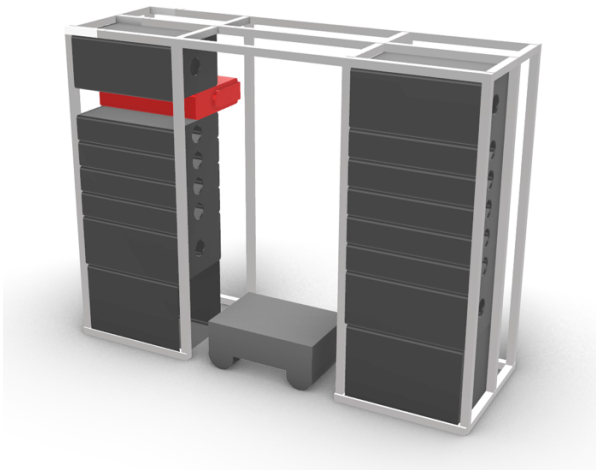


2

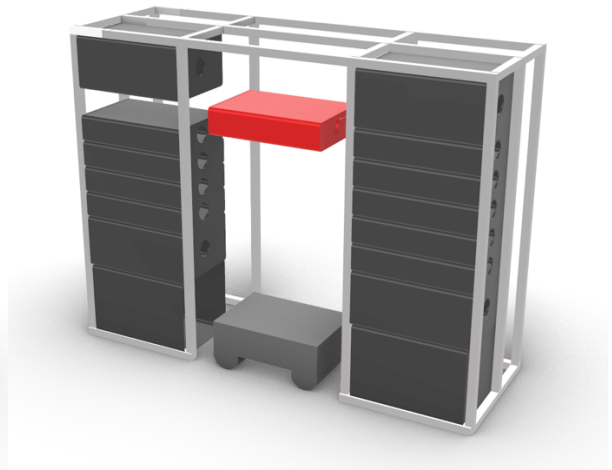


4

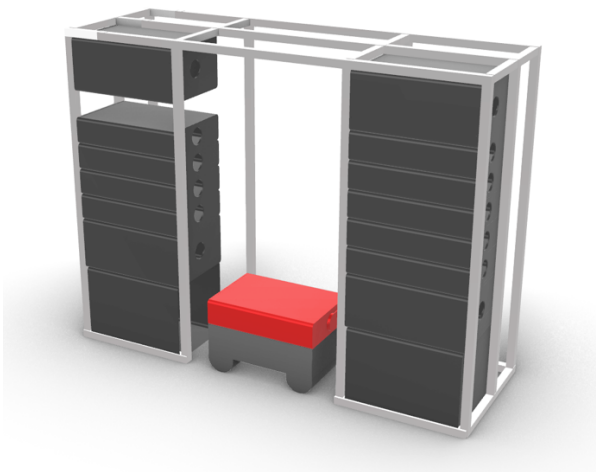
Obr. 17: archiv autora – soubor obrázků zobrazující fáze obsluhy



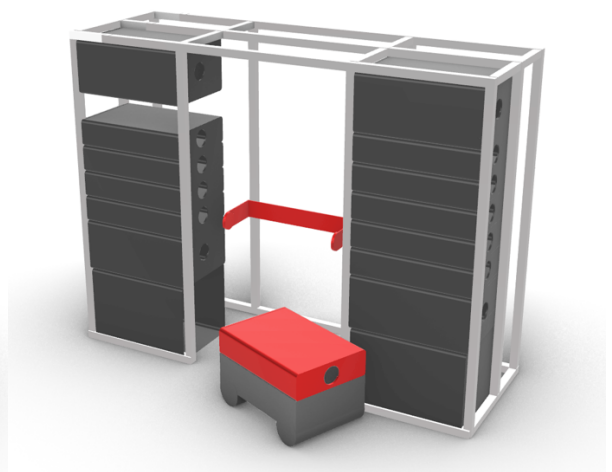
5



6



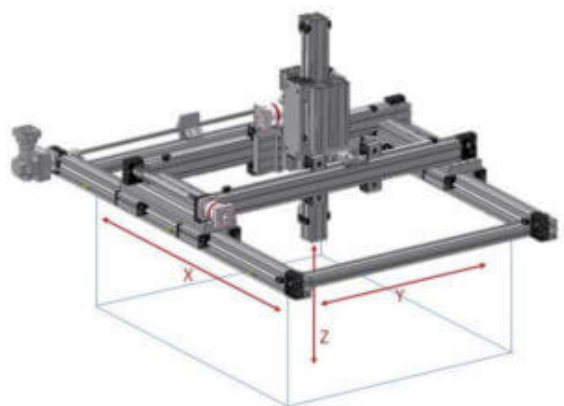
7



8

4.1.2 Kartézské rameno neboli „Gantry“

Kartézské roboty, známé také jako portační roboty, jsou zařízení, která využívají elektromotorů a lineárních aktuátorů pro umístění nástroje do určité polohy. Pohybují se po osách X, Y a Z v lineárním směru. Kovová konstrukce slouží jako rám, který určuje trasy jednotlivých os a zároveň slouží jako podpora pro zdvih při zatížení. V některých případech, zejména při obrábění součástek s malou tolerancí odchylky, je nutná plná podpora pro kotvící osu, obvykle osu X. Na druhou stranu existují situace



Obr. 18 : Kartézské rameno

vyzvedávání lahví z pásu, kdy nejsou tak vysoké požadavky na přesnost a základní nosná konstrukce může podporovat kotvící osu pouze podle doporučení výrobce aktuátorů. Roboti se samozřejmě mohou pohybovat pouze v rozsahu určeném nosnou konstrukcí, která může být horizontálně nebo vertikálně namontována. V některých případech s portálovou konfigurací se můžeme setkat i se závěsným uchycením.¹³

4.2 Navrhovací proces autonomního doručovacího robota

4.2.1 Návrh kol

Po představení konceptu doručovacího boxu se mohu přesunout k samotnému vzhledu autonomního doručovacího robota. Abychom zachovali vybraný rozměr modulu 65 cm x 45 cm, půdorysná plocha robota nesmí být menší než tyto rozměry, ale zároveň by neměla být příliš větší, protože se snažíme "šetřit každým centimetrem".

Na začátku jsem uvažoval o robotovi jako o hmotě na čtyřech kolech. Původně jsem takto redukoval myšlenku doručovacího robota, protože jsem považoval kola za zásadní prvek robota. Jak jsem zmínil ve svém cíli pro bakalářskou práci, chtěl jsem inovovat rozhraní kol a zahrnout do návrhu kola, která by se mohla pohybovat i do stran, aby se snížil prostor potřebný pro otáčení. Toto řešení přináší dva typy kol: Omniwheel (omnikolo) a mecanum wheel (mecanum kolo). Tato dvě kola mají jednu společnou vlastnost - nejsou složena z jednoho pneumatického dílu, ale z několika samostatných válcovitých dílců, které jsou buď otočeny o 45 stupňů nebo klasicky o 90 stupňů, pokud se na kolo díváme z pohledu shora.

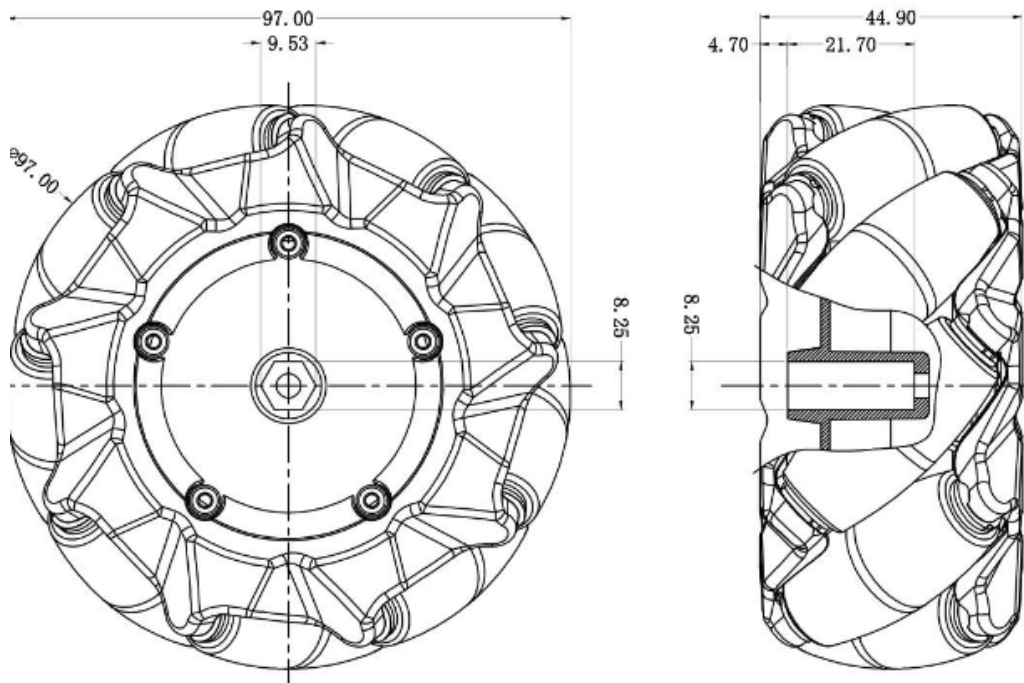
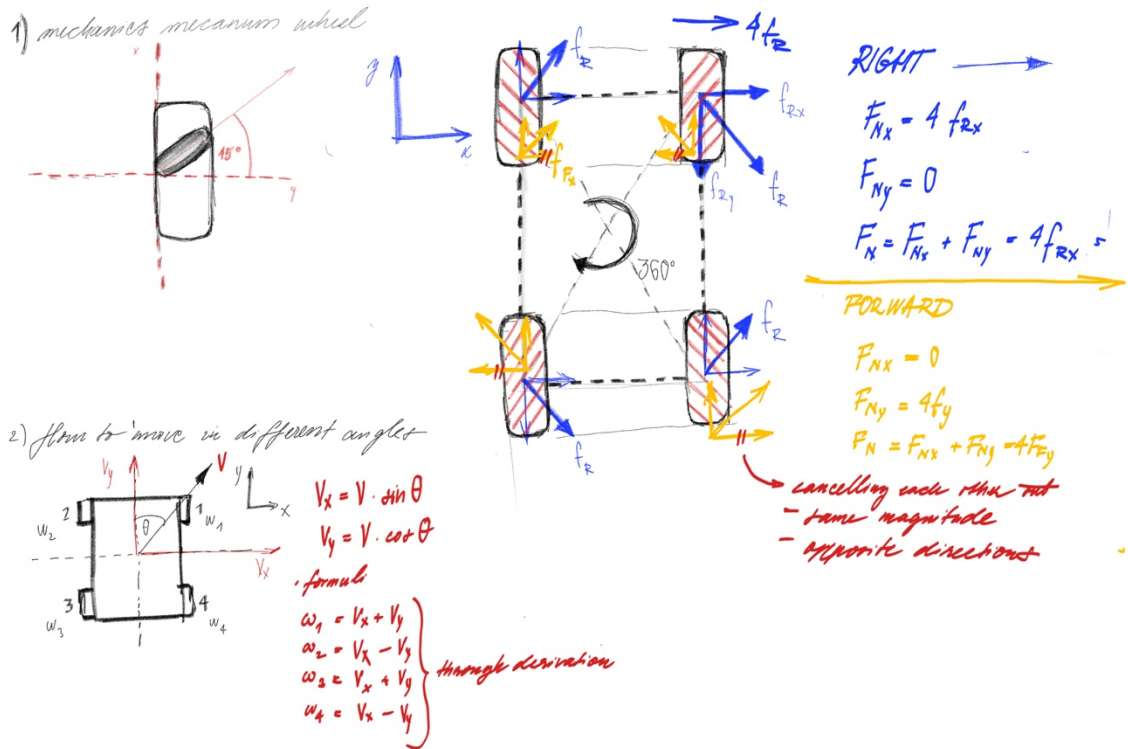
4.2.2 Mecanum kolo

Nejdříve jsem se podíval na mecanum kolo, které mi přišlo nejvíc atraktivní a snažil se prozkoumat jakým způsobem funguje a zda by byl pro mého robota vhodný.

Mecanum kolo je speciální kolo určené pro pozemní vozidla, které umožňuje pohyb ve všech směrech. Dokáže jet rovně, šikmo, horizontálně, v zákrutách a otáčet se pod libovolným úhlem. Je velmi tiché a umožňuje stabilní a pružný pohyb. Díky této technologii je možné snadno ovládat robotické vozidlo i v prostředí s omezeným prostorem. Mecanum kolo se skládá z 9 malých válečků, které jsou vyrobené z pevného plastu a potažené kvalitním silikonovým

¹³ [Cartesian Gantry Robots - Advantages and Applications | Isotech, Inc. Ball Slides & Positioning Stages | Linear Bushings & Shafting [online]. Copyright © 2023 Isotech, Inc. All rights reserved. [cit. 25.05.2023]. Dostupné z: <https://www.isotechinc.com/cartesian-gantry-robots/>

materiálem s vysokým třením.¹⁴ Díky tomu je odolné a spolehlivé i v náročných podmínkách. Pomocí základních fyzikálních rovnic jsem prostudoval jakým způsobem se robot pohybuje po všech osách kolmo, i přesto, že jednotlivé válečky jsou pootočený o 45 stupňů.

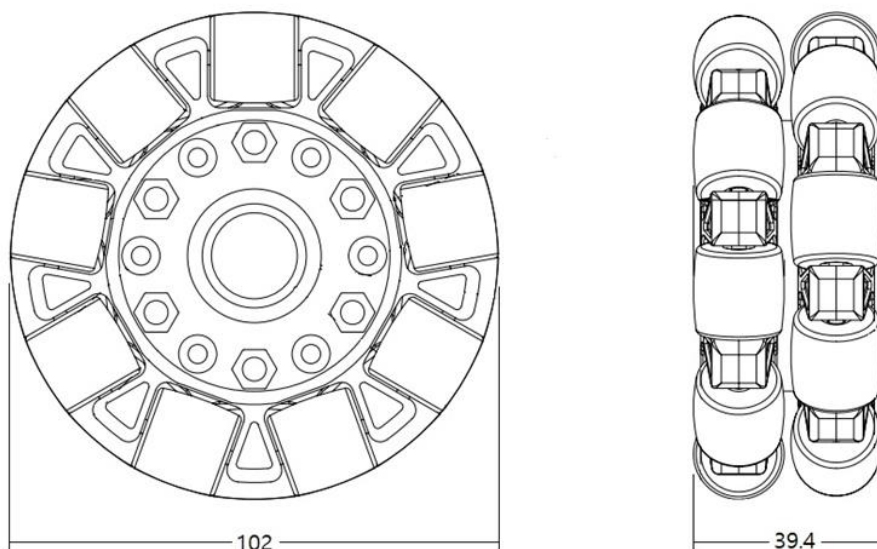


Obr.19: technický výkres mecanum kola

¹⁴ 97mm Mecanum Wheel Left Black - DFRobot. DFRobot Open-Source Hardware Electronics and Kits [online]. Dostupné z: <https://www.dfrobot.com/product-2270.html>

4.2.3 Omni kolo

Omni kolo, jak již název naznačuje, umožňuje pohyb ve všech směrech díky použití několika malých kol uspořádaných kolem obvodu většího kola. Tato menší kola se mohou otáčet nezávisle na sobě, což umožňuje vozidlu pohybovat se libovolným směrem bez potřeby řídicího mechanismu. Omni kolo je zvláště užitečné pro aplikace, kde je vyžadována přesná ovladatelnost, například u robotických systémů nebo průmyslové automatizace.¹⁵



Obr.20: technický výkres omnikola

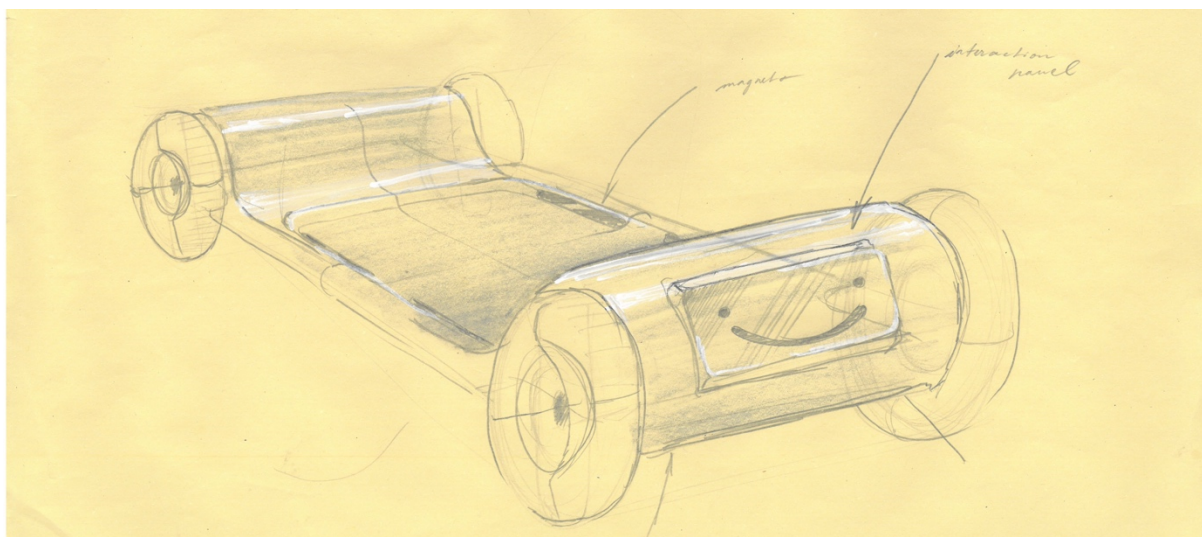
Nakonec, po konzultaci s vedoucím týmu panem Jirovským a po debatě s týmem, jsme se kolektivně shodli, že v přímo tomto situačním řešení bude nejideálnější použít právě kolo **omni**. Je konstrukčně jednodušší, méně poruchové, má nižší selhávavost a je vhodnější pro únos vyšších hmotností.

4.3 Návrh krytu

I přesto, že tento autonomní doručovací robot má majoritnějši stránku technickou, návrh krytu, či jeho těla, bylo stránkou kreativnější, a i přesto, že by ji někdo nemusel považovat za prioritu, jsem v přesvědčení, že „design prodává“ a hlavně tělo je ta část, kterou uživatelé uvidí a budou ji vnímat nejvíce. Jak již bylo předneseno, k tělu robota jsem přistupoval jako k hmotě, která zakrývá všechny technické aspekty a vyvolává v cílové skupině největší dojem.

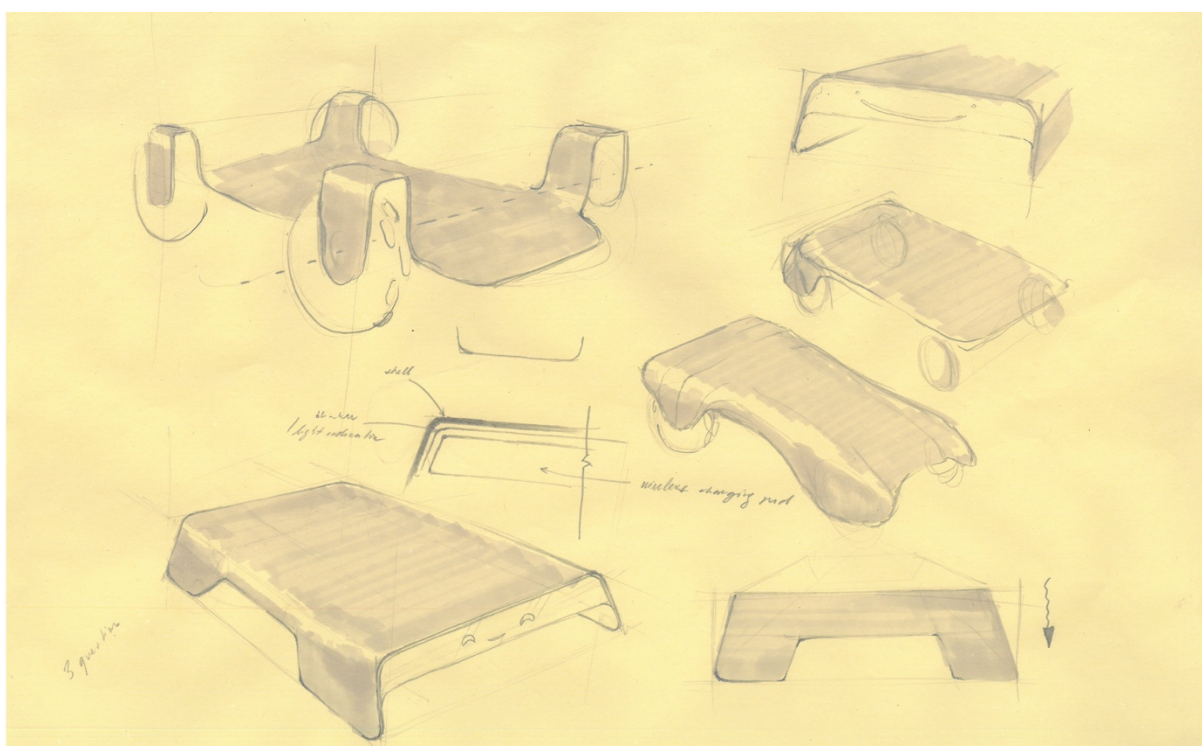
¹⁵ Omni and Multidirectional Wheels | Alternative to Casters | OMNIA. Omni and Multi-directional Wheels | Omnia [online]. Copyright © 2023 OMNIA WHEEL LTD [cit. 24.05.2023]. Dostupné z: <https://www.omniawheel.com/omnia-wheels>

Mým záměrem bylo, aby už od vzhledu či z křivek bylo jasné, jakým směrem se doručovací robot pohybuje. Aby uživatel mohl určitým způsobem předvídat, kam se robot vydá, jelikož se robot bude pohybovat v hektických prostředích. To bylo pro mě primárním. Sekundárním cílem byla atraktivita. Robot bezpochyby bude mít světelné indikátory, podobné těm, které najdeme na osobních automobilech, které jsou součástí normální infrastruktury, a také zvukové indikátory, které zesílí jeho viditelnost ve frekventovaných prostředích.



Obr.21: skica autora

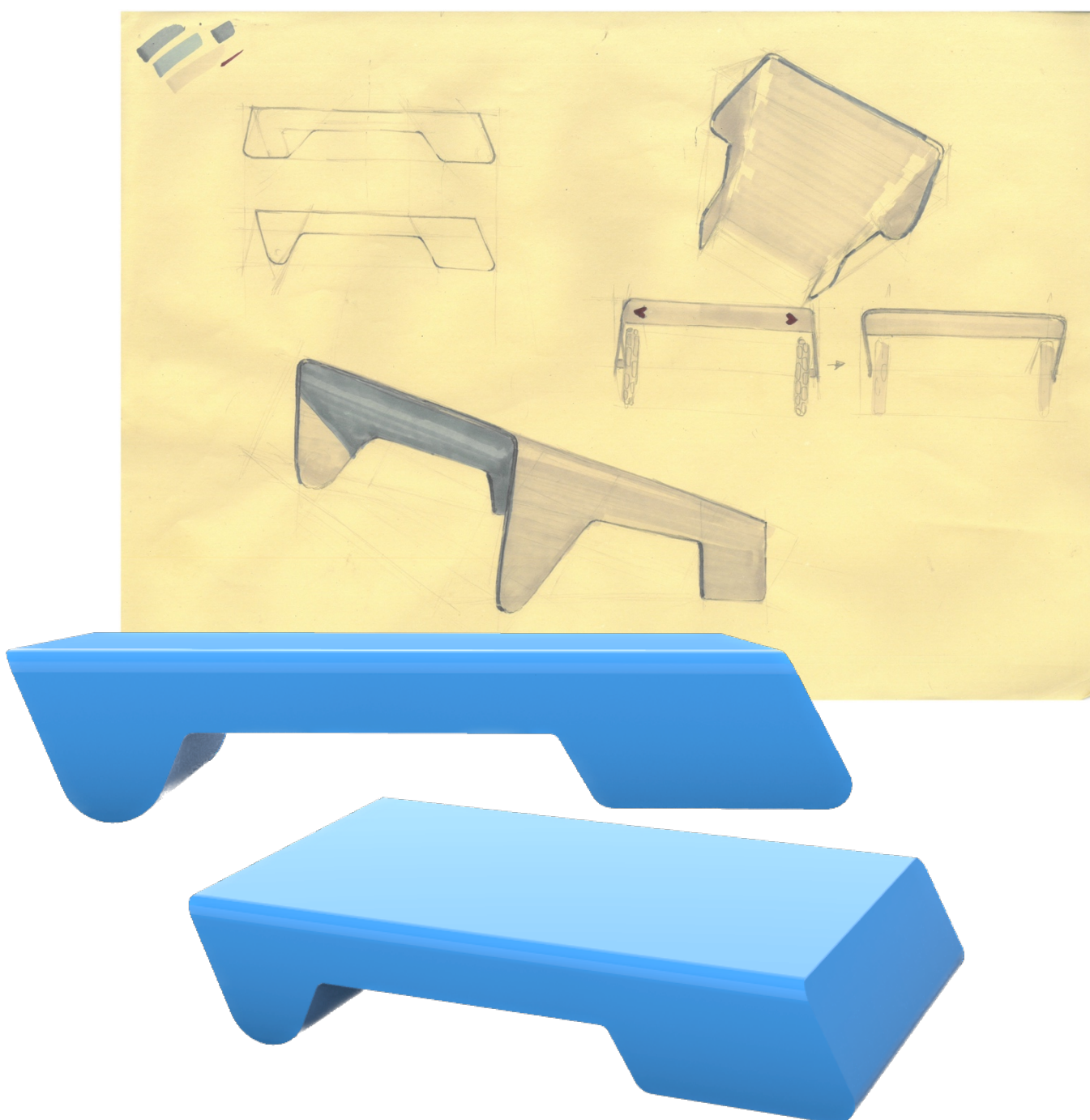
Původně měla kola zaujímat pozici z venku, kdy by se v podstatě nacházela mimo tělo. Mým záměrem totiž bylo tak redukovat výšku robota. Ukázalo se však, že prioritou zde je minimalizovat šířku robota. Proto jsem se následně rozhodnul kola směřovat pod tělo.

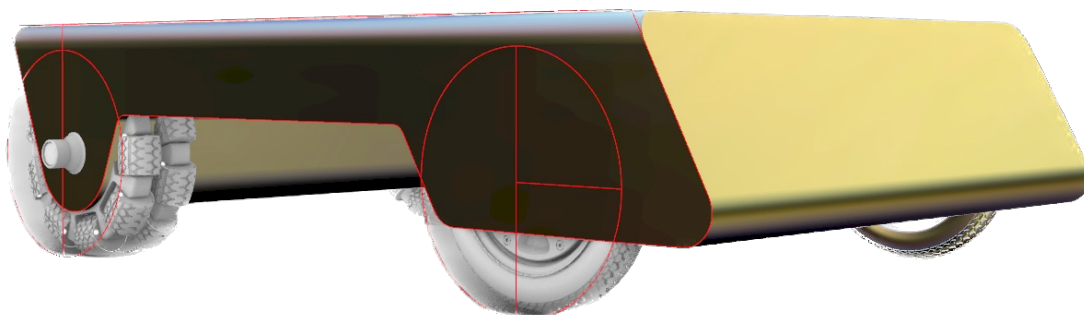


Obr.22: skica autora

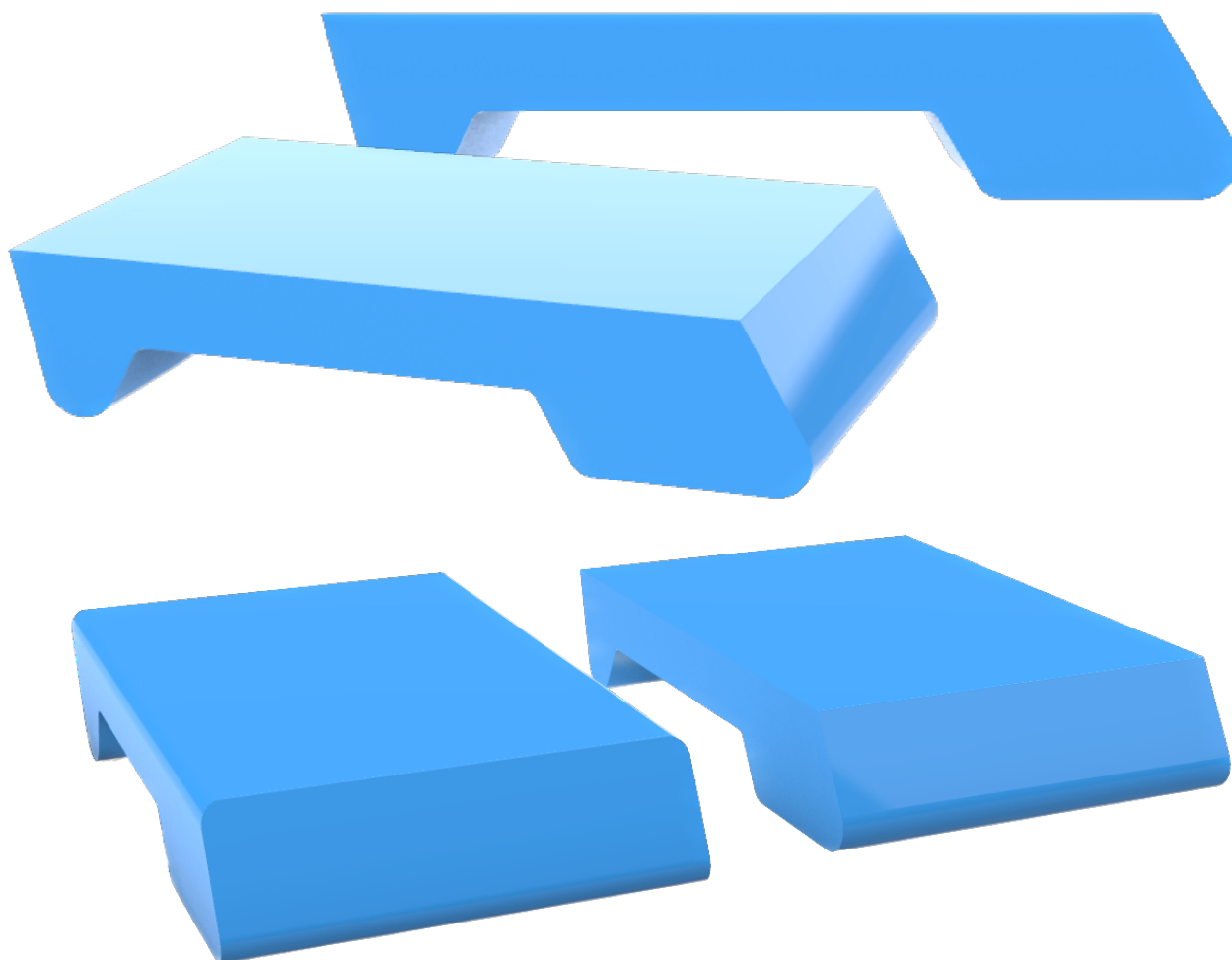
Od počátku jsem prioritizoval, aby přední část robota byla robustnější. Za prvé, bude jasnější, kde je těžiště. Za druhé, vytvořím jedem kompaktní prostor, kde se bude moci uschovat elektrické rozvody, display apod.

Křivky těla mají symbolizovat dynamiku až evokovat rychlost, jakožto vyjádření rychlosti námi vyvíjené služby. Zároveň jsem chtěl eliminovat efekt automobilového těla, a tudíž mým záměrem nebylo vyvolat příliš aerodynamický dojem. Soustředil jsem se tedy primárně na křivky střídmé, ostré, ale souhlasně i elegantně zaoblené. Větší rádius křivek má tendenci v uživateli vyvolat pocit vřelosti a přístupnosti. K závěru je střídmost křivek i praktickým aspektem, neboť robot bude jednodušší při výrobě.

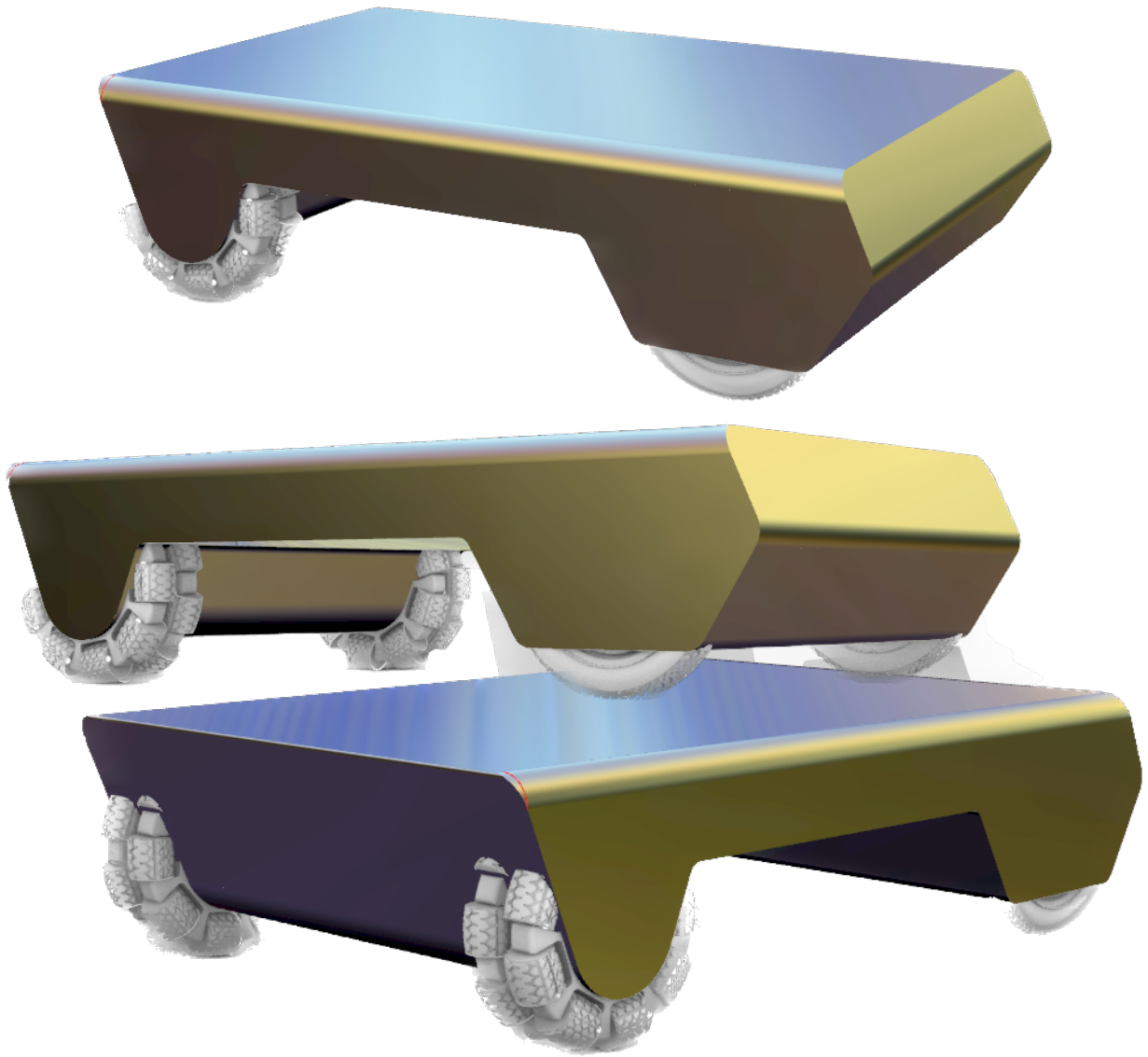




Z prvopočátku se tělo odvíjelo od elementárních křivek, které jsem posléze začal lámat, či víc zaoblovat, jelikož přední část těla začínala vytvářet jakýsi vykonzolovaný „zobák“, který působil intrusivně, zaujímal příliš mnoho prostoru. Přední, klasická, kola vůbec nebyla tvarově v harmonii s karoserií robota, jelikož mezi nimi nebyla vůbec žádná tvarová návaznost. Rozhodl jsem se tedy tvar dál modifikovat.



Obr.24: 3D modely a autora



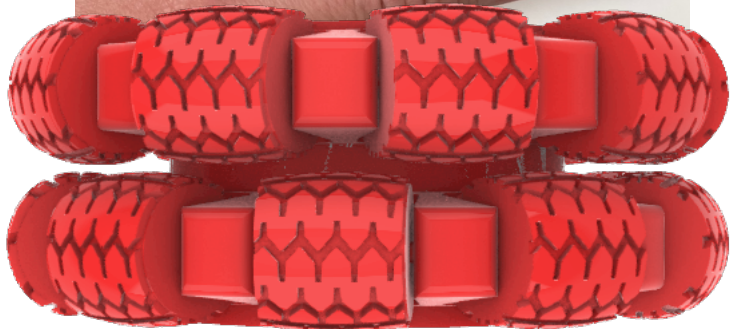
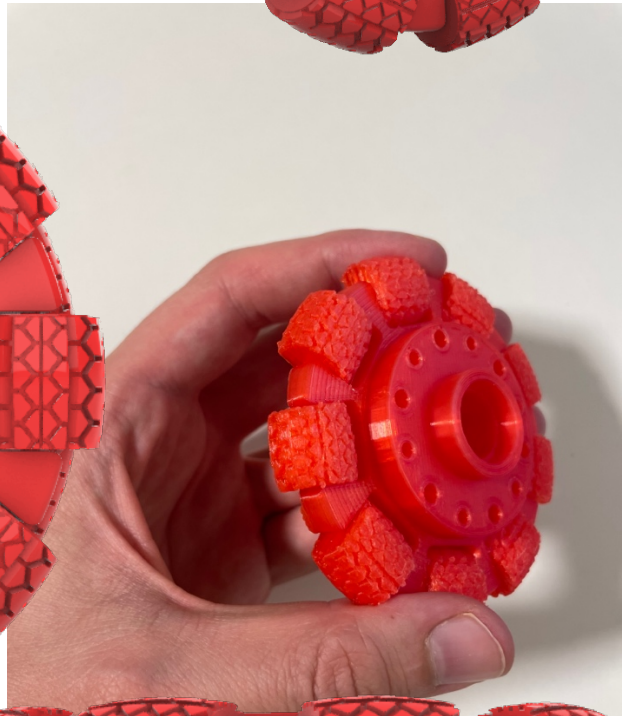
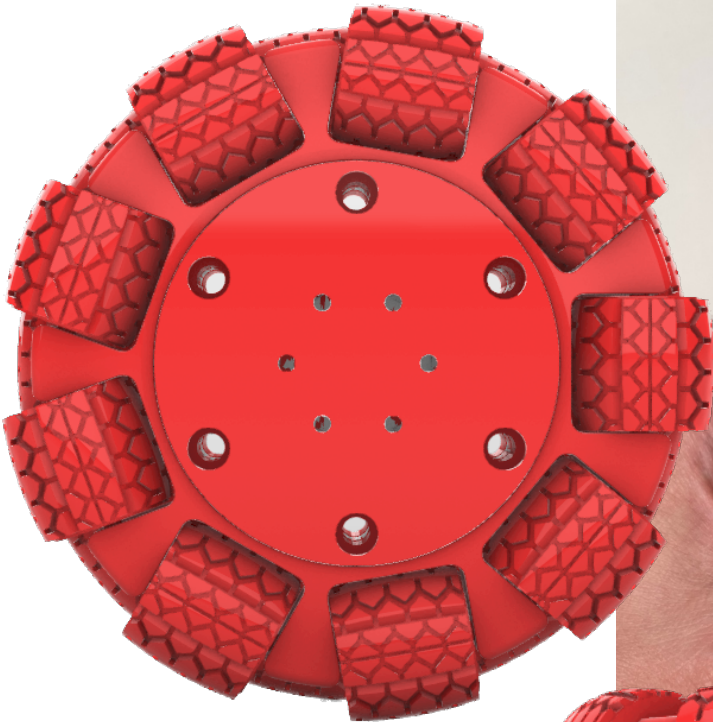
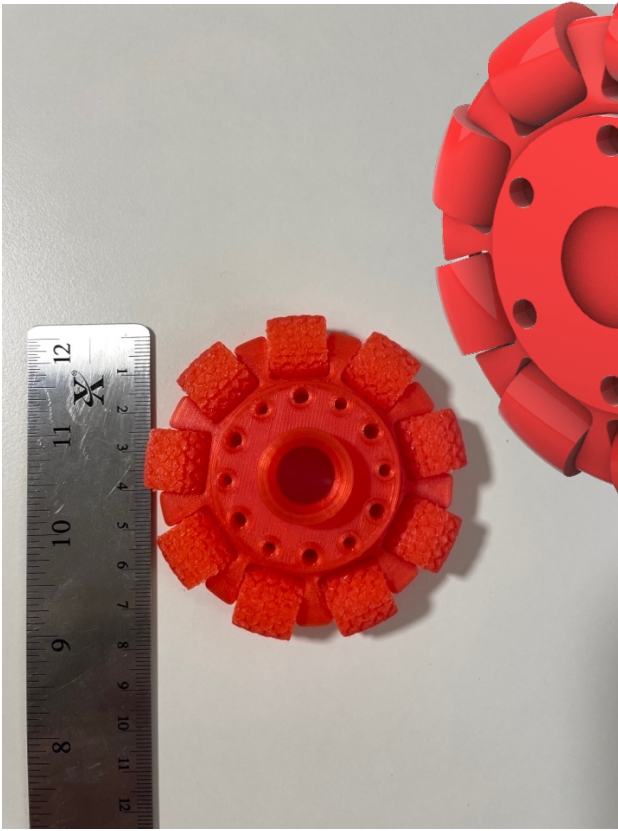
Obr.25: 3D modely a autora

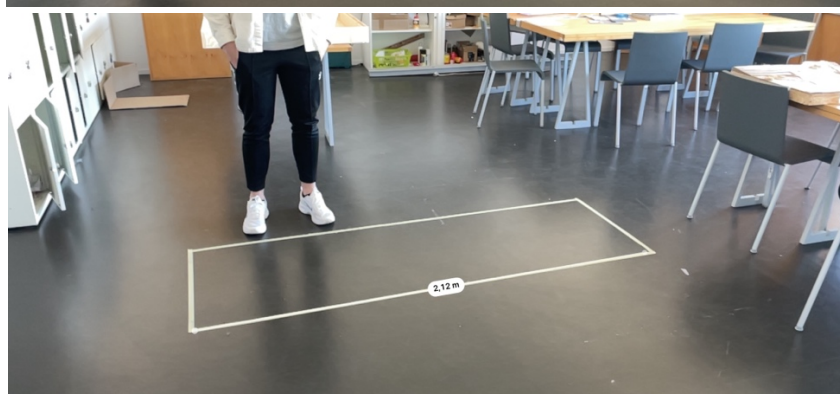
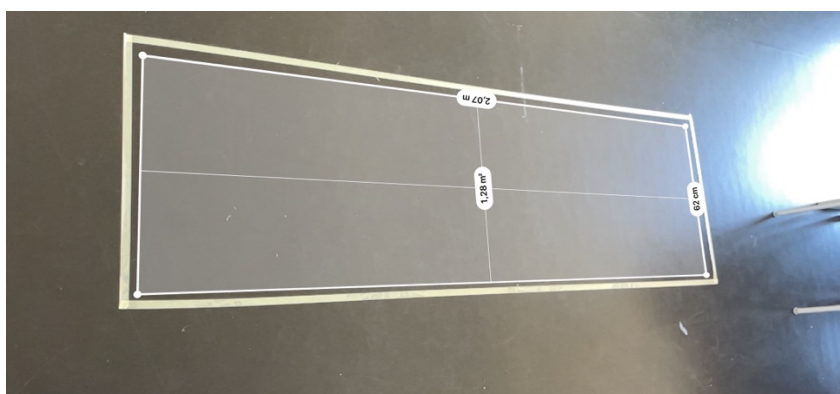
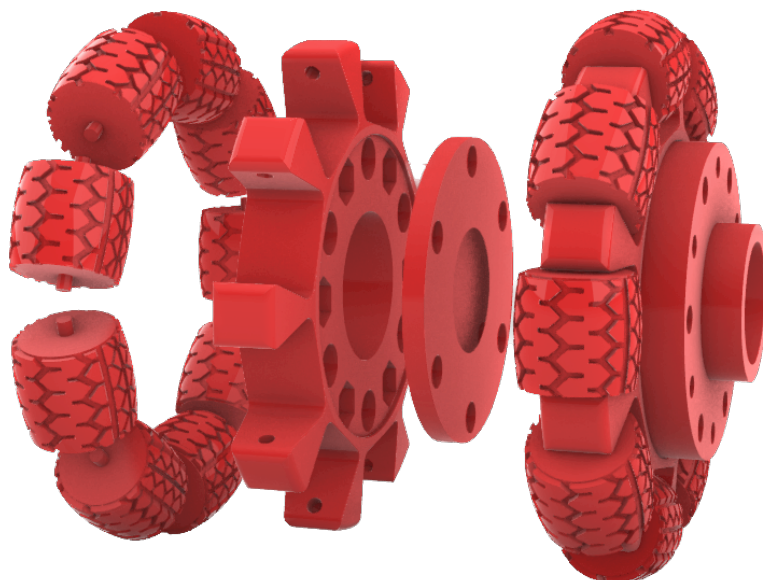
4.4 Zkoušení prototypu v měřítku pro skutečný model

Jelikož jsem od počátku věděl, že vzhledem ke skutečné velikosti robota, budu vyrábět prototyp, či model v měřítku 1:2. Vyzkoušel jsem jakým způsobem bude tedy vypadat část omnikola v těchto rozměrech.

Nedílně jsem do fyzické prostředí přenesl i přibližné rozměry konceptu doručovacího boxu v plošné podobě, abych si uvědomil jeho velikost ve skutečném prostředí.

Obr.25: 3D modely a autora

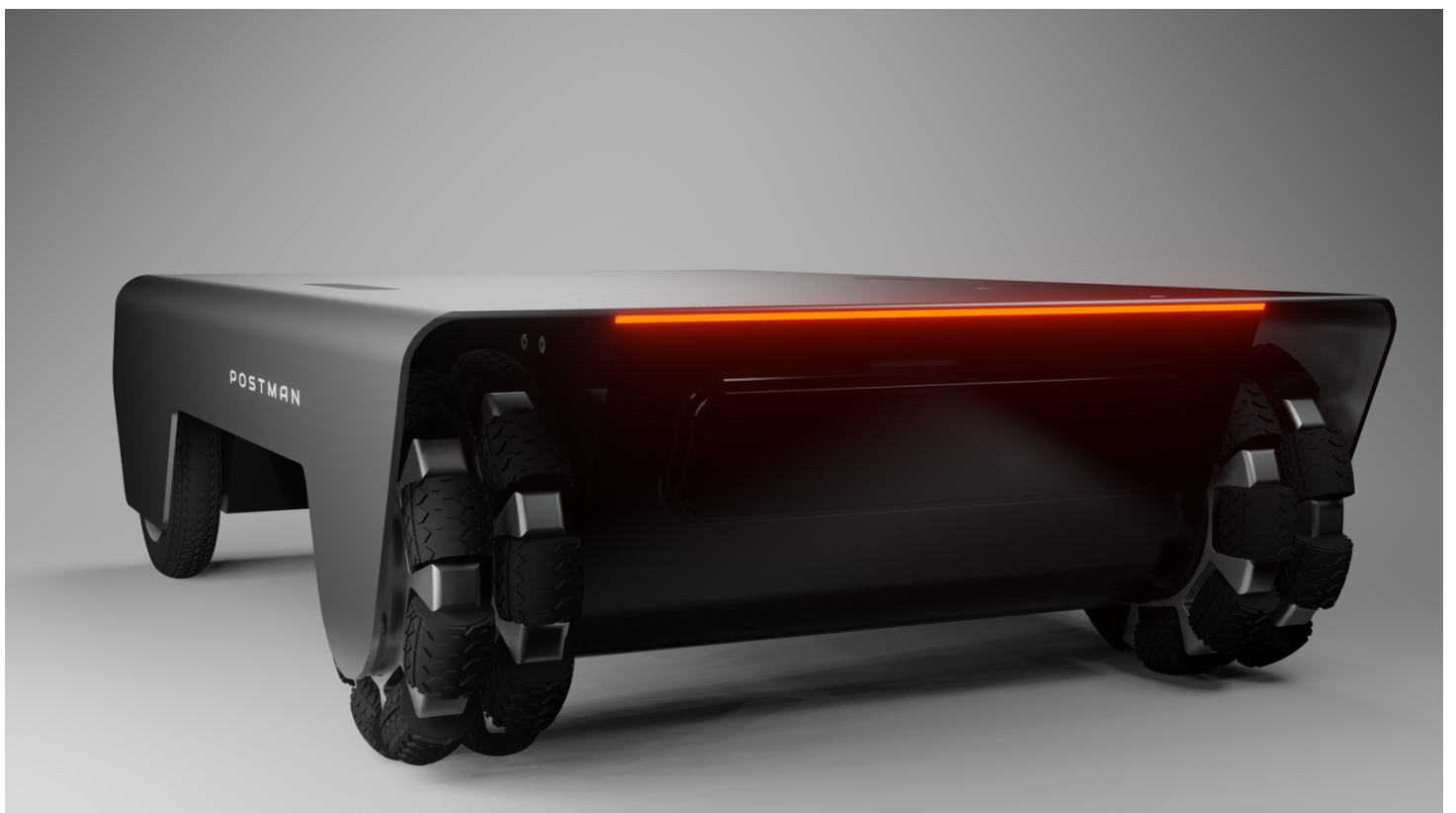




Obr.26: soubor fotografií a modelů autora

6. VÝSLEDNÝ MODEL





Obr.27: soubor vizualizací výsledného modelu autora



Obr.28: rozpadový pohled autorova modelu

6.1.1 Porty pro elektromagnetický zámek

Do autonomního doručovacího robotu jsem implementoval bezpečnostní systém s elektromagnetickými zámky, abych zajistil, že doručovací kapsle jsou pevně připojeny k robotu.

Používám tedy elektromagnetických sil k uzamčení kapsle na robotovi. V robotovi je umístěn elektromagnet a do doručovací kapsle je integrována kovová deska. Když zapneme elektromagnet, vytvoří se silné magnetické pole, které pevně drží desku a tím i kapsli na svém místě. To znamená, že během celého doručování zůstává kapsle bezpečně připevněna k robotovi.

Tento systém mi dává jistotu, že doručení probíhá bezpečně a nedochází k neoprávněnému otevírání či manipulaci s kapslí, nebo na příklad, že doručovací kapsle z robota nespadne v případě, že dojde ke kolizi – například zakopnutí, které se vyloučit nedá. Dokonce i v případě výpadku elektrického napájení nebo poruchy systému zůstává tento zámek spolehlivě fungovat.¹⁶

6.1.2 Hliníková skořepina

Jako ochrannou úpravu pro hliníkový obal těla robota bych zvolil eloxování. Tento proces může mít dvě varianty - přírodní elox, který zachovává přirozenou barvu hliníku, nebo barevný elox, který nabízí širokou škálu odstínů.

Preferoval bych přírodní eloxování, abych dosáhl světle šedé barvy. V případě potřeby jiných barev by nebyl problém přejít na barevné eloxování – například k dosažení tmavě šedého odstínu. Tento proces vytváří na povrchu oxidu hlinitého konverzní povlak, který zlepšuje vlastnosti materiálu, jako je odolnost vůči korozi, tvrdost a odolnost proti opotřebení. Před samotným eloxováním je důležité provést přípravný krok v podobě alkalického moření. Tímto procesem se aktivuje a vyčistí povrch hliníku.¹⁷

Před tím, než dojde k těmto krokům, které jsem zmínil výše, bude jednoduchý tvar skořepiny vyříznut pomocí stroje CNC, včetně děr pro šrouby, a strany poté ohnuty do požadovaného rádiusu.¹⁸

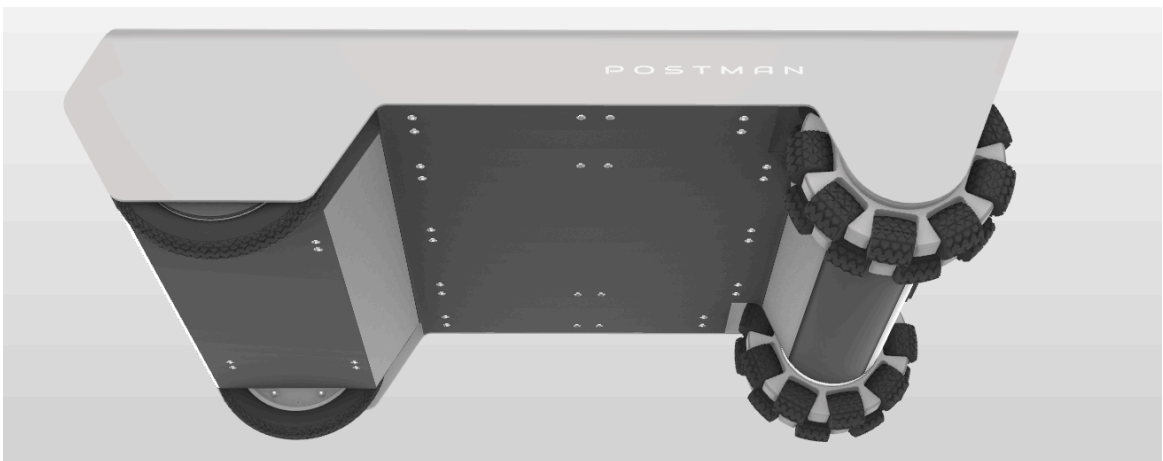
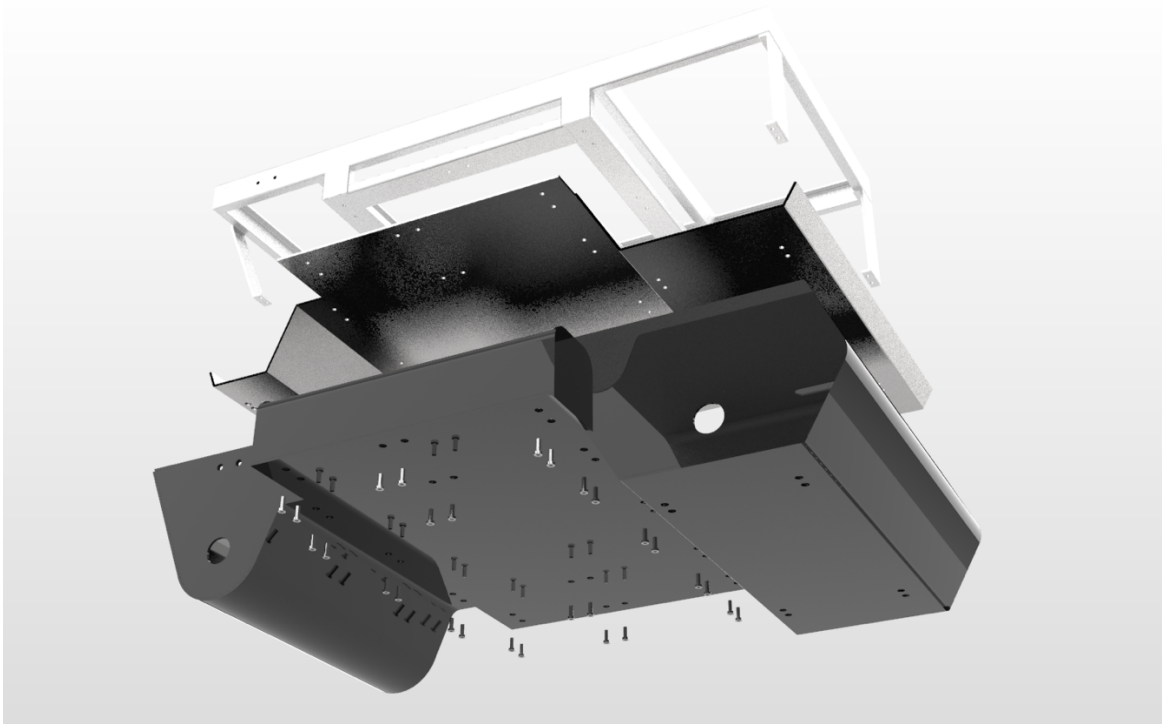
6.1.3 Vnitřní nosná konstrukce a deska

Konstrukční jádro autonomního doručovacího robota je složeno z nosné konstrukce a desky. Pro konstrukci by bylo inspirací konstrukce u elektrický vozů. Skládá se z ocelových U profilů, které jsou k sobě svařeny. Tato konstrukce je poté přimontována šrouby k desce vyrobené z ohýbaného plechu. Tyto dva elementy jsou poté pevně smontovány s plastovým krytem, který je obklopuje.

¹⁶ Locknetics, MG1200 Electromagnetic Lock 1200lbs. maglocks secure locking equipment [online]. Copyright © maglocks 2023 [cit. 24.05.2023]. Dostupné z: <https://www.maglocks.com/locknetics-mg1200-electromagnetic-lock-1200lbs.html>

¹⁷ Eloxování hliníku | Galvanika. Galvanika Praha s.r.o. | Povrchové úpravy kovů [online]. Copyright © 2020 [cit. 24.05.2023]. Dostupné z: <http://www.galvanika.cz/eloxovani-hliniku/>

¹⁸ CNC laser | Fletonex.cz. Zakázková CNC strojírenská kovovýroba | Fletonex.cz [online]. Copyright © Fletonex s.r.o. [cit. 24.05.2023]. Dostupné z: https://www.fletonex.cz/cnc-laser?gclid=Cj0KCQjwjryjBhD0ARIsAMLvnF__Jhts1PC2lZThM53curRZgE6-OpONpkoyjb8ahi6BU2Sjpz__ECQA8aAoGDEALw__wcB



6.1.4 Plastový kryt

Plastové kryty a tvarově složité výrobky se nejnadhěji vyrábí za pomoci technologie vstřikování. Vstřikování se skládá z několika kroků. Začíná se tím, že se materiál (často ve formě granulí) nasype do komory vstřikovacího stroje, která obsahuje tzv. šnek. Šnek pak přesouvá materiál směrem k přední části komory. Během tohoto procesu se materiál zahřívá pomocí topení umístěných na povrchu komory a také díky tření ve šneku. Když je přední část komory plná, šnek slouží jako píst a vstřikuje plast do formy. Po naplnění formy následuje fáze dotluku. Jak materiál v dutině chladne, jeho objem se zmenšuje a je tedy nutné pomocí dotluku doplnit formu do plného objemu. Poté následuje fáze chlazení výrobku ve

formě, a nakonec se forma otevře a výrobek se vyhodí pomocí vyhazovačů.¹⁹ Pro plastový kryt v doručovacím robotovi jsem však zvolil o něco specifitější technologii a to vstřikování s napěňováním. Vstřikování termoplastů s napěňováním (TSG) je speciální metoda zpracování plastů, která se datuje do padesátých let. Původně se při vstřikování přidával malé množství kypřícího prášku, což vedlo ke snížení hmotnosti výrobků. Postupně byly vyvinuty nové materiály a napěňovadla. V sedmdesátých letech se začalo sériově vyrábět díly z termoplastů s pěnovou strukturou pomocí chemického napěňování. Později se objevila metoda MuCell, která umožňuje fyzikální napěňování plynem. Tato metoda využívá vstřikovací stroje s plastifikační jednotkou a speciálním šnekem. Plyn je injektován do taveniny plastu, vytváří se homogenní směs a následně dochází k vytváření bublinek plynu a napěňování taveniny. Výhody této metody zahrnují snížení hmotnosti výrobků, vyrovnání smršťování na stěnách nástroje, nižší uzavírací sílu a zkrácení času cyklu. Metoda MuCell je zajímavá zejména pro výrobu lehkých konstrukcí.²⁰

6.1.5 Obrazovka a senzory

V této části jsou umístěny všechny komunikační jednotky. Obrazovka široká přes úhlopříčku 15 palců není jen displej. I přesto, že většina je display pro interakci s uživateli, nachází se zde i sensor LIDAR, kamery a počítačové ústrojí pro GPS, či Bluetooth. Obrazovka není žádným způsobem ohýbaná či tvarovaná, tudíž není složitá pro výrobu. Záměrně jsem vybral tzv. Retro počítačový font, který vystupuje jako příjemné připomenutí, že se jedná o robota, a zároveň vyvolává dojem humorného protikladu, kdy autonomní doručovací stroj s technologiemi posledního desetiletí využívá vizuální psaná projev, neboli font z doby prvních počítačů.

6.1.6 Baterie a elektronický regulátor rychlosti

Většina autonomních doručovacích robotů obvykle využívá lithium-iontové baterie. Tyto baterie jsou široce používané v různých aplikacích, včetně robotiky, díky své vysoké energetické hustotě, lehkému designu a relativně dlouhé životnosti. Tyto baterie nabízejí dobrou rovnováhu mezi kapacitou energie a váhou, což je činí vhodnými pro pohonný systém autonomních robotů, které musí cestovat po delší dobu bez častého dobíjení. Navíc mají lithium-iontové baterie nízkou samovybíjecí rychlost, což znamená, že si uchovávají svůj nabitý stav i při nečinnosti, což dále zvyšuje jejich využitelnost v autonomních doručovacích robotech.²¹ Elektronický regulátor rychlosti (ESC) je klíčovým prvkem v elektrických

¹⁹ Úvod - Katedra strojírenské technologie [online]. Dostupné z:

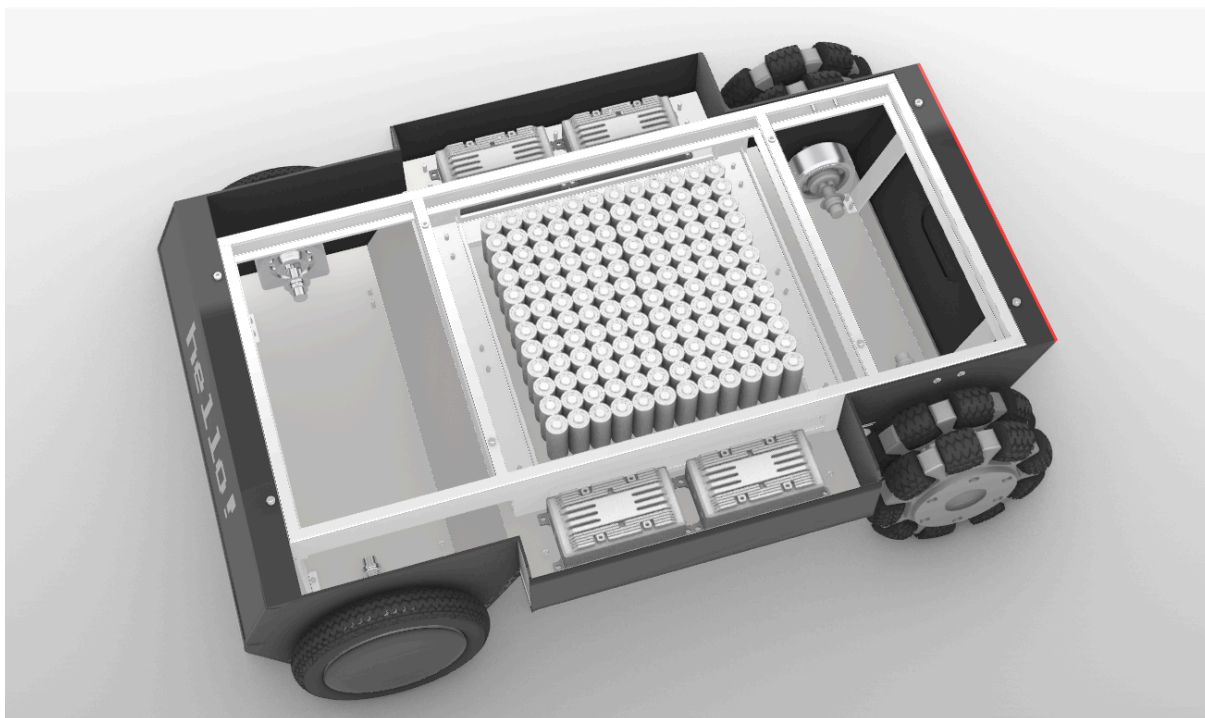
https://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta__tkp/sekce__plasty/04.html

²⁰ Dostupné online <https://www.plasticportal.cz/cs/vstrikovani-termoplastu-s-napenovanim-uspory-diky-medode-mucell/c/2416/>

²¹ Automotive & Electromobility | Manz AG. [online]. Copyright © 2023 Manz AG [cit. 24.05.2023].

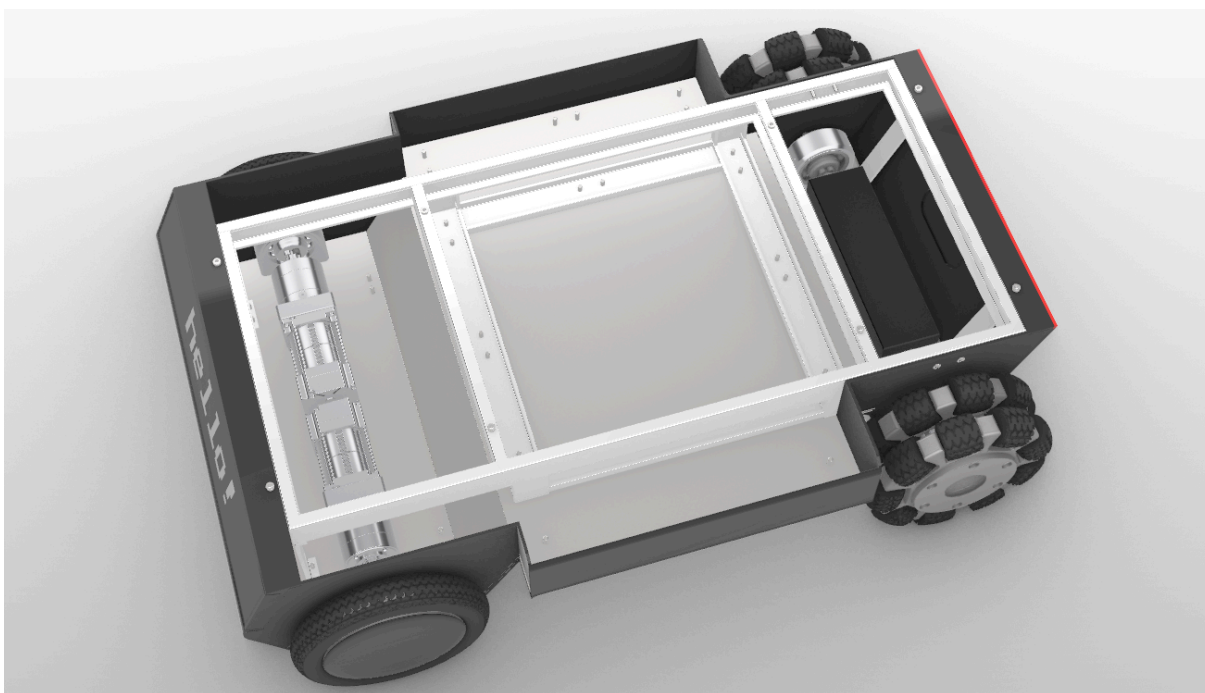
Dostupné z: <https://www.manz.com/en/industries/automotive-e-mobility/?gad=1&gclid>

autonomních doručovacích robotech. Zajišťuje přesnou regulaci rychlosti, plynulý pohyb a bezpečnost při doručování zásilek. ESC umožňuje snadné přizpůsobení rychlosti podle podmínek a reaguje na změny v okolí, což zajišťuje efektivní a bezpečné doručování.



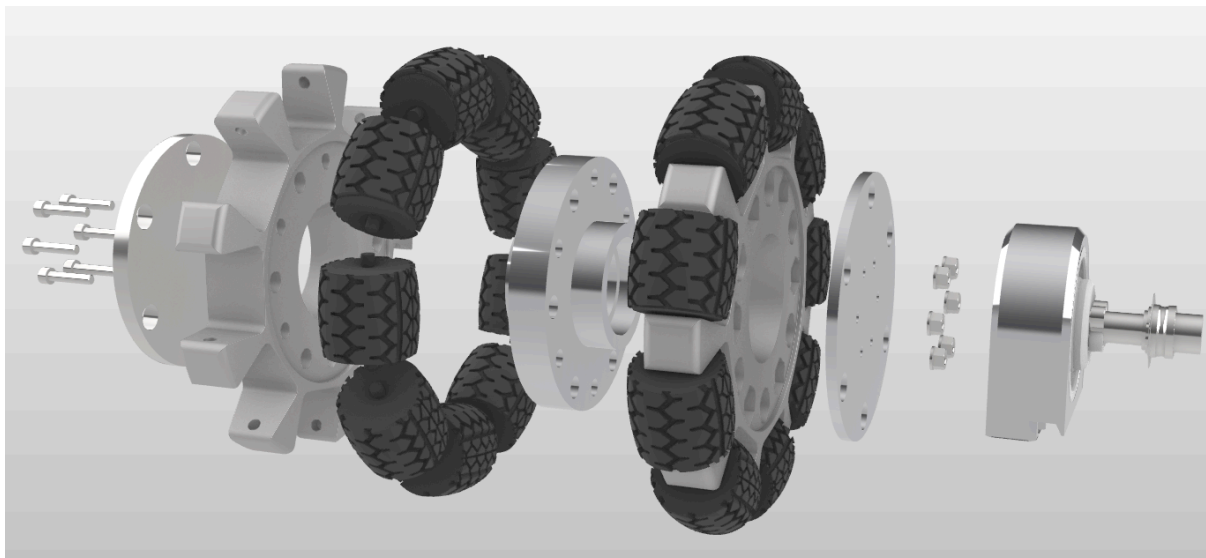
6.1.7 Umístění elektromotorů v robotovi

Každé ze čtyř kol v doručovacím robotovi má svůj vlastní pohon. Klasická přední kola mají elektromotory o standardní velikosti. Zadní omnikola však kvůli prostorovému řešení mají elektromotory o poloviční velikosti.



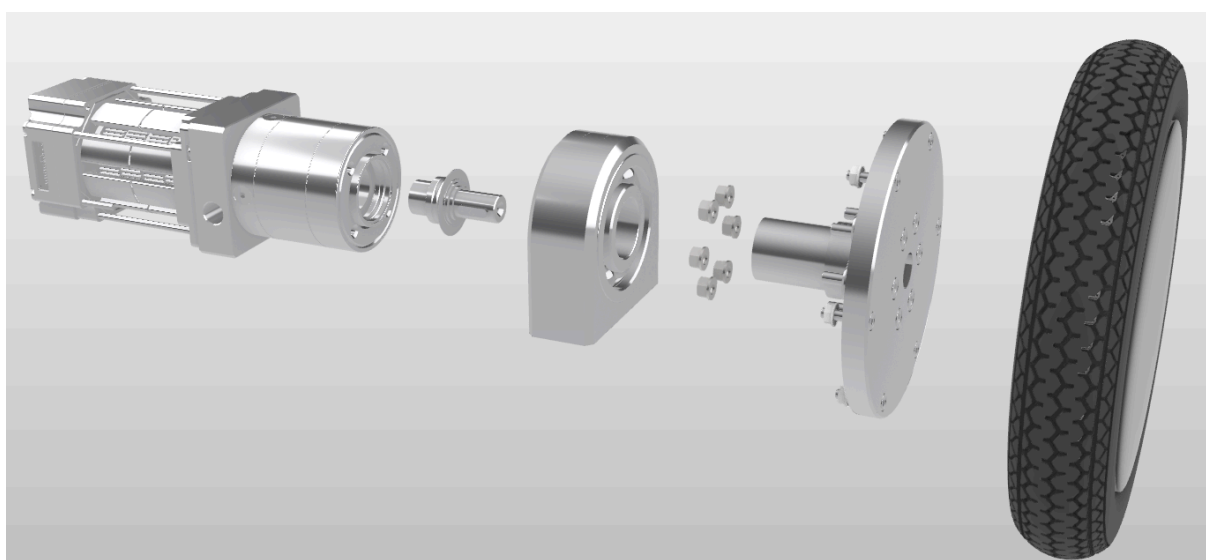
Obr.29: soubor vizualizací výsledného modelu autora z různých úhlů a různých vrstev

6.1.8 Pohled na skladbu omnikola

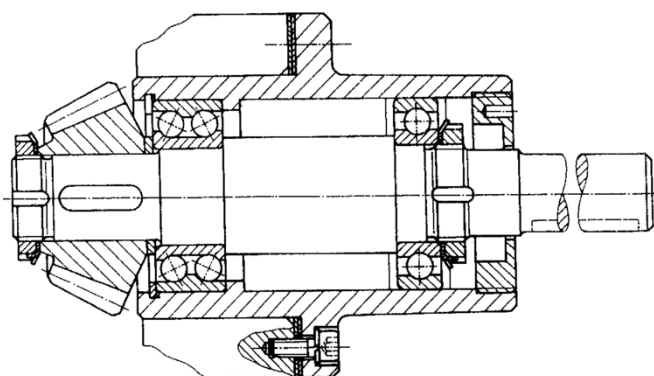


Obr.30: rozpad omni kola, autorův archiv, Obr.31: rozpad kola, autorův archiv

6.1.9 Pohled na skladbu předního klasického kola



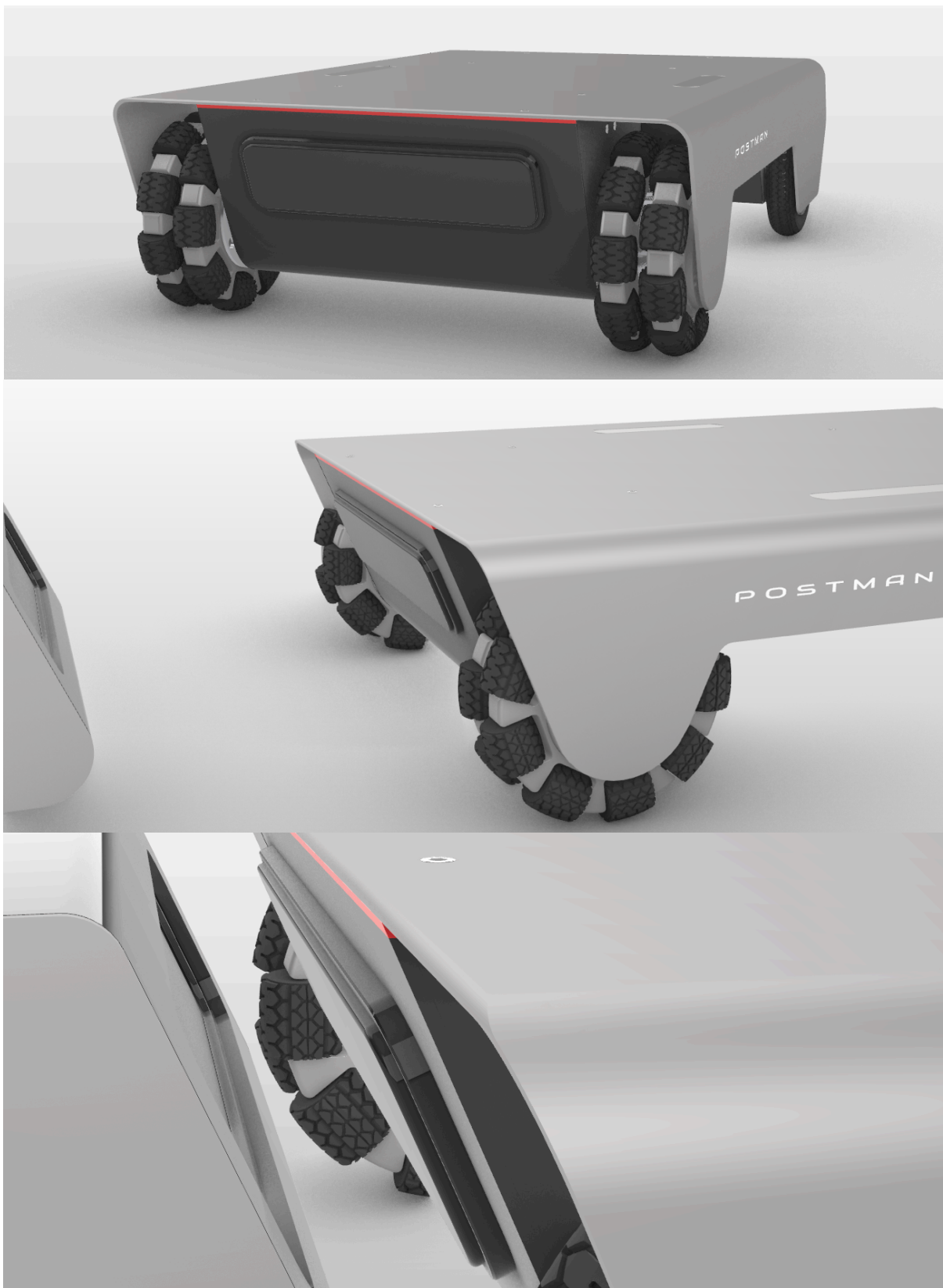
U všech čtyř kol jsem implementoval použití dvouřadých kuličkových ložisek s kosoúhlým styčnickem. Dvouřadá kuličková ložiska s kosoúhlým stykem mají proti jednořadým dvě oběžné dráhy vnějšího a vnitřního kroužku přesazené ve směru osy hřídele. To ložiskům umožňuje přenos kombinovaného zatížení, tj. jak radiálního zatížení, tak axiálního. Čím větší úhel styku, tím větší je axiální únosnost.



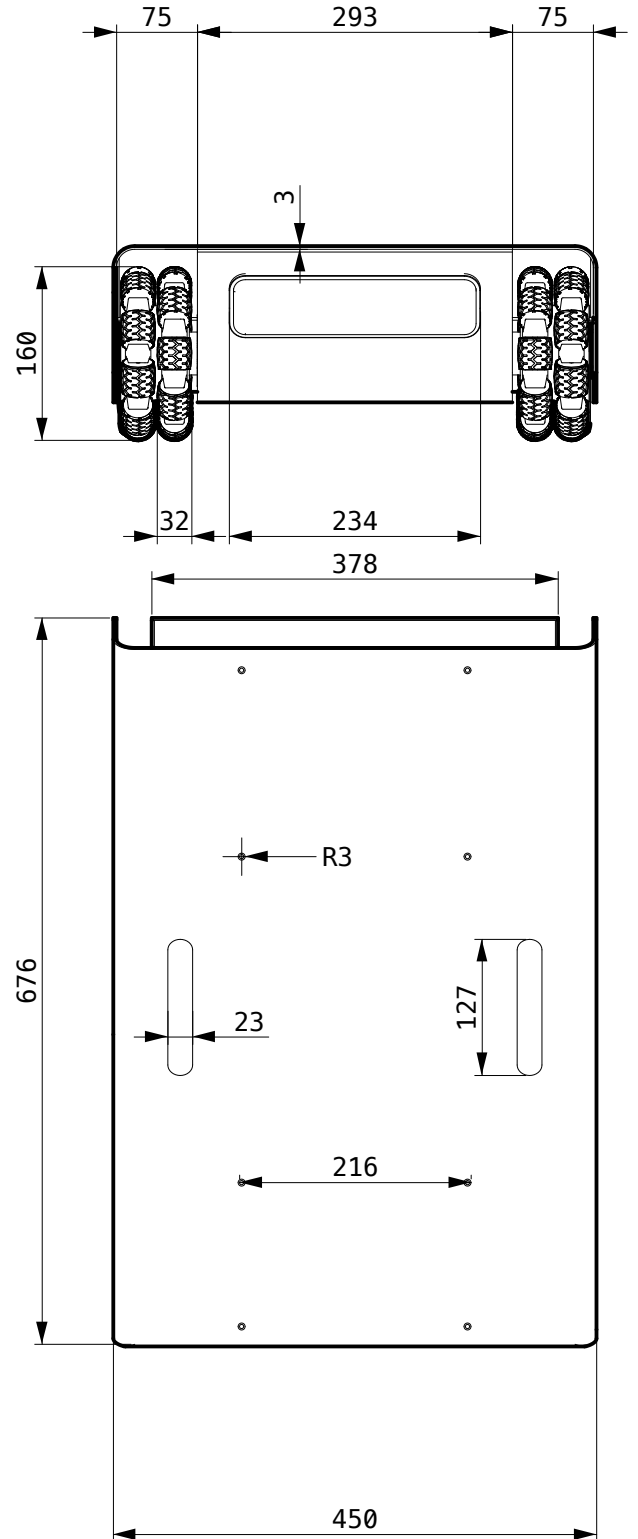
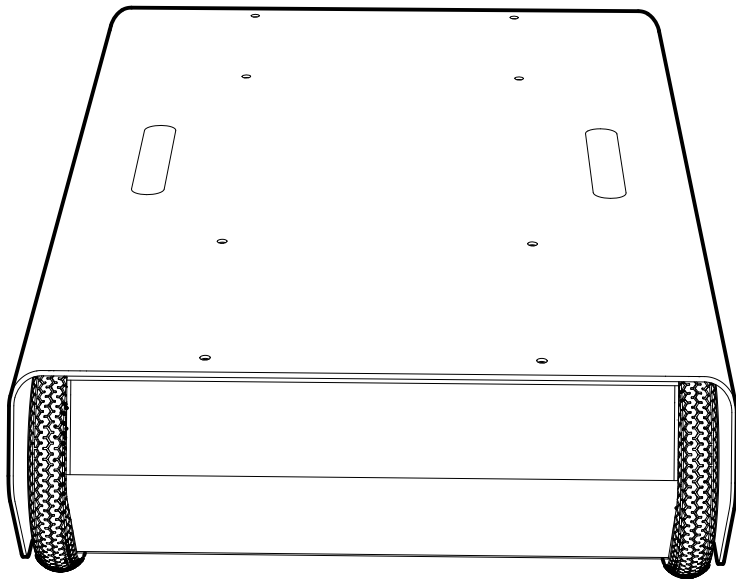
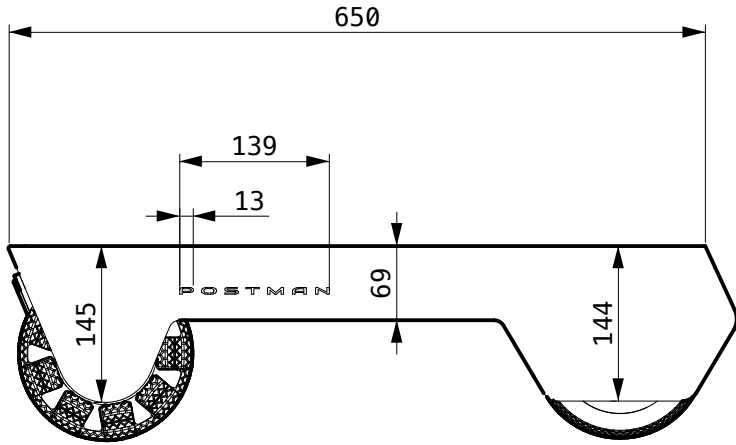
Obr.31b – dvouřadá kuličková hřídel s kosoúhlým stykem

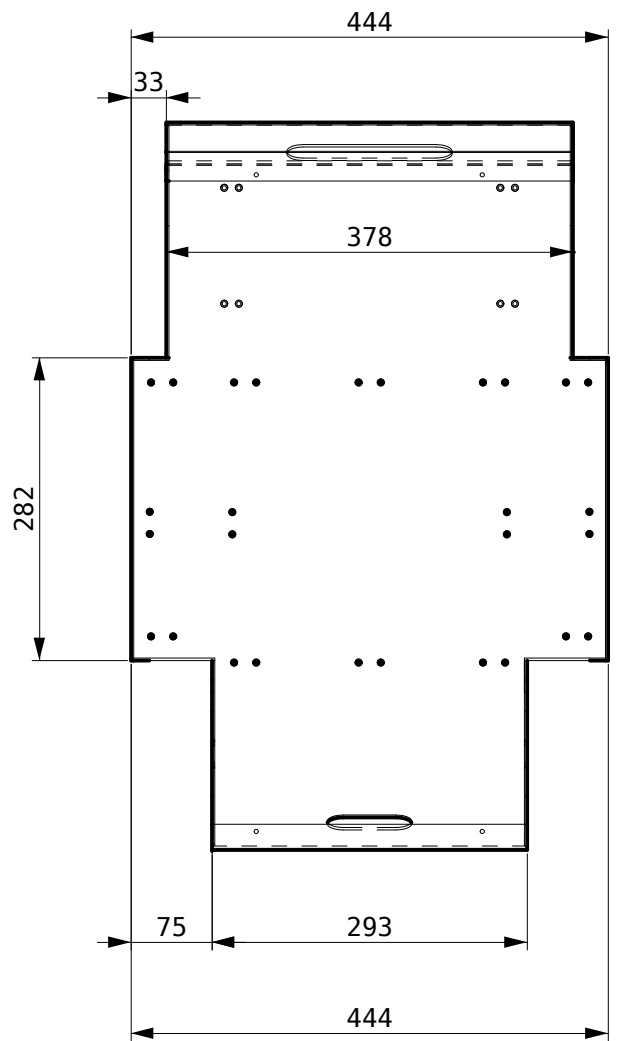
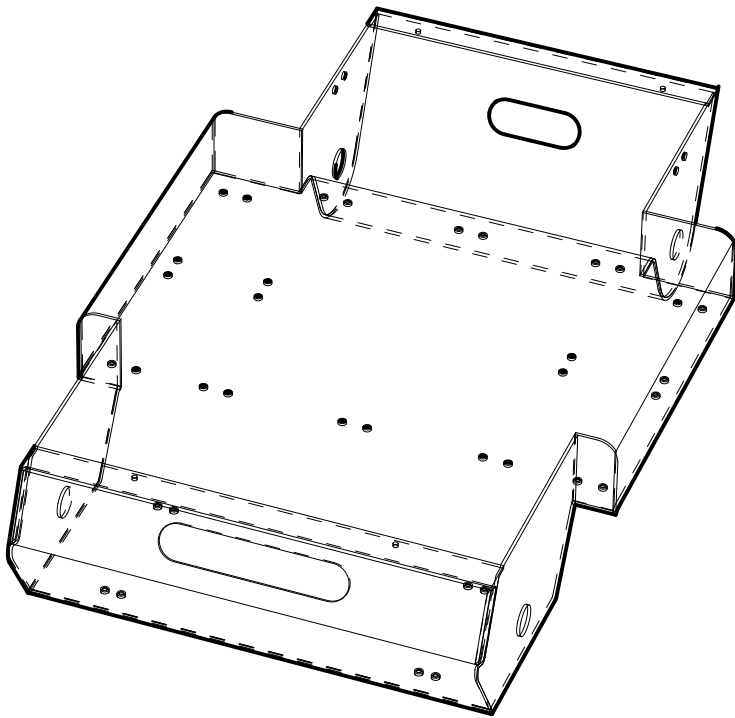
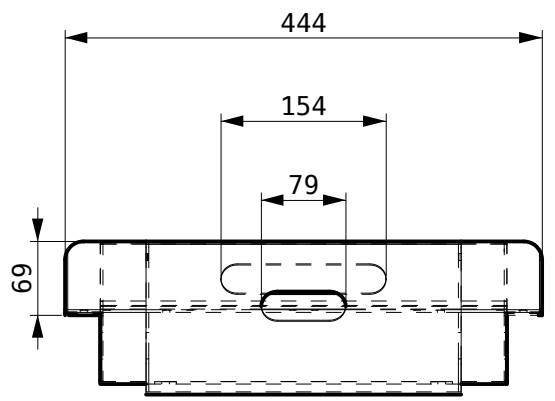
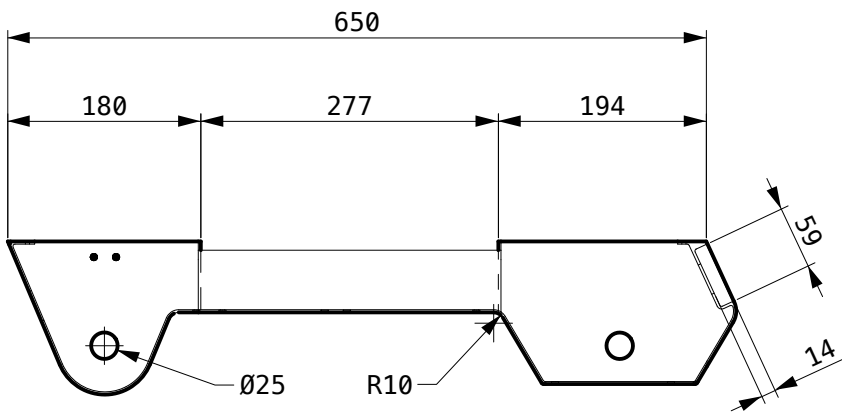
6.1.10 Bezdrátové dobíjení

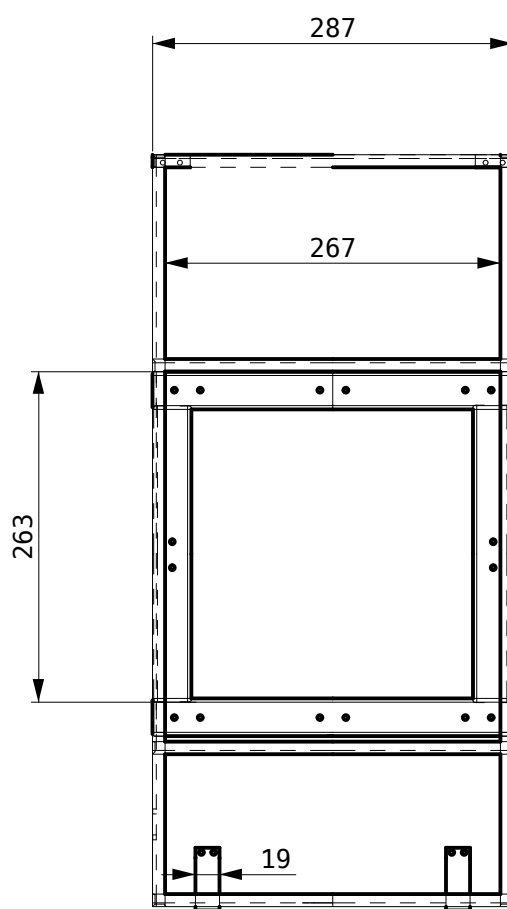
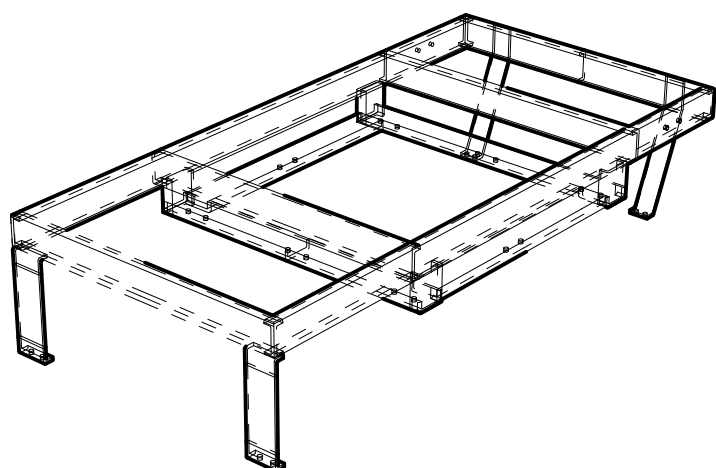
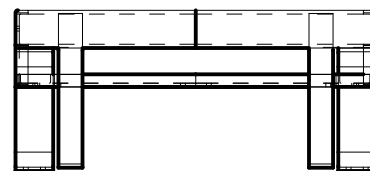
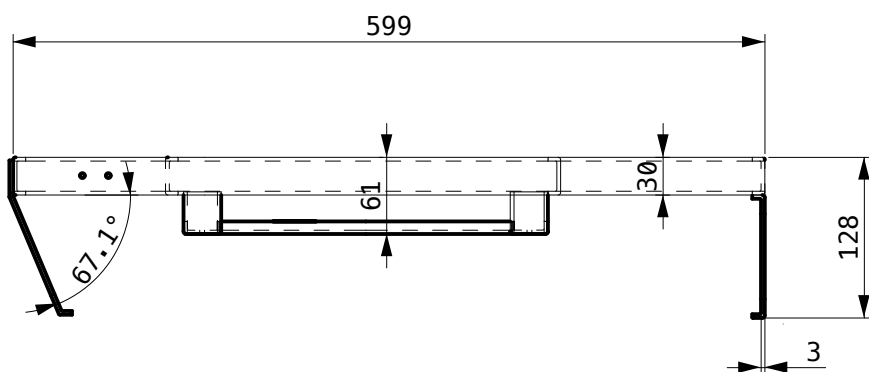
Jako je tomu například u všech domácích robotických vysavačů, či konkurenčních autonomních doručovacích robotů, i tento robot je dobíjen pomocí indukčního nabíjení, které využívá elektromagnetických polí, které se po kontaktu se zdrojem navzájem překrývají. Ačkoliv se dokovací nebo-li dobíjecí stanice nachází uvnitř doručovacího boxu na úrovni podlahy a za reálných podmínek nebude vidět, nastínil jsem aspoň jakým způsobem bude dobíjení probíhat.



7. Technická dokumentace







8. Závěr a reflexe

Rád bych nyní zhodnotil celý proces navrhování mé bakalářské práce. Přestože jsme se s týmem potýkali s několika obtížemi na začátku, jako je opožděný start návrhu a pozdější změna zadání, jsem rád, že jsme se s těmito výzvami vypořádali. Tyto neočekávané okolnosti mi pomohly lépe pochopit reálnou stránku profesního navrhování a přinesly nové aspekty, se kterými jsem se musel vypořádat při samotném návrhu.

Z těchto zkušeností jsem si odnesl důležité ponaučení. Je nezbytné si uvědomit, co je pro projekt zásadní, jaké parametry a funkce jsou jádrem a pak kolem nich budovat celý koncept. Základem je silný koncept. Nepříjemné zkušenosti mohou být přínosné, protože nás nutí hledat efektivnější způsoby práce, rychle a zároveň kvalitně se rozhodovat a rozvíjet kritické myšlení.

Navzdory všem výzvám si myslím, že jsem úspěšně propojil všechny pomyslné body, které jsem si od začátku vytyčil, a vytvořil jsem konzistentní linku vedoucí k finálnímu produktu. Tento produkt reaguje pozitivně na své okolí, splňuje požadavky uživatelů a plní svou praktickou funkci. Každé mé rozhodnutí mělo své odůvodnění a vycházel jsem z kontextu, často spoléhaje se na svou intuici.

Měl jsem také možnost pracovat na tomto projektu kolektivně, ve skvělém týmu, kde každý přinesl na stůl své zkušenosti z různých oborů. Tato spolupráce byla pro mě nesmírně obohacující. A co je ještě lepší, cesta roboty nekončí touto bakalářskou prací. Plánujeme pokračovat ve vývoji autonomní doručovací služby až do začátku příštího roku. Nemohu se dočkat, až s týmem vytvoříme kompaktní doručovací službu. V příštích týdnech se chystám se více zaměřit na technologie, které robot využívá, a na prototypování doručovacího boxu.

Nechci opomenout, jaké znalosti si z této bakalářské práce odnáším. Práce na tomto projektu mi otevřela nový pohled na sebe sama. Byl jsem přinucen ponořit se hlouběji do světa mechaniky a techniky a propojit estetiku s hrubou technickou stránkou. Původně jsem nečekal, že se budu zabývat odbornou literaturou o elektromotorech, elektroautomobilech nebo studovat automobilové technické příručky, či zkoumat skladbu podvozků a různé druhy kuličkových hřídelí.

Na začátku jsem se trochu obával této výzvy, ale rychle jsem ji přijal a uvědomil si, že si přeji ještě více prozkoumat tuto oblast. V budoucím studiu se chci soustředit na design s automobilovými a strojními prvky. Fascinuje mě propojení hrubé techniky s jemností křivek, a možná právě v tomto spojení leží esence toho, čím bych se rád profesně zabýval.

Tato bakalářská práce mi tedy poskytla nejen technické dovednosti, ale také jasnější směřování a zájem o konkrétní oblast. Jsem vděčný za tuto příležitost a těším se na další výzvy a pokračování mého studia.

9. SEZNAM ZDROJŮ

Seznam obrázků:

obr. 1: <https://news.asu.edu/20200904-asu-news-starship-aramark-launch-contactless-robot-food-delivery>

obr. 2: <https://www.wired.com/story/amazon-new-delivery-robot-scout/>

Obr. 3:

https://www.robotics247.com/article/fedex_shuts_down_robotic_same_day_delivery_service_amazon_scales_back_scout_program

Obr. 4: <https://interestingengineering.com/culture/tokyo-trains-see-virus-killing-disinfection-robots-tested>

Obr.5: https://consent.yahoo.com/v2/collectConsent?sessionId=3_cc-session_9058c191-04b1-45fb-8b98-1e9b7d0bf415

Obr.6: <https://www.cbnme.com/machinery/us-thyssenkrupp-showcases-delivery-robot-at-washington-auto-show-2018/>

Obr.7: <https://www.serverobotics.com/level-4-autonomy>

Obr.8: <https://medium.com/starshiptechnologies/how-starship-delivery-robots-know-where-they-are-going-c97d385a1015>

Obr.9: <https://medium.com/starshiptechnologies/how-starship-delivery-robots-know-where-they-are-going-c97d385a1015>

Obr.10: Archiv autora, 2023 – fotografie doručovacího boxu

Obr. 11: archiv autora – doručovací box, rozměry

Obr. 12: archiv autora – skicy doručovací boxu

Obr. 13: archiv autora – skicy doručovací boxu

Obr. 14: archiv autora – další množnost uchopení kapsle, inspirace gravitační baterií

Obr. 14: archiv autora – jedna z posledních fází konceptu doručovacího boxu

Obr. 15: archiv autora – skica kapsle pro ukládání zásilek

Obr. 16: archiv autora – skica kapsle a její otevírání

Obr. 17: archiv autora – soubor obrázků zobrazující fáze obsluhy

Obr. 18 : - <https://www.isotechinc.com/cartesian-gantry-robots/>

Obr.19: <https://www.dfrobot.com/product-2270.html>

Obr.20: <https://www.omniawheel.com/omnia-wheels>

Obr.21: skica autora

Obr.22: skica autora

Obr.23: 3D modely a skicy autora

Obr.24: 3D modely a autora

Obr.25: 3D modely a autora

Obr.26: soubor fotografií a modelů autora

Obr.27: soubor vizualizací výsledného modelu autora

Obr.28: rozpadový pohled autorova modelu

Obr.29: soubor vizualizací výsledného modelu autora z různých úhlů a různých vrstev

Obr.30: rozpad omni kola, autorův archiv

Obr.31: rozpad kola, autorův archiv

Obr.31b – dvouřadá kuličková hřídel s kosoúhlým stykem