

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Univerzitní studijní programy

Model automatického parkovacího domu a jeho řízení

Model of Automatic Parking House and Its Control

Student:

Bc. Radek Guráš

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Miroslav Mahdal, Ph.D.

Datum odevzdání:

21. 5. 2018

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Radek Guráš**
Studijní program: N3943 Mechatronika
Studijní obor: 3906T006 Mechatronické systémy
Téma: **Model automatického parkovacího domu a jeho řízení**
Model of Automatic Parking House and its Control
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Proveďte rozbor současného řešení systémů parkovacích domů pro parkování automobilů. Vyberte vhodné řídicí systémy pro řízení parkování automobilů z pohledu počtu vstupů a výstupů, výkonostních nároků a vizualizačních požadavků. Popište vybraný řídicí systém.
2. Navrhněte, realizujte a popište konstrukci modelu parkovacího domu, jeho jednotlivých částí, včetně použitých akčních členů a snímačů.
3. Vytvořte funkční řídicí algoritmus pro systém parkování automobilů s demo aplikací, provádějící ukázkou seřazování automobilů v parkovacím domě.
4. Realizujte způsob řízení parkovacího domu (parkování automobilů) na bázi vybraného řídicího systému a popište možnosti vizualizace celého procesu parkování.
5. Zhodnoťte dosažené výsledky a možnosti jejich využití ve výuce, popř. v praxi.

Seznam doporučené odborné literatury:

KERNIGHAN, BRIAN W. A DENNIS M. RITCHIE. Programovací jazyk C. BRNO: COMPUTER PRESS, 2006. ISBN 80-251-0897-X.

NOSKIEVIČ, Petr. Modelování a identifikace systémů. Ostrava: Montanex, 1999. ISBN 80-7225-030-2.

POPIS PLC SIEMENS SIMATIC S7-1500. Popis PLC Siemens Simatic S7-1500 [online]. Siemens 2017 [cit. 2017-10-02]. Dostupné z:

<http://support.automation.siemens.com/WW/llisapi.dll?func=cslib.csinfo&lang=en&objid=6ES75163AN000AB0&caller=view>.

TECHNICKÝ POPIS PROCESOROVÉ JEDNOTKY SIEMENS SIMATIC S7-1516. Popis Procesorové jednotky S7-1516 [online], Siemens 2017 [cit. 2017-10-13]. Dostupné z:

<http://support.automation.siemens.com/ww/llisapi.dll?func=cslib.csinfo&lang=en&objid=6es75163an000ab0&caller=view>.

WINCC. Popis prostředí Simatic WinCC [online], Siemens 2017 [cit. 2017-10-04]. Dostupné z:

http://www.automation.siemens.com/salesmaterial-as/brochure/en/df_fa_69340_ipdf_wincc_systemoverview_en.pdf.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Miroslav Mahdal, Ph.D.**

Datum zadání: 08.12.2017

Datum odevzdání: 21.05.2018



doc. Ing. Renata Wagnerová, Ph.D.
vedoucí katedry





Ing. Zdeňka Chmelíková, Ph.D.
prorektorka pro studium

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne

.....

podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce: Bc. Radek Guráš

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Bezručova 1253
744 01 Frenštát pod Radhoštěm

Poděkování

Rád bych poděkoval především Ing. Miroslavu Mahdalovi, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady a konzultace při zpracování této práce. Mé poděkování patří též panu Vladimíru Starému za pomoc při její praktické realizaci.

Anotace

GURÁŠ, R. *Model automatického parkovacího domu a jeho řízení: diplomová práce.* Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Univerzitní studijní programy, 2018, 68 s. Vedoucí práce: Ing. Miroslav Mahdal, Ph.D.

Tato diplomová práce se zabývá návrhem modelu automatického parkovacího domu a jeho řízení mikroprocesorovými deskami Arduino. Model je realizován hliníkovou rámovou konstrukcí s pohyblivým dvouosým systémem a oboustranným teleskopickým základacím mechanismem. Pro řízení modelu je použitý víceúrovňový řídicí systém, umožňující jak řízení pohybu jednotlivých os modelu, tak sběr dat ze snímačů a komunikaci s uživatelem.

Klíčová slova: automatický parkovací dům, Arduino, krokový motor, základací mechanismus, dvouosý systém

Annotation

GURÁŠ, R. *Model of Automatic Parking House and Its Control: master thesis.* Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, University Study Programmes, 2018, 68 p. Thesis head: Ing. Miroslav Mahdal, Ph.D.

This master thesis deals with the design of a model of automatic parking house and its control using Arduino microcontroller boards. The model is realized by an aluminum frame structure with a two-axis motion system and a dual-sided sliding telescopic storage mechanism. A multi-level control system is used to control the model, allowing both the motion of the individual axes of the model and the collection of data from the sensors and communication with the user.

Key words: automatic parking house, Arduino, stepper motor, storage mechanism, two-axis system

Obsah

Seznam použitých zkratk	9
Seznam použitých značek	10
1 Úvod	11
2 Současná řešení parkovacích domů	12
2.1 Paletový systém	13
2.2 Parkovací výtah	13
2.3 Parkovací kolotoč	14
2.4 Parkovací věž	15
2.5 Kruhová parkovací věž	15
2.6 Systém parkovacího jeřábu	16
2.7 Parkovací systém typu „puzzle“	17
2.8 Kruhový parkovací výtah	17
3 Popis řídicích prostředků	18
3.1 Popis vývojových desek Arduino Mega 2560 a Nano	18
3.2 Popis výkonových prvků	20
3.3 Řídicí systém použitelný v reálné praxi	21
4 Návrh modelu parkovacího domu	22
4.1 Návrh základního mechanismu	22
4.2 Návrh dvouosého pohybového systému	25
4.3 Návrh konstrukce rámu	26
4.4 Návrh řídicího systému modelu	28
5 Realizace konstrukce modelu	30
5.1 Konstrukce rámu	30
5.2 Pohybový systém	30
5.3 Základní systém	34
5.4 Pevné parkovací pozice	38
5.5 Snímače	39
5.6 Ochranný kryt modelu	46
6 Návrh řídicích algoritmů	47
6.1 Řízení krokových motorů	47
6.2 Řízení stejnosměrného motoru H-můstkem	49
6.3 Ověření komunikace a možností vizualizace	50
7 Realizace řídicích algoritmů	55
7.1 Řídicí algoritmus pohybových os	55

7.2	Řídicí algoritmus hlavní řídicí jednotky	58
7.3	Demo aplikace	62
7.4	Domovská pozice – homing	62
8	Závěr	64
9	Seznam použitých pramenů	66
10	Seznam příloh	68

Seznam použitých zkratk

ABS	acrylonitrile butadiene styrene / akrylonitrilbutadienstyren
AC	alternating current / střídavý proud
AI	analog input / analogový vstup
CPU	central processing unit / centrální procesorová jednotka
DC	direct current / stejnosměrný proud
DI	digital input / digitální vstup
DO	digital output / digitální výstup
DPS	deska plošných spojů
GND	ground / zem
HMI	human – machine interface / rozhraní člověk – stroj
I/O	input/output / vstup/výstup
IoT	internet of things / internet věcí
IR	infrared / infračervený
LED	light-emitting diode / svítivá dioda
PC	personal computer / osobní počítač
PLC	programmable logic controller / programovatelný automat
PWM	pulse-width modulation / pulzně-šířková modulace
RAM	random access memory / operační paměť
UART	universal asynchronous receiver-transmitter / univerzální asynchronní přijímač-vysílač

Seznam použitých značek

A, mA	ampér, miliampér
B, kB, MB	byte, kilobyte, megabyte
I	elektrický proud (stejnoseměrný)
s, ms	sekunda, milisekunda
U	elektrické napětí (stejnoseměrné)
V, mV	volt, milivolt
Nm	newton metr
Pa, kPa, MPa	pascal, kilopascal, megapascal

1 Úvod

Tato diplomová práce se zabývá návrhem modelu automatického parkovacího domu a jeho řízením za pomoci vícestupňového řídicího systému.

Automatické parkovací systémy nabízejí v dnešní době moderní, sofistikované a inteligentní řešení parkování automobilů v místech, kde dochází k problémům s nedostatkem parkovací plochy pro velký počet vozidel. V takových místech, jako jsou centra měst, letiště, hotely, sídliště apod. je možné využít parkovacích domů, které parkovací plochu znásobí počtem pater, ať už v nadzemní nebo podzemní variantě. Toto řešení je možné ještě vylepšit použitím automatizovaného systému s množstvím výhod oproti klasickému řešení, zejména v oblasti uživatelského komfortu, bezpečnosti a prostorové efektivity (1), (2).

Za účelem demonstrace fungování možného řešení takového automatického parkovacího systému byl vytvořen model automatického parkovacího domu podzemní konstrukce na principu dvouosého pohybového zařízení s oboustranným výsuvným, teleskopickým zakládacím mechanismem.

Řízení tohoto modelu obstarává distribuovaný systém řízení sestávající z jednotek Arduino ve dvou úrovních. Nízkou úroveň tvoří spolu s výkonovými moduly pro řízení krokových a stejnosměrných motorů mikrokontrolérové desky Arduino Nano a představují obdobu reálných inteligentních systémů, např. inteligentních frekvenčních měničů. Vyšší úroveň tvoří deska Arduino Mega, která představuje hlavní řídicí jednotku modelu. Obě úrovně spolu komunikují pomocí UART. Vyšší úroveň je zároveň připravena pro napojení na vizualizační software.

2 Současná řešení parkovacích domů

V dnešní době dochází vlivem vzrůstajícího počtu automobilů k problémům s parkováním, zvláště na velmi frekventovaných místech, jako jsou centra měst, letiště, hotely, nádraží apod. Tuto situaci je možné částečně řešit použitím automatických parkovacích domů. Jejich hlavní výhodou je až o polovinu menší potřebná parkovací plocha. V tomto ohledu předčí automatická varianta parkovacího domu i svou klasickou verzi, jelikož automatický systém nepotřebuje tolik manévrovacího prostoru pro vjezd, výjezd a zaparkování, jako člověk (1).

Současně tyto systémy neřeší pouze problémy s prostorem, ale mají další výhody, zvláště z hlediska bezpečnosti, rychlosti a efektivity parkování. Automatický systém za předpokladu správného nastavení, seřízení a funkčnosti umožňuje eliminovat lidský faktor při parkování na omezeném prostoru a tím zabránit případným nehodám, za současného zrychlení parkovacího procesu. Zvláště pak řešení s více zakládacími mechanismy mohou být schopné odbavovat několik zákazníků najednou. Ke zvýšení efektivity přispívá i fakt, že zákazník po zaparkování do vjezdového boxu ponechává vše na automatizaci.

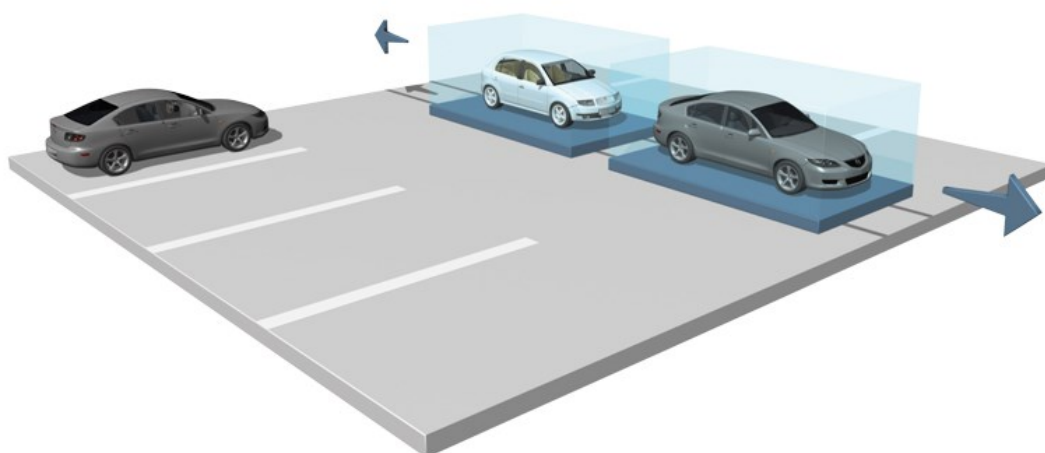
Z dalších výhod lze jmenovat (1):

- malý zástavbový prostor – šířka a výška
- nižší náklady na pozemek
- maximální využití plochy
- komfort, rychlost a ochrana proti povětrnostním vlivům
- zamezení přístupu neoprávněným osobám (snižuje riziko krádeží)
- nízké provozní náklady (osvětlení, teplota, zázemí pro řidiče)
- omezení emisí, rizika požáru

Jako každý systém má i parkovací dům své nevýhody. Zde jsou to především vyšší pořizovací náklady než u neautomatizované varianty. Zároveň je nutná i pravidelná údržba mechanismu a kontrola spolehlivosti vyškolenou osobou. Problémem je také závislost tohoto řešení na dodávce elektrického proudu, při jehož výpadku může dojít k omezení až zastavení činnosti, nikoliv však k poruše nebo ztrátě bezpečnosti.

2.1 Paletový systém

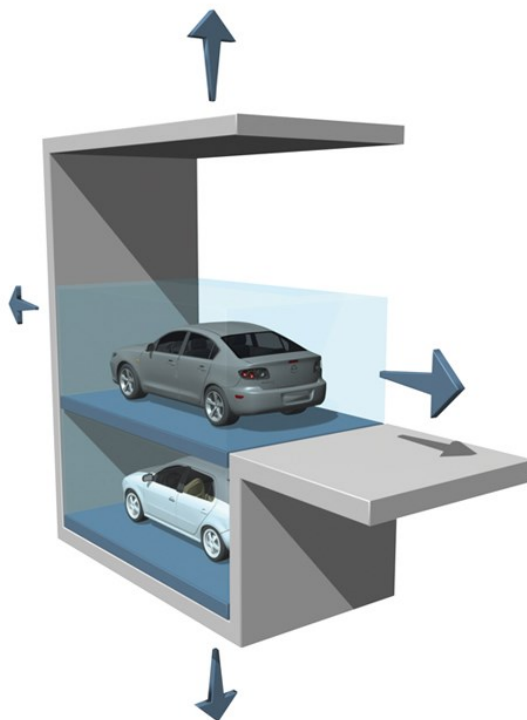
Paletový systém je poloautomatické nezávislé (každý automobil lze zaparkovat nebo vyparkovat zvlášť, bez nutnosti nejdříve vyparkovat jiný) řešení využívající kolmého nebo rovnoběžného uložení palet podél komunikace, čímž může s výhodou doplnit klasickou volnou parkovací plochu při zvýšení kapacity o 40-60 % (viz *obr. 2.1*). Systém je možné využít pouze u zastřešených prostor, ať už v nadzemním, podzemním nebo kombinovaném provedení. Principem je uložení palet na nevyvýšených kolejkách (1), (2).



Obr. 2.1 Paletový systém (1)

2.2 Parkovací výtah

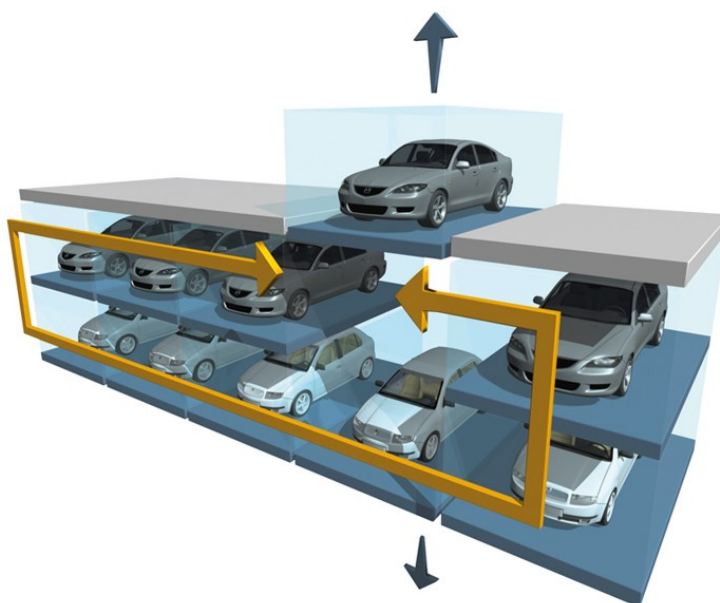
Systém parkovacího výtahu je poloautomatické řešení založené na principu uložení automobilů nad sebou s možností závislé i nezávislé konstrukce. Výtah může být konstruován jako nadzemní či podzemní parkování s uložení na paletách (viz *obr. 2.2*) nebo jako nadzemní závislá varianta s uložení spodního auta na podlaze. Obě řešení je možné rozšířit do bočních stran o více parkovacích jednotek v řadě. Takto lze dosáhnout dvojnásobné až trojnásobné kapacity parkovací plochy (1), (2).



Obr. 2.2 Parkovací výtah (1)

2.3 Parkovací kolotoč

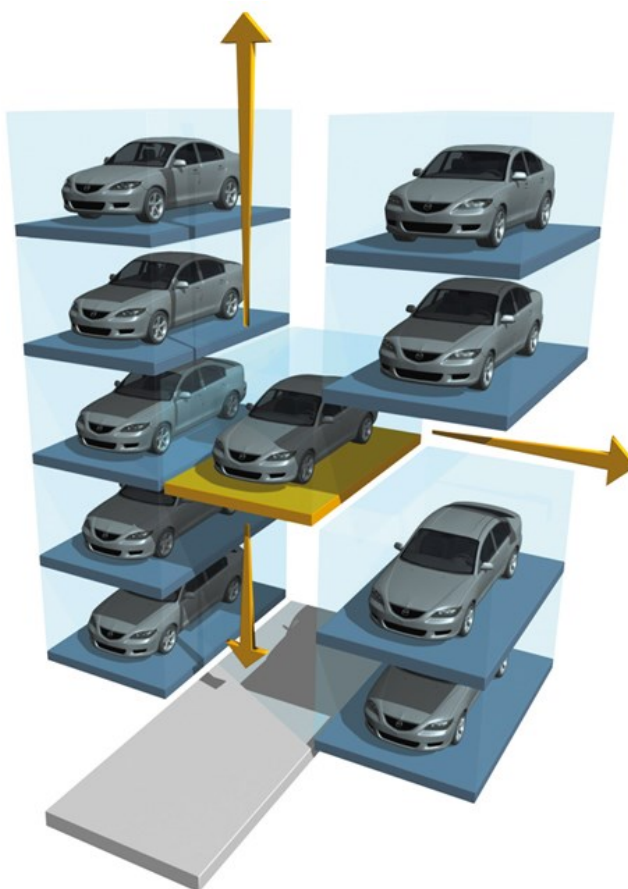
Systém parkovacího kolotoče je automatické nezávislé řešení, které využívá princip rotace parkovacích pozic v rámci několika pater s využitím vodorovného posuvu všech palet na patře a svislého pohybu (zvedací mechanismus) na krajích každého patra (viz *obr. 2.3*). U tohoto systému je možné nadzemní, podzemní nebo kombinované provedení se 4-10 auty v řadě na 2-5 patrech (1), (2).



Obr. 2.3 Parkovací výtah (1)

2.4 Parkovací věž

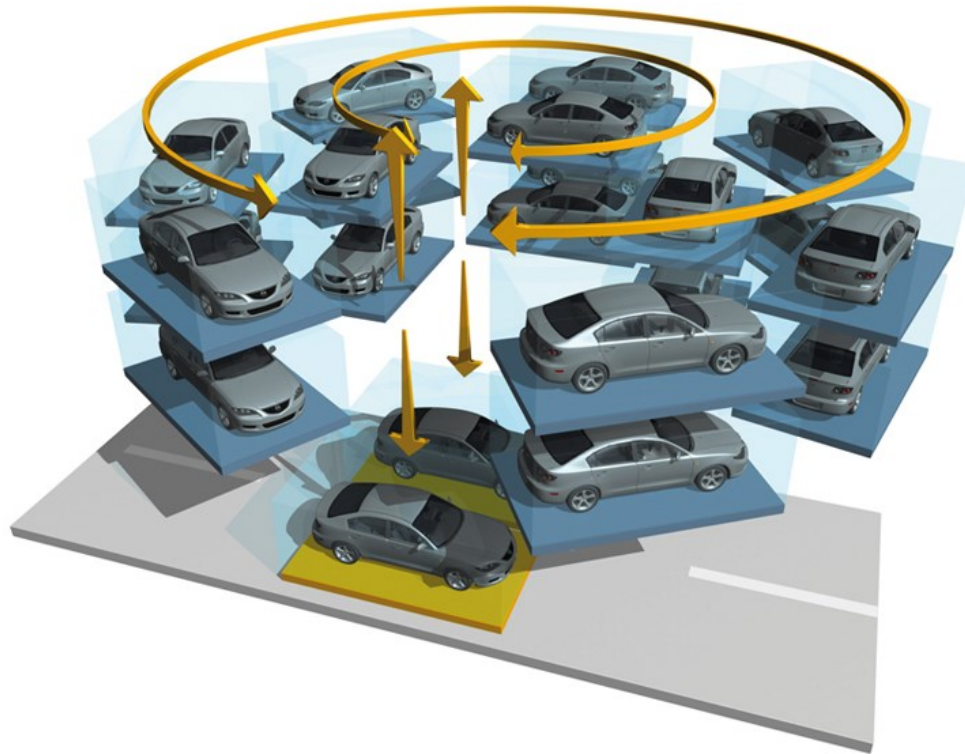
Parkovací věž je automatický nezávislý systém, využívající zvedací zařízení uprostřed parkovací věže nadzemní nebo podzemní konstrukce, a přesouvání palet s automobily ze zvedacího zařízení do úložných prostor po stranách věže (viz *obr. 2.4*). Jednoduchá varianta může být rozšířena pro použití více zvedacích mechanismů za sebou. Toto řešení umožňuje parkování velkého množství aut při zachování malé plochy půdorysu budovy (1), (2).



Obr. 2.4 Parkovací věž (1)

2.5 Kruhová parkovací věž

Kruhová parkovací věž je automatický nezávislý systém, založený na principu kruhového uložení palet na několika mezikružích nad sebou v nadzemní nebo podzemní konstrukční variantě (viz *obr. 2.5*). Každé mezikružší má svůj vlastní vjezd. Řešení je vhodné pro velké množství parkujících automobilů a umožňuje souběžné parkování více automobilů najednou díky soustavě nezávislých mezikružší a zvedacích zařízení (1), (2).



Obr. 2.5 Kruhová parkovací věž (1)

2.6 Systém parkovacího jeřábu

Parkovací jeřáb je automatický nezávislý systém, fungující jako dvouosý mechanismus s nezávislým zakládacím pojezdem, který přenáší automobil z jeřábu do parkovacích boxů po stranách manipulačního prostoru (viz obr. 2.6). Konstrukce budovy může být jak nadzemní, tak podzemní s různým počtem vjezdů a možností využití točny (3).



Obr. 2.6 Parkovací jeřáb (3)

2.7 Parkovací systém typu „puzzle“

Parkovací systém typu „puzzle“ je automatické nezávislé řešení parkování, které využívá složitějších algoritmů pro řízení základního mechanismu tak, že na několika patrech, propojených zvedacím zařízením ukládá automobily na palety po celé ploše patra (viz obr. 2.7). Tyto palety je možné v rámci patra v obou směrech přesouvat, přičemž řídicí systém vyhodnocuje nejjednodušší cestu od výtahu k dané pozici a naopak. Je nutné ponechat vždy jednu pozici prázdnou, aby byl možný přesun palet, podobně jako ve hře „puzzle“ (3), (4).



Obr. 2.7 Systém typu „puzzle“ (3)

2.8 Kruhový parkovací výtah

Kruhový parkovací výtah je systém nezávislého automatického řešení, kdy jsou automobily zvedány pomocí výtahu v ose kruhové věže a zakládány do boxů, umístěných k ose radiálně (viz obr. 2.8). Středový nosník může nést více výtahů schopných kyvného pohybu do stran (5).



Obr. 2.8 Kruhový parkovací výtah (5)

3 Popis řídicích prostředků

Parkovací dům, stejně jako každý automatizovaný systém, musí obsahovat řídicí systém, který za pomoci jednoho nebo více procesorů zpracovává data ze snímačů, vyhodnocuje stav systému a dává signály akčním členům. U aplikací typů parkovacího systému je kladen důraz na rychlost zpracování informací, aby bylo možné přesné polohování pohybových mechanismů, a rozšiřitelnost o množství I/O modulů, jelikož takto složitá zařízení obsahuje mnoho snímačů, které je potřeba k řídicímu systému připojit.

Vzhledem ke komplexnosti všech prvků se často využívá tzv. distribuovaného řízení, kdy se na zpracování a vyhodnocení dat podílí více vzájemně komunikujících řídicích jednotek s přesně určenou hierarchií. Zpravidla se potom systémy nižší úrovně starají o sběr dat a řízení akčních členů, zatímco vyšší úroveň získaná data zpracovává a dává zpět informace o potřebném akčním zásahu. Nejvyšší úroveň dané struktury také většinou zajišťuje tzv. rozhraní člověk – stroj (HMI), kdy spravuje ovládací panely, dispečerská pracoviště, vizualizaci atd.

3.1 Popis vývojových desek Arduino Mega 2560 a Nano

Arduino je open-source vývojová platforma, založená na mikrokontrolérech ATMEL, tvořící dohromady s napájecím obvodem, krystalem a USB převodníkem komplexní jednodeskový počítač, určený původně pro výuku programování. Tato samostatná deska může být podle potřeby doplněna účelově zaměřenými rozšířeními, tzv. *shields* (6), (7).

Stejně jako hardware, zahrnuje otevřený projekt Arduino i vývojové nástroje k tvorbě software pro mikrokontrolérovou desku. Tyto nástroje poskytuje prostředí *Arduino IDE*, založené na jazyce *Wiring* a prostředí *Processing* (6), (7).

Díky stále se rozšiřující komunitě sdílející své znalosti a zkušenosti s využitím této platformy, nízkým pořizovacím nákladům a velkému množství knihoven pro nejrůznější periferní hardware se stalo Arduino řídicím prvkem nejen výukových projektů, ale také mnoha amatérských i poloprofesionálních aplikací, např. 3D tiskáren, robotů a podobně (6).

Existuje množství desek, ať už originálních nebo tzv. klonů, z nichž nejznámější a nejpoužívanější lze jmenovat *Arduino Uno*, *Leonardo*, *Nano*, *Mini* (nižší, jednodušší řada) a *Mega*, *Zero*, *Due* (vyšší řada) (6).

Arduino MEGA 2560 je mikrokontrolérová deska, založená na čipu ATmega2560, patřící do vyšší, složitější a výkonnější řady Arduino desek. Rozložení jejich I/O pinů je zpětně kompatibilní se základní deskou Uno. Z technických parametrů je možné zmínit (6):

- 54 digitálních I/O pinů (15 může generovat PWM), 16 analogových vstupů
- 4x UART, takt mikroprocesoru 16 MHz, 8 kB RAM, 256 kB datové paměti
- 2x 8bitový časovač, 4x 16bitový časovač

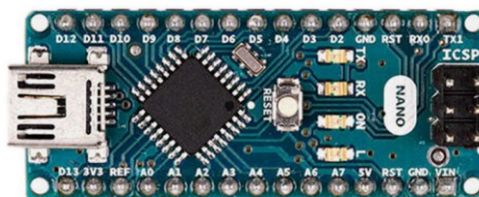


Obr. 3.1 Arduino MEGA 2560 (6)

Arduino Nano je mikrokontrolérová deska, založená na čipu ATmega328 (od verze 3.x), řadící se k nižší řadě vývojových desek. Její rozměry a rozložení pinů umožňují vsadit desku do nepájivého pole a tím usnadňují připojení dalších součástek. Svými rozměry 18x45 mm se řadí k nejmenším deskám řady. Použitý mikročip ATmega328 je podobný jako u desky Uno, což zajišťuje vzájemnou hardwarovou i softwarovou kompatibilitu (6), (7).

Základní technické parametry: (6)

- 22 digitálních I/O pinů (6 může generovat PWM), 8 analogových vstupů
- 1x UART, takt mikroprocesoru 16 MHz, 2 kB RAM, 32 kB datové paměti
- 2x 8bitový časovač, 1x 16bitový časovač

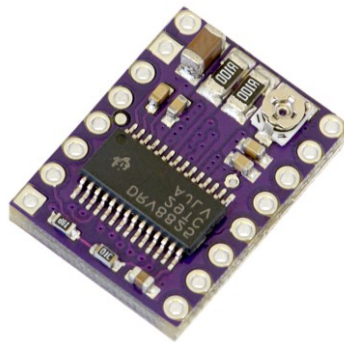


Obr. 3.2 Arduino Nano (6)

3.2 Popis výkonových prvků

Pro buzení pohonů, ať už krokových motorů nebo upraveného modelářského servomechanismu, fungujícího jako DC motor, byly použity dva typy driverů.

Pololu DRV8825 je komplexní DPS obsahující driver umožňující řízení pohybu bipolárních krokových motorů schopný zprostředkovat spínání jednotlivých fází motoru až do jmenovitého proudu 2,2 A jednou fází při dostatečném chlazení. Zároveň umožňuje mikrokrokování až do rozlišení 1/32 kroku. Omezení maximálního výstupního proudu je možné nastavit trimrem. Driver pracuje s maximálním napájecím napětím až 45 V a obsahuje regulátor výstupního proudu typu „chopper“, pro zajištění co nejrychlejšího nárůstu proudu na maximální hodnotu a tím dosažení co možná nejvyššího momentu motoru i při rychlém krokování (8).



Obr. 3.3 Driver krokových motorů DRV8825 (8)

Použití driveru krokových motorů usnadňuje i generování řídicího signálu z mikrokontroléru, jelikož je driver řízen pouze dvěma signály – DIR (směr) a STEP (krok). Signál DIR ovlivňuje směr krokování na jednu, či druhou stranu v závislosti, zda je signál logická 1, nebo 0. Signál STEP dává driveru pokyn k vykonání jednoho kroku nebo mikrokroku v závislosti na nastavení a reaguje na náběžnou hranu signálu (přechod z logické 0 do logické 1).

STMicroelectronics L298N je integrovaný dvojitý H-můstek pro řízení indukčních zátěží, jako jsou relé, solenoidy, DC a krokové motory atd. Celkový proud obvodem je možný do výše 4 A a maximální napájecí napětí zátěže je 46 V. Řídicí část obvodu funguje standardně na TTL logických úrovních (9).

Každý H-můstek je řízen třemi vstupními signály – *EN*, *IN1* a *IN2*. Vstup *EN* (*enable*) je určen k zapnutí/vypnutí napájení výkonových částí obvodu. Zároveň slouží k řízení rychlosti pomocí PWM modulace. Vstupy *IN1* a *IN2* ovládají směr otáčení motoru. K otáčení jedním nebo druhým směrem je potřeba, aby jeden ze vstupů měl nastavenou logickou hodnotu HIGH a druhý LOW. Při záměně hodnot na obou vstupech dojde ke změně směru otáčení (9).

3.3 Řídicí systém použitelný v reálné praxi

V reálné situaci by parkovací dům byl pravděpodobně řízen PLC automatem. Jedním z kandidátů, použitelných pro tento účel, je PLC Siemens Simatic S7-1500. Jedná se o modulární programovatelný logický automat, určený pro náročné aplikace (10), (11).



Obr. 3.4 PLC Siemens Simatic S7-1500 (7)

Modularita tohoto automatu spočívá v tom, že CPU jednotku automatu je možné/nutné rozšířit o vstupní a výstupní, ať už analogové nebo digitální moduly, moduly časovačů, čítačů, komunikační, technologické moduly, systémy pro řízení motorů apod.

CPU jednotka vybavena porty pro sběrnici *Profibus* a *Profinet*, umožňující komunikaci se vzdálenými I/O systémy, frekvenčními měniči, HMI panely, podnikovou sítí, resp. nadřazenou úrovní řízení (10), (11).

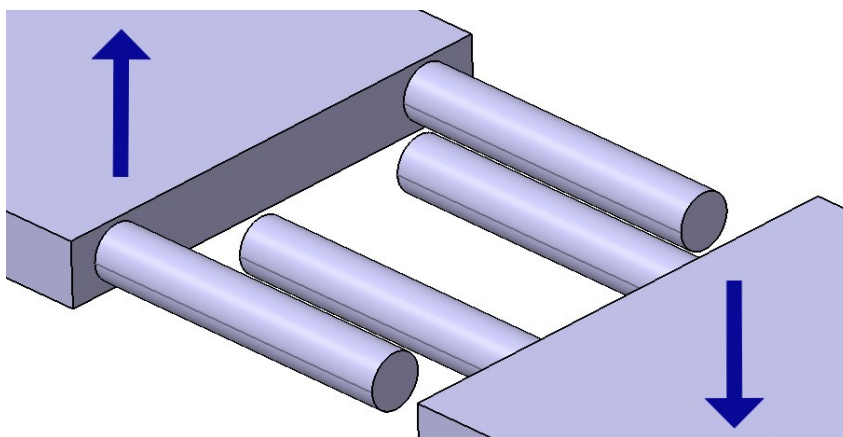
4 Návrh modelu parkovacího domu

V této práci byl navržen ukázkový model parkovacího domu pro řešení úloh řízení automatického parkování automobilů. Z hlediska optimálního poměru mezi cenou, velikostí a montážní náročností byly zvoleny rozměry tak, aby zařízení bylo schopno pracovat s modely automobilu v měřítku 1:24.

Některé součásti, zvláště pohonné systémy, svými rozměry zcela neodpovídají celkovým proporcím modelu parkovacího domu, přesto bylo přistoupeno k jejich využití vzhledem k faktu, že se jedná o standardní, normalizované součásti, jejichž cena je mnohonásobně nižší než cena atypických prototypů vyráběných na míru.

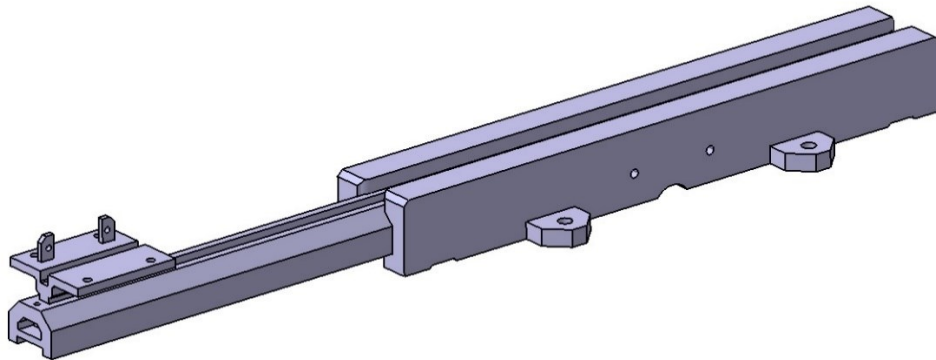
4.1 Návrh základního mechanismu

Základním prvkem každého automatizovaného parkovacího domu je mechanismus, který dopravuje automobily z prostoru vjezdu do jednotlivých úložných pozic garáže. Nejčastěji využívaným principem je přenos automobilu na paletě, kterou si jednotlivé pohybové systémy garáže předávají mezi sebou. V této práci však byl použit princip předávání automobilu mezi statickým a pohybovým prvkem systému pomocí vzájemně se prolínajících nosných tyčí (viz *obr. 4.1*), které podpírají kola automobilu a při jejich vzájemném prolnutí dojde k „předání“ kola z tyčí s větší roztečí na tyče s roztečí menší a naopak.



Obr. 4.1 Princip předávání automobilu základním mechanismem

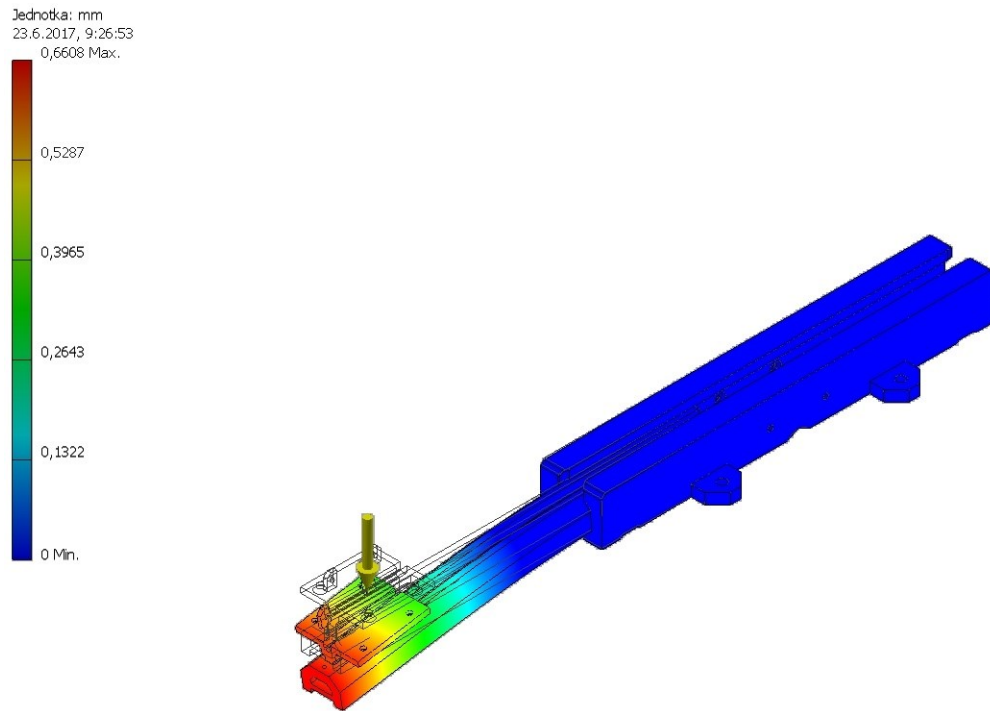
Podobného principu využívá i např. systém parkovacího jeřábu (*kapitola 2.6*). Na rozdíl od tohoto systému byl pro tuto práci navržen zakládací mechanismus, u kterého není přenos z manipulačního prostoru do úložné pozice zprostředkováván nezávislým pohyblivým vozíkem, ale zakládací mechanismus funguje jako teleskopický výsuvný oboustranný systém s nosným prvkem upevněným na druhém stupni teleskopického zařízení. Takto je mechanismus schopen vysunout nosný prvek o více než jednu délku zasunutého stavu, čímž je možné automobil přesunout do úložné pozice, aniž by muselo dojít k fyzickému odpojení nosného prvku od zakládacího mechanismu.



Obr. 4.2 Lineární teleskopický oboustranný výsuv

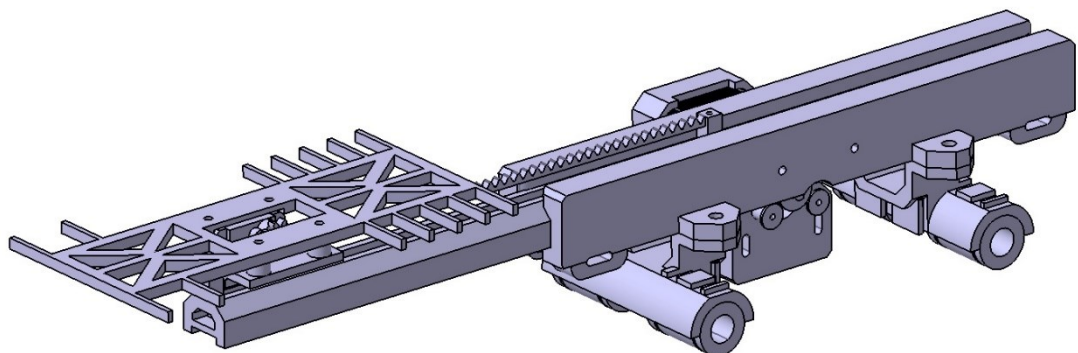
Zakládací mechanismus se skládá ze tří základních dílů určených k lineárnímu výsuvu symetricky na obě strany (viz *obr. 4.2*). Díly byly vyrobeny dle vlastního návrhu z plastu metodou 3D tisku na základě požadavků na rozsah pohybu, tuhost a specifické rozměry. Pro orientační zjištění průhybu teleskopické konstrukce byla provedena jednoduchá simulační pevnostní analýza se zatížením 0,5 kg, jejímž výsledkem bylo maximální napětí (dle hypotézy HMM) o hodnotě 1,731 MPa a maximální vychýlení koncového bodu prvního stupně 0,66 mm při maximálním předpokládaném vysunutí (viz *obr. 4.3*). Nutno zdůraznit, že během analýzy byla sestava považována za celistvé těleso a vlastnosti 3D tištěného plastu se nepochybně liší od jiných výrobních technologií.

Pohon prvního stupně teleskopického systému je zajišťován krokovým motorem od firmy Microcon typu *SX17-1005LQCEF*. Tento motor má standardizovanou velikost příruby NEMA 17 a statický moment 0,52 Nm při jmenovitém proudu 1 A. Pohyb motoru je přenášen přes řemenice pomocí ozubeného řemene typu *GT2* upevněného na protějším konci posuvného dílu prvního stupně ze spodní strany. Zapojení fází motoru je k dispozici v *příloze B (12)*.



Obr. 4.3 Analýza maximálního vychýlení koncového bodu

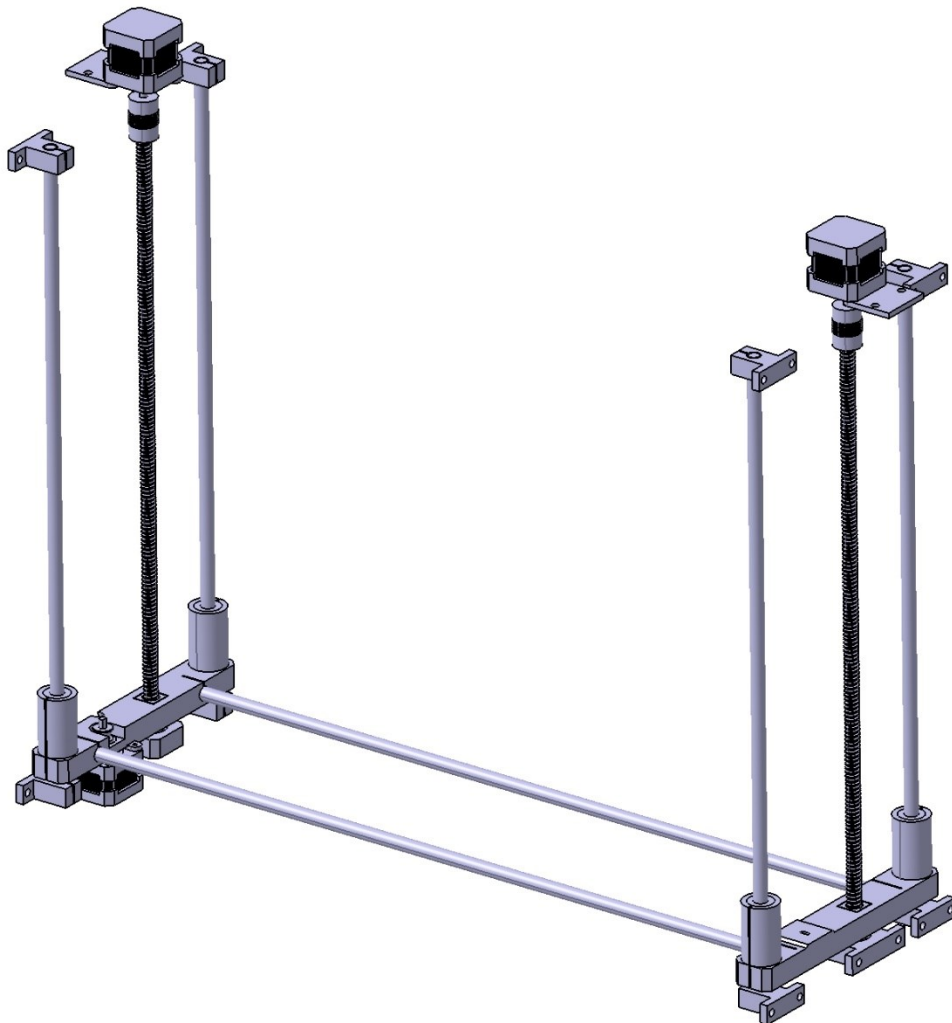
K pohonu druhého stupně byl využit, z důvodu zástavbových rozměrů, modelářský nano-servomechanismus, který byl upraven tak, že byly odstraněny koncové dorazy omezující pohyb pouze na přibližně 140° a odstraněna zpětnovazební elektronika, čímž je tento servomechanismus využíván jako prostý vysokootáčkový stejnosměrný motor s převodovkou s vysokým převodovým poměrem. Tato úprava řeší problém potřeby relativně silného pohonu při požadavku na jeho minimální velikost. Pohon je umístěn na pohyblivém dílu druhého stupně a jeho rotační pohyb se převádí na posuv pomocí ozubeného kola a hřebene probíhajícího středem druhého stupně.



Obr. 4.4 Zakládací mechanismus – návrh

4.2 Návrh dvouosého pohybového systému

Hlavním systémem, umožňujícím základacímu mechanismu pohyb v manipulačním prostoru je dvouosý mechanismus, schopný přesouvat nesený automobil ve svislé ose mezi patry a vodorovně mezi úložnými boxy v rámci patra. Pro tento model byl navržen mechanismus skloubením dvou základních principů: průmyslového základacího jeřábu a pohybového systému 3D tiskárny.



Obr. 4.5 Dvouosý pohybový systém – návrh

Svislá osa mechanismu je tvořena pasivní kostrou – hlazenými vodicími tyčemi průměru 10 mm, po nichž se pohybují lineární kuličková ložiska, usazená v nosných dílech, vytvořených 3D tiskem. Kromě ložisek jsou v těchto dílech také zasazeny trapézové matice. Pohon zajišťuje dvojice krokových motorů firmy Microcon typu *SX17-1005LQCEF*, které jsou pružnými spojkami spojeny s trapézovými šrouby. Otáčivý pohyb motorů se přes tyto šrouby a matice v nosných dílech převádějí na pohyb lineární ve svislém směru (12).

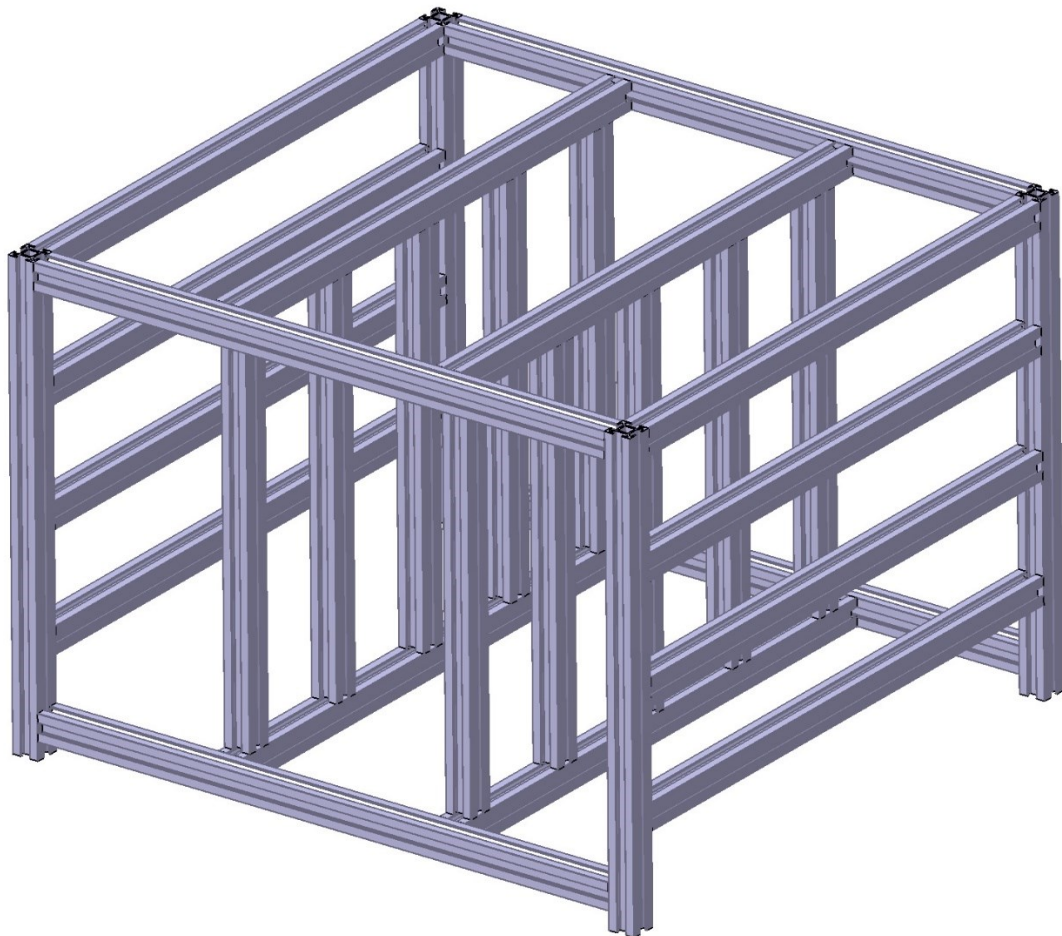
Plastové nosné díly neslouží pouze jako nosič vodicích a převodových prvků, ale propojují zároveň svislou osu s osou vodorovnou. Ta je tvořena dvojicí hlazených vodicích tyčí, po kterých se na lineárních ložiscích pohybuje zakládací mechanismus. Pohon vodorovné osy je kvůli nedostatku prostoru pro pohybový šroub realizován ozubeným řemenem, poháněným krokovým motorem.

4.3 Návrh konstrukce rámu

Jako hlavní nosná konstrukce celého parkovacího domu byl vytvořen návrh rámu z hliníkových stavebnicových profilů o rozměrech 30 x 30 mm.

Celkové rozměry rámu jsou:

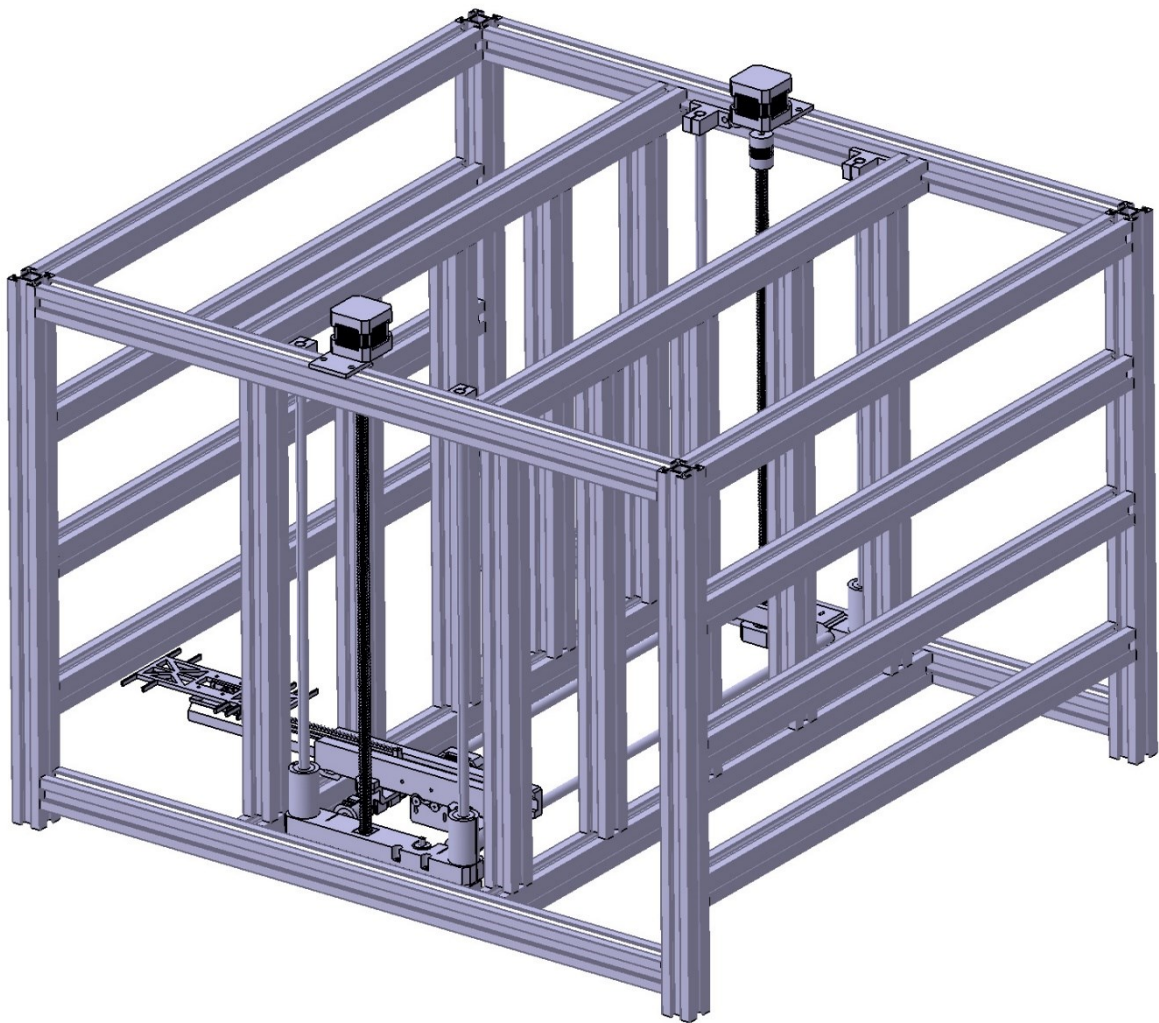
- šířka 690 mm
- hloubka 730 mm
- výška 520 mm



Obr. 4.6 Hliníkový rám modelu – návrh

Rám (viz *obr. 4.6*) je na čelních stranách tvořen vodorovně uloženými profily, vymežujícími výšku jednotlivých parkovacích pozic a uvnitř strukturou svisle orientovaných profilů, vymežujících jejich šířku a zároveň umožňujících pohyb základacího mechanismu se svislým směru za účelem uložení automobilu do boxu principem „předání“ (viz *kapitola 4.1* a *obr. 4.1*).

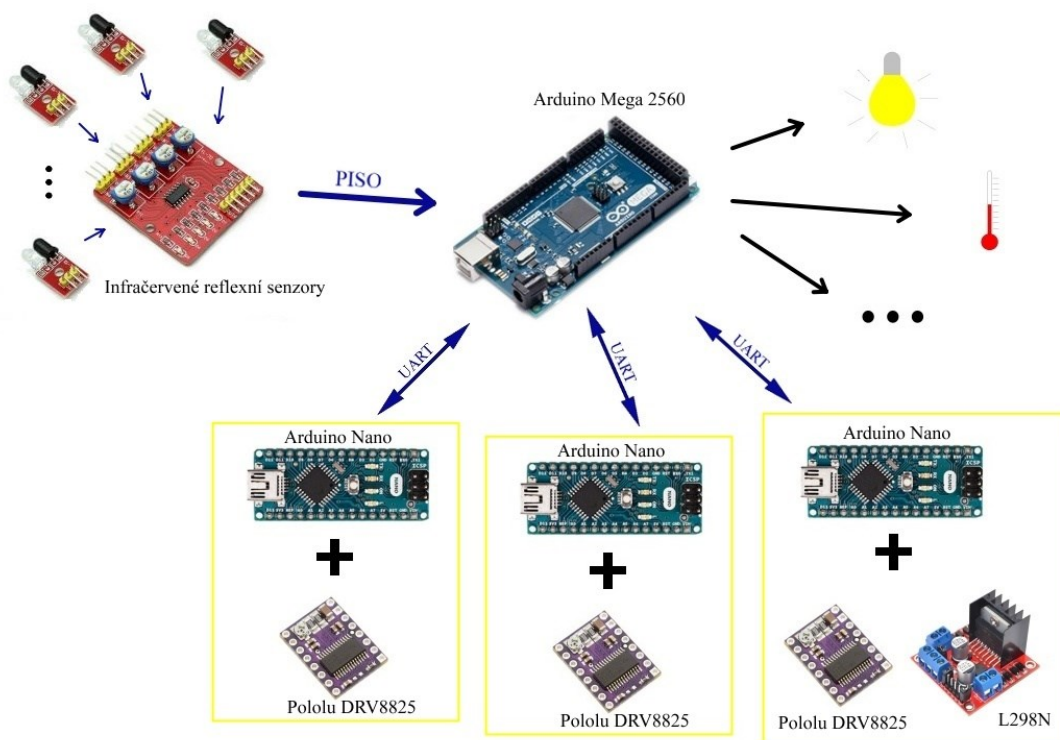
Pohybový aparát modelu je k rámu připevněn přes svislou osu tak, že pasivní struktura vodicích tyčí osy je upevněna pomocí svěrných držáků přišroubovaných k rámu. Krokové motory umístěné shora jsou uchyceny na 3D tištěných plastových držácích.



Obr. 4.7 Kompletní sestava modelu parkovacího domu – návrh

4.4 Návrh řídicího systému modelu

Pro řízení modelu byl navržen víceúrovňový systém, skládající se z hlavní řídicí jednotky, tvořené mikrokontrolérovou deskou Arduino Mega 2560, která zabezpečuje sběr dat, komunikaci s uživatelem, popř. nadřazenou úroveň, a především správu tří subsystémů pro řízení pohybů jednotlivých os modelu. Tyto subsystémy jsou tvořeny vždy mikrokontrolérovou deskou Arduino, která v kombinaci s výkonovými drivery pro řízení krokových motorů od firmy Pololu *DRV8825*, popř. s H-můstkem *L298N* pro řízení stejnosměrného motoru, představuje obdobu reálného inteligentního řídicího systému, např. inteligentního frekvenčního měniče. (viz obr. 4.8).

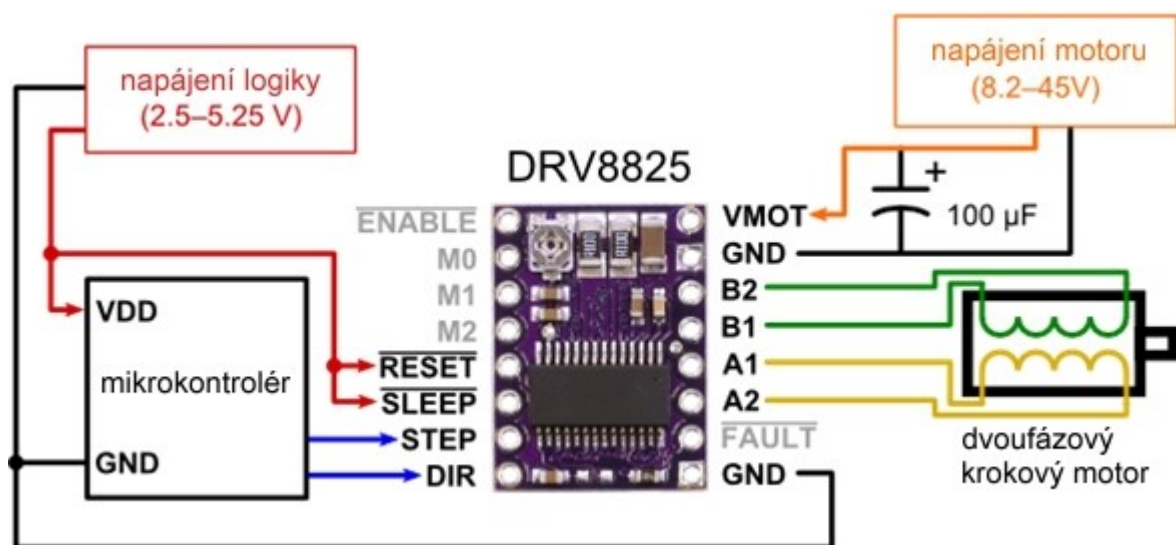


Obr. 4.8 Schéma řídicího systému – návrh (9), (10), (12)

Hlavní řídicí jednotka modelu je tvořena deskou Arduino Mega 2560. Tato deska zabezpečuje sběr dat ze snímačů, komunikaci s uživatelem, popř. nadřazenou úroveň, a především správu tří inteligentních výkonových subsystémů pro řízení pohybů jednotlivých os modelu. Tato jednotka obsahuje a provádí parkovací aplikace, zpracovává informace o obsazenosti parkovacích pozic a uchovává data o pohybu a poloze jednotlivých os. Pomocí UART potom komunikuje a předává osám informace o požadovaném relativním pohybu k provedení.

Inteligentní výkonové drivery tvoří soustava desky Arduino Nano a výkonového driveru pro řízení pohybu krokových motorů, resp. H-můstku pro řízení pohybu stejnosměrného motoru. Data určená k řízení pohybového mechanismu přijímá deska Nano pomocí UART, zpracovává je a plní funkci modulu pro generování řídicích signálů. Tyto výstupní signály jsou následně zpracovány drivery *Pololu DRV8825*, které budí již samotné cívky krokových motorů, popřípadě H-můstkem *L298N* řídicím pohyb druhého stupně základního teleskopického mechanismu (8).

Driver krokových motorů DRV8825 vyžaduje zapojení minimálně dle následujícího obrázku:



Obr. 4.9 Schéma zapojení driveru DRV8825

K usnadnění tohoto zapojení a k nastavení dalších parametrů, jako např. mikrokrokování byla vytvořena DPS, jejíž schéma a layout jsou uvedeny v příloze C a příloze D.

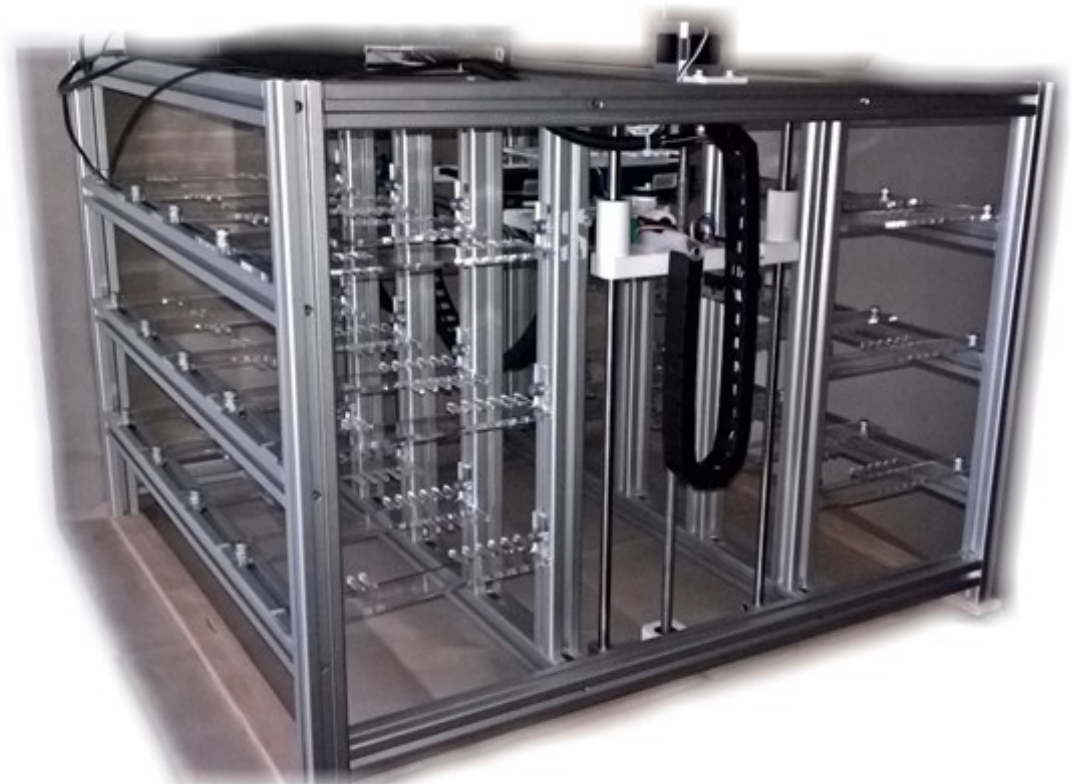
Řídicí jednotky, ať už hlavní – deska Mega – nebo subsystémové – desky Nano – byly zapojeny do společné DPS, která sdružuje jejich napájení a umožňuje pomocí přepínačů jednotlivé desky zapnout, vyřadit jejich komunikaci a další funkce, sloužící především k ladění. Schéma a layout jsou uvedeny v příloze F a příloze G. Jednotlivé snímače modelu, včetně jejich napájení, jsou svedeny za účelem snazšího odpojení v případě potřeby do jednoho konektoru typu CANON s 37 piny. Rozložení konektorů je popsáno v příloze E.

5 Realizace konstrukce modelu

Konstrukce modelu parkovacího domu pro automatické parkování automobilů byla realizována na základě předchozího návrhu. Všechny použité 3D modely jsou přiloženy na CD.

5.1 Konstrukce rámu

Hliníkový rám byl dle původního plánu sestaven ze stavebnicových profilů 30 x 30 mm, které byly nařezány na potřebné délky a smontovány za pomoci speciálních matek, umístěných do profilové drážky (viz *obr. 5.1* a *obr. 5.2*).



Obr. 5.1 Rám modelu

5.2 Pohybový systém

Dvouosý pohybový systém byl realizován dle původního návrhu spojením horizontální a vertikální pohybové osy.

Vertikální osu tvoří čtveřice kalených hlazených vodicích tyčí, upevněných k základnímu rámu (viz *obr. 5.2*). Snadný pohyb po tyčích umožňují lineární kuličková ložiska, vsazená do 3D tištěného nosného dílu, propojujícího vertikální osu s horizontální.

Svislý pohyb zajišťuje dvojice krokových motorů firmy Microcon typu *SX17-1003LQCEF* s přírubou NEMA 17 a statickým momentem 0,3 Nm při jmenovitém proudu 1 A. Přenos točivého momentu probíhá přes pružnou spojku, trapézový pohybový šroub a trapézovou matici na upevnění horizontální osy (viz *obr. 5.3*) (12).

Toto řešení je zvláště vhodné pro použití u svislého pohybu s permanentní zátěží, jelikož trapézový šroub dané konstrukce a parametrů splňuje podmínku samosvornosti, tudíž i v případě výpadku napájení či jiné poruchy zajistí bezpečné zastavení svislého pohybu mechanismu. Pro podmínku samosvornosti platí

$$\varphi' = \tan^{-1} \left(\frac{f_z}{\cos \frac{\alpha}{2}} \right) = 8,82^\circ \quad (1)$$

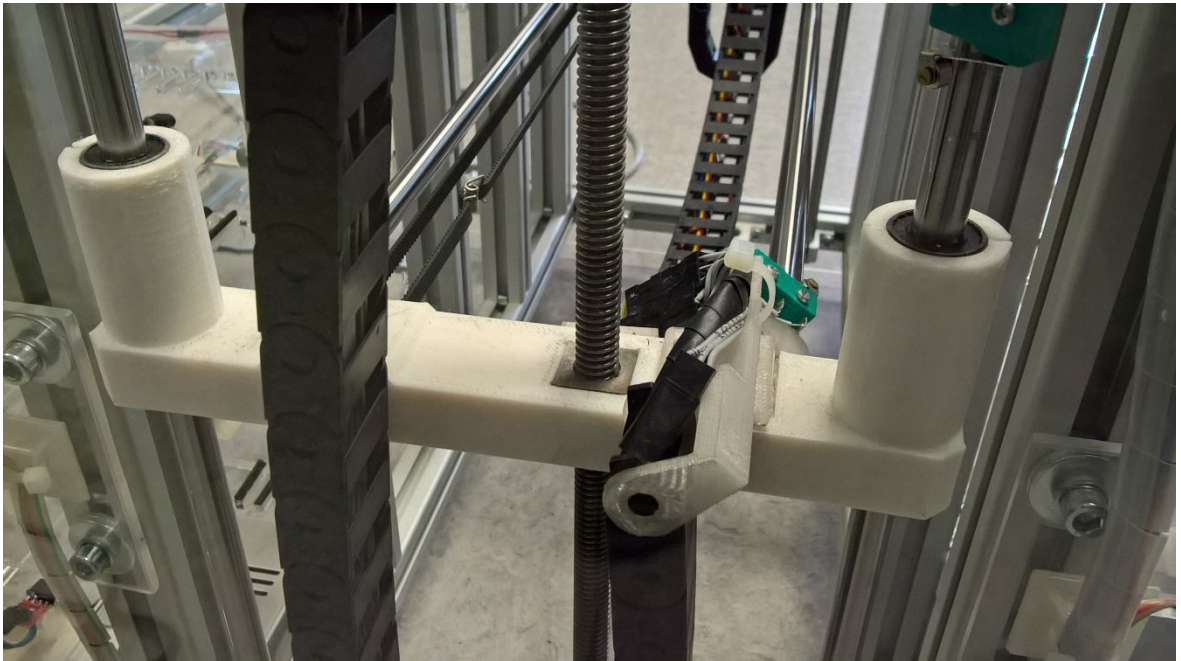
$$\psi \leq \varphi',$$

kde ψ je úhel stoupání (zde daný výrobcem $4^\circ 07'$), φ' redukovaný třecí úhel závitu, f_z pro ocel – ocel 0,15 a úhel profilu závitu α pro lichoběžníkový závit 30° .



Obr. 5.2 Detail spojení profilů a upevnění vodicích tyčí

Při sestavování bylo nutné klást důraz na to, aby vodicí tyče a pohybový šroub byly vzájemně rovnoběžné a zároveň v ose svých upevňovacích prvků, jinak docházelo k příčeni a zasekávání mechanismu.



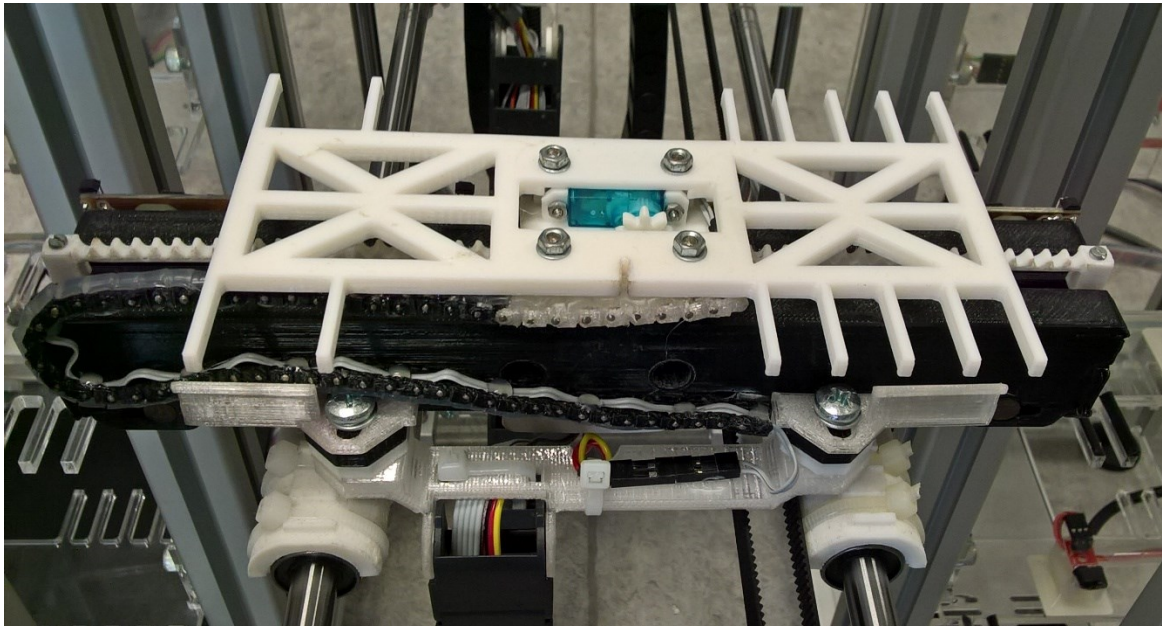
Obr. 5.3 Detail spojení horizontální a vertikální osy

Pro usnadnění pohybu trapézového šroubu byl dolní konec šroubu osoustružen na menší průměr a zasazen do kuličkového ložiska typu 6000 (viz *obr. 5.4*). Ložisko bylo upevněno do držáku vytvořeného 3D tiskem na míru. Pro mazání trapézového šroubu byla použita bílá technická vazelína.



Obr. 5.4 Uložení pohybového šroubu v ložisku

Horizontální osu tvoří dvě vodící tyče shodného typu s předchozími, zasazené svými konci do spojovacích dílů. Po těchto tyčích jezdí dva 3D tištěné nosné díly, v nichž jsou zasazena a stahovacími páskami upevněna opět lineární ložiska.



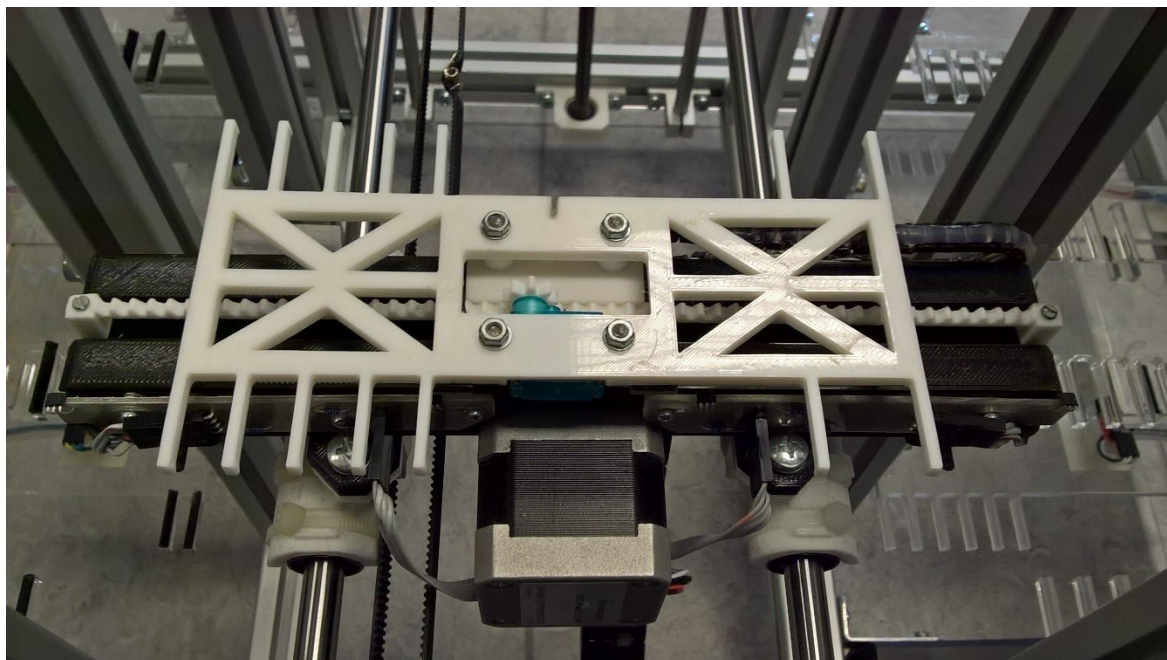
Obr. 5.5 Detail pohybové části horizontální osy

Tyto prvky nesou samotný základní mechanismus a zároveň umožňují uchycení hnacího řemene.

Ozubený řemen byl k pohonu této osy zvolen zejména z důvodu snazšího uložení krokového motoru pro jeho pohon, vzhledem k nedostatku prostoru a zároveň pro jeho jednodušší uchycení k pohyblivé části osy. Byl zvolen řemen typu GT2 s roztečí zubů 2 mm, který je snadno dostupný a svými parametry a vlastnosti postačující pro daný účel. Pohon řemene je realizován přes řemenici s 16 zuby a ložisko na druhém konci. Řemen je napínán napínací pružinkou, uchycenou přímo na řemenu, za účelem zabránění přeskočení zubů.

5.3 Zakládací systém

Nejdůležitější a zároveň nejsložitější část celého modelu – zakládací systém – byl zhotoven metodou 3D tisku jako sestava, složená ze tří hlavních nosných dílů a spousty dalších podpůrných prvků (viz *obr. 4.2*).

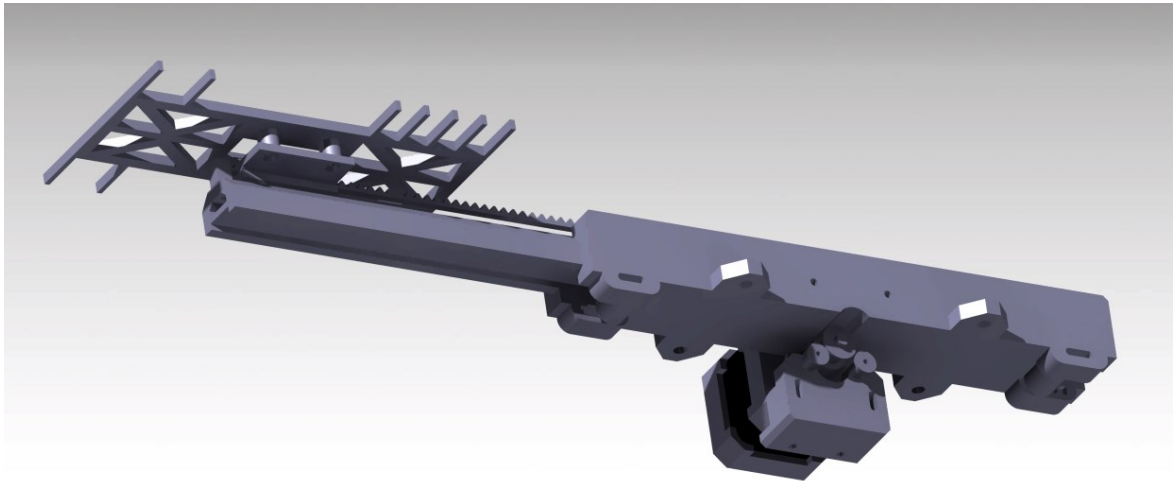


Obr. 5.6 Zakládací mechanismus

Hlavní nosný díl, vytištěný na 3D tiskárně, obsahuje vnitřní drážku pro střední nosný díl – první stupeň teleskopického mechanismu. Zároveň má na spodní straně připevněny dvě hladké řemenice, přes které prochází ozubený řemen pro pohon prvního teleskopického stupně. Skrz díry na boční straně je umožněno šrouby připevnit krokový motor pro pohon řemene.

Druhý nosný díl – první teleskopický stupeň – má právě takový profil, aby co nejtěsněji procházel drážkou v základním stupni. Zároveň má uvnitř další tvarovou drážku pro vedení pohyblivého vozíku – druhého teleskopického stupně. Tato drážka je z jednoho konce přístupná a je možné ji uzavřít koncovkou a upevnit šrouby.

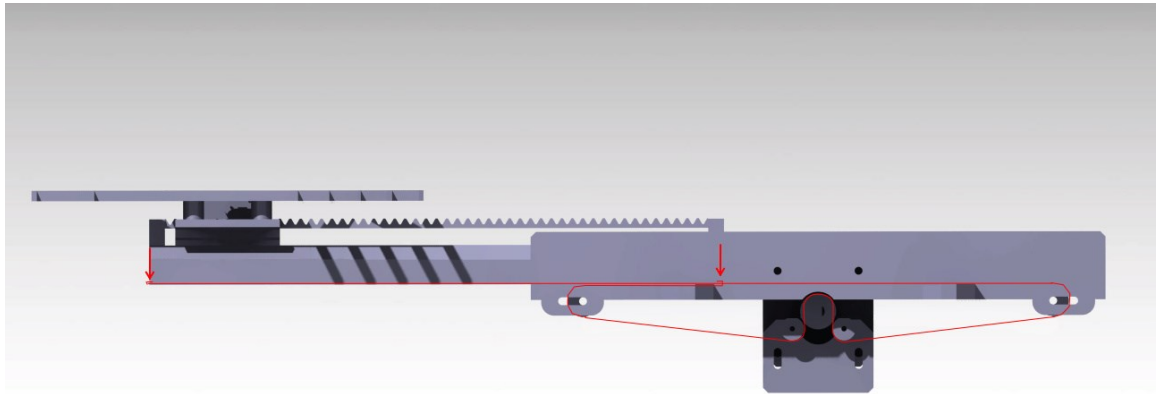
Výsuv prvního stupně je realizován již zmiňovaným krokovým motorem přes ozubený řemen a systém napínavích kladek. Přenos momentu z motoru na řemen se realizuje hnací ozubenou řemenicí se 16 zuby. Opět je použit řemen typu GT2.



Obr. 5.7 Zakládací mechanismus – pohled na napínací systém

V prvních stadiích vývoje mechanismu byly prováděny pokusy s průběžným řemenem, procházejícím skrze napínací kladky a pod prvním stupněm teleskopického systému, otočeným tak, aby jeho zuby směřovaly vzhůru a zapadaly do ozubeného hřebene na spodní straně druhého stupně. Tento koncept se bohužel neosvědčil v praxi, jelikož zdánlivě nízká nepřesnost tisku 3D tiskárny (řádově setiny milimetru) se na délce dílu 220 mm projevila odchylkou natolik velkou, že docházelo k zasekávání mechanismu. Posun pozice zubu na opačných stranách hřebene byl 1 mm, což mělo za následek, že pokud mechanismus byl seřízen tak, aby na jednom konci zapadal zub řemene do mezery v ozubeném hřebeni, na druhé straně se oba díly potkaly „zub na zub“.

Z tohoto důvodu byl ozubený hřeben z prvního stupně odfrézován a vzniklá drážka slouží tomu, aby jí procházel ozubený řemen, který již není uzavřený, ale jeho konce jsou po průchodu pod prvním stupněm upevněny na koncích tohoto stupně šrouby, což je znázorněno na *obr. 5.8* červenou čarou, která představuje řemen a šipky ukazují na místo pevného spojení s prvním stupněm.



Obr. 5.8 Upevnění řemene

Vzhledem k tomu, že krokový motor je k základnímu dílu upevněn pouze dvěma ze čtyř šroubů příruby, bylo možné využít zbývající dva k uchycení napínacího mechanismu, který nese dvě napínací kladky a za pomoci dvou šroubů ze spodní strany je možné tento mechanismus posouvat blíže či dále od těla motoru a tím přes ony kladky napínat ozubený řemen, který je následně zajištěn přitažením hlavních šroubů, držících mechanismus na přírubě.

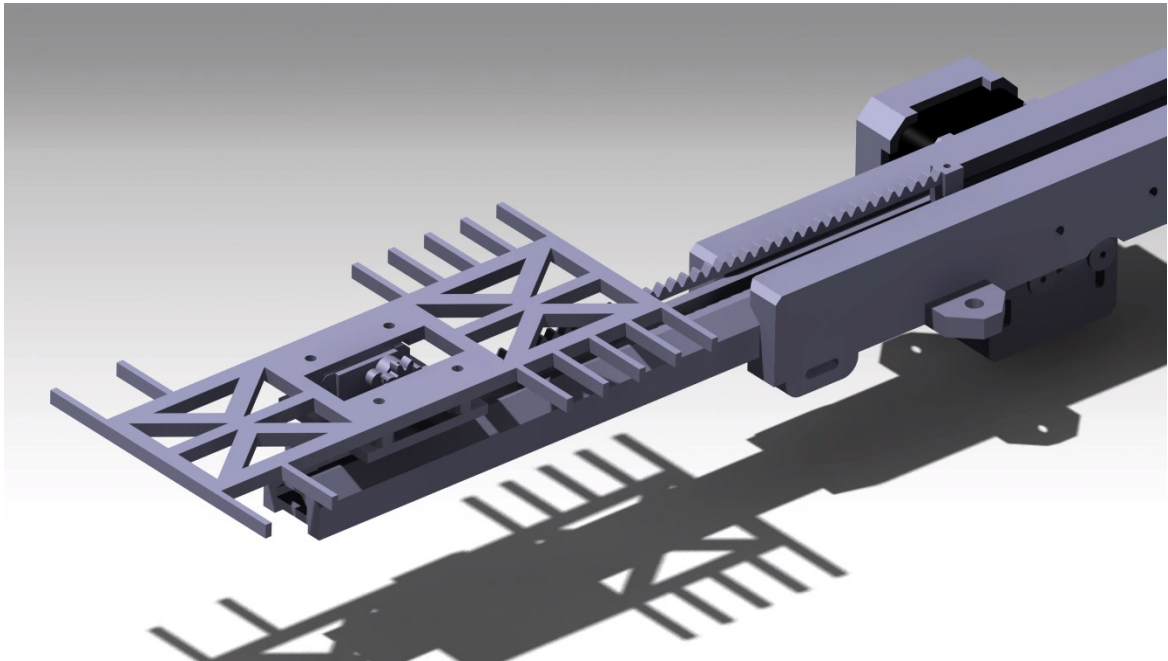
Takto sestavený pohon prvního stupně teleskopického systému byl několikrát testován na přesnost opakovaní polohování a ukázal se jako spolehlivý.

Druhý stupeň teleskopického mechanismu, určený k vysunutí automobilu o více než jednu délku, je tvořen vozíkem, tvarově zapadajícím do drážky stupně prvního.

Pohon samotného vozíku zajišťuje upravený modelářský servomechanismus, jehož zpětnovazební elektronika byla odstraněna a mechanismus je využíván jako DC motor s převodovkou. Také byly odstraněny koncové dorazy, které umožňovaly pohyb výstupního hřídele motoru pouze v omezeném úhlu.

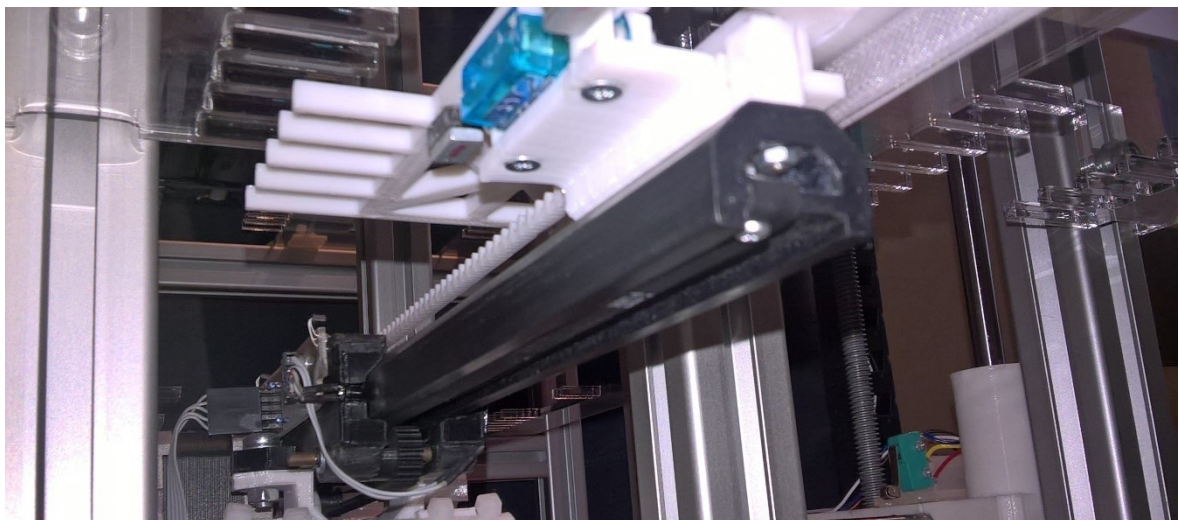
Takto upravený servomotor byl využit zejména z důvodu cenové dostupnosti s tím, že i při velmi malých rozměrech (20 x 17 x 9 mm) poskytuje relativně vysoký výstupní moment, což mu umožňuje zabudovaná převodovka, a tudíž je schopen pohybovat druhým stupněm i při zatížení nákladem. Zároveň vysoký převodový poměr pomáhá udržovat pozici v momentě, kdy pohon není v pohybu, což brání nechtěnému posunu nákladu při vysouvání prvního stupně a s tím spojených vibracích.

Na výstupním hřídeli motoru je připevněn ozubený pastorek, vyrobený 3D tiskem, který se při otáčení pohybuje po ozubeném hřebeni, jenž je pevně spojen s prvním stupněm teleskopického mechanismu a prochází středem druhého stupně (viz *obr. 5.9*).



Obr. 5.9 Teleskopický mechanismus

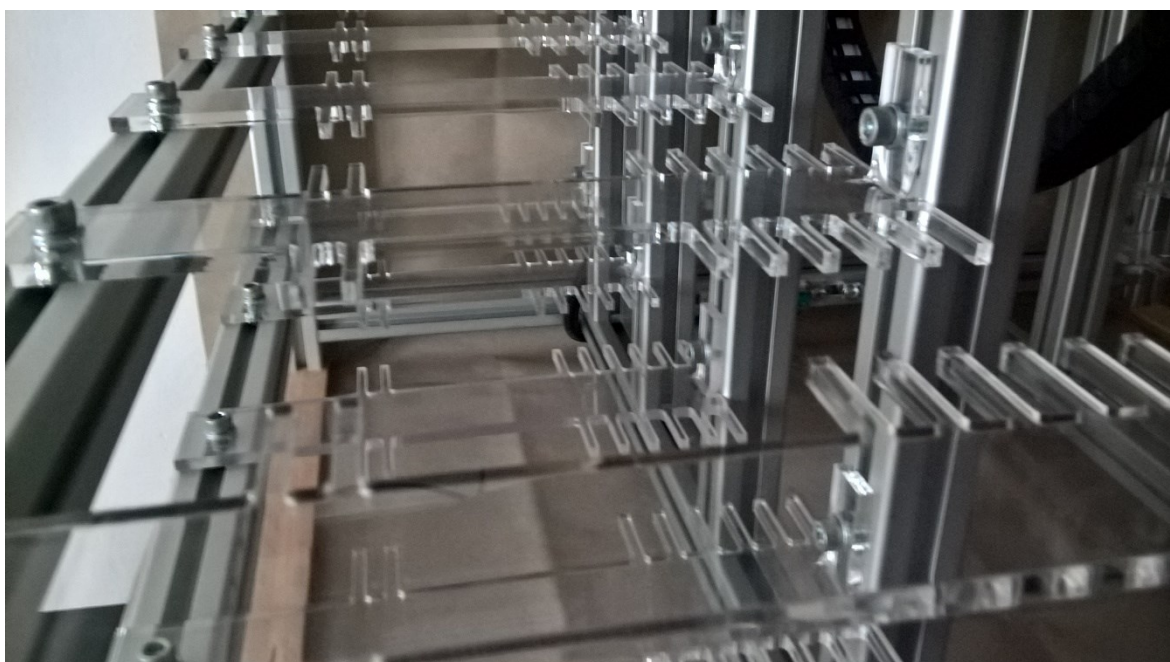
Samotný náklad – parkované auto – je transportován na nosné žebříkovité plošině. Princip jejího fungování je vysvětlen v kapitole 4.1. Tento díl byl taktéž vyroben 3D tiskem, což při použití plastu ABS umožňuje použití relativně tenkých nosných tyčí. K druhému stupni je plošina upevněna čtveřicí šroubů, procházejících přesně určenými podpěrami tak, aby byla konstrukce stabilní a umožňovala uložení pohonu druhého stupně mezi tyto podpěry.



Obr. 5.10 Teleskopický mechanismus – vysunutý

5.4 Pevné parkovací pozice

K vytvoření pevných parkovacích pozic, schopných fungovat na principu předávání automobilu prolnutím, jako je popsáno v kapitole 4.1, bylo využito dílů, vyřezaných laserem z plexiskla. Byly vytvořeny žebříkovité police, které vždy ve dvojici tvoří parkovací pozici pro jeden automobil. Jedna jejich koncová část byla tepelně ohnuta do pravého úhlu tak, aby bylo následně možné tuto polici uchytit skrze díry k hlavnímu rámu modelu pomocí šroubů a tvarových matek s tím, že jeden konec je uchycen k vodorovné části rámu, druhý ke svislé, což umožňuje v určitém rozsahu doladění polohy police vůči rámu, popř. ostatním policím, a to jak horizontálně, tak vertikálně.

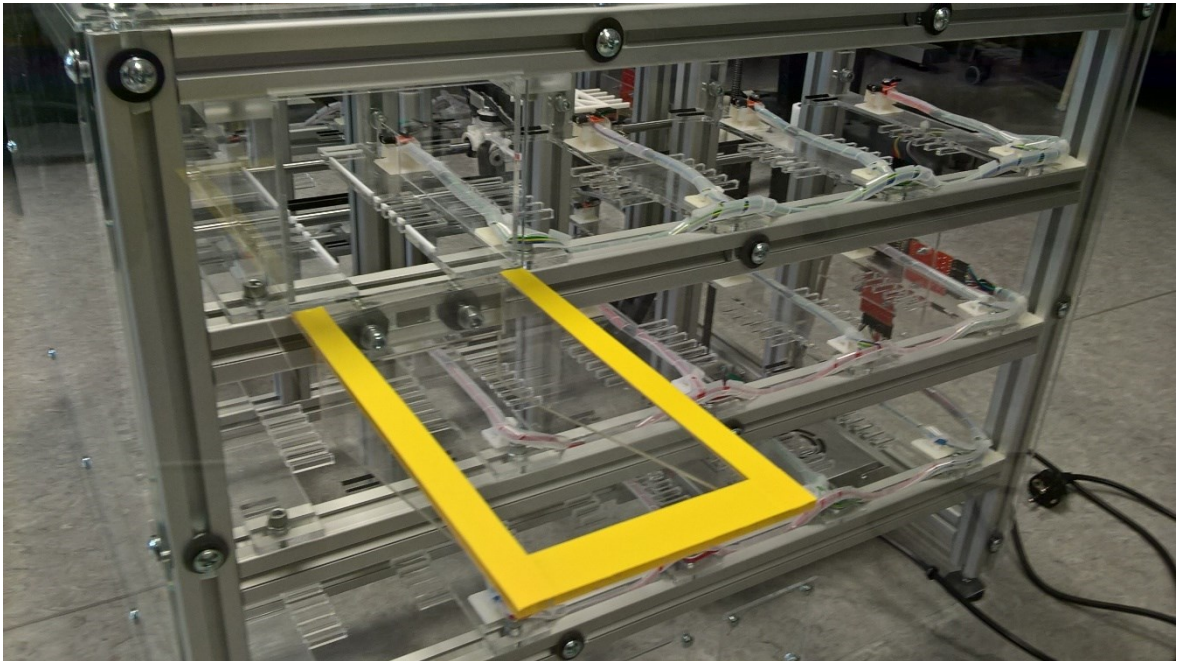


Obr. 5.11 Pevné parkovací pozice

Původní návrh počítal s využitím stejných rozměrů nosných tyčí žebříku jako u plošiny zakládacího mechanismu. Vzhledem k vlastnostem použitého materiálu – plexiskla – bylo však nutné tyto rozměry, resp. průřezy tyčí změnit a zesílit, jelikož plexisklo je oproti ABS výrazně křehčí a méně ohebné a hrozilo zde vysoké riziko ulomení. Z původního průřezu 2 x 3 mm byl nový průřez tyčí zvětšen na 3 x 4 mm, což již poskytuje dostatečnou pevnost, bohužel na úkor zmenšení prostoru mezi prolínajícími se tyčemi.

Bylo také experimentováno s materiálem PET-G, který nebyl tak čirý a při řezání laserem měl tendenci po okrajích zažloutnout. Jeho výhodou byla ovšem větší pružnost a houževnatost.

Kromě základních oboustranných polic byly vyrobeny ještě krajní, jednostranné police a také speciální police s plným středem, určené k vytvoření vjezdu a výjezdu z parkovacího domu.

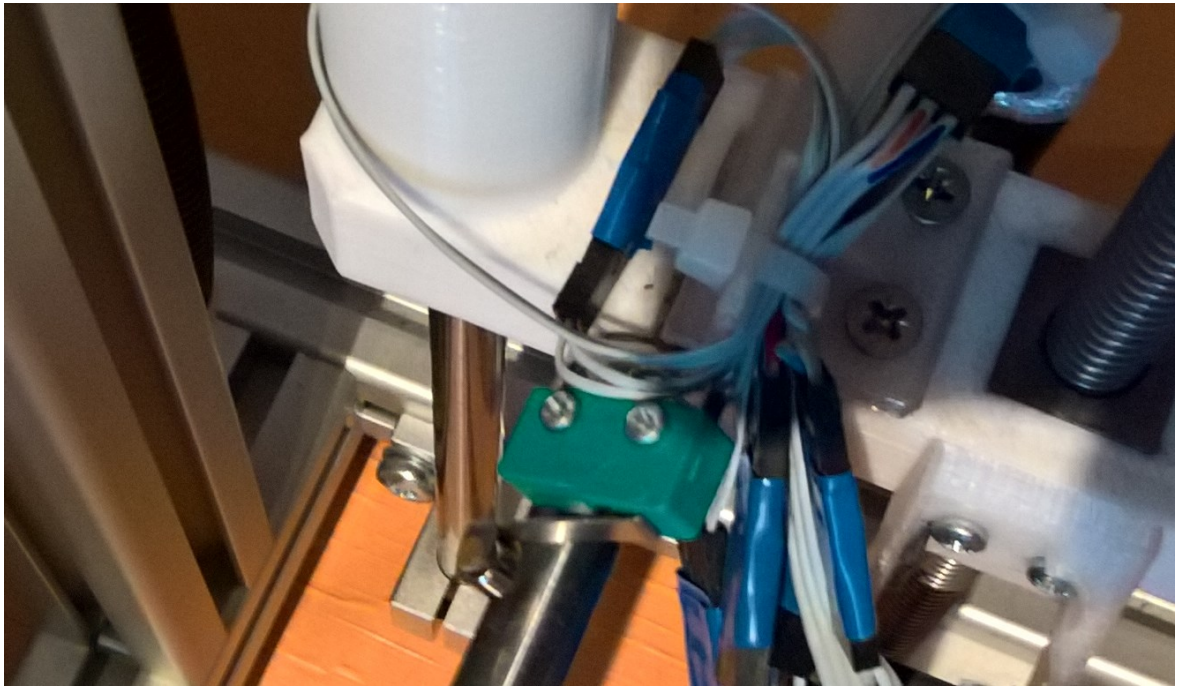


Obr. 5.12 Pozice pro vjezd do parkovacího domu

5.5 Snímače

Při stavbě modelu bylo použito několik typů snímačů. Hlavním účelem těchto snímačů je především vymezení koncových pozic, snímání domovské pozice („homing“), řízení polohy výsuvu a snímání obsazenosti parkovacích míst.

Prvním typem použitých snímačů jsou koncové mechanické snímače. Tyto snímače jsou použity jako koncové pozice dvouosého pohybového mechanismu pro případ poruchy, kdyby došlo k selhání řídicího systému a hrozilo by, že pohyblivá část osy narazí do rámu nebo upevňovacích prvků. V tomto případě by koncový snímač při své aktivaci dal signál k zastavení pohybu. Na konci ramene snímače je umístěna rolnička, která usnadňuje pohyb ramene po dotykové části pohyblivého mechanismu (viz *obr. 5.13*). Zároveň jsou tyto snímače použity jako vymezení domovské pozice obou pohybových os. Při zapnutí modelu najedou pohyblivé části modelu na tyto snímače a tím určí výchozí pozici pro svůj další pohyb.



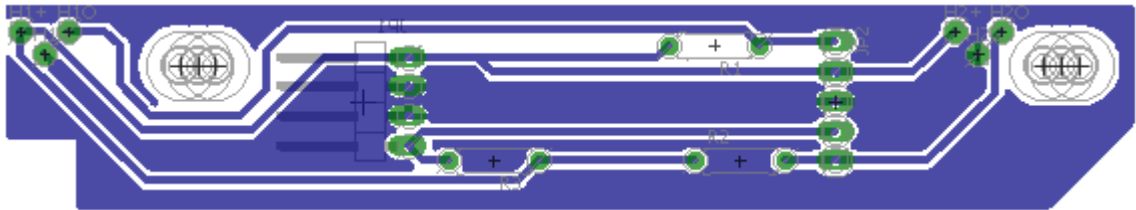
Obr. 5.13 Umístění jednoho z mechanických koncových snímačů polohy

Druhým typem použitého snímače jsou Hallovy senzory, které byly v tomto případě použity pro určení poloh výsuvu druhého stupně teleskopického základního mechanismu. Jejich umístění je na základním dílu výsuvného systému. Jelikož se při výsuvu teleskopického mechanismu vysouvá nejprve druhý stupeň, mohou být tyto snímače umístěny napevno ve čtyřech pozicích. Dvě pozice jsou krajní koncové pozice, na které druhý stupeň, poháněný upraveným servomotorem, dojde. Další dvě pozice jsou po obou stranách středové polohy, kterou tímto vymezují. Snímače reagují na dvojici neodymových magnetů, umístěných pasivně na druhém stupni, díky čemuž není nutné táhnout k pohyblivému druhému stupni zbytečné vodiče navíc.



Obr. 5.14 Umístění Hallova snímače polohy

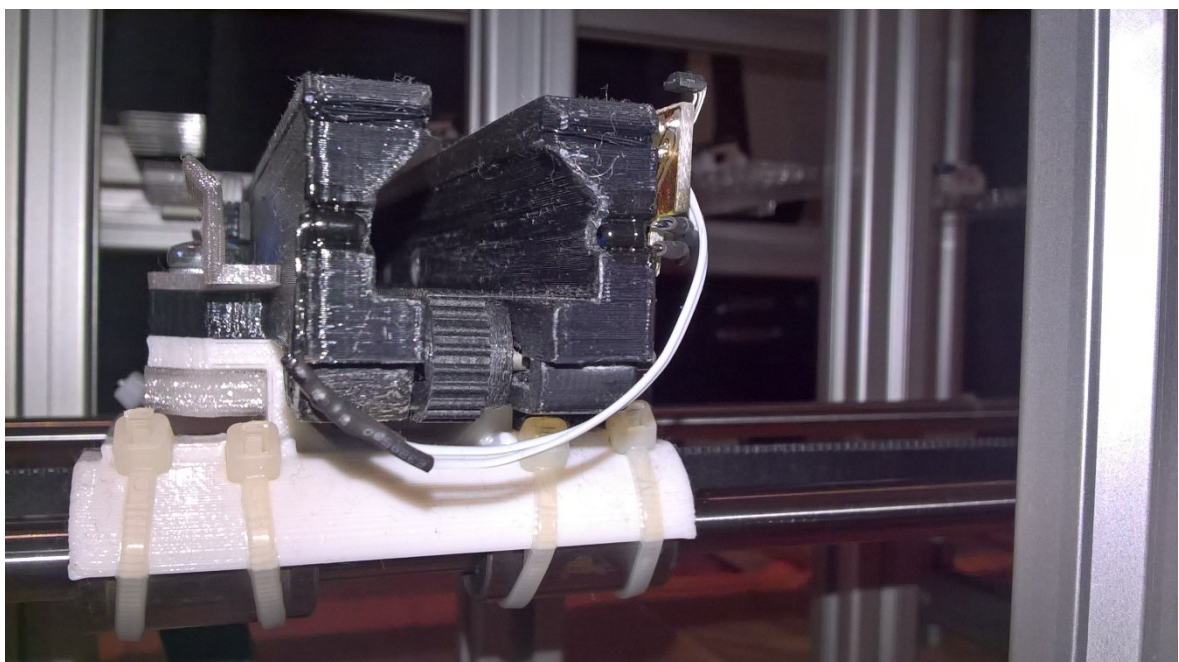
Všechny čtyři snímače *TLE4905L* se zabudovaným operačním zesilovačem jsou navíc umístěny na desce plošných spojů, určené jak k umístění snímačů, tak jako mechanická konstrukce pro snadnější připevnění k tělu základního dílu základního zařízení. Navíc obsahuje i potřebné pull-up rezistory, připojovací konektor a rozvod napájecího napětí. Tato DPS je pro každou stranu jedna. Takto připravené snímače poskytují digitální výstup.



Obr. 5.15 Ukázka DPS nesoucí Hallovy snímače

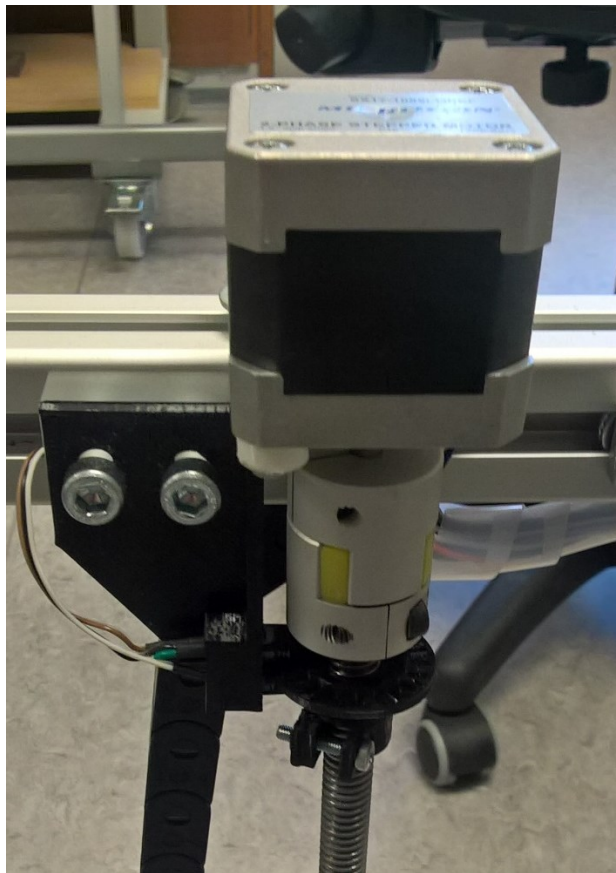
Další kategorií použitých snímačů jsou snímače optické. Těchto byly použity dva druhy – reflexní snímač polohy a optická závora.

Optická závora byla použita pro vymezení domovské pozice prvního stupně teleskopického mechanismu tak, že na koncích základního dílu jsou proti sobě umístěny optické prvky, IR LED dioda a IR fototranzistor (viz *obr. 5.16*). Tyto dvě optické brány umožňují určení výchozí polohy stupně tak, že pouze při jejich současném přerušení je stupeň v domovské pozici. Pokud dojde jen k mírnému vysunutí na jednu, či druhou stranu, dojde k aktivaci vždy protější optické závory. Napájení a výstupní signál je přiveden na DPS nesoucí Hallovy snímače a zde připojen na příslušný konektor a dále zpracován.



Obr. 5.16 Optická závora

Optické závory byly také využity jako inkrementální snímače, poskytující kontrolní zpětnou vazbu o relativním pohybu horizontální a vertikální osy. Jeden snímač generuje pulzní signál při pohybu horizontální osy, což umožňuje porovnat počet vykonaných kroků s počtem získaných pulzů. Disk enkodéru obsahuje 20 otvorů, které při otáčení vytváří na optické bráně pulzy snímané externím přerušením mikrokontroléru v režimu *CHANGE*, reagujícím jak na náběžnou, tak na sestupnou hranu signálu. Tímto je možné získat až 40 přerušení na otáčku, což by mělo odpovídat 200 krokům, resp. 800 mikrokrokům vykonaným motorem. Zbylé dva snímače fungují na stejném principu jako předchozí, poskytují však informaci o pohybu trapézových šroubů vertikální osy a zároveň navíc kontrolují i jejich vzájemný pohyb, tj. oba šrouby se musí otočit o stejný počet otáček.



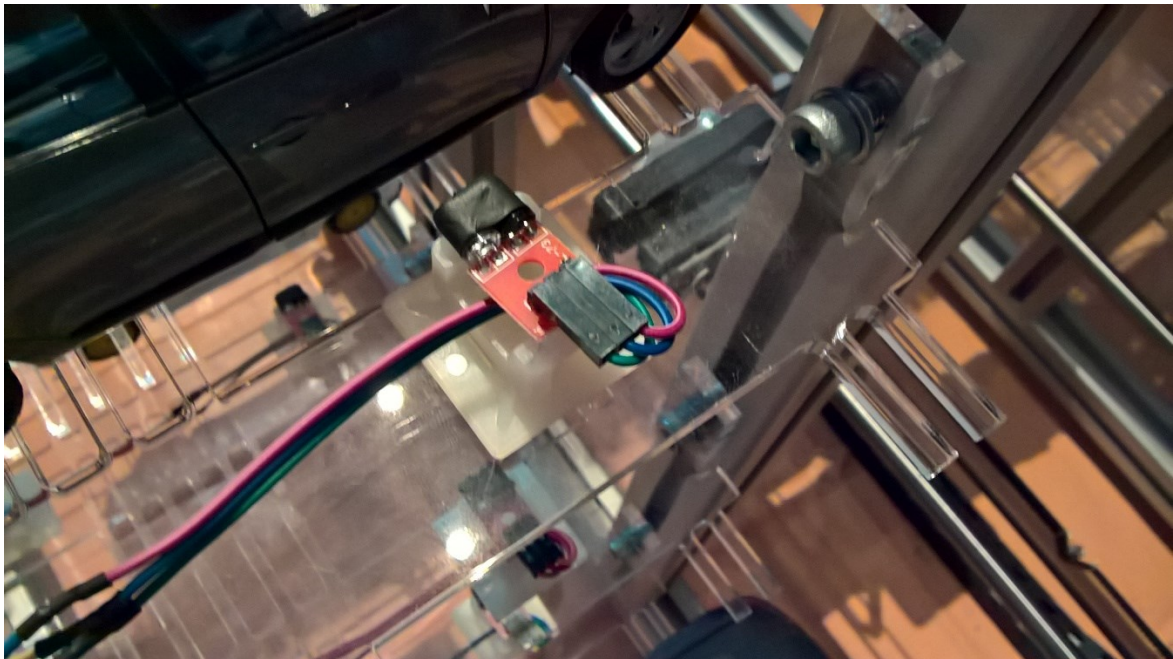
Obr. 5.17 Inkrementální snímač

Jako snímače obsazených parkovacích míst byly použity reflexní IR optické snímače polohy. Tyto snímače obsahují jednoduchou dvojici IR LED dioda – IR fototranzistor, podobně jako v předchozím případě s tím rozdílem, že zde tyto prvky nejsou namířeny proti sobě a přerušovány snímaným objektem, ale infračervený signál vysílaný IR LED

diodou je odražen od snímaného objektu a vrácen zpět k fototranzistoru, který je tímto sepnut a přes pull-up rezistor dává signál na výstup.

V modelu jsou tyto snímače umístěny na podpůrné konstrukci, která určuje výšku snímače a je přilepena na policích z plexiskla vždy proti a co nejbližší parkovanému automobilu.

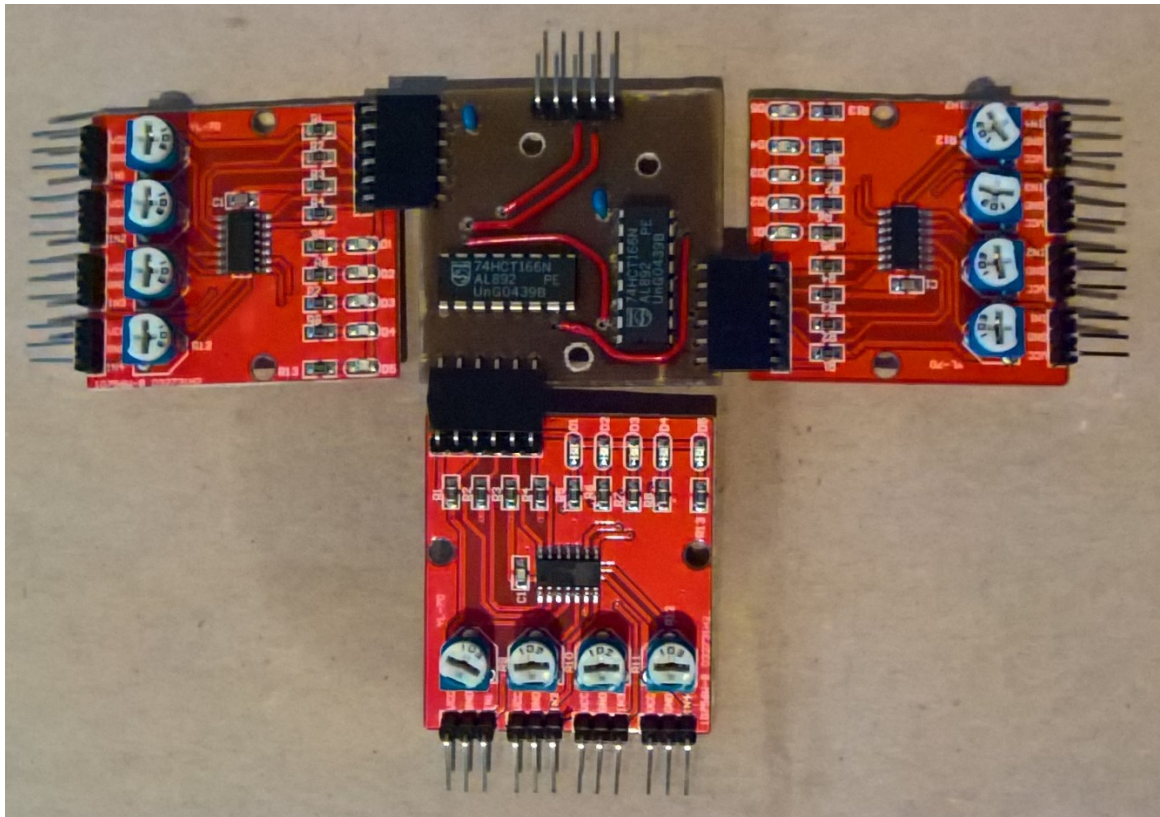
Původní návrh počítal s umístěním snímačů shora zezadu, ale vzdálenost k automobilu byla v tomto případě větší a vzhledem k lesklému materiálu, z něhož jsou modely automobilů vyrobeny a nekolmým plochám, nedocházelo k potřebnému odrazu a snímače byly nespolehlivé. Z tohoto důvodu byly následně umístěny ze strany každé parkovací pozice a do potřebné výšky tak, aby byly parkovanému modelu automobilu co nejbližší a signál dopadal na vůz, pokud možno, co nejvíce kolmo. Navíc byly optické prvky snímače obaleny tepelně smršťovací bužírkou, aby byly omezeny případné falešné signály, dopadající na citlivou část snímače.



Obr. 5.18 Umístění reflexního snímače

Výstupy reflexních snímačů jsou přiváděny na modul ve formě DPS, určený pro zpracování těchto signálů, obsahující komparátory a trimery pro nastavení citlivosti snímače. Takovýto modul dokáže zpracovávat 4 snímače najednou a je k nim dodáván přímo od výrobce. Sepnutý výstup je indikován příslušnou LED diodou. Takto zpracované signály jsou dále předávány v podobě digitálních signálů na výstupních pinech modulu.

Pro snazší zpracování výstupních signálů těchto modulů a jejich přenos do řídicí jednotky byla vytvořena DPS, která obsahuje připojovací pinové lišty, do kterých je možno tyto moduly zasunout. Hlavní součástí této DPS je dvojice posuvných registrů typu „parallel in serial out“ (PISO) 74HCT166, které převádějí vstupní paralelní signál na výstupní sériový, jenž je možné následně vyčíst mikrokontrolérem. Tyto DPS byly vyrobeny ve dvou kusech pro převod signálů z 6 modulů, resp. 24 snímačů. Datový list k PISO registru je přiložen na CD a schéma DPS je v příloze A.



Obr. 5.19 Spojení modulů pro zpracování signálu a převodníku na sériový signál

K vedení kabeláže, zvláště v místech, kde dochází k neustálému pohybu a hrozí riziko skřípnutí vodičů, případně v důsledku tohoto zaseknutí mechanismu nebo jiné poškození, bylo k tomuto účelu využito energetických řetězců.

Energetický řetěz je konstrukce sestávající z jednotlivých článků navržených a vyrobených tak, aby při jejich pohybu bylo možné řetěz ohnout pouze v jedné rovině, případně ještě pouze na jednu stranu. Články jsou duté, umožňují uložení vedených kabelů a zajišťují tak jejich mechanickou ochranu a zároveň udržují tvar svazku, aby nedošlo k jeho zapletení do pohyblivých mechanismů.

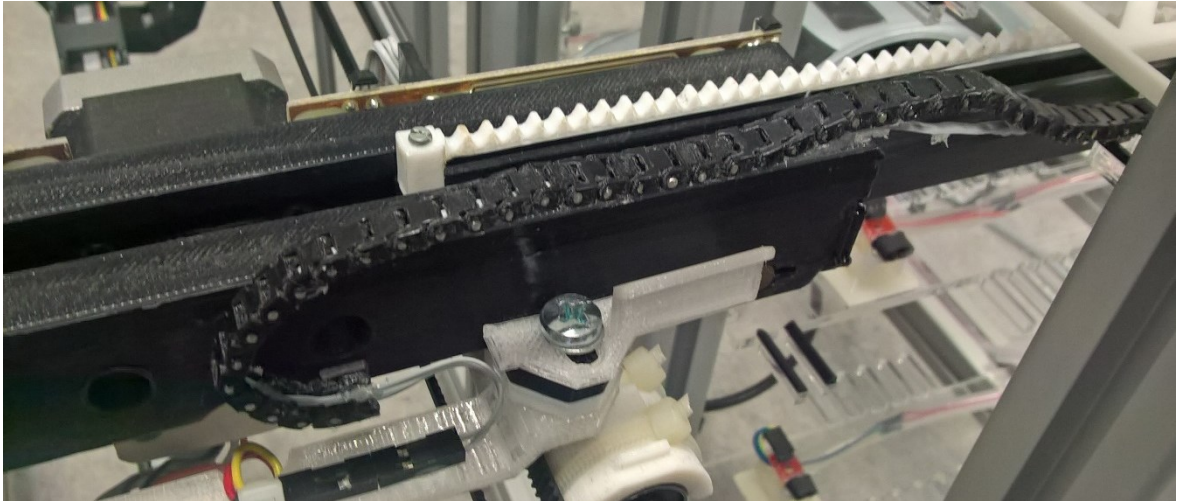
V tomto modelu byly použity řetězy o vnitřním průřezu 10 x 20 mm, poloměru ohybu 28 mm a délce článku 20 mm. Umístěny byly po stranách vertikální pohybové osy a pod horizontální pohybovou osou, vedoucí kabeláž k základacímu mechanismu.

Vzhledem k nedostatku místa pro upevnění originálních koncových článků, resp. jejich neschopnosti záporného ohybu, byly vytvořeny 3D tiskem koncové prvky přímo na míru. Tyto díly zastávají nejen funkci koncových článků, ale umožňují také zafixování kabeláže proti pohybu, případně mohou nést např. koncové snímače. Energetické řetězy a tištěné koncové díly je možné vidět na *obr. 5.1*, *obr. 5.3*, *obr. 5.5* a *obr. 5.20*.



Obr. 5.20 Energetický řetěz

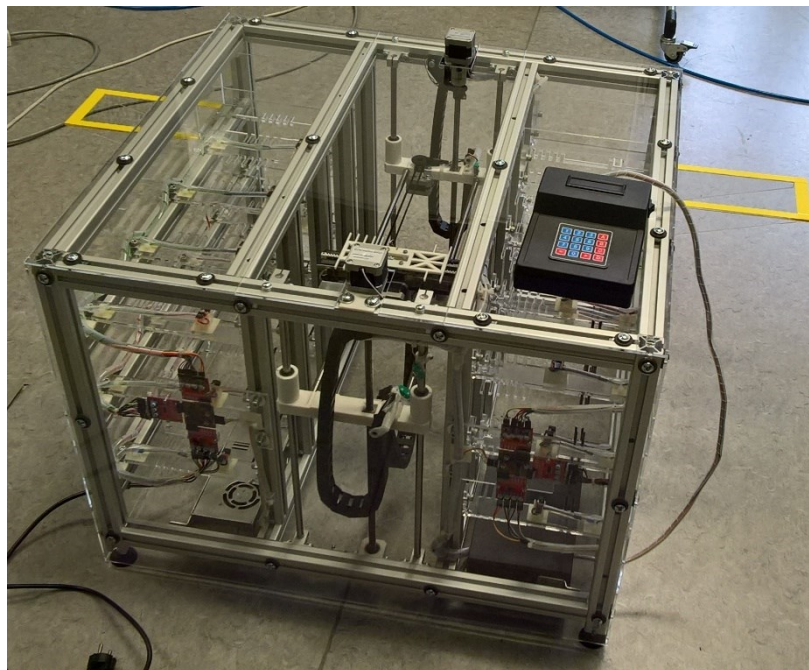
Při testování výsuvu teleskopického mechanismu se ukázalo, že žádný kabel, vedoucí k pohonu druhého stupně, nedokáže dlouhodobě zachovávat určený tvar při výsuvu a hrozilo zapletení kabelu do žebříkovitých polic pevných parkovacích míst. Z tohoto důvodu byl vyroben malý energetický řetěz pro vedení tohoto kabelu tak, že byly na 3D tiskárně vytištěny jeho články, které byly následně ohebně pospojovány (viz *obr. 5.21*).



Obr. 5.21 Energetický řetěz pro základací mechanismus

5.6 Ochranný kryt modelu

Aby bylo zabráněno poškození modelu, případě zranění a také za účelem ochrany před usazováním prachu na pohybových mechanismech, byl celý model z vnějšku zakryt plátou plexiskla, vyřezanými laserem na míru, dle tvaru modelu.



Obr. 5.22 Ochranný kryt modelu

6 Návrh řídicích algoritmů

Dle předchozího návrhu řídicího systému z kapitoly 4.4 byly navrženy následující algoritmy řízení modelu pro parkování automobilů tak, aby nejkritičtější úkony z hlediska rychlosti reakce na vnější stav zajišťovaly inteligentní výkonové drivery, a naopak centralizovanou správu modelu, včetně sběru dat ze snímačů a případně komunikace s vyššími úrovněmi, resp. uživatelem, zajišťovala hlavní jednotka modelu.

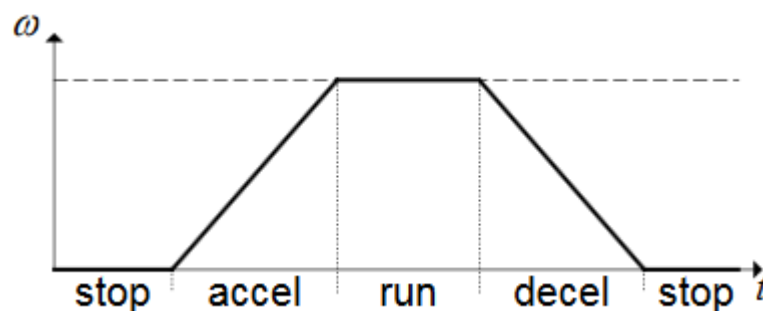
6.1 Řízení krokových motorů

Základním principem řízení krokových motorů je spínání jeho fází v příslušném pořadí tak, aby docházelo k pootočení rotoru do polohy s nejmenším odporem magnetické cesty mezi jeho pólovými nástavci. V závislosti na pořadí spínaných fází se potom motor otáčí na jednu, či druhou stranu.

V případě mikrokrokování je navíc řízeno nejen spínání jednotlivých fází, ale také je řízena velikost protékajícího proudu danými fázemi tak, aby jejich rozdíl způsobil neúplné natočení rotoru.

V tomto případě bylo zvoleno řízení pomocí driveru *Pololu DRV8825*. Tento driver spíná jednotlivé fáze motoru, popř. zajišťuje mikrokrokování, v závislosti na vstupních signálech *DIR* a *STEP*, kdy jeden určuje směr pohybu a druhý reaguje na nástupnou hranu pulzu provedením jednoho kroku motoru (8).

Řídicí pulzy pro driver jsou generovány mikrokontrolérem příslušné osy pomocí obslužné rutiny přerušeni od časovače. Ten v závislosti na požadované době mezi pulzy generuje příznak přerušeni, spouštějící obslužný podprogram, spínající příslušné výstupy a vypočítávající žádanou následující dobu pauzy. Čím delší pauza, tím pomalejší pohyb motor koná.



Obr. 6.1 Obecný průběh rychlosti motoru (13)

K zajištění plynulosti rozběhu a brždění motoru a zabránění ztráty kroku vlivem prudkého přechodu z klidu do maximální rychlosti byl vytvořen algoritmus, zrychlující a zpomalující motor podle rampové funkce.

Dobu mezi řídicími pulzy lze vypočítat podle vztahu

$$c_n = c_0(\sqrt{n+1} - \sqrt{n}) \quad (2)$$

kde c_0 je počáteční délka pulzu, c_n délka n -tého pulzu a n krok výpočtu. Takto je rampová funkce vypočítávána, dokud rychlost motoru nedosáhne maximální nastavené rychlosti (13).

```

if (stp.runState != STOP) {
    if (stp.stepCount < stp.totalSteps) {
        STEP_HIGH
        stp.stepCount++;
        switch (stp.runState) {
            case ACCEL:
                stp.n++;
                stp.d = stp.d - (2 * (uint32_t) stp.d + stp.r) / (4 * stp.n + 1);
                stp.r = (2 * (uint32_t) stp.d + stp.r) % (4 * stp.n + 1);
                if (stp.d <= stp.minStepInterval) {
                    stp.d = stp.minStepInterval;
                    stp.rampUpSteps = stp.stepCount;
                    stp.rampDownStart = stp.totalSteps - stp.rampUpSteps;
                    stp.runState = RUN;
                    stp.r = 0;
                }
                if (stp.stepCount >= stp.halfSteps) {
                    stp.rampUpSteps = stp.stepCount;
                    stp.runState = DECEL;
                    stp.r = 0;
                }
                break;
            case DECEL:
                stp.d = ((4 * stp.n + 1) * (uint32_t) stp.d + stp.r) / (4 * stp.n - 1);
                stp.r = ((4 * stp.n + 1) * (uint32_t) stp.d + stp.r) % (4 * stp.n - 1);
                stp.n--;
                break;
            case RUN:
                if (stp.stepCount >= stp.rampDownStart) {
                    stp.runState = DECEL;
                }
                break;
        }
        STEP_LOW
        OCR1A = stp.d;
    } else {
        stp.runState = STOP;
    }
} else {
    OCR1A = MAX_COMPARE_VALUE;
    movementFlag = false;
}

```

Obr. 6.2 Ukázka výpočtu krokovacích pulzů

Vzhledem k tomu, že výpočet dvou odmocnin je pro procesor mikrokontroléru značně náročný a nevyhovuje požadavku na co nejkratší obslužný podprogram přerušení, lze s určitou, pro daný účel ne tolik významnou, nepřesností nahradit předchozí vztah Taylorovým rozvojem a výpočet provádět z minulé hodnoty délky pauzy mezi kroky:

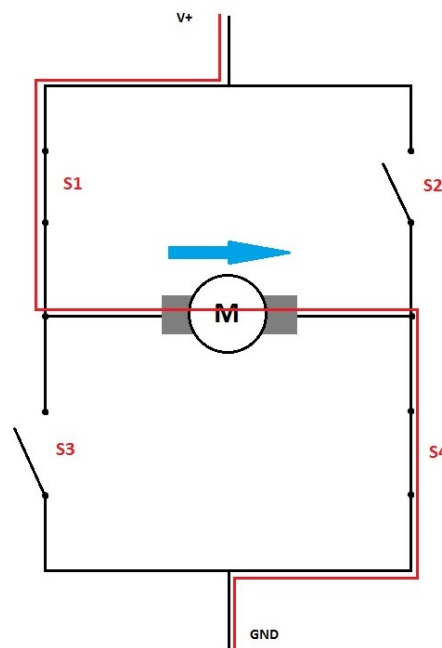
$$c_n = c_{n-1} - \frac{2c_{n-1}}{4n+1} \quad (3)$$

Toto opatření redukuje výpočet na dělení čísel, které je proti odmocnině značně rychlejší. Za účelem další zrychlení výpočtu bylo zavedeno opatření, nahrazující náročnější dělení desetinných čísel dělením čísel celých, a to ve dvou fázích. Nejprve celočíselným dělením a následně dělením funkcí modulo pro získání zbytku po dělení, který se v dalším kroku přičítá k dělenci tak, aby byla zmenšena nepřesnost tohoto opatření (13).

6.2 Řízení stejnosměrného motoru H-můstkem

Stejnoseměrný motor, v tomto případě získaný z modelářského servomechanismu, je možné efektivně řídit H-můstkem *L298N*. Tento můstkový budič, blíže popsáný v kapitole 3.2, umí za pomoci tří digitálních signálů řídit jak směr, tak rychlost otáčení motoru.

Rychlost otáčení je dané PWM modulovaným signálem na pin *EN* („enable“). Zde Arduino generuje signál se střídou od 0 do 100 % v rozsahu 256 hodnot.

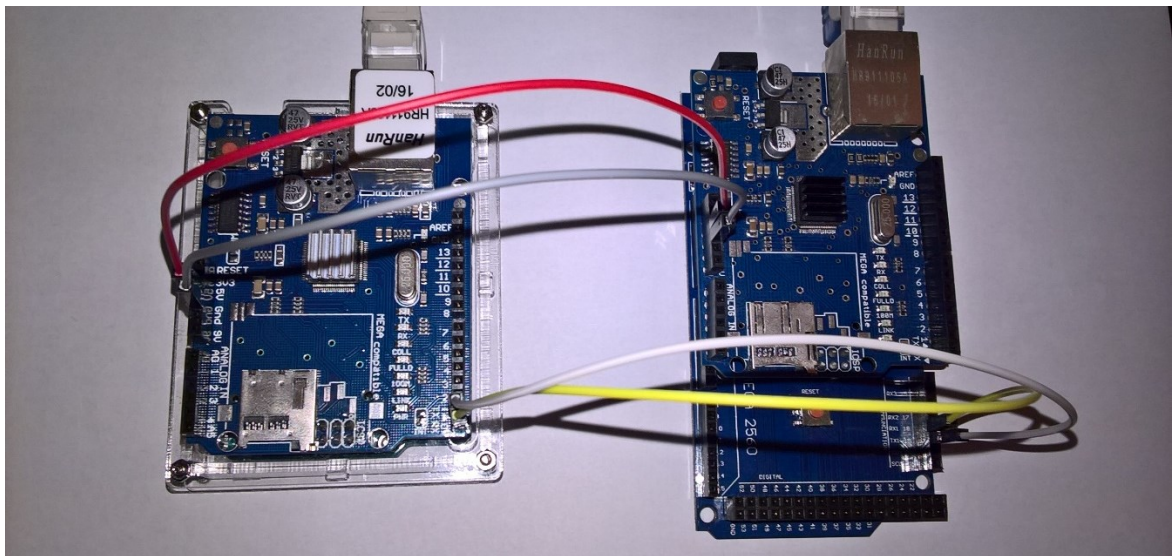


Obr. 6.3 Princip fungování H-můstku

Směr otáčení je dán digitálními signály na vstupy *IN1* a *IN2*. Pokud je jeden ze vstupů nastaven na hodnotu HIGH a druhý na LOW, otáčí se motor jedním směrem. Při záměně logických hodnot dojde k reverzaci pohybu. Jsou-li oba signály na shodné logické hodnotě (HIGH nebo LOW), je pohyb zastaven. Tento princip je graficky zobrazen na *obr. 6.3*. Při vhodné kombinaci signálů *IN1* a *IN2* prochází proud spínacími prvky S1 a S4 skrz DC motor. Při záměně hodnot signálů bude proud procházet spínači S2 a S3, čímž dojde k reverzaci pohybu.

6.3 Ověření komunikace a možností vizualizace

Mikrokontrolerová deska Nano, představující inteligenční část výkonových subsystémů komunikuje s hlavní řídicí jednotkou Arduino Mega pomocí sériového rozhraní UART.



Obr. 6.4 Testovací zapojení desek Arduino

Sériové rozhraní UART bylo testováno na dvojici desek Arduino. Deska Nano byla pro účely testování nahrazena deskou Uno z důvodu snazšího propojení, což vzhledem ke stejnému čipu nehraje roli. Desky byly propojeny následujícím způsobem:

- Mega TX1 --> Uno (Nano) RX0
- Mega RX1 --> Uno (Nano) TX1
- Mega GND -> Uno (Nano) GND
- Případně Mega 5 V -> Uno (Nano) 5 V, pokud není druhá deska zvlášť napájena

```

1 void setup() {
2
3   Serial.begin(115200);
4   while (!Serial) { ; }
5   Serial.println("USB Connected...");
6
7   Serial1.begin(115200);
8   while (!Serial1) { ; }
9   Serial1.println("UNO Connected...");
10
11 }
12
13 void loop() {
14   if(Serial.available() > 0) {
15     char temp = Serial.read();
16     Serial1.print(temp);
17   }
18
19   if(Serial1.available() > 0) {
20     char temp = Serial1.read();
21     Serial.print(temp);
22   }
23 }

```

```

1 #define LED 5
2
3 void setup() {
4   pinMode(LED, OUTPUT);
5   Serial.begin(115200);
6   while (!Serial) { ; }
7   Serial.println("Connected...");
8   Blink(1);
9   }
10
11 void loop() {
12   while(Serial.available() == 0) {
13   }
14   int x;
15   char temp = Serial.read();
16   if(temp == 'B') {
17     x = Serial.parseInt();
18     Serial.print("Blinking ");
19     Serial.print(x);
20     Serial.println(" times...");
21     Blink(x);
22     Serial.println("Blinking done, send next number...");
23   }
24 }
25
26 void Blink(int num) {
27   for (int i = 0; i < num; i++) {
28     digitalWrite(LED, HIGH);
29     delay(500);
30     digitalWrite(LED, LOW);
31     delay(500);
32   }
33 }


```

Obr. 6.5 Ukázka testovacích kódů komunikace (vlevo Mega, vpravo Uno)

Po nahrání testovacích kódů do obou desek byla otestována komunikace přes rozhraní UART a ověřena její funkčnost. Bylo možné obousměrně posílat a přijímat řetězce, znaky i numerické hodnoty, stejně jako vzdáleně ovládat zabudovanou LED diodu. Mezi hlavní metody použité ke komunikaci patří:

- *begin* – zahajuje komunikaci a nastavuje přenosovou rychlost v baudech
- *available* – vrací počet příchozích bytů v bufferu dostupných k přečtení
- *print/println* – odešle data jako text ve formě ASCII znaků
- *read* – přečte první dostupný byte v bufferu
- *parseInt* – převede textový řetězec, obsahující numerické znaky na číslo

Během testování byla deska Mega připojena k počítači pomocí USB kabelu. Arduino využívá k převodu UART komunikace na USB převodník *CH340G*. Komunikace s uživatelem probíhá pomocí sériové konzole v rámci *Arduino IDE* (viz obr. 6.6).



```

H, Initialized...
V, Initialized...
S, Initialized...
H, Homing done...
V, Homing done...
S, Homing done...
H, Movement finished...
H, pos: 90

```

Obr. 6.6 Ukázka výpisu komunikace do konzole

Komunikaci s uživatelem a vizualizaci dat a stavu modelu lze realizovat třemi základními způsoby:

- Lokálně na modelu pomocí membránové klávesnice a LCD displeje
- Propojením modelu s počítačem pomocí USB (výše zmíněno) a zpracování sériové komunikace aplikací běžící v počítači
- Propojení modelu s počítačem pomocí USB a využití knihovny *OPC* pro Arduino, komunikující s OPC serverem v hostujícím počítači, který následně poskytuje data dalším klientům (vizualizačním programům apod.)

```

1 #include <OPC.h>
2
3 OPCSerial aOPCSerial;
4 unsigned long timerT = 0;
5 uint8_t a = 0;
6 uint8_t b = 0;
7
8 int callbackA(const char *itemID, const opcOperation opcOP, const int value){
9     return a;
10 }
11 int callbackB(const char *itemID, const opcOperation opcOP, const int value){
12     return b;
13 }
14
15 void setup() {
16     Serial.begin(9600);
17     aOPCSerial.setup();
18     aOPCSerial.addItem("PosA",opc_read, opc_int, callbackA);
19     aOPCSerial.addItem("PosB",opc_read, opc_int, callbackB);
20 }
21
22 void loop() {
23     aOPCSerial.processOPCCommands();
24     if((millis() - timerT) >= 2000) {
25         a = random(0,256);
26         b = random(0,256);
27         timerT = millis();
28     }
29 }

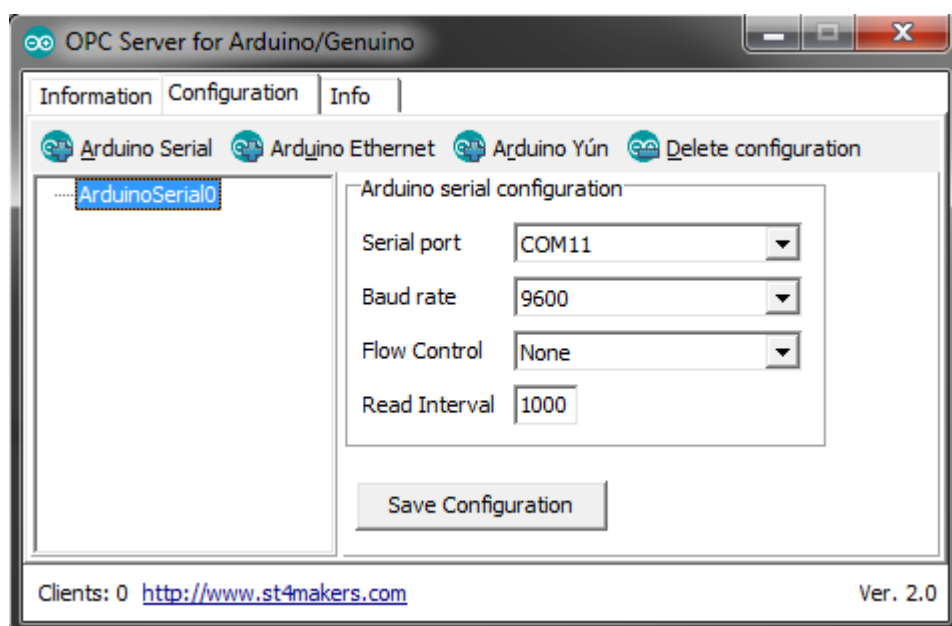
```

Obr. 6.7 Aplikace pro testování komunikace s OPC serverem

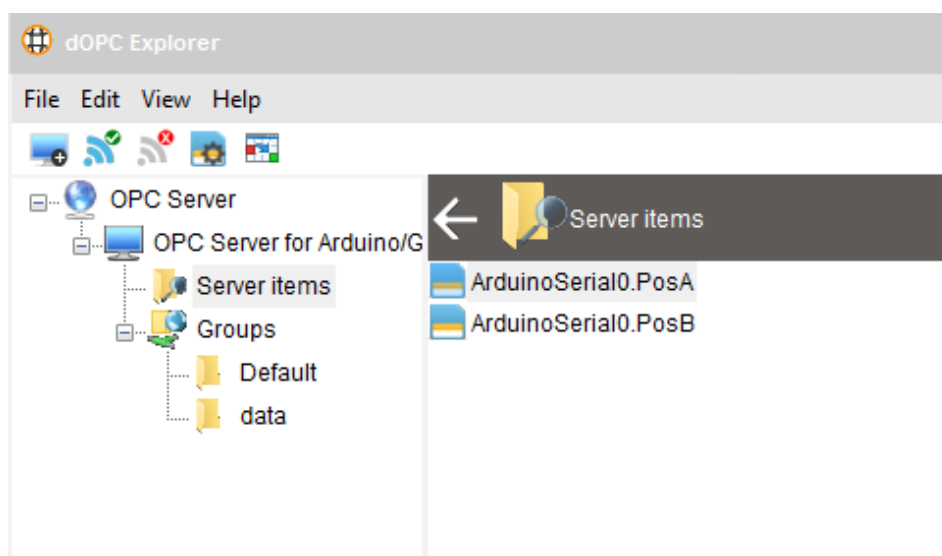
K otestování propojení Arduino s OPC serverem byla vytvořena jednoduchá aplikace simulující obsazenost parkovacích pozic dvou polovin parkovacího domu, pomocí generování náhodných čísel (viz obr. 6.7).

Po kompilaci a nahrání aplikace je možné ověřit funkčnost spuštěním konzole sériové linky a odesláním prázdného řádku, zakončeného znakem pro návrat vozíku „carriage return“. Aplikace by měla vrátit seznam poskytovaných itemů, včetně jejich parametrů.

Dále byl nainstalován, spuštěn a nakonfigurován OPC server běžící v hostitelském počítači.



Obr. 6.8 Okno aplikace OPC Server for Arduino (14)



Obr. 6.9 Okno aplikace dOPC Explorer (15)

Samotné poskytování dat OPC serverem připojeným klientům bylo vyzkoušeno pomocí aplikace *Kassl dOPC Explorer*. Ta umožňuje po jednoduchém nastavení a připojení k Arduino OPC serveru zobrazit poskytované itemy.

Na *obr. 6.9* je vidět, že OPC server poskytuje klientům dva itemy, které byly předtím nakonfigurovány v rámci programy pro Arduino.

Při použití v reálném prostředí je možné systém, pravděpodobně řízený PLC automatem, propojit pomocí některé ze standardních průmyslových sběrnic s dotykovým HMI panelem. Takové panely by v případě parkovacího domu byly nejspíše umístěny u vjezdu a výjezdu a sloužily by k přímé komunikaci s uživatelem s možností dotykového ovládání.

Příkladem takového HMI panelu je např. Siemens Simatic TP700 Comfort (viz *obr. 6.10*), využívaný v laboratoři katedry. Panel disponuje dotykovou TFT obrazovkou o úhlopříčce 7 palců, širokoúhlým rozlišením 800x480 pixelů a schopností vykreslit až 16 milionů barev. Dále lze z technických parametrů uvést ještě 12 MB uživatelské paměti a stupeň ochrany před pevnými částicemi a kapalinou IP 65 (11).

Panel obsahuje vlastní operační systém Windows CE Desktop a umožňuje spustit uživatelskou aplikaci vytvořenou v prostředí WinCC, případně v jeho integrované verzi v rámci program TIA Portal (11).



Obr. 6.10 HMI panel Simatic TP700 Comfort (11)

7 Realizace řídicích algoritmů

K zajištění komplexní funkčnosti modelu byly jednotlivé mikrokontroléry naprogramovány tak, aby jejich software splňoval definované požadavky na zpracování komunikovaných dat, generoval požadované výstupní signály a zajišťoval co nejrychlejší odezvu na změny a události v rámci celého modelu.

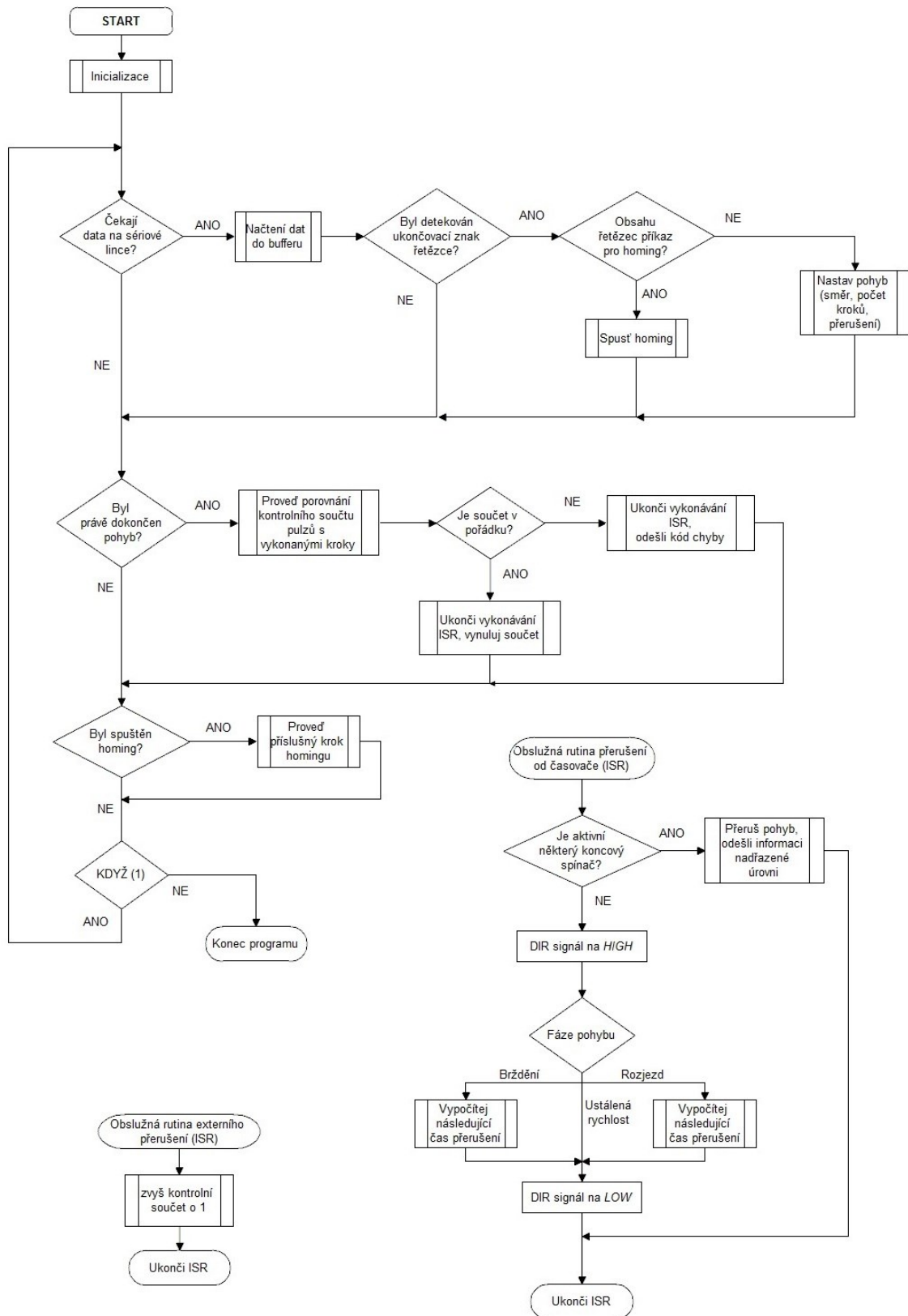
7.1 Řídicí algoritmus pohybových os

Na *obr. 7.1* je zobrazen zjednodušený vývojový diagram algoritmu pro desky Arduino Nano, tvořící inteligenční část výkonových subsystémů. Každá z desek pro jednotlivé osy obsahuje tento základní algoritmus s drobnými úpravami přizpůsobujícími daný algoritmus pro řízení konkrétní osy.

Z principu dochází po spuštění mikrokontroléru k načtení knihoven, k inicializaci globálních proměnných, navázání komunikace s hlavní řídicí jednotkou a spuštění nekonečné smyčky. Základní funkcí této smyčky je kontrola přijímacího bufferu. Jsou-li v bufferu uložena čekající příchozí data, kontroluje program jejich validitu a přidává je do softwarového bufferu, kde data čekají na dokončení přenosu celého řetězce. Pokud je přijat ukončovací znak (v tomto případě jsou řetězce ohraničeny znaky < a >), ukončí program příjem a zpracuje přijatý řetězec. Informace jsou deskami Nano předávány hlavní jednotce ve formě chybových a informačních kódů:

- D01 – Inicializace dokončena
- D02 – Homing dokončen
- D03 – Pohyb osy dokončen
- D04 – Chyba: Nouzové zastavení
- D05 – Chyba: Probíhající pohyb
- D06 – Chyba: Přijata neznámá data
- D07 – Chyba: Aktivován koncový spínač 1
- D08 – Chyba: Aktivován koncový spínač 1
- D09 – Chyba: Neplatný kontrolní součet
- D10 – Chyba: Osa neprovedla homing
- D11 – Pohyb druhého stupně teleskopického mechanismu dokončen
- D12 – Pohyb prvního stupně teleskopického mechanismu dokončen
- D13 – První stupeň teleskopického mechanismu je vysunut

Vzhledem k tomu, že deska má k dispozici samostatný UART pro každou osu, předává informace o požadovaném pohybu ve formě prostého čísla, případně písmene příslušné polohy druhého stupně teleskopického mechanismu.



Obr. 7.1 Zjednodušený algoritmus pro desky Nano

Přijme-li deska Nano žádost o provedení pohybu, volá funkci připravující potřebné parametry a spouštějící přerušeni od časovače. Obsahuje-li informace požadavek na spuštění homingu, nastaví příslušný signál na hodnotu *true*.

Dále algoritmus kontroluje, zda byl dokončen probíhající pohyb. Pokud ano, zastaví vyvolávání přerušeni časovačem a zkontroluje kontrolní součet pulzů, který porovná s počtem vykonaných kroků. Pokud je v pořádku, vynuluje jej a pokračuje dále. V případě chyby přerušit činnost, vypíše chybovou hlášku na LCD display nebo do konzole a čeká na obsluhu, která musí manuálně spustit homing po kontrole stavu modelu.

Je-li nastaven požadavek na homing, ignoruje algoritmus požadavky na pohyb a spouští algoritmus pro najetí do referenční polohy. Funkce tohoto algoritmu bude popsána v kapitole 7.4.

Obslužná rutina přerušeni od časovače je vyvolávána, když časovač dosáhne nastavené referenční hodnoty. V tu chvíli je přerušeno vykonávání hlavního programu a je obslouženo přerušeni, které provede krok motoru a výpočet následující referenční hodnoty pro přerušeni od časovače.

Podprogram nejprve kontroluje, zda nejsou aktivní koncové spínače. V takovém případě by došlo k přerušeni pohybu a byla by odeslána příslušná chybová hláška. Dále nastaví signál *STEP* na hodnotu HIGH. Signál je schválně mění na začátku a pak až na konci podprogramu, aby se vytvořil dostatečně dlouho trvající pulz, zaregistrovatelný driverem DRV8825. Tento pulz by měl dle datového listu driveru trvat alespoň 1,9 ns. Dále je programem určena fáze pohybu – rozjezd, pohyb ustálenou rychlostí a brzdění. V závislosti na této fázi pak program vykonává určené kroky. Při pohybu konstantní rychlostí přejde program k nastavení signálu *STEP* na hodnotu LOW a ukončení obslužné rutiny. Při zrychlování a brzdění před tím ještě vypočítá následující referenční hodnotu pro přerušeni od časovače dle vztahů v kapitole 6.1.

Přijde-li signál na pin externího přerušeni, dojde k pozastavení programu je spuštěna obslužná rutina externího přerušeni. Tato rutina přičte k příslušné proměnné kontrolního součtu hodnotu 1 a ukončí se.

Algoritmy pro všechny desky Arduino Nano jsou přiloženy na CD ve formě zdrojových kódů a v textové podobě.

7.2 Řídicí algoritmus hlavní řídicí jednotky

Hlavní řídicí jednotka tvoří mozek celého modelu. Stará se jak o sběr dat ze snímačů v modelu, tak o komunikaci s uživatelem, resp. nadřazenou úrovní, a především řídí všechny subsystemy modelu.

Na *obr. 7.3* je zobrazen zjednodušený vývojový diagram algoritmu hlavní řídicí jednotky, tvořené deskou Arduino Mega.

V paměti hlavní řídicí jednotky jsou mimo jiné uloženy také souřadnice jednotlivých parkovacích pozic, a to pro všechny osy modelu.

Po spuštění řídicí jednotky dojde nejprve k inicializaci globálních proměnných a navázání komunikace se všemi subsystemy modelu a s uživatelskou sériovou linkou přes USB, je-li připojena. Dále dojde k načtení náhodné úrovně napětí z nepřipojeného AD převodníku a tato hodnota je použita jako „*random seed*“, což je číslo, sloužící k inicializaci sekvence generátoru pseudonáhodných čísel, použitého dále v programu. Poté program přechází do nekonečné smyčky.

Ve smyčce dochází nejprve ke kontrole přijímacích bufferů sériových linek jednotlivých subsystemů. Jsou-li k dispozici příchozí data, dojde k jejich načtení do globálního pole znaků. Obsahuje-li řetězec ukončovací znak, je následně zpracován a informace příslušně vyhodnocena, popř. nastaveny příslušné proměnné a vypsána informace na USB port.

Po kontrole sériových linek subsystemů je provedena kontrola stisknutých tlačítek membránové klávesnice. Pokud je detekováno stisknuté tlačítko, dojde k vykonání příslušné akce:

- Tlačítko „**C**“ posouvá uživatele v menu o 1 položku výše
- Tlačítko „**D**“ posouvá uživatele v menu o 1 položku níže
- Tlačítko „**#**“ spustí/potvrdí vybranou položku menu
- Tlačítko „*****“ ukončí/zruší aplikaci nebo proces

Dále je provedena kontrola příchozího bufferu sériové linky, připojené na USB port. Jsou-li k dispozici čekající data, dojde k jejich načtení do globálního pole znaků. Obsahuje-li řetězec ukončovací znak, je následně zpracován a informace příslušně vyhodnocena, popř. nastaveny příslušné proměnné.

USB sériová linka slouží v současné době jako debugovací port, ale v budoucnu je možné využít jej k propojení s vizualizačním softwarem, ať už přímo nebo skrze OPC server, běžící v hostitelském počítači, poskytující data připojeným klientům. Tyto možnosti byly popsány v kapitole 6.3.

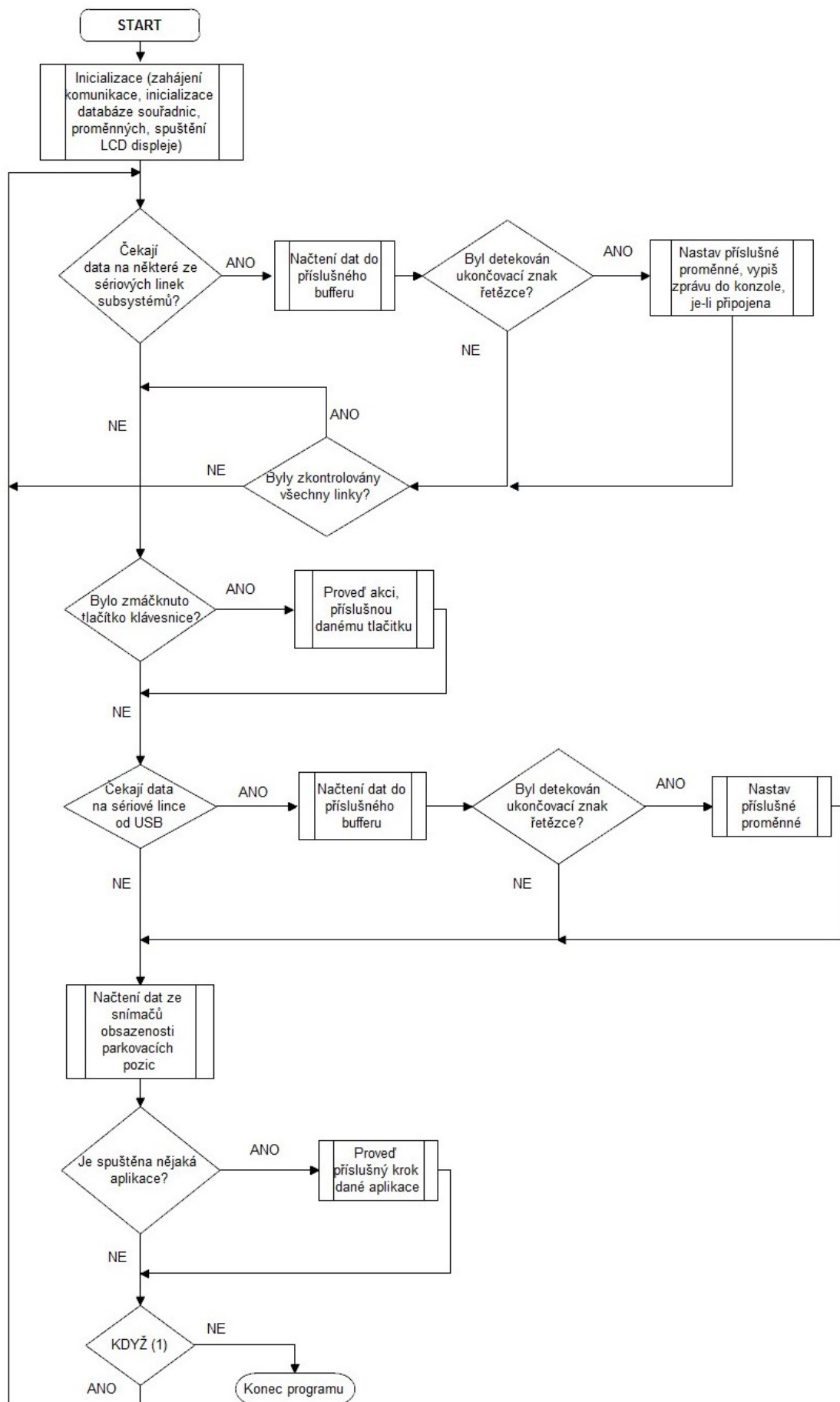
V dalším kroku hlavní řídicí jednotka načítá informace o obsazenosti parkovacích pozic ze sériového signálu, vysílaného PISO registrem. Tyto informace jsou následně uloženy ve dvou proměnných, z nichž každá obsahuje informace o stavu jedné poloviny parkovacího domu ve formě bitové informace – tj. každý bit proměnné představuje jednu parkovací pozici s hodnotou 0 – prázdná, 1 – obsazená.

Posledním krokem smyčky je kontrola, zda byl spuštěn některý z procesů, resp. některá z aplikací, sloužících k demonstraci funkcí modelu. Celkem bylo vytvořeno 6 demo aplikací, které je možné spustit pomocí ovládacího panelu modelu zvolením příslušné položky menu na klávesnici, což bylo popsáno výše. Menu obsahuje tyto položky aplikací:

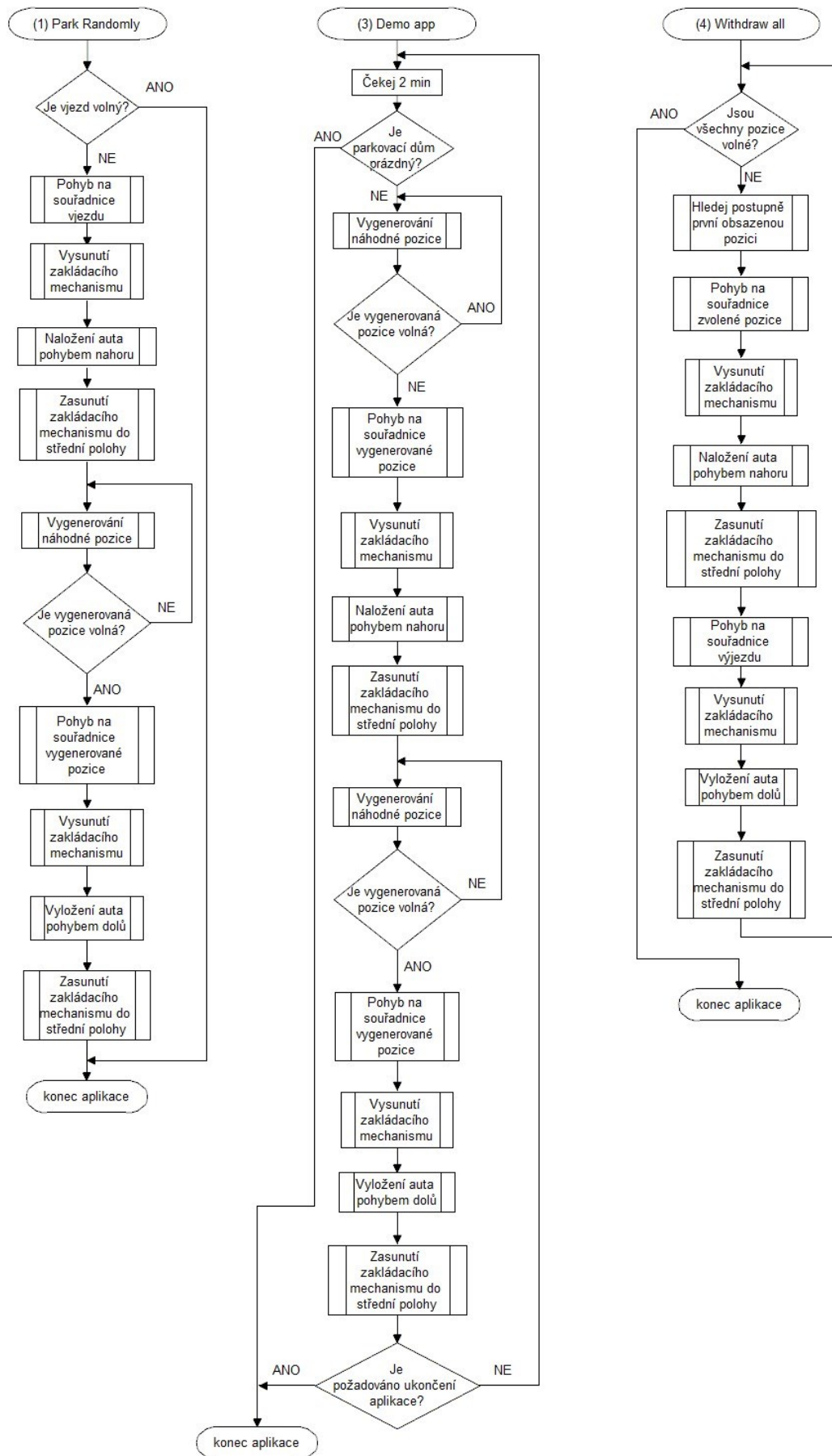
- (1) Park randomly – zaparkuje auto z prostoru vjezdu do náhodné pozice v modelu
- (2) Homing – provede homing všech os modelu
- (3) Demo app – spustí demo aplikaci, provádějící přemístování aut v modelu
- (4) Withdraw all – postupně vyparkuje všechny auta z modelu do prostoru výjezdu
- (5) USB control – ovládání modelu z počítače pomocí USB portu, viz příloha H
- (6) Show space – zobrazí na LCD displeji obsazenost parkovacích pozic



Obr. 7.2 Ovládací panel modelu



Obr. 7.3 Zjednodušený algoritmus pro desku Mega



Obr. 7.4 Algoritmy demo aplikací

7.3 Demo aplikace

Z celkem šesti položek menu ovládacího panelu modelu jsou tři položky vytvořeny jako ukázkové aplikace funkce modelu parkovacího domu. Zbylé tři položky slouží k ladění, kontrole a spouštění modelu.

První položka spouští demo aplikaci náhodného zaparkování. Tato aplikace, jejíž zjednodušený vývojový diagram je zobrazen na *obr. 7.4* vlevo, zaparkuje model automobilu z vjezdové pozice modelu na některou, náhodně určenou, parkovací pozici.

Druhá položka spouští homing všech os modelu. Tento proces je podrobněji popsán v *kapitole 7.4*.

Třetí položka zobrazená na *obr. 7.4* uprostřed, slouží jako ukázková demo aplikace pro prezentační účely modelu. Každé tři minuty tato aplikace vybere náhodně zaparkované auto a přesune jej na jinou náhodně zvolenou pozici v modelu.

Čtvrtá položka zobrazená na *obr. 7.4* vpravo slouží k vyparkování všech automobilů z modelu ven. Za tímto účelem využívá smyčku, která nejprve kontroluje, zda jsou v modelu zaparkovaná auta, poté systematicky prohledává parkovací pozice a pokud narazí na některou obsazenou, přesune automobil do prostoru výjezdu a čeká, než se tento výjezd uvolní. Poté opakuje proces, dokud není model prázdný.

Pátá položka slouží k manuálnímu ovládání modelu za účelem ladění, nastavování atd. Při jejím spuštění jsou předávány informace z USB portu přímo subsystémům, řídicím jednotlivé osy modelu.

Šestá položka umožňuje zobrazit na LCD displeji obsazenost modelu. Postupně prochází pravidelně obnovované poziční proměnné a vypisuje z nich bitovou informaci o parkovacích pozicích.

7.4 Domovská pozice – homing

Najetí pohyblivých součástí do výchozí, domovské pozice neboli „*homing*“ je realizováno sérií algoritmů, z nichž každý je řízen příslušnou kombinací mikrokontroléru a výkonového prvku.

Horizontální a vertikální osa najíždí ke svému domovskému koncovému spínači sníženou rychlostí a po jeho aktivaci od něj odjede natolik, aby byl spínač opět rozepnut. Algoritmus zohledňuje i stav, kdy je nutné najet do domovské pozice po nastalé nestandardní situaci, kdy je na začátku procesu některý z koncových spínačů aktivní, zvláště pak, je-li aktivní spínač domovský. V tomto případě dojde nejprve k poodjetí od spínače a teprve následnému najetí do výchozí pozice.

První stupeň zakládacího mechanismu provádí homing pomocí dvou optických bran, umístěných na konci základního dílu mechanismu. Nejsou-li obě brány přerušené, pohybuje se stupeň po malých posunech směrem k nepřerušnému snímači. V momentě jeho deaktivace je provedena korekce předem dané odchylky od výchozí hodnoty.

Druhý stupeň nejprve „couvá“ k nejbližšímu Hallovu snímači v daném směru a následně pohybem vpřed najede na svůj domovský snímač. Pokud stupeň couvá až ke krajnímu snímači, je zde předpokládáno, že je již výchozí pozicí ověřen dostatek prostoru za ním.

8 Závěr

V rámci této diplomové práce bylo nejprve popsáno osm druhů řešení automatických parkovacích domů.

Na základě tohoto průzkumu byl vytvořen návrh modelu parkovacího domu s inovativním oboustranným výsuvným teleskopickým zakládacím mechanismem. Model byl navržen jako podzemní varianta s parkovacími pozicemi umístěnými naproti sobě.

Dále byla realizována konstrukce modelu parkovacího domu pro parkování automobilů dle předchozího návrhu, poháněná krokovými motory, stejnosměrným motorem a doplněná snímači koncových poloh, kontrolními inkrementálními snímači a snímači volných pozic.

K realizaci konstrukce bylo využito zejména materiálů jako hliník a plexisklo, ale vzhledem ke značné atypičnosti mnoha dílů se zde hojně uplatnila metoda 3D tisku z plastu typu ABS.

V návaznosti na realizaci modelu byl navržen a vytvořen systém řízení tohoto modelu založený na mikrokontrolérových deskách Arduino ve dvou úrovních. Nultou úroveň tvoří trojice desek Arduino Nano, sloužících jako inteligenční část výkonových driverů, pro řízení pohonů jednotlivých os modelu. První úroveň je tvořena hlavní řídicí jednotkou modelu sestávající z desky Arduino Mega, která zajišťuje komplexní řízení modelu, co se týká sběru dat, komunikace a správy parkovacích pozic.

Komunikace mezi jednotlivými stupni řízení byla zrealizována přes sériové rozhraní UART. Předávání dat na vyšší úroveň, popř. komunikace s uživatelem může probíhat po sériovém rozhraní, přes USB port hlavní řídicí desky.

Pro daný model a navržený systém řízení byly vytvořeny řídicí algoritmy s demo aplikacemi. Demo aplikace provádí parkování, přesun automobilu z jedné pozice do náhodně generované jiné volné pozice a vyparkování všech automobilů. Dále byly vytvořeny podpůrné aplikace pro najetí os do referenčních poloh, manuální ovládání a zobrazení obsazenosti parkovacích pozic.

Hlavním účelem modelu je prezentační využití, ale nepochybně je možný další rozvoj modelu v mnoha směrech, zejména pro výuku a výzkum nejen pohybových a konstrukčních částí modelu a parkovacích domů obecně, ale také jako příklad a základní

objekt pro rozvoj ve směru inteligentních budov, bezdrátových technologií sběru dat, řízení procesů uvnitř takové budovy, ať už regulace teploty, řízení osvětlení atd.

Na základě komunikačních možností popsaných v této práci je možné model také připojit na vizualizační software a vizualizovat jak proces parkování automobilů, tak další procesy z oblasti řízení inteligentních budov.

Praktické uplatnění by v reálném prostředí mohl najít zejména zakládací mechanismus, který se svou konstrukcí a principem liší od běžně používaných konceptů. Jeho hlavním nedostatkem z hlediska modelu jsou velmi malé konstrukční rozměry, které značně limitují použití mnoha standardních systémů, ať z oblasti pohonů nebo řízení. Reálná konstrukce, založená na tomto modelu, by těmito limity trpěla mnohem méně, což by zejména umožňovalo využití mnoha sofistikovanějších principů řízení.

9 Seznam použitých pramenů

- (1) KOMA-Industry s.r.o., *KOMA Parking Automatické parkovací systémy* [online]. [cit. 2017-06-20]. Dostupné z: <http://www.komaparking.cz/>.
- (2) RUTTKAY, V. *Návrh nezávislého automatického parkovacího systému: Diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a zařízení, 2015, 78 s., Vedoucí práce: Učeň, O.
- (3) FATA Automation, Inc., *FATA Automated Parking Systems* [online]. [cit. 2017-06-20]. Dostupné z: https://fatainc.com/product_automated_parking_systems.htm.
- (4) Easy Parking s.r.o., *EASY PARKING Automatické parkovací systémy* [online]. [cit. 2017-06-20]. Dostupné z: <http://www.easyparking.cz/index.htm>.
- (5) Autostadt GmbH, *AUTOSTADT Car towers* [online]. [cit. 2017-06-20]. Dostupné z: <https://www.autostadt.de/en/explore-the-autostadt/car-towers>.
- (6) ARDUINO.CC, *Arduino* [online]. [cit. 2017-06-20]. Dostupné z: <https://www.arduino.cc/>.
- (7) ARDUINO.ORG, *Arduino* [online]. [cit. 2017-06-20]. Dostupné z: <https://www.arduino.org/>.
- (8) POLOLU, *Pololu: DRV8825 Stepper Motor Driver Carrier* [online]. [cit. 2017-06-20]. Dostupné z: <https://www.pololu.com/product/2132>.
- (9) STMicroelectronics, *L298: Dual Full Bridge Driver* [online]. [cit. 2018-05-13]. Dostupné z <http://www.st.com/en/motor-drivers/l298.html>.
- (10) SIEMENS, *Popis SIMATIC S7-1500: SIMATIC Industrial Automation Systems* [online]. [cit. 2017-06-20]. Dostupné z: <http://w3.siemens.com/mcms/programmable-logic-controller/en/advanced-controller/s7-1500/pages/default.aspx>.
- (11) GURÁŠ, R. *Vizualizace aplikací na HMI dotykovém panelu: Bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Univerzitní studijní programy, 2016, 57 s. Vedoucí práce: Ing. Miroslav Mahdal, Ph.D.
- (12) MICROCON, s.r.o., *Microcon: Krokové motory řady SX* [online]. [cit. 2017-06-20]. Dostupné z: <http://www.microcon.cz/>.

- (13) ATMEL, *AVR446: Linear speed control of stepper motor* [online]. [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/doc8017.pdf>.
- (14) ST4MAKERS, *OPC Server for Arduino* [online]. [cit. 2018-05-13]. Dostupné z: <https://www.st4makers.com/opc-server-for-arduino>.
- (15) KASSL GmbH, *dOPC Explorer* [online]. [cit. 2018-05-13]. Dostupné z: <http://www.kassl.de/opc/explorer.shtml>.

10 Seznam příloh

- A Schéma a layout DPS s PISO registrem
- B Zapojení fází krokových motorů řady SX
- C Schéma rozšiřující DPS pro drivery krokových motorů
- D Layout rozšiřující DPS pro drivery krokových motorů
- E Rozložení pinů konektoru kabeláže modelu
- F Schéma desky pro propojení řídicích jednotek
- G Layout desky pro propojení řídicích jednotek
- H Seznam příkazů k ovládnání modelu pomocí USB
- I Diplom ze STOČ Ostrava 2018