



# Návrh zástavby pro kalibrační systém vozu ŠKODA Enyaq iV v měřítku 1:10

## Bakalářská práce

*Studijní program:*

B0714A270001 Mechatronika

*Autor práce:*

**Daniel Dominko**

*Vedoucí práce:*

Ing. Jan Koprnický, Ph.D.

Ústav mechatroniky a technické informatiky

*Konzultant práce:*

Ing. Tomáš Mikolanda, Ph.D.

Digiteq Automotive s.r.o.





## Zadání bakalářské práce

# Návrh zástavby pro kalibrační systém vozu ŠKODA Enyaq iV v měřítku 1:10

*Jméno a příjmení:* **Daniel Dominko**  
*Osobní číslo:* M19000071  
*Studijní program:* B0714A270001 Mechatronika  
*Zadávající katedra:* Ústav mechatroniky a technické informatiky  
*Akademický rok:* 2021/2022

### Zásady pro vypracování:

1. Seznamte se s kamerovými asistenčními systémy na platformě MEB koncernu Volkswagen, zejména s funkcemi TopView a RearView.
2. Seznamte se s principem kalibrace parkovacích kamerových systémů s pomocí nástrojů VAS 6350A a VAS 721001.
3. Navrhněte a realizujte systém automatické kalibrace na 3D modelu za dodržení zástavbových parametrů v poměru 1:10 pro model Enyaq iV.

*Rozsah grafických prací:*  
*Rozsah pracovní zprávy:*  
*Forma zpracování práce:*  
*Jazyk práce:*

dle potřeby dokumentace  
30–40 stran  
tištěná/elektronická  
Čeština



### **Seznam odborné literatury:**

- [1] BOSCH, Robert. BOSCH GMBH. Bosch Automotive Electrics and Automotive Electronics: Systems and Components, Networking and Hybrid Drive. 5th ed. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2007, 521 s. ISBN 978-3-658-01783-5.
- [2] REIF, Konrad. Automotive Mechatronics: Networking and Driving Stability Systems, Electronics. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2015, 538 s. ISBN 978-3-658-03974-5.
- [3] REIF, Konrad. Brakes, Brake Control and Driver Assistance Systems: Function, Regulation and Components. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2014, 275 s. ISBN 978-3-658-03977-6.
- [4] REIF, Konrad. Fundamentals of Automotive and Engine Technology: Standart Drives, Hybrid Drives, Brakes, Safety Systems. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2014, 277 s. ISBN 978-3-658-03971-4.

*Vedoucí práce:*

Ing. Jan Koprnický, Ph.D.  
Ústav mechatroniky a technické informatiky

*Konzultant práce:*

Ing. Tomáš Mikolanda, Ph.D.  
Digiteq Automotive s.r.o.

*Datum zadání práce:*

12. října 2021

*Předpokládaný termín odevzdání:*

16. května 2022

prof. Ing. Zdeněk Plíva, Ph.D.  
děkan

L.S.

doc. Ing. Josef Černožorský, Ph.D.  
vedoucí ústavu

## Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Jsem si vědom toho, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti Technickou univerzitu v Liberci; v tomto případě má Technická univerzita v Liberci právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má bakalářská práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědom následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

15. května 2022

Daniel Dominko

# Návrh zástavby pro kalibrační systém vozu ŠKODA Enyaq iV v měřítku 1:10

## Abstrakt

Práce se zaměřuje na mechanickou část realizace zástavby pro kalibraci kamerových senzorů vozu ŠKODA Enyaq iV, jmenovitě asistenčního systému AreaView, který využívá kamerových senzorů ke sledování okolí vozu. Zástavba je navržena v měřítku 1:10 a je zajištěno, že má kalibrační odchylky dle požadavku zákazníka při kalibraci kamer pomocí přípravku VAS 7210001. K vytvoření zástavby je využito 3D modelování v programu Autodesk Inventor, k jejímu uskutečnění technologie 3D tisku.

**Klíčová slova:** ŠKODA Auto, AreaView, RearView, VAS 6350A, VAS 7210001, Kalibrace kamerových senzorů, Asistenční systémy, FDM 3D tisk, 3D modelování, Enyaq iV, Autodesk Inventor, HiL testování

## Draft of development for the calibration system of ŠKODA Enyaq iV vehicle in 1:10 scale

## Abstract

This bachelor thesis focuses on the mechanical part of building development for the calibration of ŠKODA Enyaq iV camera sensors, specifically the AreaView assistance system, which uses camera sensors to scan the vehicle's surroundings. The development is in the scale ratio of 1:10, and it has calibration tolerances as per the customer's request while using the VAS 7210001 calibration accessory. This thesis will use 3D printing technology to create this development and 3D modelling in Autodesk Inventor.

**Keywords:** ŠKODA Auto, AreaView, RearView, VAS 6350A, VAS 7210001, Calibration of camera sensors, Assistance systems, FDM 3D printing, 3D modelling, Enyaq iV, Autodesk Inventor, HiL testing

## Poděkování

Rád bych poděkoval kolegům z oddělení pro asistenční a komfortní systémy ve firmě Digiteq Automotive s. r. o. za pomoc při návrhu zástavby a poskytnutí zázemí pro vykonání práce.

# Obsah

Seznam zkratek . . . . .	9
Seznam obrázků . . . . .	10
Seznam tabulek . . . . .	11
<b>Úvod</b>	<b>12</b>
<b>1 Důležité pojmy</b>	<b>14</b>
1.1 Platforma MEB . . . . .	14
1.2 Infotainment . . . . .	14
1.3 Asistenční systémy . . . . .	15
1.3.1 Elektronická řídicí jednotka . . . . .	15
1.3.2 Dělení asistenčních systémů . . . . .	15
1.4 Volkswagen AreaView . . . . .	16
1.4.1 VAS 7210001 . . . . .	17
1.5 Zástavba kamer na voze Enyaq iV . . . . .	20
1.5.1 Systém Yaw, Pitch, Roll . . . . .	21
1.5.2 Použité kamerové senzory . . . . .	21
1.6 Volkswagen RearView . . . . .	22
1.6.1 VAS 6350A . . . . .	22
1.7 Testování software v průmyslu . . . . .	23
1.7.1 SiL . . . . .	23
1.7.2 HiL . . . . .	24
1.7.3 Kalibrace systému AreaView s pomocí VAS 7210001 . . . . .	25
1.8 3D tisk . . . . .	26
1.8.1 3D modelování součástí konstrukce . . . . .	26
1.8.2 Formát *.stl . . . . .	26
1.8.3 Formát *.gcode a slicer . . . . .	27
1.8.4 Materiály pro 3D tisk . . . . .	27
1.8.5 Original Prusa i3 MK3S+ a MMU2S . . . . .	27
<b>2 Požadavky na zástavbu</b>	<b>29</b>
2.1 Přesnost . . . . .	29
2.2 Opakovatelnost . . . . .	29
2.3 Tisknutelnost . . . . .	29
2.4 Intuitivnost . . . . .	29
2.5 Pevnost . . . . .	30

2.6	Věrohodnost . . . . .	30
2.7	Mobilita . . . . .	30
2.8	Opravitelnost . . . . .	30
<b>3</b>	<b>Návrh kalibrační zástavby</b>	<b>31</b>
3.1	Testovací model pro kalibraci kamer Enyaq iV . . . . .	31
3.2	Model vozu se zástavbovými parametry Enyaq iV . . . . .	32
3.2.1	Způsoby tvorby modelu . . . . .	33
3.2.2	Umístění držáků a kabelů pro kamery . . . . .	34
3.3	Zástavba pro kalibraci kamer Enyaq iV . . . . .	34
<b>4</b>	<b>Realizace kalibrační zástavby</b>	<b>39</b>
4.1	Tisk komponentů zástavby . . . . .	39
4.1.1	Odkazování na přílohy na úložišti . . . . .	40
4.1.2	Testovací model pro kalibraci kamer Enyaq iV . . . . .	40
4.1.3	Model vozu se zástavbovými parametry Enyaq iV . . . . .	43
4.1.4	Zástavba pro kalibraci kamer vozu Enyaq iV . . . . .	46
4.2	Sestavení kalibrační zástavby . . . . .	49
<b>5</b>	<b>Vyhodnocení řešení</b>	<b>52</b>
5.1	Testovací model pro kalibraci kamer Enyaq iV . . . . .	52
5.2	Model vozu se zástavbovými parametry Enyaq iV . . . . .	52
5.3	Zástavba pro kalibraci kamer vozu Enyaq iV . . . . .	53
	<b>Závěr</b>	<b>55</b>
	<b>Použitá literatura</b>	<b>59</b>
<b>A</b>	<b>Přílohy</b>	<b>60</b>
A.1	Seznam souborů na úložišti . . . . .	60



## Seznam zkratek

<b>ACC</b>	Adaptive Cruise Control
<b>CAN</b>	Controller Area Network
<b>ECU</b>	Electronic Control Unit
<b>FM</b>	Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií Technické univerzity v Liberci
<b>FDM</b>	Fused Deposition Modeling
<b>HiL</b>	Hardware in the Loop
<b>MEB</b>	Modularer E-Antriebs-Baukasten
<b>MLB</b>	Modularer Längsbaukasten
<b>MQB</b>	Modularer Querbaukasten
<b>TUL</b>	Technická univerzita v Liberci
<b>ODIS</b>	Offboard Diagnostic Information System
<b>PPE</b>	Premium Platform Electric
<b>PDC</b>	Park Distance Control
<b>SiL</b>	Software in the Loop
<b>USB</b>	Universal Serial Bus
<b>VAS 7210001</b>	Kalibrační přípravek pro kalibraci systému AreaView
<b>VAS 6350A</b>	Kalibrační přípravek pro kalibraci systému RearView
<i>ypr</i>	sořadnicový systém Yaw, Pitch, Roll

## Seznam obrázků

1.1	Rozdělení dnešních asistenčních systémů [9] . . . . .	16
1.2	Zobrazení systému AreaView na infotainmentu vozu Enyaq iV [17] . . . . .	17
1.3	Rozmístění kalibrační zástavby pro systémy AreaView a RearView . . . . .	18
1.4	Rozměry kalibračního pásu VAS 7210001 v centimetrech . . . . .	19
1.5	Pozice kamer na voze Enyaq iV – pohled zepředu [43] . . . . .	20
1.6	Pozice kamer na voze Enyaq iV – pohled zezadu [43] . . . . .	20
1.7	Kamera použitá ke kalibraci AreaView . . . . .	21
1.8	Rozměry použitých kamerových senzorů v milimetrech . . . . .	22
1.9	Rozměry přípravku VAS 6350A v centimetrech . . . . .	23
1.10	Blokový diagram propojení zařízení pro kalibraci AreaView . . . . .	24
1.11	Kabelový svazek a řídicí jednotka používány ke kalibraci VAS 7210001 . . . . .	25
3.1	Testovací model pro kalibraci kamer Enyaq iV . . . . .	31
3.2	Kalibrační pás VAS 7210001 pro testovací kalibrační zástavbu . . . . .	32
3.3	Zjednodušený model vozu ŠKODA Enyaq iV přizpůsobený držákům pro kamery . . . . .	34
3.4	Zástavba pro kalibraci kamer vozu Enyaq iV v měřítku 1:10 – pohled shora . . . . .	37
3.5	Zástavba pro kalibraci kamer vozu Enyaq iV v měřítku 1:10 – pohled zepředu . . . . .	38
4.1	První verze výtisku testovacího modelu pro kalibraci kamer Enyaq iV . . . . .	41
4.2	Testovací zástavba pro kalibraci kamer Enyaq iV – pohled shora . . . . .	43
4.3	Spojení částí modelu vozu Enyaq iV – řez . . . . .	44
4.4	3D vytištěný model vozu se zástavbovými parametry Enyaq iV se všemi doplňky . . . . .	45
4.5	Příklad zkosení detailu – kola vozu . . . . .	46
4.6	Detail na systém pohyblivosti kalibračních pásů VAS 7210001 s popisem komponentů . . . . .	48
4.7	Sestavená zástavba pro kalibraci kamer vozu Enyaq iV s popisem komponentů . . . . .	51
A.1	Testovací kalibrační model se zástavbovými parametry Enyaq iV v měřítku 1:10 . . . . .	61

## Seznam tabulek

4.1	Tabulka spotřebovaného materiálu a délky tisku . . . . .	40
5.1	Tabulka odchylek u kalibrační zástavby během 5 kalibrací systému AreaView . . . . .	54

## Úvod

Tato práce se zaměřuje na návrh kalibrační zástavby systému AreaView pro vůz Enyaq iV od firmy ŠKODA Auto a. s. Tento systém dovoluje řidiči vidět kompletní okolí svého vozidla s pomocí čtyř kamer na přední, zadní a bočních stranách. Kalibrace kamer tak, aby ukazovaly věrohodný obraz, vyžaduje prostor o velikosti garáže, kam se vejde jak Enyaq iV, tak i kalibrační pásy přípravku VAS 7210001 s délkou 8 m. V procesu vývoje, ale může nastat stav, kdy jsou k dispozici jen některé části elektroniky vozu a není k dispozici mechanická konstrukce, ale stejně je potřeba zkalibrovat kamery pro systém AreaView.

Kalibraci bez mechanické konstrukce řeší zástavba pro testování a kalibraci kamer v měřítku 1:10. Test vyžaduje pouze řídicí jednotky a související elektronické komponenty. Řídicí jednotky a elektronické komponenty můžou být fyzicky přítomny, a nebo lze jejich funkci simulovat, například pomocí testovací metody HiL (Hardware in the Loop). Celý proces také ubude na prostorové náročnosti. Proč nejtít ještě níže? Kamera má ale tak velké rozměry, že v měřítku např. 1:100 nemáme dostatečný prostor pro přesné rozmístění čtyř kamer. Při jiných měřítkách nastává problém v přepočtu, je rozumnější pro jednoduchost vybrat násobek deseti.

První kapitola se bude věnovat platformě MEB, na které je Enyaq iV postaven. Dále se zaměří na infotainment, asistenční systémy a také jejich rozdělení. Přiblíží asistenční systémy na platformě MEB, přesněji AreaView a RearView a přípravky využívané k jejich kalibraci, VAS 7210001 a VAS 6350A. Práce stanoví požadavky na kalibraci pomocí zmíněných přípravků a jaký vypadá kalibrační proces. Zaměří se i na zástavbu kamer na voze Enyaq iV a popíše použité kamerové senzory pro systém AreaView a RearView. Vysvětlí způsoby testování komponentů v průmyslu, jako je právě metoda HiL.

Práce se dále bude zaměřovat na problematiku 3D tisku jako výrobního procesu pro naše navržené komponenty, vysvětlí se proces od 3D modelu do vytištěného předmětu, a přiblíží různé technologie a materiály používané v 3D tisku. Zaměří se na programy použité k vytvoření souboru, který může tiskárna zpracovat. Specifikuje i omezení použité 3D tiskárny.

Druhá kapitola se zaměří na jednotlivé požadavky na zástavbu, jako třeba dostatečná přesnost při kalibraci pomocí přípravku VAS 7210001, nebo dostatečná opakovatelnost kalibrací.

Třetí kapitola se bude zaměřovat na návrh zástavby. První částí je návrh testovacího modelu pro kalibraci kamer, který bude mít stejné zástavbové parametry kamer jako Enyaq iV, akorát v měřítku 1:10. Kamery budou v prostoru ukotveny pomocí držáků. Druhou částí je návrh modelu, který bude mít stejné zástavbové

parametry pro kamery jako Enyaq iV. Nebude ale jeho přesnou zmenšeninou v měřítku 1:10, kvůli dodržení zástavbových parametrů kamer. Třetí částí je vytvoření dvou kalibračních pásů dle specifikace VAS 7210001 v měřítku 1:10, které budou schopny pohyblivosti.

Čtvrtá kapitola upřesní rozdělení a úpravu součástí pro tisk. Uvede také použité tiskové parametry. Upřesní různé úpravy, které pozitivně ovlivní tisknutelnost modelu. Rozebere i fungování celé kalibrační zástavby. Specifikuje použité komponenty v zástavbě a popíše proces jejího sestavení.

Pátá kapitola porovná výsledky kalibrace kalibrační zástavby v měřítku 1:10 proti požadované přesnosti odchylek. Ohodnotí použité metody.

V závěru práce je shrnuto naplnění jednotlivých požadavků pro kalibrační zástavbu.

# 1 Důležité pojmy

## 1.1 Platforma MEB

Platforma je tvořena kompletní podvozkovou částí a motorovým prostorem, který udává základní prvky vozu, jako je třeba prostor pro posádku. V dnešní době jde o populární řešení ve výrobě vozů, jelikož se snižují výrobní náklady [1].

MEB je obdobou MQB platformy, akorát s použitím elektropohonu. MQB je používáno koncernem Volkswagen, a to v případě spalovacích motorů, například Volkswagen Golf, Volkswagen Tiguan nebo ŠKODA Octavia. Rozdíly mezi MEB a MQB jsou značné, právě kvůli použitému elektropohonu. Platformu tvoří rám s bateriemi, jež jsou zároveň i podlahou vozu. Mezi jiné elektronické platformy koncernu Volkswagen patří i PPE nebo MLB, používané pro luxusní automobily [2].

## 1.2 Infotainment

Po většinu doby existence automobilů byly informační a „zábavní“ části vozu odděleny. Příkladem je ovládání ohřívaných sedaček pomocí specializovaného tlačítka a přehrávání hudby pomocí autorádia. V dnešní době ale lze změnit činnost obou funkcí pomocí pár dotyků na integrované obrazovce vozu. S tím vzniklo označení pro systém, který zahrnuje obojí.

Infotainment je spojením anglických slov „information“ a „entertainment“. Odkazuje na obrazovku uvnitř auta, která poskytuje informace o chodu vozidla, nabízí rádio, navigaci, připojení chytrého telefonu pomocí Bluetooth, nebo třeba přístup k internetu pomocí zabudované SIM karty. Lze ale i kontrolovat teplotu ve voze, nebo vyhřívání sedadel.

Dražší vozy mají obrazovku o velikosti notebookového displeje, plně dotykovou, nebo přítomností hlasového asistenta [3].

Příkladem může být právě vůz Enyaq iV, který disponuje infotainmentem ve formě 13" obrazovky, nacházející se mezi předními sedadly. Infotainment lze ovládat jak pomocí dotyku, tak i pomocí hlasové asistentky Laura. Lze se pomocí integrované SIM karty připojit na internet, vůz tedy nabízí mnoho on-line služeb. Před řidičem se vyskytuje i 5,3" obrazovka, která zobrazuje důležité informace, jako třeba stav nabití baterie. Je ovládaná pomocí tlačítka na volantu [4, 5].

## 1.3 Asistenční systémy

Asistenční systémy odebírají požadavky na plnou koncentraci řidiče, čímž přispívají k větší bezpečnosti na silnicích a dálnicích, protože minimalizují faktor lidské chyby.

Příkladem je adaptivní tempomat (ACC), který pomocí radarového senzoru detekuje vozidlo před řidičem, sám přibrzdí tak, aby udržoval doporučenou vzdálenost vozidel, jakmile vozidlo před řidičem zrychlí, zrychlí se i vozidlo. Tím se minimalizuje situace, kdyby řidič nestihl zabrzdit a naboural by do vozidla před ním, mohlo by dojít i k vícenásobné dopravní nehodě [6, 10].

### 1.3.1 Elektronická řídicí jednotka

Správnou funkci asistenčních systémů zajišťují různé senzory, v dnešní době řízené elektronickými řídicími jednotkami (ECU) [7].

ECU řídí specifické funkce vozu. Mohou řídit v otevřené nebo uzavřené smyčce. Kontrolují mnoho prvků ve voze, od motoru a zatáčení, po komfortní systémy jako vyhřívání sedaček [8]. Každá ECU disponuje vlastní deskou plošných spojů s čipem. Vyžaduje vstup pro napájení a data ze senzorů, která mohou přicházet z různých částí vozu. Data vstupních signálů mohou být analogová, digitální, nebo pulzní, v závislosti na senzoru, který data vysílá. Výstupní signály mohou napájet akční veličiny vozu [7].

### 1.3.2 Dělení asistenčních systémů

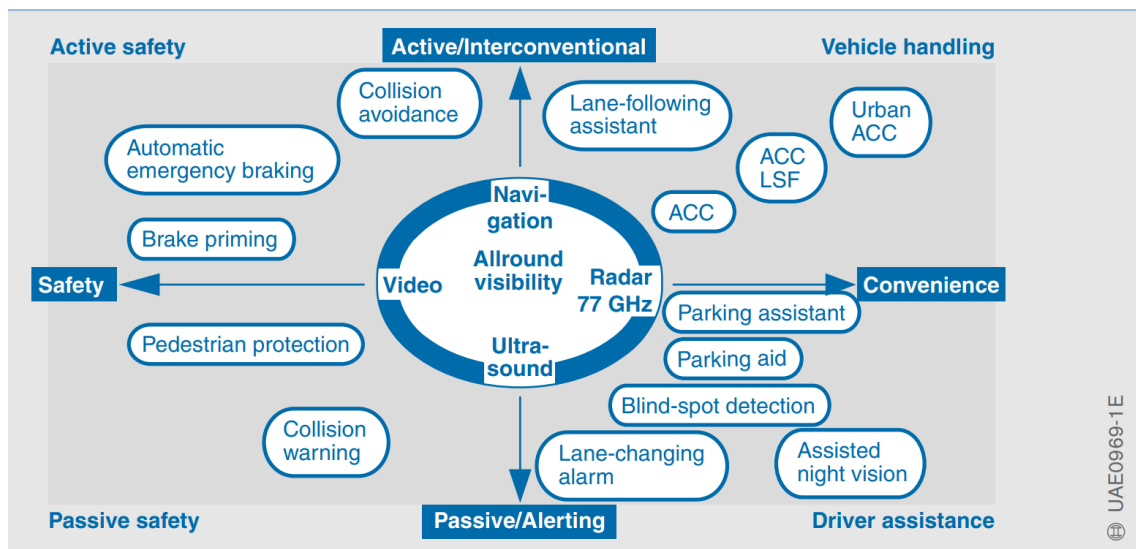
Rozsah asistenčních systémů je přímo závislý na ceně vozu. Dělí se na aktivní a pasivní. Další způsob dělení je na bezpečnostní a komfortní [9].

Aktivní asistenční systémy zasahují přímo do řízení, snaží se předejít nehodě. Řidič ale nemusí vůbec poznat, že jsou systémy aktivovány. Mají velké množství samostatných ECU, zajišťujících jejich funkci, vyznačují se svojí přesností [9].

Pasivní asistenční systémy jsou systémy, které řidiči poskytují užitečné informace, snaží se zmenšit důsledky nevhodného řízení, ale aktivně do něj nezasahují. Příkladem je systém kontroly parkovací vzdálenosti (PDC), který pomocí ultrazvukových senzorů detekuje nebezpečné předměty v okolí vozu, poukazuje na ně buďto akustickou, nebo vizuální formou [9, 11].

Kamerové senzory používají technologie zpracování obrazu v reálném čase. Využívají se hned v několika asistenčních systémech. Zadní kamera nalézá své využití v systému RearView, který pomáhá řidiči s parkováním. Infračervená přední kamera umožňuje systém nočního vidění, a to až do vzdálenosti 130 m [12]. Boční kamery a přední kamera bez infračerveného snímače jsou využity pro systém AreaView, který umožňuje pohled na vůz z ptáčích perspektivy.

Mezi snímače na blízkou vzdálenost lze zařadit snímače ultrazvukové, které detekují objekty v blízkosti vozu, tím se předejde nebezpečné situaci, například při parkování [9]. Do této kategorie patří právě PDC.



Obrázek 1.1: Rozdělení dnešních asistenčních systémů [9]

Snímače na delší vzdálenosti zahrnují radarové snímače, které jsou schopny detekovat objekt až do 150 m, nalézají své využití v ACC, i v detekci „slepého místa“ [13, 10].

Pro správnou funkčnost je nutné nejen aby mezi sebou tyto, a i další senzory spolupracovaly. Musí spolupracovat i s dalšími částmi vozidla [9]. V dnešní době lze pozorovat rozšíření asistenčních systémů zaměřených na kamerové senzory, jako například AreaView nebo RearView.

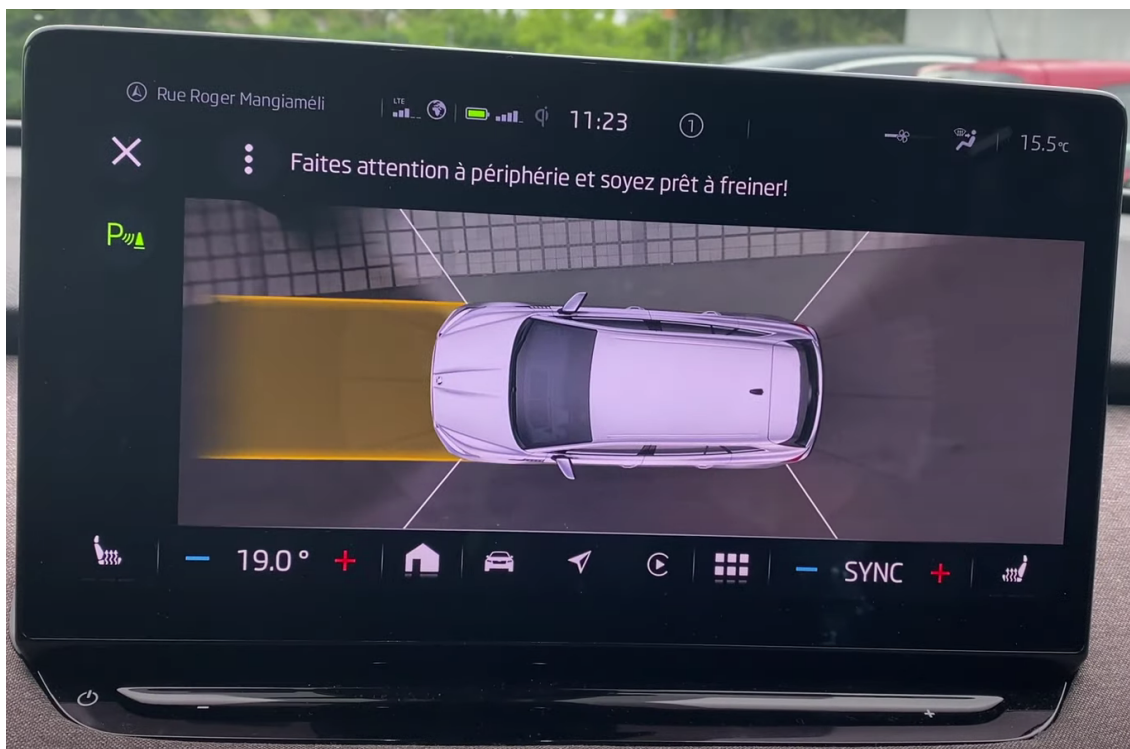
Na obrázku 1.1 lze vidět různé dělení asistenčních systémů.

## 1.4 Volkswagen AreaView

Systém AreaView monitoruje okolí vozu pomocí čtyř kamerových senzorů, pohledy jsou následně digitálně provázány do sebe za pomoci řídicí jednotky, vytváří celkový obraz, co se v okolí vozidla nachází. V infotainmentu si pak lze zobrazit pohled shora, nebo pohled jednotlivých kamer. Řidič může díky AreaView rychle reagovat na případné nebezpečné situace [14].

Kalibrace systému AreaView probíhá pomocí software ODIS (Offboard Diagnostic Information System), který poskytuje mimo kalibraci i diagnózu celého vozidla, dává přístup např. k obvodovým diagramům nebo technickým údajům. Je limitován pouze na vozidla koncernu Volkswagen. Ke kalibraci AreaView se používá přípravek VAS 7210001. [16]





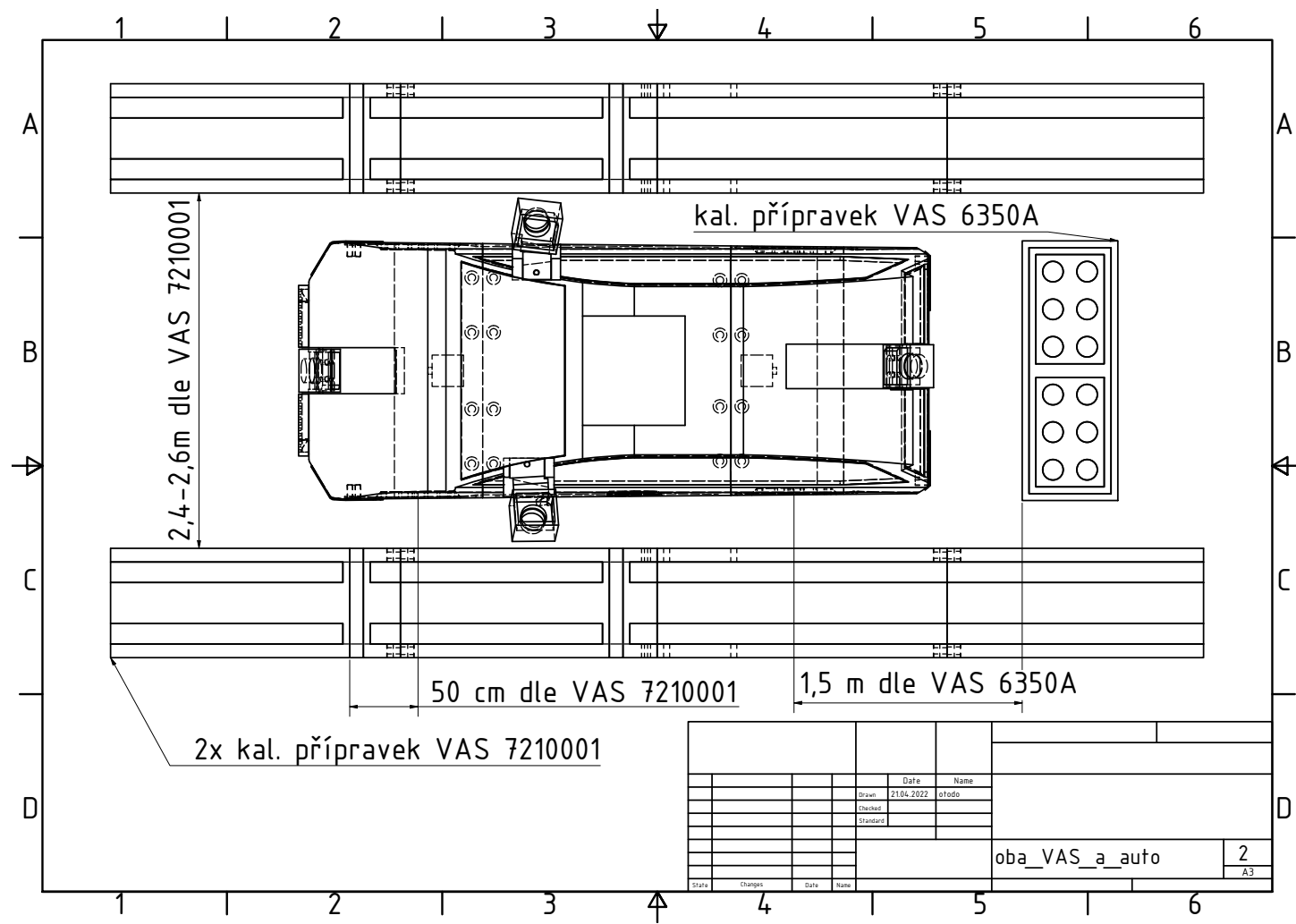
Obrázek 1.2: Zobrazení systému AreaView na infotainmentu vozu Enyaq iV [17]

### 1.4.1 VAS 7210001

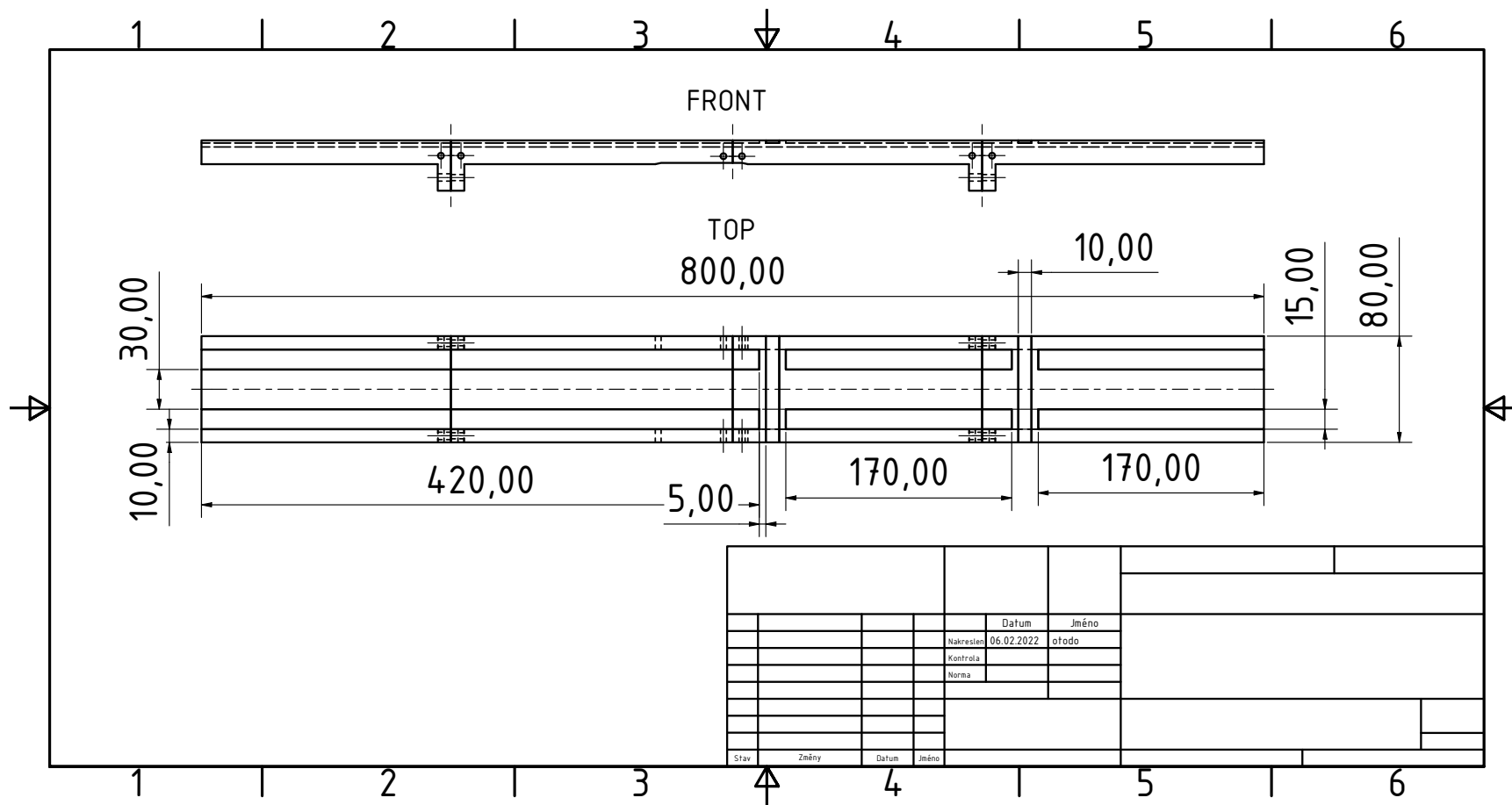
Jedná se o kalibrační přípravek pro systém AreaView, používaný koncernem Volkswagen. Přípravek má formu černobílých kalibračních pásů, jejichž rozměry jsou přesně dány. Jsou dvě možnosti, jak si přípravek obstarat. První možností je ho zakoupit. Druhou možností je zjistit rozměry dané specifikací VAS 7210001 [15]. Rozměry pásů v cm lze nalézt ve výkresu 1.4. Dále je vytisknout, buď za pomoci 2D tisku, nebo 3D tisku.

Specifikace kalibrace jsou následující. Pásky se umístí na rovnou plochu, od sebe musí být 2,4 až 2,6 m. Vůz musí být umístěn mezi pásky, kdy má od obou pásů stejnou vzdálenost a je s pásky rovnoběžný. Osa středu přední nápravy se shoduje se značkami na krajích pásů, nebo je 50 cm od předního kraje první bílé vodorovné čáry [15]. Rozmístění vozu a pásů vůči sobě lze vidět ve výkresu 1.3.

První možnost je lepší pro časté kalibrování v reálném měřítku (například v autoservise). Druhá buď pro kalibrační zástavbu. Zmenšení nedovoluje použít koupený přípravek, pásky se musí vytisknout v měřítku 1:10.



Obrázek 1.3: Rozmístění kalibrační zástavby pro systémy AreaView a RearView



Obrázek 1.4: Rozměry kalibračního pásu VAS 7210001 v centimetrech

## 1.5 Zástavba kamer na voze Enyaq iV

Předtím, než začne návrh zmenšeného modelu se zástavbovými parametry Enyaq iV, práce přiblíží zástavbové parametry reálného vozu.



Obrázek 1.5: Pozice kamer na voze Enyaq iV – pohled zepředu [43]



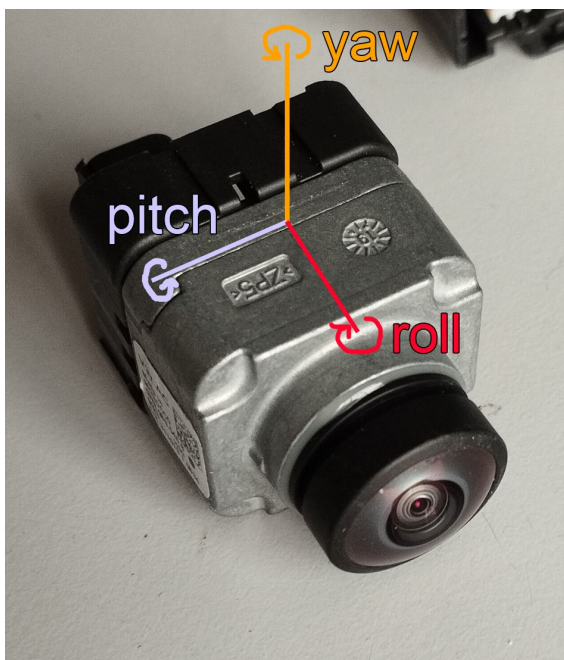
Obrázek 1.6: Pozice kamer na voze Enyaq iV – pohled zezadu [43]

Přední kamera se nachází uvnitř předního nárazníku vozu, zadní kamera se nachází poblíž madla pro otevření zadního úložného prostoru, boční kamery se nachází na okraji bočních zrcátek. Pozici kamer lze nalézt na obrázcích 1.5 a 1.6, a to včetně výchozí pozice zrcátek vůči vozu, nebo na výkresu 3.4. V reálné kalibrační zástavbě

se nachází i přípravek VAS 7210001, jehož specifikace jsou uvedeny v části 1.4.1, rozmístění lze vidět na výkresu 1.3.

### 1.5.1 Systém Yaw, Pitch, Roll

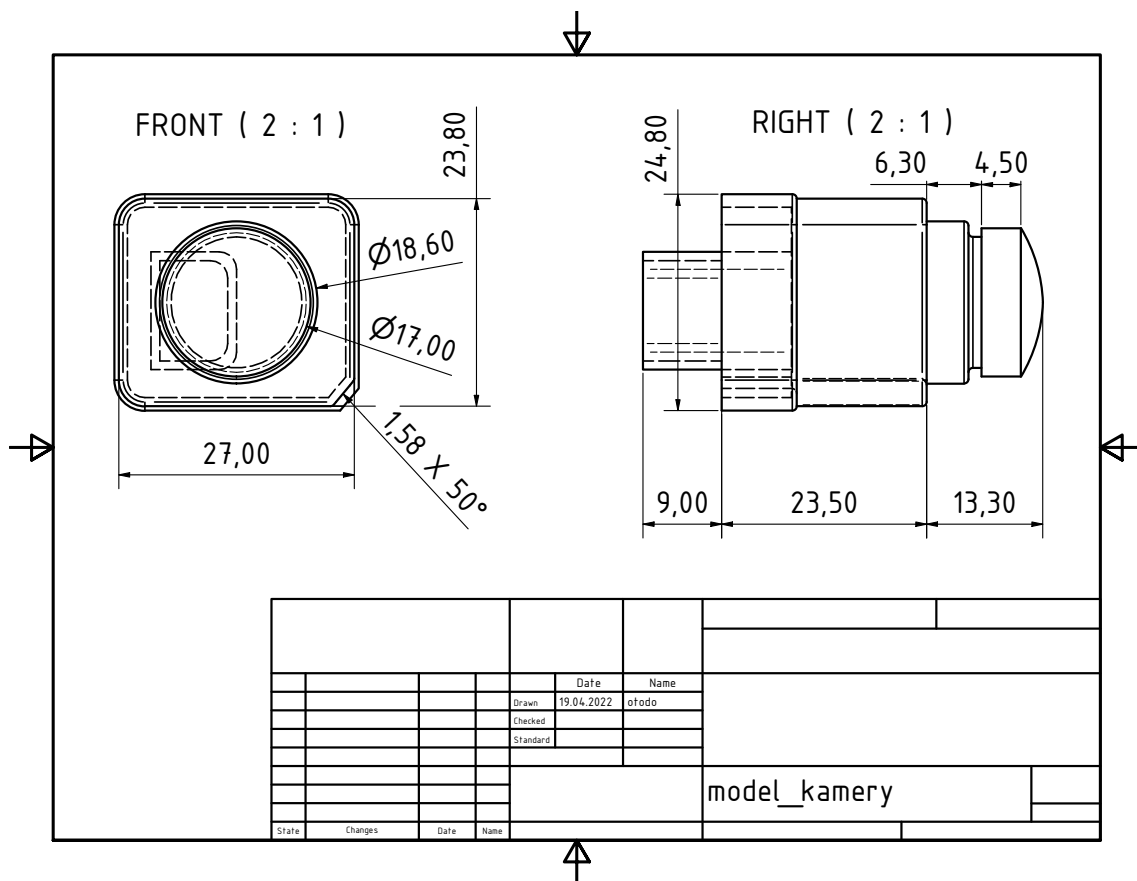
Systém ODIS využívá ve výpisech z kalibrace souřadného systému Yaw, Pitch, Roll (*ypr*). *ypr* je celosvětově používaný souřadný systém pro rotaci v prostoru [18]. Jednotlivá natočení lze vidět na obrázku 1.7.



Obrázek 1.7: Kamera použitá ke kalibraci AreaView

### 1.5.2 Použité kamerové senzory

Kamery použité pro systém AreaView mají modelové číslo 5WA 980 546 A. Použité kamery využívají rozhraní Ethernet pro napájení i přenos dat kamery. Napájení je 12V. Jelikož se jedná o nový model kamer, nepodařilo se dohledat bližší informace. Základní rozměry kamery, které budou použity při návrhu držáků pro kamery, jsou uvedeny ve výkresu 1.8.



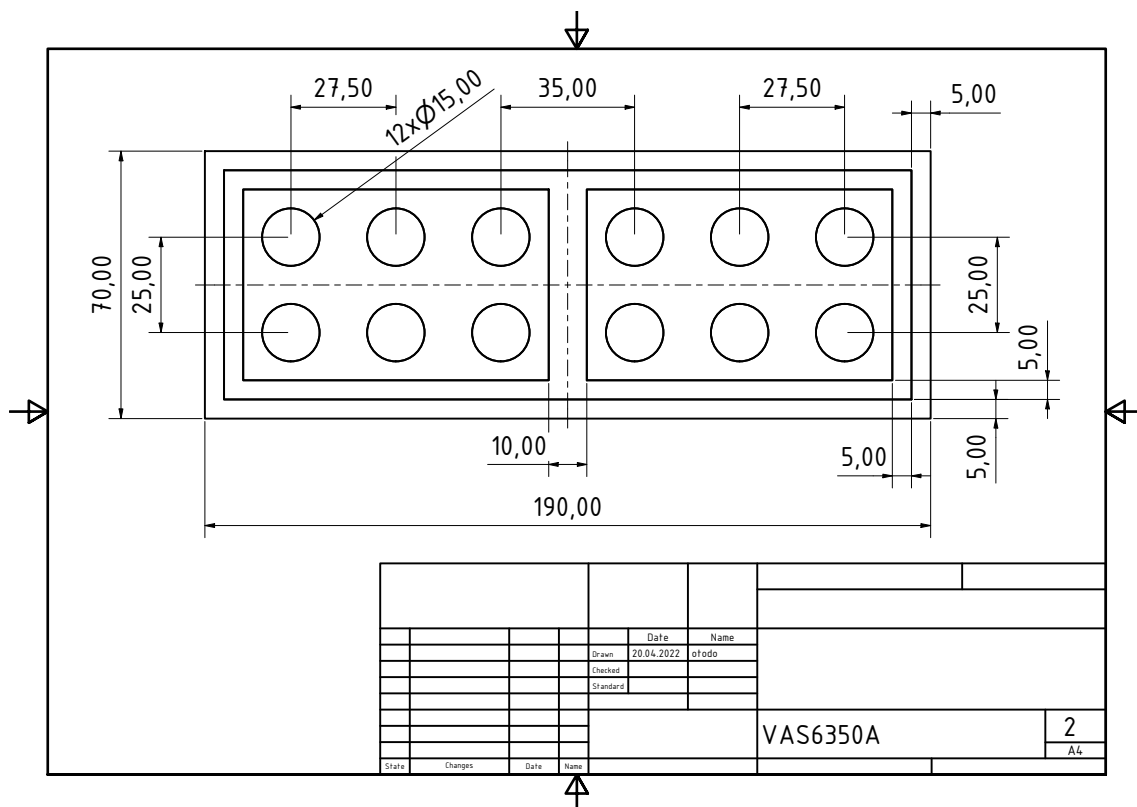
Obrázek 1.8: Rozměry použitých kamerových senzorů v milimetrech

## 1.6 Volkswagen RearView

Systém RearView umožňuje pomocí zadní kamery mít přehled, co se děje za vozidlem. Po aktivaci systému jsou na obrazovce infotainmentu při zobrazení zadní kamery linie, které udávají, jakým způsobem bude vozidlo couvat při aktuálním natočení. Horizontální linie zobrazuje optimální vzdálenost vozidla od vozu pro bezproblémové vyparkování [19]. Pro kalibraci se používá přípravek VAS 6350A.

### 1.6.1 VAS 6350A

Jedná se o přípravek ve tvaru dominové kostky s pevně danými rozměry [21]. Pro dosažení úspěšné kalibrace je nutno splnit následující. Osa středu přípravku a osa středu vozidla jsou v jedné přímce, vzdálenost od středu zadní nápravy je 1,3 – 1,6 m, zároveň je vstupním parametrem pro kalibraci. Přípravek i vůz musí být na rovné ploše, pokud je plocha vyvýšena, tvoří další vstupní parametr kalibrace. Pro kalibraci je využít ODIS [20].



Obrázek 1.9: Rozměry přípravku VAS 6350A v centimetrech

## 1.7 Testování software v průmyslu

Systémy pro testování shromažďují data, ty případně překládají a analyzují jejich správnost oproti požadovanému chování, které je dáno normami aplikace. Testování se dělí na tři druhy.

Kancelářské a laboratorní testování se odehrává bez fyzické přítomnosti okolních mechanických komponentů a systémů, vše se simuluje virtuálně.

Výrobní testování je testování funkce software včetně některých mechanických komponentů.

Provozní testování je testování ve zkušebním reálném provozu simulujícím skutečný provoz v rukou uživatele.

S testováním v rámci průmyslu pomáhají tzv. HiL a SiL software. Jejich principy jsou podobné, oba testují chování v uzavřené smyčce. Software je „zapojen“ do smyčky testovacího systému, kdy vše probíhá za předem definovaných podmínek, např. vysílání a přijímání signálů, nastavení výchozích podmínek aj. [22].

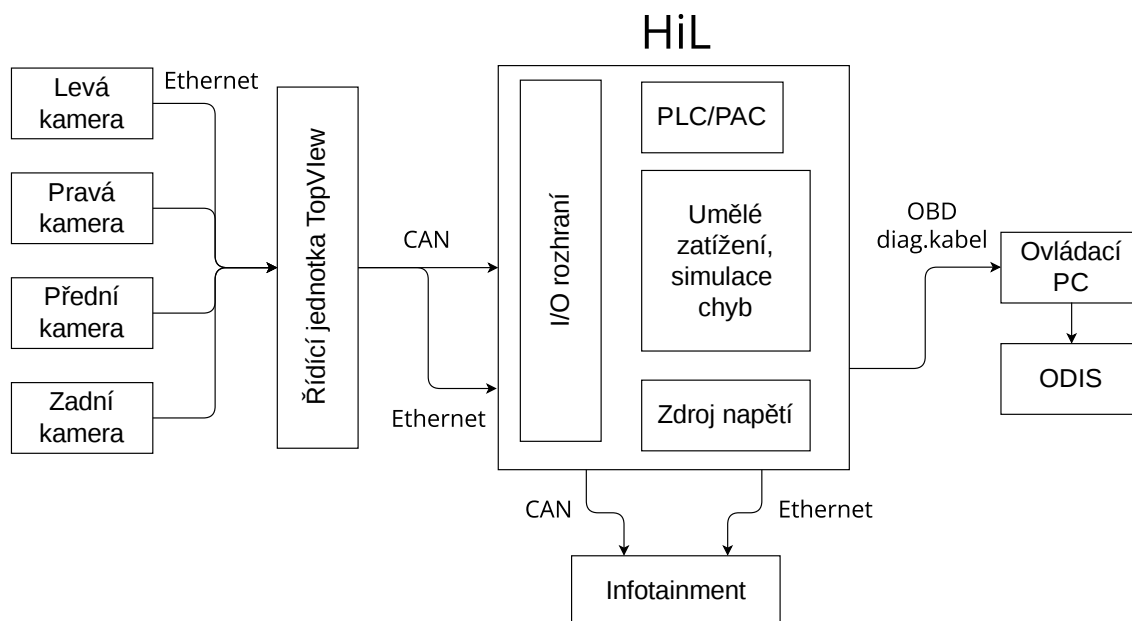
### 1.7.1 SiL

SiL (Software in the Loop) je způsob testování chování funkce softwaru nezávisle na hardware. K testování stačí pouze počítač. Tento způsob řešení není tak finančně

a prostorově náročný. Využívá se plně virtuální simulace reálného prostředí v okolí řídicí jednotky. Je simulována i samotná řídicí jednotka. Lze měřit akorát samotnou funkci řízení nebo zpracování signálu, například reakce vstupních a výstupních proměnných. Nelze testovat údaje provázané s řídicí jednotkou, jako například vytížení jader procesoru, rychlost zpracování aj.

Vyšší úrovně SiL vyžadují výkonné počítače pro virtualizace celé řídicí jednotky, lze pak testovat i údaje, které by v nižších úrovních SiL testovat nešlo. Pořád ale nelze otestovat všechny funkce řídicí jednotky nebo software [22].

## 1.7.2 HiL



Obrázek 1.10: Blokový diagram propojení zařízení pro kalibraci AreaView

Skutečné testování řídicí jednotky v reálném čase, a to jak software tak hardware, provádí až HiL (Hardware in the Loop) systém. Je to finančně i prostorově náročnější systém testování, informace ním získané nám ale dávají lepší představu o chování softwaru. Na hardware řídicí jednotky se simuluje skutečné elektromechanické chování budoucího reálného okolí v různých podmínkách za různých situací.

HiL se vyplatí hlavně u dlouhodobých projektů, kde je výhodnější než fyzická realizace podmínek nebo testovacího prostředí. Například pro testování bezpečnostního systému s vyššími než přijatelnými podmínkami, které by bylo nebezpečné uskutečnit. Další výhodou je ladění hardware předtím, než je k dispozici celé zařízení, to je velmi důležité právě pro tuto práci.

HiL je tvořen čtyřmi částmi. Ovládací počítač, testovací výpočetní jednotkou pracující v reálném čase, komunikačními rozšiřujícími kartami pro simulaci signálů a napájecími zdroji pro simulaci skutečných elektronických hodnot v cílové aplikaci.



Do komunikačních karet se zapojuje řídicí jednotka, HiL simuluje okolí v cílové aplikaci. Na základě modelu nahraného do výpočetní jednotky, jež je také vytvořen HiL, pak HiL dává signál na vstupy, výstupy a komunikační rozhraní řídicí jednotky, které jsou stejné, jako budou poté dávány řídicí jednotce různými senzory, akčními členy, nebo jinými zařízeními.

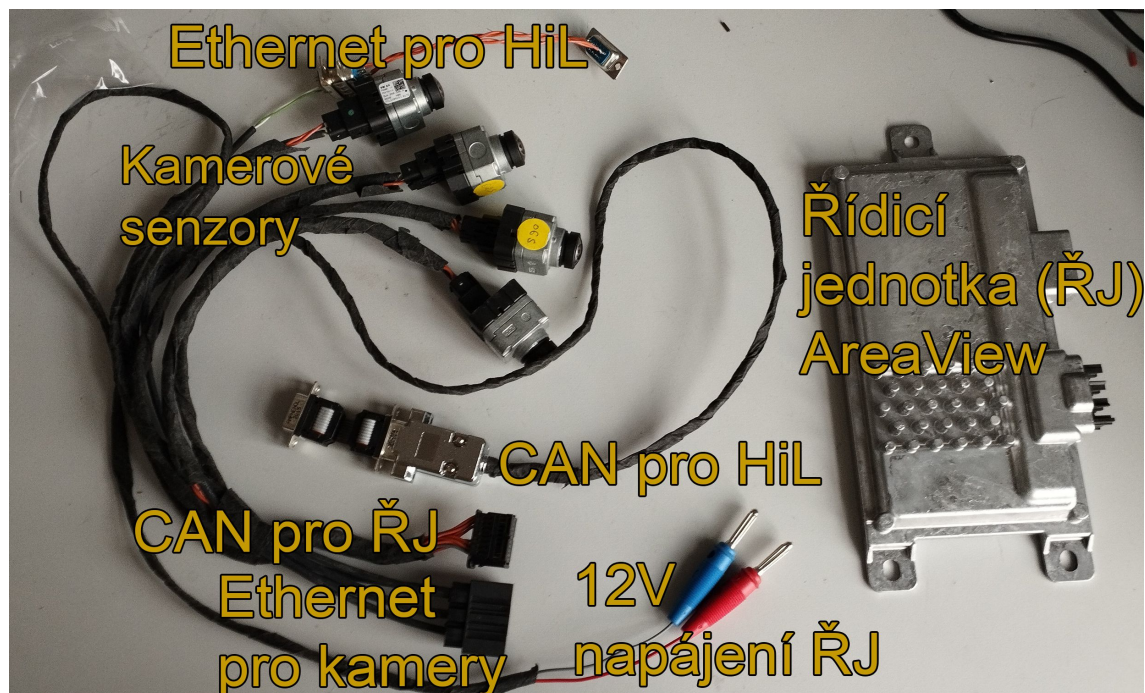
Ovládací počítač slouží k nahrávání, úpravě a nastavování parametrů nebo vlastností modelu a i ukládání výsledků z testování pro pozdější zhodnocení. Obecně úkoly, které nevyžaduje práci v reálném čase [22].

### 1.7.3 Kalibrace systému AreaView s pomocí VAS 7210001

Do HiL systému je přes rozhraní CAN a Ethernet připojena řídicí jednotka, jež je napojena do každé ze čtyř kamer vlastním kabelem. Nastartujeme elektroniku vozu, zdroj HiL simuluje reálná napětí a proudy na 12V napájecí jednotce vozu, může se začít kalibrovat.

Lze dostat celkem 3 kalibrační výsledky. Výsledky CAL\_FAIL a TOL\_FAIL značí, že kamera buď nedetekuje kalibrační pás vůbec, nebo jsou odchylky moc daleko od referenční pozice. Výsledek SUCCESS značí, že kalibrace má dostatečně malé odchylky, aby byla považována za úspěšnou. Úspěšná kalibrace ale nemá kalibrační odchylky shodné s těmi, které jsou požadovány zákazníkem.

Kompletní výpis kalibračních odchylek lze uložit do \*.html souboru pro pozdější zhodnocení.



Obrázek 1.11: Kabelový svazek a řídicí jednotka používány ke kalibraci VAS 7210001

## 1.8 3D tisk

Většina komponentů bude vytištěna na 3D tiskárně. Přiblížíme si tedy tento způsob výroby.

3D tisk je jednou z technologií aditivní výroby, jež funguje na principu vrstvení materiálu, jedním z důvodů je například snížení času na vytvoření prototypů, nazýváno „rapid prototyping“ [23, 24]. Výška vrstev, která je zároveň detailem tisku, je v 3D tisku od pár mikrometrů až po desetiny milimetrů.

Rozdělení na vrstvy spolu s dalšími parametry je poté uloženo pomocí speciálního programu, sliceru, jako soubor \*.gcode s instrukcemi pro tiskárnu [30]. Model je pomocí paměťové karty nebo rozhraní USB, přenesen do tiskárny, kde proběhne výtisk.

Použitá tiskárna je technologie FDM. FDM (Fused Deposition Modeling) využívá roztavení plastového filamentu a jeho extruze na desku k vytvoření požadovaného tvaru materiálu. Podrobněji je skrze systém jednoho, nebo několika extrudérů, do rozžhavené tiskové hlavy naveden filament, tiskárna pak nanáší materiál v předem daných pozicích s pomocí \*.gcode souboru. Po položení první vrstvy zvýší osu  $z$  o detail tisku, a proces se opakuje, dokud není tisk hotový. Kvůli teplotě materiálu splynou vrstvy dohromady, nahřátá deska zajišťuje přilnutí tisknutého předmětu k povrchu.

### 1.8.1 3D modelování součástí konstrukce

Prvním krokem procesu 3D tisku je návrh samotného modelu v modelovacím softwaru. Lze využít také jednu z mnoha databází 3D modelů dostupných na internetu, mezi nejznámější v komunitě 3D tisku patří například [25] nebo [26]. Druhým krokem je export do formátu, který bude moci zpracovat program slicer dále ho exportovat. Nejběžnější je export do formátu \*.stl, dalším používaným formátem je \*.obj.

Modelování kalibrační zástavby proběhlo v softwaru Autodesk Inventor Professional 2021 Edition.

### 1.8.2 Formát \*.stl

Soubor \*.stl převede model na množinu vektorů a vrcholů trojúhelníka (trojúhelníkovou síť) v trojrozměrné kartézské soustavě souřadnic. Většinou se pro ukládání souboru využívá binárního formátu. Jednoduchost ukládání souboru dává prostor mnoha chybám, které mohou zabraňovat vytištění modelu na 3D tiskárně [27].

Pro 3D tisk musí být splněna podmínka plného uzavření a propojení všech trojúhelníků, každá hrana musí být součástí dvou trojúhelníků a nesmí se mezi sebou protínat [27]. Tyto vlastnosti musí kontrolovat jiný program, jelikož nejsou výchozí pro formát \*.stl. Právě toto kontroluje slicer, který může i některé chyby v modelu sám opravit.

### 1.8.3 Formát \*.gcode a slicer

Třetím krokem je použití sliceru pro export do formátu \*.gcode, se kterým bude moct tiskárna pracovat. Ten rozdělí model do jednotlivých vrstev a nastaví parametry pro tisk [30].

Formát \*.gcode umožňuje programu přesně ovládat CNC stroj, neboli 3D tiskárnu. Posloupnost kódu je pochopitelná, jednotlivé příkazy jsou vytvořeny z písmena G (změna geometrie). Například G00 znamená rychlý pohyb maximální rychlostí [31]. Následuje souřadnice v osách  $x$  a  $y$ . Vzhledem k principu 3D tisku se osa  $z$  mění až po několika desítkách řádků a soubor samotný může mít statisíce řádků.

Existující slicery zahrnují open source Slic3r (zde se utvořilo komunitní označení „slicer“), popřípadě PrusaSlicer, který je modifikací Slic3ru. Ve sliceru nalezneme základní možnosti jako detail tisku, použitý materiál filamentu, procento vyplnění modelu (obvykle 15 %) a nastavení podpěr. Pokročilejší možnosti zahrnují i rychlost tisku (obvykle od 20–100 mm/s), typ tvaru výplně (mřížka, gyroid) nebo nastavení vnějších vrstev tisku, které jsou tvořeny plnou výplní (perimetru).

### 1.8.4 Materiály pro 3D tisk

Mezi nejběžněji používané materiály v 3D tisku, při použití technologie FDM, patří PLA, ABS, PETG a ASA.

PLA je tvrdý, ale křehký materiál, z často používaných materiálů má nejlepší tisknutelnost, nevyžaduje vysoké teploty tiskové hlavy, důsledkem je jeho špatná teplotní odolnost, i tak se v dnešní době jedná o nejvíce používaný materiál pro tisk [33, 32].

ABS nedosahuje takové pevnosti, je ale houževnatější, jeho tisknutelnost je horší, vyžaduje vysoké teploty tiskové hlavy, důsledkem je jeho dobrá tepelná odolnost [32].

PETG si lze představit jako „průměr“ vlastností PLA a ABS, má dobrou tisknutelnost, odolá vyšším teplotám, má dostatečnou pevnost i houževnatost [32].

ASA si je schopná dlouhodobě udržovat své mechanické vlastnosti ve vnějším prostředí, skoro identické s ABS, jelikož je rezistentní vůči UV záření [32].

Dále lze tisknout materiály jako BVHOP (rozpuštěné ve vodě), woodfill (dřevěná příměs), FLEX (ohybné), nylon (flexibilní, pevný) a další.

### 1.8.5 Original Prusa i3 MK3S+ a MMU2S

#### Prusa Research i3 MK3S

Použitá FDM tiskárna i3 MK3S od Prusa Research a. s., je tiskárnou kartézskou [29]. K lineárnímu pohybu v osách  $x$  a  $y$  se využívá krokových motorů, řemene, řemenic a kladek. Osa  $z$  využívá k lineárnímu pohybu krokových motorů a závitových tyčí. Vše je připevněno na rám a ovládáno pomocí mikrokontroleru, v našem případě deska Einsy RAMBo [28].

Tiskárna také disponuje přídatnými funkcemi jako třeba zotavení se ze ztráty napájení. Díky této funkci se může pokračovat v tisku i když nastane výpadek elektrického proudu. Maximální rozměry tisku činí 250 × 210 × 210 mm [28].

Rozsah použitelného filamentu je vzhledem k vysokým dosažitelným teplotám 300 °C / 120 °C (tisková hlava/tisková podložka), velký.

### **Jednotka MMU2S**

Jednotka umožňuje tisk s vícero filamenty tím, že využívá PTFE trubičky skrze kterou prochází filament tam, nebo zpět, podle toho, jaký filament je zrovna vyžádán souborem \*.gcode. [34]

Tisk pomocí MMU2S je ale méně spolehlivý než standardní způsob tisku, mimo to je zvýšena spotřeba času a materiálu. Spojení částí tisku je ale pevnější než při lepení. Například při tisku kalibračních pásů dle specifikace VAS 7210001 bude povrch hladší a vzor na vrchní straně pásu čistší, což snižuje riziko nezdařené kalibrace.

## 2 Požadavky na zástavbu

V této kapitole se stanoví, jak by měla vypadat konečná zástavba pro kalibraci vozu se zástavbovými parametry Enyaq iV a s přípravkem VAS 7210001 v měřítku 1:10. Specifikace pro kalibraci byly již uvedeny v části o VAS 7210001 (část 1.4.1), nutno je přepočítat do měřítka 1:10. Proces kalibrace byl uveden v části 1.7.3.

Kapitola bude rozdělena na několik částí, které popíší jednotlivé požadavky, shrnuté názvem dané části.

### 2.1 Přesnost

Kalibrační odchylky kamer budou splňovat požadavky zákazníka. Požadavky činí natočení do 3 stupňů v *ypr* a odchylka pozice v *xyz* okolo 30 mm.

### 2.2 Opakovatelnost

Proces kalibrace kamer musí být opakovatelný, každá provedená kalibrace bude menší než maximální hodnoty uvedeny přesností (část 2.1) kalibrace. Je žádoucí, aby odchylky byly v uvedeném rozmezí, ale pokud tomu tak bude jednou za deset kalibračních procesů, je celá zástavba nepoužitelná.

### 2.3 Tisknutelnost

Modely budou navrženy takovým způsobem, aby se při jejich výtisku na FDM 3D tiskárně použilo malé množství materiálu, za dodržení dostatečné pevnosti pro dlouhodobé používání kalibrační zástavby. Požaduje se co nejmenší využití podpěr, hlavně pro větší součástky. Raději se přidá, nebo ubere materiál přímo na modelu, obě varianty mají pozitivní vliv buď na pevnost nebo na spotřebu materiálu. Pro dosažení dostatečné pevnosti se zvýší množství perimetrů tisku místo procenta výplně modelu, to má opět pozitivní vliv na spotřebu.

### 2.4 Intuitivnost

Zástavba pro kalibraci kamer vozu Enyaq iV by měla mít intuitivní ovládání, aby ji mohl rychle pochopit a ovládat i personál, který neprošel procesem její výroby

(zákazník). Práce řeší jen mechanickou část kalibrační zástavby, neovlivňuje část elektronickou (krokový motor bude ovládán pomocí rozhraní, které neprogramuji), ale zástavba může být navržena tak, aby bylo při vysvětlování co nejvíce názorné, kde je jaký komponent, a jaká je jeho funkce.

## 2.5 Pevnost

Veškeré komponenty kalibrační zástavby by měly být dostatečně pevné, nebo dostatečně pevně uchyceny, aby se při případném přesunutí zástavby kompletně nezměnily kalibrační odchylky, což by dramaticky snížilo požadavek na opakovatelnost (část 2.2) celé zástavby. Příkladem je situace, kdy je levý pás vzdálenější od okraje vozu než pravý, výsledky kalibrace jsou pak nepoužitelné.

## 2.6 Věrohodnost

Zástavba pro kalibraci kamer vozu Enyaq iV by měla být věrohodná, nemusí se dbát na to, aby vše vypadalo, jako u reálného vozu, ale je nutné, aby bylo ihned poznat, že model vozu je namodelován dle ŠKODA Enyaq iV.

## 2.7 Mobilita

Kalibrační zástavbu bude možno převézt pomocí automobilu. Vzhledem k jejím rozměrům a hmotnosti ji nelze na delší vzdálenosti přenést ručně. Jak je již zmíněno (část 2.5), zástavba pro kalibraci kamer vozu Enyaq iV by měla sama o sobě odolat vnějším vlivům a být dostatečně pevná, aby se při převozu nezměnily kalibrační odchylky.

## 2.8 Opravitelnost

Je žádoucí, jestliže bude zástavba umístěna v pouzdře, aby šla i vyndat, v případě jakýchkoliv oprav nebo přizpůsobení zástavby. Při poškození některého z komponentů, by neměla bránit jeho výměně (vzhledem k použité technologii 3D tisku lze vyměnit díl skoro ihned).

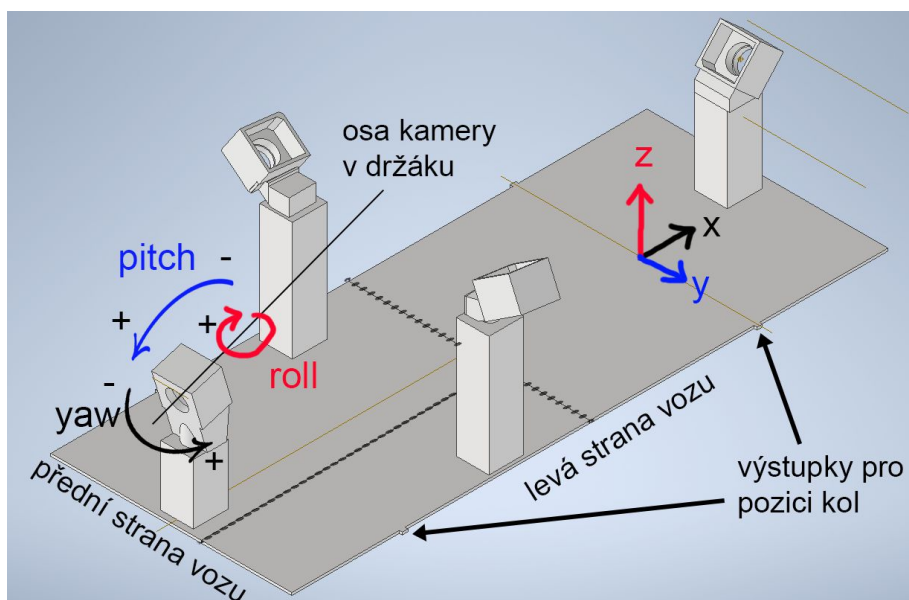
## 3 Návrh kalibrační zástavby

### 3.1 Testovací model pro kalibraci kamer Enyaq iV

Uurčíme si souřadný systém na voze. Osa  $x$  značí délku, osa  $y$  šířku a osa  $z$  výšku. Stanovení souřadných systémů lze vidět na obrázku 3.3. Změří se pozice kamer od referenčních bodů na autě. Jako referenční bod kamery je zvolen střed její čočky. V případě přední kamery se měří rozměr v ose  $x$  od zadního nárazníku, kamera je souběžná se středovou osou vozu, osa  $y$  se neměří. V případě zadní kamery se změří i její vyosení v ose  $y$  oproti středové ose vozidla. U bočních kamer se měří osa  $x$  a osa  $y$  od předního kola. Osu  $z$  měříme od země.

Na měření natočení  $ypr$  je použit digitální úhloměr Toolcraft TO-4988565 [35], pro měření je využito rozebrané boční zrcátko Enyaq iV.

Z rozměrů daných měření vozu se sestaví testovací model pro kalibraci kamer Enyaq iV (výkres v příloze A.1), kde si lze otestovat, jestli jsou určené pozice správné. Model je složen z desky, o rozměrech vozu ŠKODA Enyaq iV, které činí 464,9 cm  $\times$  214,8 cm  $\times$  161,6 cm [5]. Tyto rozměry jsou převedeny na měřítko 1:10. Na desce jsou umístěny čtyři sloupky, na kterých jsou připevněny držáky pro kamery.



Obrázek 3.1: Testovací model pro kalibraci kamer Enyaq iV

Držáky pro kamery jsou navrženy takovým způsobem, aby přesně kopírovaly tvar a rozměry kamery, a tím došlo k pevnému uchycení kamery v držáku. Pokud by kamera nebyla pevně uchycena, v měřítku 1:10, může malá změna v natočení hrát roli v tom, jestli je kalibrace úspěšná. Držák může být od zbytku testovacího modelu oddělitelný, když by se tisklo vícero verzí.

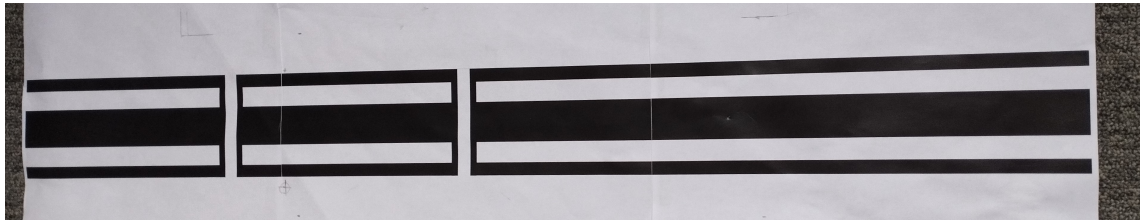
Vzhled držáku práce neřeší, jelikož je kamera v měřítku 1:1 a umístit ji do věrohodného modelu zrcátka vozu Enyaq iV v měřítku 1:10 je časově a materiálově náročné.

Další možností je využít kalibračního softwaru ODIS, který vypisuje správné pozice kamer v prostoru. Podle těchto pozic lze sestavit držák pro kameru, pokud je známo, kde leží referenční body pro měření odchylky v souřadných systémech  $ypr$  a  $xyz$ , jak na kameře, tak na voze.

Nemusí se případně modelovat držáky kamer, a to přizpůsobením držáků z reálného auta, ořezáním pouze na samotnou část, která realizuje úchyt kamery, následným uskutečněním pevného přichycení ke sloupu při zajištění rovnovážné polohy. Pevný úchyt je ale těžké zajistit, mohlo by dojít ke zhoršení opakovatelnosti zástavby.

Pro pozdější kalibraci na testovacím modelu se označí pozice předních kol. Byly zvoleny malé kvádry vystupující z desky, lze je vidět na obrázku 3.1. Tím se předejde problémům s umístěním testovacího kalibračního modelu dle specifikace VAS 7210001, kde mají být přední kola 50 mm od předního okraje první bílé čáry ve směru osy  $y$ .

Kalibrační pásy VAS 7210001 jsou vytištěny na papírech A4 a slepeny do sebe (výkres 1.4, část 1.4.1). Pro naši nynější zástavbu se jedná o fungující řešení. V konečné verzi kalibrační zástavby budou pásy 3D tisknuty a bude zaručena jejich pohyblivost.



Obrázek 3.2: Kalibrační pás VAS 7210001 pro testovací kalibrační zástavbu

## 3.2 Model vozu se zástavbovými parametry Enyaq iV

První variantou je zakoupit si na internetu již hotový model vozu Enyaq iV [36], obdrží se model se zbytečnými detaily, které se ztratí v rámci přizpůsobení pro přichycení úchytů na kamery a tisknutelnosti modelu, za zachování co nejmenšího počtu podpěr.



Druhou variantou je vytvořit model se zástavbovými parametry vozu Enyaq iV, abychom splnili požadavek na věrohodnost (část 2.6), nelze jen do dokončené kalibrační zástavby umístit hotový testovací model pro kalibraci kamer Enyaq iV. Naším cílem je tedy vytvořit model s podobným vzhledem Enyaq iV a stejnými zástavbovými parametry pro kamery použité při kalibraci systému AreaView (část 1.4).

U některých rozměrů lze dodržet přesnost na desetiny milimetrů, jelikož jsou uvedeny v katalogu Enyaq iV [5]. Ty zahrnují výšku, šířku a délku vozu, přední a zadní převis, rozvor, dále rozchod předních a zadních kol, jelikož nejsou oba rozměry stejné. Nejdůležitější rozměry jsou přední převis, používán při kalibraci pomocí přípravku VAS 7210001, a zadní převis, používán při kalibraci s pomocí přípravku VAS 6350A.

U zbylých rozměrů nevádí, když se v rámci funkčnosti modelu upraví, nebo nebudou tak přesné. Lze je získat několika způsoby.

### 3.2.1 Způsoby tvorby modelu

#### Získání rozměrů pomocí měření na voze

Prvním, a patrně nejpřímochařejším postupem je změřit si rozměry na voze pomocí svinovacího metru. Vyskytuje se zde sice odchylka v měření v rámci několika milimetrů, způsobena přesností lidského oka, ale to se v měřítku 1:10 přeneso do několika desetin milimetrů. Pro prvky, které neovlivní funkčnost zástavby jsou takové odchylky zanedbatelné. Problém nastává, kdybychom potřebovali libovolný rozměr ověřit nebo přeměřit, a neměli bychom reálný vůz Enyaq iV k dispozici. Došlo by pak k pozdržení pracovního procesu.

#### Získání rozměrů pomocí měření na fotografii

Podobným postupem, je obkreslení fotografie vozu z infografiky s rozměry Enyaq iV [43], následné vytvoření modelu dle obkresleného tvaru. Jednotlivé dimenze, které nejsou v katalogu vyznačeny, lze změřit skrze znalost základních dimenzí, které jsou v infografice vyznačeny. Přiloží se pravítko na monitor a změní se procento přiblížení infografiky tak, dokud se nedostane uvedený rozměr v mm, tím se provedl i přepočít do měřítka 1:10, rozměry v katalogu jsou uvedeny v cm. Následně se měří pravítkem rozměry, které jsou zrovna potřeba, sice nejde o velice přesnou metodu, ale všechny rozměry, krom v katalogu již uvedených, nemají vliv na funkčnost kalibrační zástavby, nevádí, když budou jejich odchylky i v rámci milimetrů (v měřítku 1:10). Mimo to, když je potřeba získat určitý rozměr, může se získat okamžitě, bez jakéhokoliv zdržení.

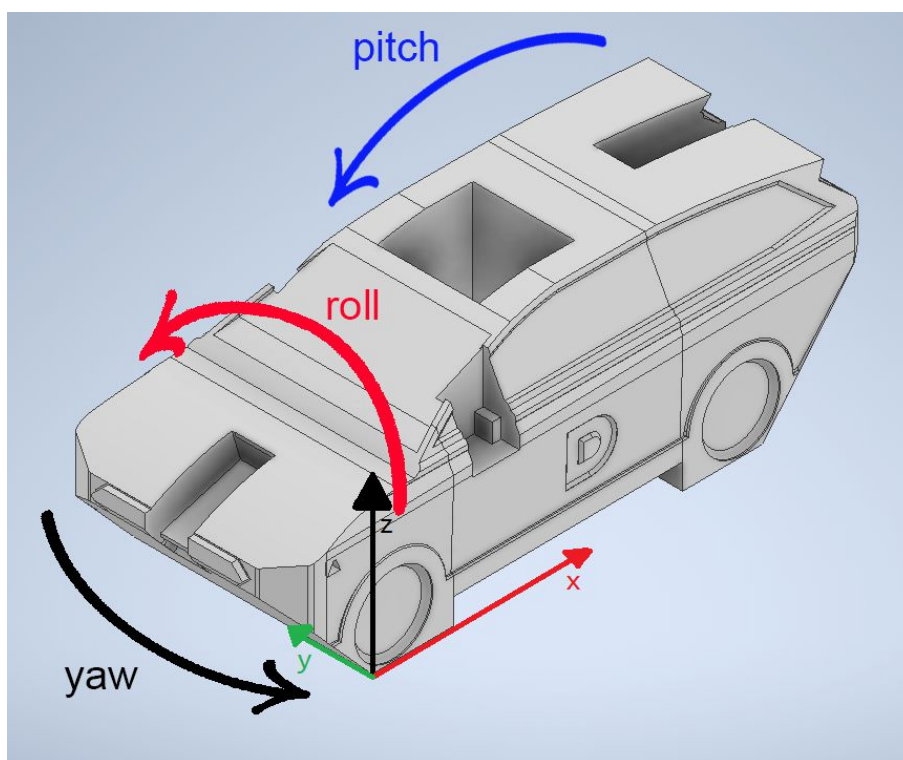
#### Získání rozměrů pomocí 2D výkresu od výrobce

Lze si i vyžádat 2D výkres od výrobce, měli bychom specifikovat předem, jaké rozměry jsou potřeba. Rozměry sice budou přesnější, ale vzhledem k jejich funkci, to nepřináší žádnou výhodu v rámci funkčnosti zástavby. Vyskytuje se zde ten samý

problém jako v předchozím postupu, když je potřeba zjistit nový rozměr během návrhu, dochází k pozdržení.

### 3.2.2 Umístění držáků a kabelů pro kamery

Držáky pro kamery jsou k modelu vozu připevněny tak, že jsou zablokovány všechny pohyby v souřadných systémech  $xyz$  a  $ypr$ . To samé platí i pro model vozu v rámci kalibrační zástavby. U modelu se musí zvážit, kudy povedou jednotlivé kabely ke kamerám. Lze využít děr, umístěných v modelu vozu, byla zvolena jedna díra ve středu vozu, ze které povedou všechny kabely z řídicí jednotky k jednotlivým kamerám, jednotka bude umístěna pod vozem. Počet děr byl zvolen kvůli jednoduchosti manipulace s kabelovými svazky a zmenšení dopadu na pevnost modelu.



Obrázek 3.3: Zjednodušený model vozu ŠKODA Enyaq iV přizpůsobený držákům pro kamery

## 3.3 Zástavba pro kalibraci kamer Enyaq iV

Zástavba zahrnuje konstrukci ve tvaru mřížky, složenou z 3D tisknutých lišt, které budou schopny upevnit v prostoru krokové motory, lineární vodící lišty s vozíky, a různé úchyty v zástavbě. Lze zvolit i jiný materiál pro konstrukci, za účelem zvýšení pevnosti, ale problémem je jeho úprava tak, aby se konstrukce mohla spojit

s jinými částmi zástavby, jako jsou lineární vodící lišty a různé úchyty přítomné v zástavbě.

Spojení v zástavbě jsou uskutečněna pomocí šroubů, zašroubovaných do příslušné matice, nebo do závitové vložky. Tyto spoje umožňují rozdělit jednotlivé součástky zástavby na více částí. To bude využito u velkých částí zástavby, jelikož použitá FDM 3D tiskárna nezvládne 3D výtisk v jejich plném rozměru. Hlavní výhodou je rozebíratelnost spojení, když se jedna z částí zástavby poškodí, lze ji jednoduše vyměnit. V kombinaci s 3D tisknutými komponenty dojde k zvýšení opravitelnosti (část 2.8) zástavby.

Kalibrační pásy dle specifikace VAS 7210001 jsou rozšířeny o U profil, zde se můžou přišroubovat různé úchyty k bočním stranám kalibračního pásu, čímž se nebude narušovat vzor na vrchní straně pásů. Úchyty se můžou využít např. ke spojení jednotlivých částí pásu.

Pohyblivost kalibračních pásů k sobě a od sebe, bude způsobena pohybem řemene, mezi řemenicí, umístěné na rotoru krokového motoru, a kladkou. Vzdálenost kladky od krokového motoru je minimálně 4 cm na levé i pravé straně zástavby, bude ale větší, protože je potřeba ještě řemen natáhnout. Celková vzdálenost mezi pásy bude mezi 20 cm a 28 cm. Vzdálenost mezi pásy je dána právě specifikací VAS 7210001 (část 1.4.1), která činí 24 až 26 cm v měřítku 1:10, a přesahem vyžadovaným od zákazníka, který činí 1 cm na každou stranu.

Pohyb kalibračních pásů, spolu s řemenem, bude vykonávat tisknutý úchyt s profilem řemene GT2, výběr řemene je inspirován použitou FDM tiskárnou, která používá podobné řešení pro lineární pohyb. Pohyb krokových motorů k sobě a od sebe, místo jednoho směru pohybu, je zajištěn tím, že jsou vůči sobě otočeny o 180° kolem středové osy zástavby.

V sestavě musí být přítomen prvek, který signalizuje programu, že kalibrační pás, poháněn systémem krokového motoru a řemene, dosáhl správné pozice. Také zabráni motoru se točit naprázdno. Následkem by mohlo být poškození úchyty pro kladku nebo úchyty řemene vyvolaným tlakem.

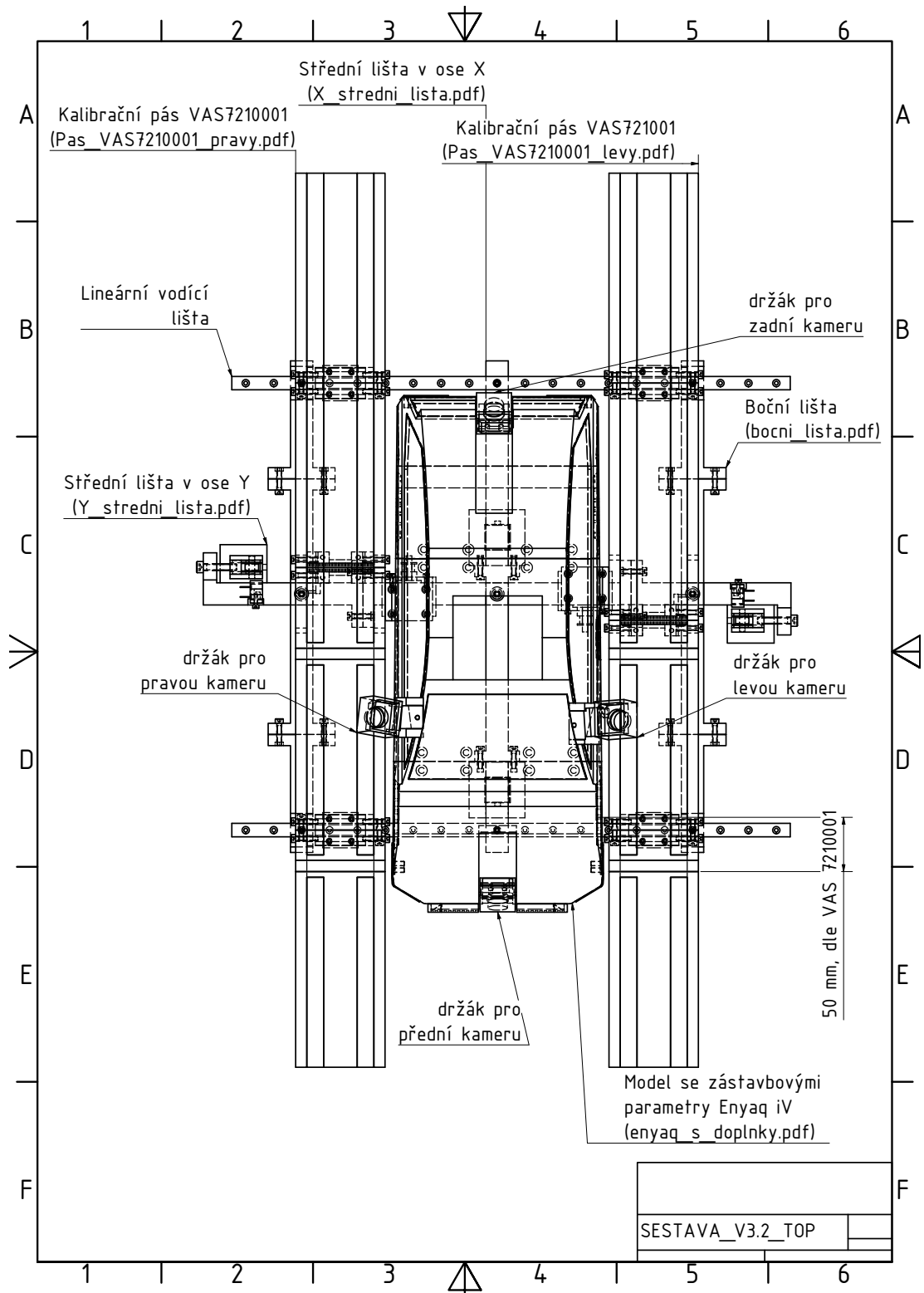
Problém je řešen pomocí optické závory s infračerveným paprskem LiteOn LTH-301-07, vybrané mými kolegy. Optická závora je umístěna 4 cm od krokového motoru. Princip optické závory spočívá ve vysílání paprsku emitorem (LED dioda) na senzor (fototranzistor), pokud senzor nedetekuje přítomnost paprsku (tedy je paprsek něčím přerušen) závora změní hodnotu signálu, to se využije v programu k zastavení motoru [41].

Jelikož se práce zabývá pouze mechanickou částí kalibrační zástavby, musí být respektován prostor, kudy povedou vodiče a kabely k jednotlivým zařízením. V zástavbě se bude nacházet Raspberry Pi, řídicí krokové motory a jejich budiče, deska se stabilizátory aj. Umístění desky a mikropočítače proběhne jako poslední krok.

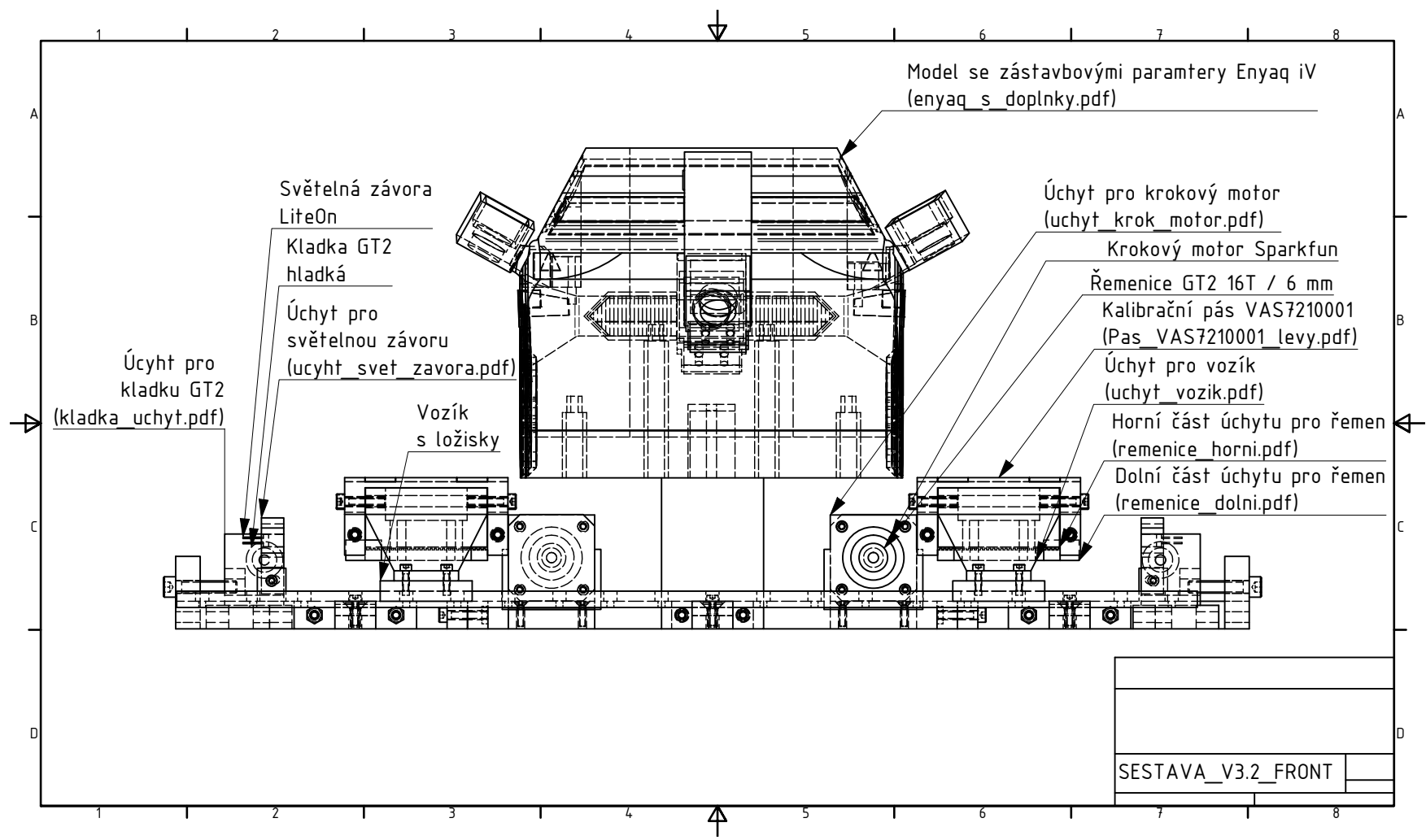
Musí se zvolit, zdali udělat zástavbu otevřenou, nebo uzavřenou v ochranném pouzdře. Otevřenost celé zástavby má výhodu ve větší přizpůsobitelnosti, lze jednodušeji vyměnit prvky zástavby, ale zvýší se nebezpečí vnějších vlivů. Rozmístění komponentů bude ale v uzavřeném prostoru lehčí, k umístění lze využít i prostor okolo zástavby.

Nejlepší cestou je kompromis obou možností, zástavba bude většinu času v uza-

vřeném pouzdře, lze ji vyndat při potřebě úprav nebo oprav. Elektronika může být umístěna vedle kalibrační zástavby, při vyndání zástavby z pouzdra ale hrozí nebezpečí vnějších vlivů. Například vylití kávy na zástavbu nepozorným personálem.



Obrázek 3.4: Zástavba pro kalibraci kamer vozu Enyaq iV v měřítku 1:10 – pohled shora



Obrázek 3.5: Zástavba pro kalibraci kamer vozu Enyaq iV v měřítku 1:10 – pohled zepředu

## 4 Realizace kalibrační zástavby

### 4.1 Tisk komponentů zástavby

Použitá FDM tiskárna, neumožňuje 3D tisk převisu větší než  $45^\circ$ , bez použití podpěr. Při tvoření komponentů zástavby bylo zajištěno, aby co nejvíce převisů dosahovalo daného limitu, dle požadavku na tisknutelnost (část 2.3). Příkladem je zkosení předního a zadního převisu modelu vozu Enyaq iV, lze vidět na výkresu 4.3. Kdyby byl model tisknut bez zkosení předního a zadního převisu, spotřeba materiálu by byla o několik stovek gramů vyšší. Přidaný materiál by nezlepšil žádným způsobem funkčnost celé kalibrační zástavby, jen by vylepšil její vzhled. Věrohodnost je jedním z cílů této práce, ale ne za cenu spotřebování velkého množství materiálu.

Je potřeba uvažovat s odchylkou 3D tisku, která je rovna detailu tisku. V modelu musíme rozšířit každý rozměr o danou odchylku. Pokud je požadována vůle, musí se tolerance ještě zvětšit, rozměry byly ještě jednou rozšířeny o detail tisku. Příkladem je zasazení kamery do držáku. Nelze vytvořit díru o přesných rozměrech kamery, uchycení by pak bylo až moc pevné a kamera by z držáku nešla vyjmout.

Nejdříve byly všechny komponenty umístěny do sestavy v Autodesk Inventor. Proběhla kontrola, jestli jsou všechna spojení proveditelná, a jestli je vůz opravdu umístěn přesně dle specifikací VAS 7210001 (část 1.4.1). Sestava byla předělána, s komentáři od kolegů na pracovišti, kteří jsou zkušenější v oblasti 3D modelování a technické praxe. Dále byla sestava předělána dle přání zákazníka.

Jako slicer (část 1.8.3) byl zvolen PrusaSlicer, který je přímo vytvořen pro širokou nabídku tiskáren od Prusa Research a. s. Detail tisku je pro menší komponenty 0,2 mm, pro komponenty tisknuté na části 0,3 mm, pro detaily na voze 0,15 mm. Pro všechny tisky byla použita tryska o průměru 0,4 mm. Použity byly filamenty Prusament PETG barev Jet Black, Ultramarine Blue Transparent, Carmine Red Transparent, Signal White a Urban Grey.

Mechanické části zástavby byly tisknuty v šedé, kalibrační pásy v kombinaci černé a bílé dle specifikace přípravku VAS 7210001 (část 1.4.1). Při tisku kalibračních pásů byla využita jednotka MMU2S. Model vozu byl tisknut v bílé barvě, stejně jako držáky pro kamery. Pro tisk předních světel, okenních panelů a loga firmy se využila modrá, pro zadní světla červená. Přední nárazník a kola byla tisknuta v kombinaci šedé a černé barvy.

Výplň mechanicky namáhaných částí tvoří 25 % a perimetry byly nastaveny na 5. Méně namáhané části mají výplň 15 % a 5 perimetrů. Všechny části modelu vozu Enyaq iV byly tisknuty za použití 15 % výplně a 3 perimetrů, kvůli nadměrné

spotřebě materiálu na voze, mimo to se nejedná o mechanicky namáhané části.

Tisk zástavby, krom modelu vozu, proběhl na dvou FDM tiskárnách Original Prusa i3 MK3S+, obě rozšířeny o jednotku MMU2S. Bylo tisknuto i přes noc, je sice spolehlivější tisknout jen přes den, ale to by podstatně prodloužilo časovou náročnost.

Tabulka 4.1: Tabulka spotřebovaného materiálu a délky tisku

Součástka	Čas [h]	Materiál [g]
Přední část vozu	27	624
Zadní část vozu	36	854
Střední část vozu	41	915
Propojovací prvky	8	85
Detaily na voze	10,2	139
Držáky pro kamery	3	50
Kalibrační pásy VAS 7210001	37,8	820
Úchyty použité v kalibrační zástavbě	29,2	315
Základní konstrukce pro kalibrační zástavbu	24,1	517
<b>Celkem</b>	<b>216,3</b>	<b>4319</b>

Důkladně se zkontrolovaly součástky, než se začalo tisknout, při nadměrné manuální úpravě komponentů by došlo ke zbytečné ztrátě času. Zástavba pro kalibraci kamer vozu Enyaq iV, bez vozu a držáků, s tiskem na dvou tiskárnách, by v ideálním případě měla zabrat 3 dny tisku, nakonec ale trvala déle.

V zástavbě jsou použity zápustné šrouby typu ISO 2009 a ISO 7046, o velikostech M3 a M5, ostatní šrouby jsou dle standardu ISO 4762, ISO 7045 a ISO 1207, velikostí M3, M4, M5 a M6. Zápustné vložky značky ruthex, byly zvoleny, protože lze stáhnout jejich 3D model a rovnou je v zástavbě umístit a zkontrolovat jejich zasazení do příslušné díry. Použité velikosti zahrnují M3 × 5.7, M4 × 8.1, M5 × 9.5 a M6 × 12.7. Matice odpovídají standardu ISO 4032, použita je jen velikost M4.

#### 4.1.1 Odkazování na přílohy na úložišti

Předtím, než se uvedou parametry kalibrační zástavby, rád bych zmínil, že se budu odkazovat na výkresy v přílohách pomocí závorek. Budu se odkazovat na jména .pdf souborů poskytnutých na úložišti. Strukturu úložiště lze nalézt v kapitole A.

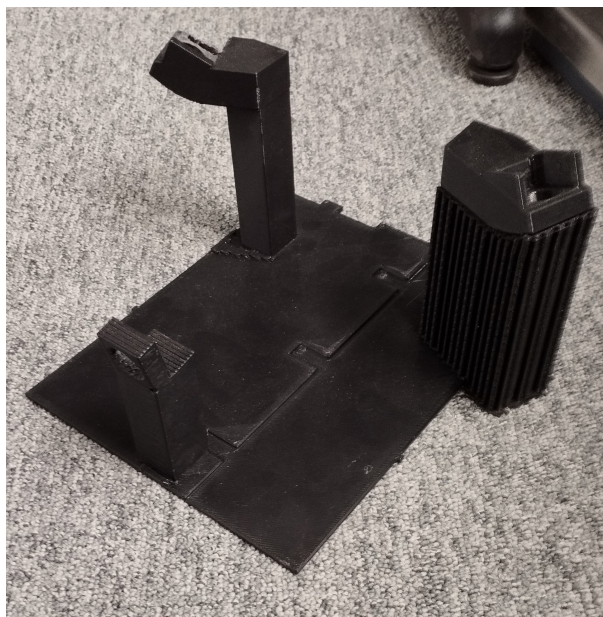
#### 4.1.2 Testovací model pro kalibraci kamer Enyaq iV

Testovací model je složen z desky se sloupy, na jednotlivých sloupech jsou umístěny držáky pro kamery. Deska se sloupy je rozdělena do 3 částí, držáky pro kamery tvoří samostatné části. Celkem je testovací model rozdělen na 7 částí. Rozdělení desky lze vidět na obrázku, je vyznačeno přerušovanou čarou 3.1.

Jelikož není výchozí pozice zrcátek na voze Enyaq iV rovnoběžná s přední nápravou, nezdařil se první výtisk. Mimo jiné nešlo zasunout kamery do držáků. Model



byl rozdělen jen na 3 části, kde byly držáky pevně připevněny ke sloupům, musel se tisknout celý znovu. Následující verze měla odnímatelné držáky pro kamery, jinak by model nemohl splnit požadavek na tisknutelnost (část 2.3).



Obrázek 4.1: První verze výtisku testovacího modelu pro kalibraci kamer Enyaq iV

Následující tisk s odnímatelnými držáky splnil odchylky požadované přesnosti (část 2.1) pro přední a zadní kameru. Boční kamery měly velké odchylky v  $xyz$  a  $ypr$ , kalibrace se nezdařila.

Další tisk se zaměřil na držáky pro boční kamery. Držáky byly modelovány dle odchylek kamer ve výpisu z kalibrace ODIS. Kalibrace se provedla, ale odchylky v  $ypr$  byly pořád velké, nad  $10^\circ$ , program ji tedy nevyhodnotil jako úspěšnou.

Další tisk zapracoval nové odchylky z ODIS. Požadovaná přesnost (část 2.1) ale nebyla splněna. Odchylky pro yaw a pitch byly již v rozmezí pro úspěšnou kalibraci, ale odchylka v roll byla pořád okolo  $10^\circ$ . Pomocí využití držáků s volným natočením roll byl dosažen výsledek, který byl blízko požadované přesnosti (část 2.1) odchylek.

K dalšímu zlepšení kalibračních odchylek došlo za využití volně polohovatelných držáků v kombinaci s odchylkami z ODIS. Změřily se pozice 3 krajních bodů na levém a pravém držáku v  $xyz$ . S pomocí těchto bodů byla vytvořena rovina v Autodesk Inventor, tím byl vyřešen pitch. Ostatní úhly a pozice byly upraveny o odchylky uvedené v ODIS. Odchylky kamer dosáhly při použití nových držáku pro boční kamery dostatečné přesnosti, aby byla kalibrace vyhodnocena v ODIS jako úspěšná. Nelze ale brát tuto část za hotovou, odchylky dané naším cílem práce, jsou podstatně menší.

Odchylky v rámci  $ypr$  byly již dostatečně přesné z předešlého kalibračního procesu, bylo potřeba doladit pozice  $xyz$  kamery. Využilo se jiných dat z výpisu z ODIS, které uvádějí aktuální pozici kamery. Když se k těmto datům přičtou odpovídající odchylky, dostane se žádaná pozice kamery. Cílem bylo, aby v Autodesk Inventor

byla vzdálenost kamery od referenčního bodu (střed zadní nápravy), v osách  $xyz$  stejná, jako uvádí ODIS, akorát v měřítku 1:10. Použitím tohoto postupu jsem vytiskl držáky, které splnily kalibrační odchylky dané požadavkem na přesnost (2.1).

Výkres testovacího modelu pro kalibraci kamer Enyaq iV lze nalézt v příloze A.1.



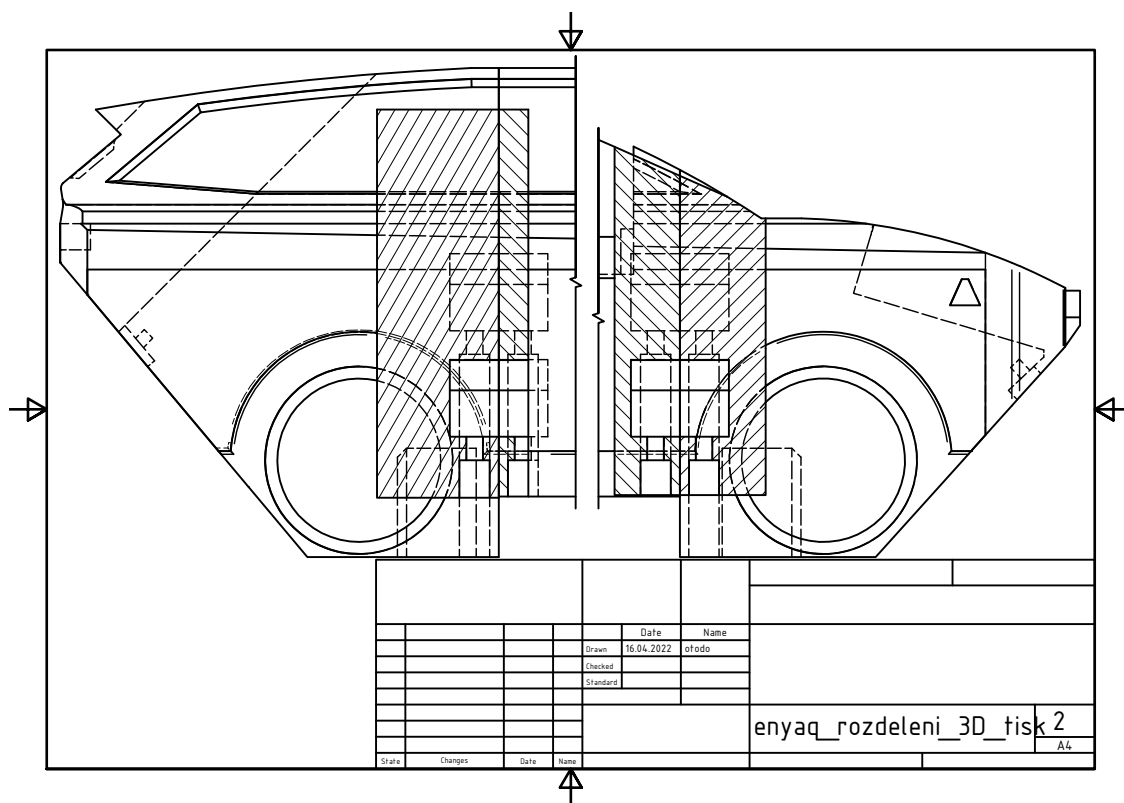
Obrázek 4.2: Testovací zástavba pro kalibraci kamer Enyaq iV – pohled shora

### 4.1.3 Model vozu se zástavbovými parametry Enyaq iV

Model vozu v měřítku 1:10, jehož nejdelší strana má 458 mm, musí být pro tisk rozdělen alespoň do třech částí, kvůli omezení tiskové plochy použité FDM tiskárny. Části jsou propojeny pomocí spojovacího prvku (příloha vykresy/propojovací\_prvek.pdf). Tvar spojovacího prvku je uzpůsoben tak, aby šlo odpovídající díru tisknout bez podpěr. Rozdělení modelu vozu na více částí by zvýšilo náročnost spojení jednotlivých částí modelu a náročnost samotného tisku, mimo to by došlo i k větší spotřebě času.

Spojení na voze probíhá následovně, do díry na jedné části vozu je zasunuta první polovina spojovacího prvku, do druhé díry v druhé části vozu je zasunuta druhá polovina spojovacího prvku. Ve spojovacím prvku jsou umístěny závitové vložky M5. Na dolní straně obou částí vozu jsou zápusťné díry pro šrouby M5, které se přišroubují do závitových vložek. Tím se prvek pevně spojí s příslušnými částmi vozu. Rozebíratelnost spojení zvyšuje opravitelnost (část 2.8) vozu. V každé části vozu jsou čtyři díry, celkem je potřeba vytisknout osm spojovacích prvků. Rozdělení lze vidět na výkresu 4.3.

Přítomnost detailů zvyšuje věrohodnost vozu (2.6). Mezi ně se řadí přední a zadní světla, přední, zadní a boční skla, kola a přední nárazník. Tyto detaily byly namodelovány za využití metody odměření z fotografií z infografiky s rozměry Enyaq iV [43] a přepočítány na měřítko 1:10.



Obrázek 4.3: Spojení částí modelu vozu Enyaq iV – řez

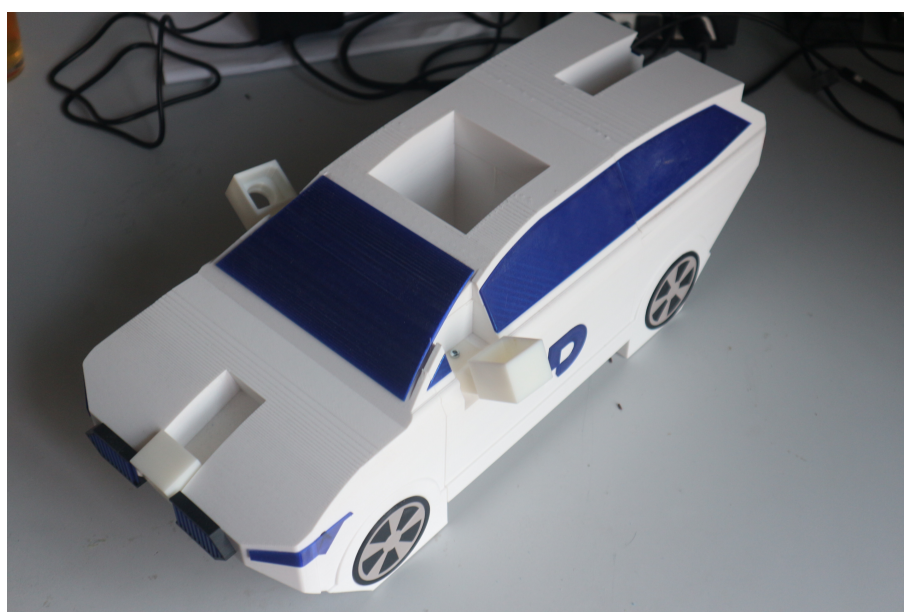
### Přizpůsobení úchytů pro kamery modelu vozu

Přední a zadní držáky pro kamery se přišroubují pomocí šroubů M3 do závitových vložek ve zkosených plochách vozu (přední a zadní převis). V modelu vozu je „výkus“ ve tvaru kvádrů. Tento „výkus“ je ve stejném úhlu otočení pitch, jako držák pro kameru, dostatečná hloubka tvaru zajišťuje, že se kabel vedoucí ke kameře časem nepoškodí. Držáky pro kamery mají zablokovány všechny stupně volnosti po-

mocí šroubových spojení. Boční držáky pro kamery mají navíc zablokovanou rotaci pomocí „výkusu“, přesně kopírujícího šířku držáku pro kameru v části, kde je uchyten.

V dolní ploše jsou čtvercové díry, které pevně umístí model vozu v rámci zástavby (viz obr. 3.5). Princip umístění je následující, ve středu zástavby jsou dva trny, každý trn má dvě různé šířky. Horní část trnu se nasune do děr ve voze, na dolní část přiléhá dolní plocha vozu. Díry kopírují vrchní část trnů, ale jsou hlubší, při tisku bez podpěr dojde k propadu podlahy díry. Vůz se nasune na trny, jejich pozice pevně umístí model vozu v rámci kalibrační zástavby, přesně dle specifikací přípravku VAS 7210001.

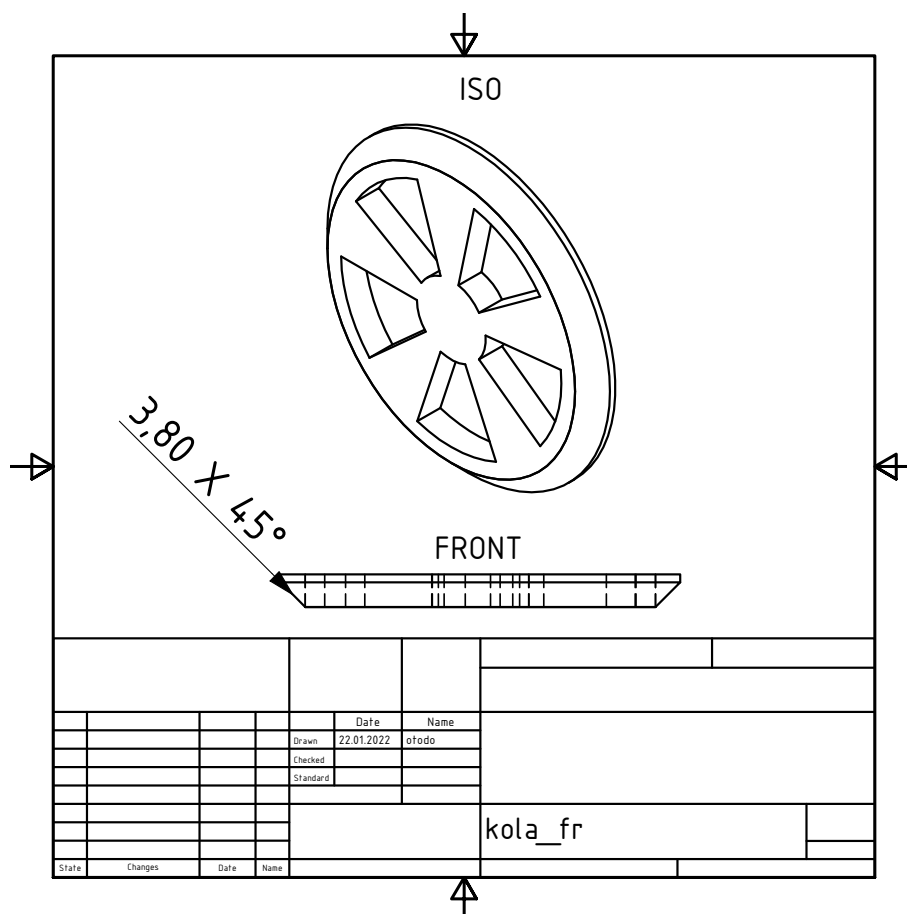
### Tisk modelu vozu a detailů



Obrázek 4.4: 3D vytištěný model vozu se zástavbovými parametry Enyaq iV se všemi doplňky

Pro lepší tisknutelnost se použilo zkosení pro místa, kde jsou detaily. Odstraní se tak převisy, které by měly vliv na tisknutelnost modelu vozu. Detaily jsou také zkoseny, první vrstva je ale vždy rovná, jinak by se detaily nevytiskly. 3D vytištěné detaily byly na model vozu přilepeny vteřinovým lepidlem Kores Power Glue, zde není potřeba, aby bylo spojení rozebíratelné.

Tisk vozu bez přídatných prvků spotřebuje 2,4 kg materiálu, délka tisku činí 104 hodin. Pořadí tisku bylo následující. Nejdříve se tiskly části vozu, spojovací prvky, držáky pro kamery. S těmito komponenty lze splnit požadovanou přesnost (část 2.1) a opakovatelnost (část 2.2) zástavby. Poté se tiskly detaily, které splní požadavek na věrohodnost (část 2.6) zástavby. Celková spotřeba materiálu vozu a všech přídatných prvků byla skoro 2,7 kg a délka tisku 125 hodin.



Obrázek 4.5: Příklad zkosení detailu – kola vozu

#### 4.1.4 Zástavba pro kalibraci kamer vozu Enyaq iV

##### Základní konstrukce pro kalibrační zástavbu

U základní konstrukce musí být každá tisknutá lišta rozdělena alespoň do dvou částí, kvůli maximálnímu tiskovému prostoru použité FDM 3D tiskárny. Bylo zvoleno rozdělení do třech částí, pro lepší opravitelnost (část 2.8).

Boční lišty (příloha vykresy/bocni\_lista.pdf) na levé a pravé straně zástavby, jsou prvkově nejjednodušší, obsahují pouze dvě díry na zápustné vložky M3, které upevní lineární vodící lišty a jednu díru pro zápustný šroub M5. Spojení částí lišty probíhá pomocí rozšíření na bočních stranách lišty, na jedné straně je šroub M4 a na druhé straně matice zapuštěná do odpovídající díry. Nevyužilo se spojení pomocí zápustných vložek, v sestavě jich je již mnoho. Spojení je stále pevné, nedojde k tomu, že by se jednotlivé části pohybovaly nezávisle na sobě.

Střední lišta ve směru osy  $x$  (příloha vykresy/X\_lista\_stred.pdf) obsahuje oproti boční liště navíc dva trny, každý trn má větší a menší rozměr. Tyto trny slouží právě pro ukotvení modelu vozu v rámci zástavby. Trny jsou využity i jako spojovací prvek lišty. Princip je podobný, akorát dochází k spojení pomocí šroubu a závitové vložky

uvnitř trnu.

Střední lišta ve směru osy  $y$  (příloha vykresy/Y\_lista\_stred.pdf) obsahuje tři díry pro závitové vložky M5. Pomocí těchto závitových vložek a šroubů M5 se spojí jednotlivé lišty. Osm děr pro závitové vložky velikosti M3 slouží k přišroubování úchytů pro krokové motory.

## Komponenty zajišťující pohyblivost kalibračních pásů

Elektronické komponenty, šrouby, a jiné komponenty, vybrali kolegové na pracovišti. Projekt již probíhal, výběr součástek tedy nebyl prací ovlivněn.

Detail na systém pohyblivosti lze nalézt na výkresu 4.6.

Úchyt pro krokový motor (příloha vykresy/uchyt\_krok\_motor.pdf) je modelován dle rozměrů uvedených v katalogovém listu krokového motoru ROB-09238 [37]. Spojení krokového motoru a úchytu je řešeno pomocí čtyř šroubů M3, které se zašroubují do čtyřech závitů M3 na přední straně motoru. Se střední lištou ve směru osy  $y$  je krokový motor spojen pomocí čtyř zápusťných šroubů M3. Přední strana úchytu má ve středu díru, kvůli volnému otáčení rotoru.

Pohyb kalibračního pásu VAS 7210001 a řemene GT2 (šířka 6 mm) naráz [39], je zajištěn pomocí několika komponentů. Řemenice GT2 (16 zubů, vnitřní průměr 5 mm) je nasunuta na rotor krokového motoru [38]. Kladka je pevně ukotvena pomocí úchytu. Mezi nimi se pohybuje řemen, uchycen pomocí úchytu pro řemen ke kalibračnímu pásu VAS 7210001. Tento systém pohyblivosti je inspirován použitou FDM 3D tiskárnou.

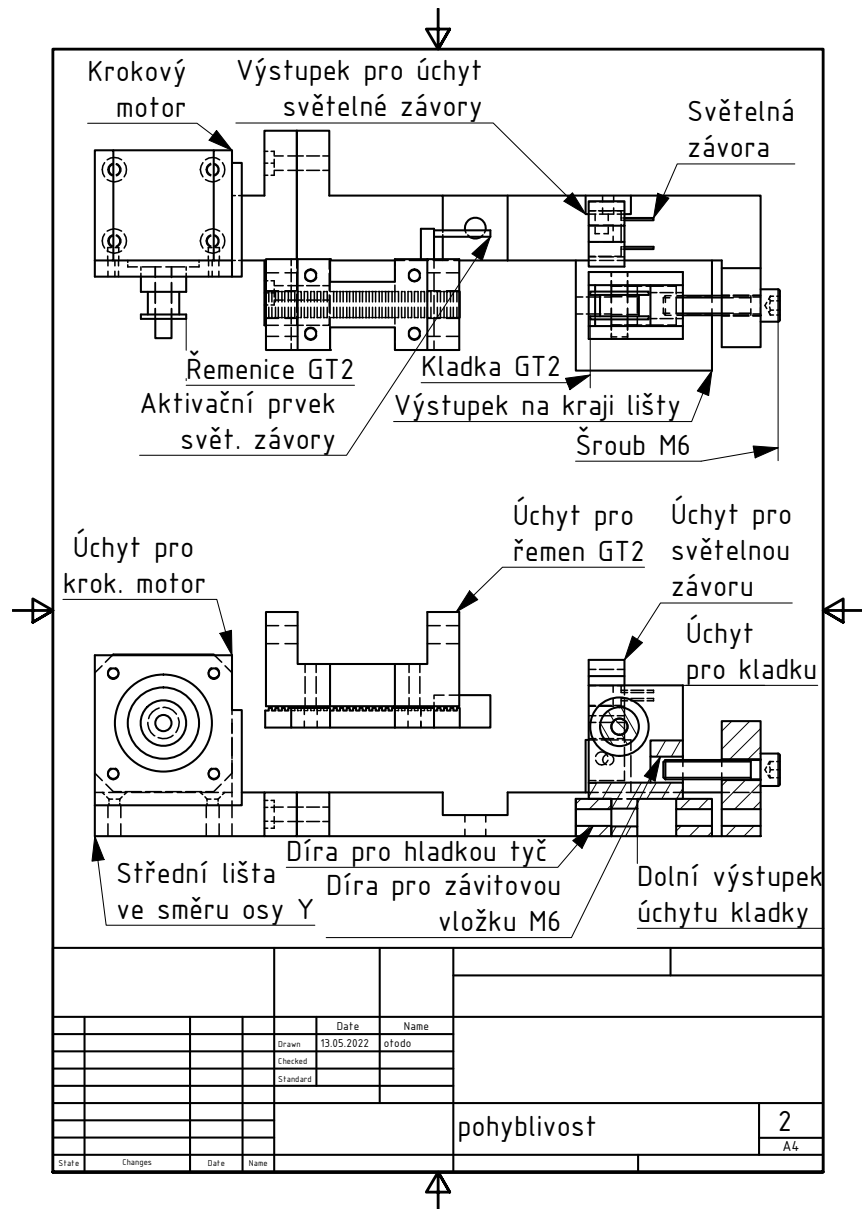
Hladká kladka GT2 [40] je v zástavbě ukotvena pomocí úchytu pro kladku (příloha vykresy/kladka\_uchyt.pdf). Úchyt má tvar U profilu, skrze díry na bočních stranách vede hladká tyč o průměru 5 mm, která umístí kladku v prostoru. Tím je zajištěno, že se kladka otáčí pouze kolem své vlastní osy. Nebyl nalezen katalogový list pro tuto kladku, potřebné rozměry byly změřeny s pomocí digitálního posuvného měřítka EXTOL PREMIUM 8825220.

Pohyb kalibračních pásů VAS 7210001 a řemene GT2 současně, umožňuje úchyt pro řemen (přílohy vykresy/remenice\_horni.pdf a vykresy/remenice\_dolni.pdf). Obě části úchytu pro řemen kopírují profil řemene GT2, mezi ně se vloží konce řemene. Šrouby M3 se poté zašroubují z dolní části řemenice do závitových vložek M3 v horní části řemenice. Tlak vytvořen šrouby pevně zmačká konce řemene mezi částmi řemenice, dochází k spojení řemene s úchytem pro řemen. S kalibračním pásem VAS 7210001 je pak úchyt pro řemen propojen pomocí čtyř šroubů M4, které vedou z bočního rozšíření pásu do horní části úchytu pro řemen.

Z dolní části úchytu pro řemen vede aktivační prvek pro optickou závoru, s dostatečnými rozměry pro přerušení paprsku závoře. Prvek plně přerušuje celou výšku mezery v optické závoře. Aktivační prvek je v šířce o trochu menší než mezera v optické závoře, Tím zajistíme, že při malém vychýlení řemene z předpokládané pozice, by prvek stále vjel do mezery v optické závoře a přerušil paprsek.

Úchyt pro optickou závoru (příloha vykresy/uchyt\_svet\_zavora.pdf) odpovídá rozměrům v katalogovém listu [41]. Je přišroubován k liště šroubem M3, vedoucím z výstupku, do úchytu pro optickou závoru. Jsou zablokovány všechny stupně

volnosti. Úchyt je v zástavbě umístěn tak, aby byla vzdálenost světelné závory od krokového motoru přesně 40 mm. Vzdálenost je dána specifikací VAS 7210001, uvedené v části 1.4.1 a 10 mm přesahu, vyžadovaného zákazníkem. Úchyt pro řemen se zastaví, jakmile se aktivuje závora, a nepřekročí se limit 280 mm rozchodu kalibračních pásů.



Obrázek 4.6: Detail na systém pohyblivosti kalibračních pásů VAS 7210001 s popisem komponentů



## System pro natažení řemene GT2

Do výstupku na kraji střední lišty ve směru  $y$  se do obdélníkové díry umístí dolní výstupek úchytu kladky GT2. Úchyt pro kladku se pohybuje po celé délce díry. Pohyb je zablokován jen na pohyb v ose  $y$ . Skrze výstupek lišty a zároveň dolní část úchytu pro kladku prochází kus hladké tyče, který zabraňuje jiným směřům pohybu. Kladka, potažmo její úchyt, se pohybují pomocí utahování šroubu M6, který je umístěn na úplném kraji zástavby. Šroub se šroubuje do závitové vložky v úchytu pro kladku o velikosti M6. Jeho utahováním se oddaluje kladka od motoru, tím se natahuje řemen.

## Kalibrační pásy dle specifikace VAS 7210001

Kalibrační pás VAS 7210001 dosahuje délky 800 mm, při rozdělení do dvou částí by mohlo dojít k malému naklonění pitch na koncích pásů. Pás tedy musí být podepřen v horní a dolní části zástavby ve směru osy  $x$ , ale toto podepření nebude blokovat pohyblivost kalibračního pásu VAS 7210001. Pás je tímto rozdělen do 4 částí. Problém byl vyřešen za použití lineárních vodicích lišt Machfit s vozíkem MGN12 [42]. Na každém vozíku s ložisky je umístěn úchyt pro vozík, který spojuje vozík s ložisky a kalibrační pás VAS 7210001. Vozík se může volně pohybovat na lineární vodicí liště. Pohyblivost pásu pomocí řemene GT2 tedy není omezoována.

Úchyt pro vozík (příloha vykresy/uchyt\_vozik.pdf) je spojen pomocí šroubů M3 se závitů ve vozíku. Kalibrační pás VAS7210001 se s vozíkem propojí pomocí šroubů, vedených z boční strany kalibračního pásu, do závitových vložek M4 v horní části úchytu pro vozík. Mimo funkce spojení kalibračních pásů s vozíkem na lineární vodicí liště, poslouží úchyt pro vozík také jako spojovací prvek pro části kalibračního pásu VAS 7210001.

Kalibrační pás VAS 7210001 odpovídá specifikaci přípravku VAS 7210001, v měřítku 1:10. Kalibrační pás je navrhnut v U profilu, jeho výška a počet perimetrů byly zvoleny tak, aby se předešlo prasknutí okraje pásu. Pro jistotu pevného spoje mezi částmi pásu bylo přidáno rozšíření v částech, kde se pás rozděluje. Lze ho využít pro šroubové spojení.

Rozdělení kalibračního pásu na části proběhlo vždy v ose symetrie dvojic děr, rozmístěných na pásu třikrát. Každý pás byl rozdělen na čtyři části. U levého a pravého pásu (přílohy vykresy/Pas\_VAS7210001\_levy.pdf a vykresy/Pas\_VAS7210001\_pravy.pdf) jsou díry zrcadlově vůči střední rovině pásu ve směru osy  $y$ . Důvod je prostý, opačná pozice krokových motorů v zástavbě byla řešena pomocí otočení levé strany o  $180^\circ$  po středové ose. Motor je otočen, ale s ním je otočena i pozice řemene.

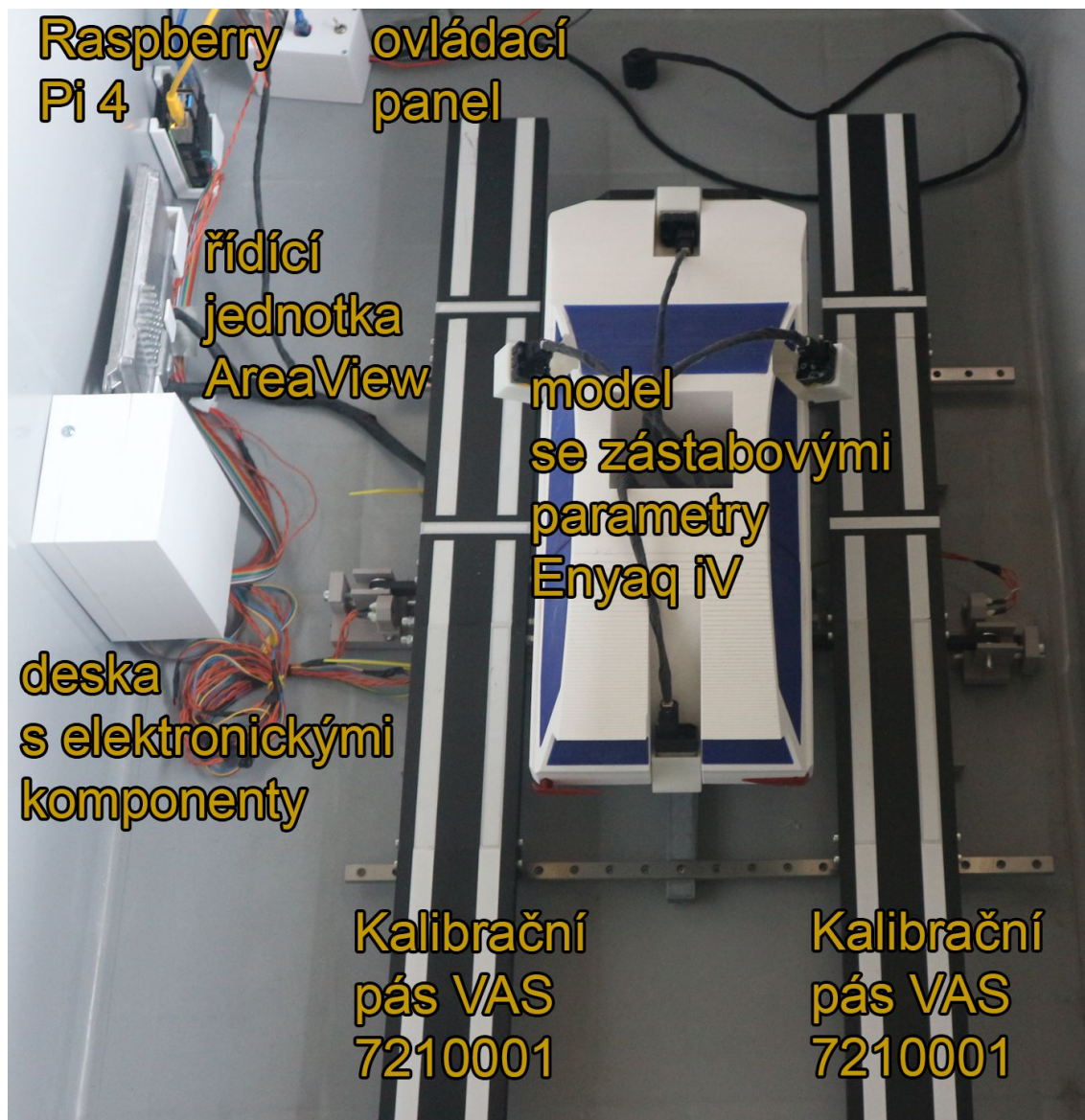
## 4.2 Sestavení kalibrační zástavby

Tisk kalibrační zástavby nakonec trval déle, než bylo očekáváno. Nepovedly se celkem dva výtisky vozu, kvůli nesprávnému přivedení filamentu do extrudéru. Musela se jednou přetisknout střední lišta ve směru osy  $X$ , kvůli nesprávnému umístění

dě. Celkem se tiskový čas prodloužil zhruba o 4 dny.

Střední část vozu se tiskla na dvě části, v prvním výtisku se vytisklo zhruba 80 % součástky, dalších 20 % se dotisklo zvlášť a přilepilo na horní stranu výtisku.

Po sestavení kalibrační zástavby a umístění vozu se ještě jednou přetiskly držáky pro kamery, jelikož došlo k vychýlení odchylek kamer mimo rozmezí požadavku na přesnost (část 2.1). V tomto bodě jsem využil data pozic a natočení z ODIS. Zaměřil jsem se na to, aby se vzdálenosti mezi držáky pro kamery shodovaly. Úhly natočení jsem ponechal, jak jsou, jelikož odchylky v požadované přesnosti se vyskytovaly jen v rámci pozic  $xyz$ . Dostal jsem výsledek, který si udržuje požadovanou přesnost i opakovatelnost. Kalibrační zástavbu v měřítku 1:10 (obrázek 4.7) pro vůz Enyaq iV lze považovat za hotovou.



Obrázek 4.7: Sestavená zástavba pro kalibraci kamer vozu Enyaq iV s popisem komponentů

## 5 Vyhodnocení řešení

### 5.1 Testovací model pro kalibraci kamer Enyaq iV

Pro návrh testovacího modelu v Autodesk Inventor byl použit formát součástky, místo formátu sestavy. Tím se při úpravě držáků pro kamery musely předělávat extruze v modelu. Jelikož byly extruze na sobě závislé, došlo k vzniku mnoha chyb v modelu. Posun v osách  $xyz$  probíhal bezproblémově, protože šlo jen o prostý posun díry na spojení se sloupem v opačném směru, ale natočení v  $ypr$  ve formátu součástky nebylo zdaleka tak jednoduché. Po předělání na formát sestavy se podstatně zlehčily úpravy modelu a zmenšila se časová náročnost.

U bočních držáků se postupně přidávaly různé ukazatele pozice kamery, místo kombinace vícero. Tím se zvýšila spotřeba materiálu a času. Lepším postupem by bylo porovnat několik zdrojů dat hned při prvním návrhu, jako např. data odchylek a pozic kamer z ODIS, měření kamer na voze aj. Poté jejich sloučením navrhnout model, který je schopen dosáhnout odchylek, které ODIS považuje za úspěšné. Při prvním výtisku měla být zvolena možnost odnímatelných držáků, došlo ke zbytečné spotřebě materiálu.

### 5.2 Model vozu se zástavbovými parametry Enyaq iV

Modelování vozu a držáků naráz nebyl dobrý nápad. Došlo k podstatnému zvětšení úprav, například odebrání většiny detailů na voze v rámci splnění požadavku tisknutelnosti (část 2.3). Model vozu, ačkoliv má stejné zástavbové parametry, spíše připomíná Enyaq iV jen na „první pohled“, než aby se dal považovat za jeho zmenšeninu, stále je ale splněn požadavek na věrohodnost (část 2.6).

V rámci vzhledového zlepšení vozu mohou být přidány další detaily, jako třeba chromové lišty. Mohly by se přidat i interaktivní prvky. Například zadní a přední světla, tisknuty s pomocí transparentního materiálu, by mohly mít zakomponovány malé LED diody, s použitím difuzéru, by došlo k reálnému efektu světla, jako na Enyaq iV. Problémem je investovaný čas, musel by se upravovat již vytvořený a rozdělený model, mohlo by dojít ke změně rozměrů a rozdělení na části. Model by se musel přizpůsobit nově vzniklým dířům pro vedení vodičů k LED diodě.

Určitě by šlo použít model zakoupený z internetu, dosáhli bychom větší věrohodnosti. Z pohledu práce bylo ale jednodušší začít modelovat od začátku, tento názor byl i potvrzen spolupracovníky ve firmě. Navíc, když se model vytváří od začátku, lze rozměry později i upravovat. Z internetu by pravděpodobně byl získán model,

jehož rozměry nelze upravovat, lze pouze upravovat model jako celek, s využitím extruzí.

### 5.3 Zástavba pro kalibraci kamer vozu Enyaq iV

S procesem návrhu zástavby v programu Autodesk Inventor bylo vše v pořádku, již byl použit soubor typu sestava, došlo k podstatnému ulehčení úprav kalibrační zástavby.

Při procesu realizace zástavby ale došlo k několika problémům. Části základní konstrukce byly neopatrně sejmuty z tiskového plátu, plast se konvexně prohнул o pár stupňů, ani zatížení na krajích zástavby nejsou schopna plně vyrovnat prohnutí. Funkčnost kalibrační zástavby ale není ovlivněna, vzniklé změny v odchylkách kamer oproti testovacímu modelu byly kompenzovány.

Systém natažení řemene funguje velice dobře, když je řemen přitahován směrem ven ze zástavby, v opačném směru je však pohyb méně plynulý. Řemen se ale bude natahovat zřídka.

Odchyly, které se vyskytují v zástavbě, jsou dostatečně malé. Náklon středu kalibračního pásu oproti jeho krajům je do půl stupně. Nejmenší rozměr mezi pásy by měl být 200 mm a činí 199,75 mm. V měřítku 1:1 by se jednalo o rozdíl 2,5 mm od požadované polohy, když uvažujeme velikost vozu a přípravku, lze odchylku zanedbat.

Průměrné odchylky z pěti kalibrací systému AreaView, při využití této kalibrační zástavby v měřítku 1:10, včetně kalibračních pásů VAS 7210001, splňují rozmezí určené v požadavcích práce pro přesnost (část 2.1) a opakovatelnost (část 2.2). Hodnoty, které jsou v reálném měřítku, jsou přepsané z kalibračních výpisů ODIS do tabulky, pro lepší přehlednost. Největší odchylka se vyskytuje ve výšce zadní kamery, ale odchylky v pozici kamer se v měřítku 1:10 pohybují od desetin do jednotek milimetrů. Maximální natočení kamer je okolo dvou stupňů. Nulové hodnoty pro přední a zadní kameru, v osách  $x$  a  $y$ , plynou z toho, že se dle jejich pozice odvíjí odchylky souřadnic  $x$  a  $y$  pro boční kamery.

Tabulka 5.1: Tabulka odchylek u kalibrační zástavby během 5 kalibrací systému AreaView

<i>Levá kamera</i>						
Číslo kalibrace	1	2	3	4	5	Průměr hodnot
$y$ [°]	-1,96	-1,92	-1,93	-2,1	-2,08	<b>-2,00</b>
$p$ [°]	0,7	0,67	0,65	0,9	0,85	<b>0,75</b>
$r$ [°]	0,63	0,66	0,66	0,49	0,52	<b>0,59</b>
$x$ [mm]	14	13	13	12	12	<b>12,8</b>
$y$ [mm]	9	9	8	11	11	<b>9,6</b>
$z$ [mm]	20	20	19	22	21	<b>20,4</b>
<i>Pravá kamera</i>						
Číslo kalibrace	1	2	3	4	5	Průměr hodnot
$y$ [°]	-2,07	-2,09	-2,13	-2,13	-2,15	<b>-2,11</b>
$p$ [°]	-0,57	-0,81	-0,18	-0,44	-0,43	<b>-0,49</b>
$r$ [°]	-1,15	-1,2	-1,18	-1,19	-1,21	<b>-1,19</b>
$x$ [mm]	-15	-15	-14	-13	-13	<b>-14</b>
$y$ [mm]	-7	-3	-12	-8	-8	<b>-7,6</b>
$z$ [mm]	17	14	23	19	19	<b>18,4</b>
<i>Zadní kamera</i>						
Číslo kalibrace	1	2	3	4	5	Průměr hodnot
$y$ [°]	-0,03	-0,01	-0,05	-0,04	-0,05	<b>-0,04</b>
$p$ [°]	-0,03	-0,04	-0,04	-0,05	-0,04	<b>-0,04</b>
$r$ [°]	-0,61	-0,6	-0,62	-0,61	-0,61	<b>-0,61</b>
$x$ [mm]	0	0	0	0	0	
$y$ [mm]	0	0	0	0	0	
$z$ [mm]	33	34	32	32	32	<b>32,6</b>
<i>Přední kamera</i>						
Číslo kalibrace	1	2	3	4	5	Průměr hodnot
$y$ [°]	-0,47	-0,47	-0,56	-0,55	-0,57	<b>-0,52</b>
$p$ [°]	0,08	0,08	0,01	0	0	<b>0,03</b>
$r$ [°]	-1,62	-1,62	-1,61	-1,62	-1,62	<b>-1,62</b>
$x$ [mm]	0	0	0	0	0	
$y$ [mm]	0	0	0	0	0	
$z$ [mm]	21	21	22	21	21	<b>21,2</b>

## Závěr

Cílem práce bylo navrhnout a realizovat systém automatické kalibrace na 3D modelu za dodržení zástavbových parametrů v měřítku 1:10 pro model Enyaq iV.

V rešerši byla uvedena zástavba kamerových senzorů na voze Enyaq iV, včetně souřadného systému *ypr*, v němž jsou uvedeny odchylky natočení kamer v softwaru ODIS. ODIS zajišťuje kompletní autodiagnostiku vozů koncernu Volkswagen. Přiblíženy byly systémy AreaView a RearView, které zmíněné kamery využívají. Také jejich přípravky pro kalibraci, VAS 7210001 a VAS 6350A. Byl vysvětlen způsob testování v průmyslu Hardware in the Loop (HiL), jenž byl dále využit při kalibraci kamer. Specifikace přípravku VAS 7210001 byly využity při návrhu kalibrační zástavby.

Dále práce přiblížila základní principy aditivní výroby, která spočívá v nanášení vrstev na sebe, specificky se zaměřila na 3D tisk technologií FDM. Jako program na vytvoření souboru \*.gcode, byl zvolen PrusaSlicer. Ten zajišťuje pozici tiskové hlavy v prostoru, a umožňuje uživateli měnit parametry tisku. PrusaSlicer je totiž proprietárním softwarem k FDM 3D tiskárně Prusa MK3S+, která byla zvolena pro výtisk všech komponentů. Jako materiál byl zvolen Prusament PETG, díky své dobré pevnosti a houževnatosti.

Návrh řešení obsahoval několik možností, jak vytvořit komponenty zástavby. Zvolená cesta obsahovala vytvoření testovacího modelu pro kalibraci kamer Enyaq iV, který dosáhl dostatečné přesnosti (část 2.1) a opakovatelnosti (část 2.2) odchylek kamer pro kalibrační proces systému AreaView s přípravkem VAS 7210001. Poté byl navrhnout model vozu se stejnými zástavbovými parametry jako Enyaq iV, který byl přizpůsoben pro malou spotřebu materiálu (část 2.3). Na model se mohou přišroubovat držáky pro kamery z testovacího modelu. Dále byly navrženy kalibrační pásy dle specifikace VAS 7210001, jejichž lineární pohyb je zaručen za pomoci využití systému velice podobného, jako používá FDM 3D tiskárna pro svůj lineární pohyb v ose  $x$  a  $y$ . Pohyb kalibračních pásů způsobuje řemen pohybující se mezi kladkou a řemenicí, která je umístěna na rotoru krokového motoru. Celá zástavba je umístěna v pouzdře, lze ji vyjmout, tím je splněn požadavek na opravitelnost zástavby (část 2.8) i její mobilitu (část 2.7).

Po sestavení kalibrační zástavby nastaly problémy s přesností odchylek při kalibraci kamer, držáky pro kamery byly ještě upraveny pro dosažení přesnosti požadované zákazníkem.

Všechny cíle práce byly splněny, zástavba byla otestována v pěti kalibracích.

## Literatura

- [1] *PLATFORMA* [online]. AAA Auto [cit. 2022-04-10]. Dostupné z: <https://www.aaaauto.cz/slovník/39639/platforma.html>
- [2] BUREŠ, David. *Tajemství platformy MEB: Škoda odhaluje detaily techniky pro elektromobily* [online]. Auto.cz, 2020 [cit. 2021-12-29]. Dostupné z: <https://auto.cz/tajemstvi-platformy-meb-skoda-odhaluje-detaily-techniky-pro-elektromobily-136345>
- [3] *What is a car infotainment system?* [online]. Cazoo [cit. 2021-10-31]. Dostupné z: <https://www.cazoo.co.uk/the-view/buying/what-is-a-car-infotainment-system/>
- [4] *SEZNAMTE SE S MEB, ZÁKLADEM MODELU ENYAQ iV* [online]. ŠKODA Storyboard, 2020 [cit. 2021-12-29]. Dostupné z: <https://www.skoda-storyboard.com/cs/modely-cs/enyaq-cs/seznamte-se-s-meb-zakladem-modelu-nyaq-iv/>
- [5] *Katalog vozu ŠKODA Enyaq iV* [online]. Škoda, 2020 [cit. 2021-11-14]. Dostupné z: [https://www.skoda-auto.cz/\\_doc/36507de5-aba6-46d0-a9f4-134e8f45ed56](https://www.skoda-auto.cz/_doc/36507de5-aba6-46d0-a9f4-134e8f45ed56)
- [6] *Adaptive Cruise Control (ACC)* [online]. Volkswagen [cit. 2021-11-07]. Dostupné z: <https://www.volkswagen-newsroom.com/en/adaptive-cruise-control-acc-3664>
- [7] REIF, Konrad. *Automotive Mechatronics: Automotive Networking, Driving Stability Systems, Electronics. 2*. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2015. ISBN 978-3-658-03975-2.
- [8] *What Is an Electronic Control Unit?* [online]. Aptiv, 2020 [cit. 2022-04-14]. Dostupné z: <https://www.aptiv.com/en/insights/article/what-is-an-electronic-control-unit>
- [9] REIF, Konrad. *Brakes, Brake Control and Driver Assistance Systems: Function, Regulation and Components*. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2014. ISBN 978-3-658-03977-6.
- [10] REIF, Konrad. *Fundamentals of Automotive and Engine Technology: Standard Drives, Hybrid Drives, Brakes, Safety Systems*. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2014. ISBN 978-3-658-03972-1.



- [11] *ULTRASOUND-BASED PARKING AID - PARK DISTANCE CONTROL (PDC)* [online]. HELLA TECH WORLD [cit. 2022-02-27]. Dostupné z: <https://www.hella.com/techworld/uk/Technical/Car-electronics-and-electrics/Ultrasound-based-parking-aid-park-distance-control-PDC-56199/>
- [12] *Systém „Night Vision“* [online]. Volkswagen [cit. 2022-02-27]. Dostupné z: <https://www.volkswagen.cz/modely/touareg/touareg/system-night-vision>
- [13] Blind Spot Monitor | Knowing Your VW. In: *Youtube* [online]. 2017 [cit. 2021-12-29]. Dostupné z: [https://www.youtube.com/watch?v=vH77nEQM\\_Nw&feature=emb\\_title](https://www.youtube.com/watch?v=vH77nEQM_Nw&feature=emb_title). Kanál uživatele Volkswagen USA.
- [14] *Small helpers with big effects – Part 2: Seeing all around the car and manoeuvring safely with Area View and Rear View* [online]. Volkswagen, 2018 [cit. 2021-12-29]. Dostupné z: <https://volkswagen-newsroom.com/en/press-releases/article-series-small-helpers-with-big-effects-part-2-seeing-all-around-the-car-and-manoeuving-safely-with-area-view-and-rear-view-462>
- [15] VW How To - Area View System Calibration - Passat 2015. In: *Youtube* [online]. 2020 [cit. 2021-12-29]. Dostupné z: [https://www.youtube.com/watch?v=KLLVRq\\_ANwM](https://www.youtube.com/watch?v=KLLVRq_ANwM). Kanál uživatele Abbott Automotive.
- [16] *ODIS Diagnostic Software V4.3.3 (Digital Download)* [online]. [cit. 2021-10-31]. Dostupné z: <https://www.obdinnovations.com/odis-diagnostic-software-v4-3-3-digital-download>
- [17] ENYAQ iV :OPTION CAMERA VISION 360. In: *Youtube* [online]. 2021 [cit. 2021-12-29]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=h35379CnVFE>. Kanál uživatele CCS et kilowatts.
- [18] *Aircraft Rotations: Body Axes* [online]. NASA, 2021 [cit. 2022-04-12]. Dostupné z: <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/rotations.html>
- [19] *Assistance Systems: RearView* [online]. Volkswagen [cit. 2021-10-31]. Dostupné z: <https://www.volkswagen-newsroom.com/en/rear-view-3935>
- [20] Audi A6 4G Rear View ( Backup ) camera retrofit, one day installation. Camera calibration. In: *Youtube* [online]. 2019 [cit. 2021-12-29]. Dostupné z: <https://youtu.be/emOEY7kwCl8?t=3443>. Kanál uživatele Gino Pasquale.
- [21] Kalibrace couvací kamery KA2 ("DIY" VAS 6350). In: *Youtube* [online]. 2018 [cit. 2021-12-29]. Dostupné z: <https://youtu.be/5DOYHS5AjNA?t=29>. Kanál uživatele Miroslav Koplák.
- [22] VOJÁČEK, Antonín. *HiL vs. SiL aneb testování software* [online]. Praha: vyvoj.hw.cz, 2021 [cit. 2022-04-12]. Dostupné z: <https://vyvoj.hw.cz/hil-vs-sil-aneb-testovani-softwaru.html>

- [23] ISO/ASTM 52900. *Additive manufacturing: General principles, Terminology*. 1. ISO/ASTM International, 2015.
- [24] *Aditivní výroba* [online]. sharplayers [cit. 2022-04-11]. Dostupné z: <https://sharplayers.cz/support/aditivni-vyroba/>
- [25] *MakerBot: Thingiverse* [online]. [cit. 2022-04-11]. Dostupné z: <https://www.thingiverse.com>
- [26] *Printables: by Josef Prusa* [online]. [cit. 2022-04-11]. Dostupné z: <https://www.printables.com/cs>
- [27] *STL soubory* [online]. PART2PRINT, 2021 [cit. 2022-04-11]. Dostupné z: <https://part2print.cz/dokumenty/stl-files/>
- [28] *3D tiskárna Original Prusa i3 MK3S+* [online]. Prusa Research [cit. 2021-12-14]. Dostupné z: <https://www.prusa3d.com/cs/produkt/3d-tiskarna-original-prusa-i3-mk3s-3/>
- [29] *Typy 3D tiskáren* [online]. Praha: Makers Lab, 2016 [cit. 2022-05-05]. Dostupné z: <https://makerslab.cz/typy-3d-tiskaren/>
- [30] CAROLO, Lucas. *WHAT IS A 3D SLICER?* [online]. All3DP, 2020 [cit. 2022-02-13]. Dostupné z: <https://all3dp.com/2/what-is-a-3d-slicer-simply-explained/>
- [31] KARBON, Dan a Tom HERR. *What is G-Code? What is M-Code? What Do They Mean in CNC Machining?* [online]. STECKER MACHINE BLOG, 2021 [cit. 2021-12-24]. Dostupné z: <https://www.steckermachine.com/blog/g-code-and-m-code-programming>
- [32] The BEST 3D printing material? Comparing PLA, PETG & ASA (ABS)-feat. PRUSAMENT by Josef Prusa. In: *Youtube* [online]. 2020 [cit. 2021-12-29]. Dostupné z: <https://youtu.be/ycGDR752fT0?t=851>. Kanál uživatele CNC Kitchen.
- [33] *Worldwide most used 3D printing materials, as of July 2018* [online]. Statista, 2018 [cit. 2022-03-02]. Dostupné z: <https://www.statista.com/statistics/800454/worldwide-most-used-3d-printing-materials/>
- [34] *Original Prusa i3 MMU2S upgrade kit* [online]. Prusa Research [cit. 2021-12-29]. Dostupné z: <https://www.prusa3d.com/cs/produkt/original-prusa-i3-mmu2s-upgrade-kit-for-mk2-5-mk3s-oranzova/#Video>
- [35] *TOOLCRAFT TO-4988565 digitální úhломěr 360 °* [online]. Conrad [cit. 2022-04-16]. Dostupné z: <https://www.conrad.cz/p/toolcraft-to-4988565-digitalni-uhlomer-360-1662855?&vat=true>

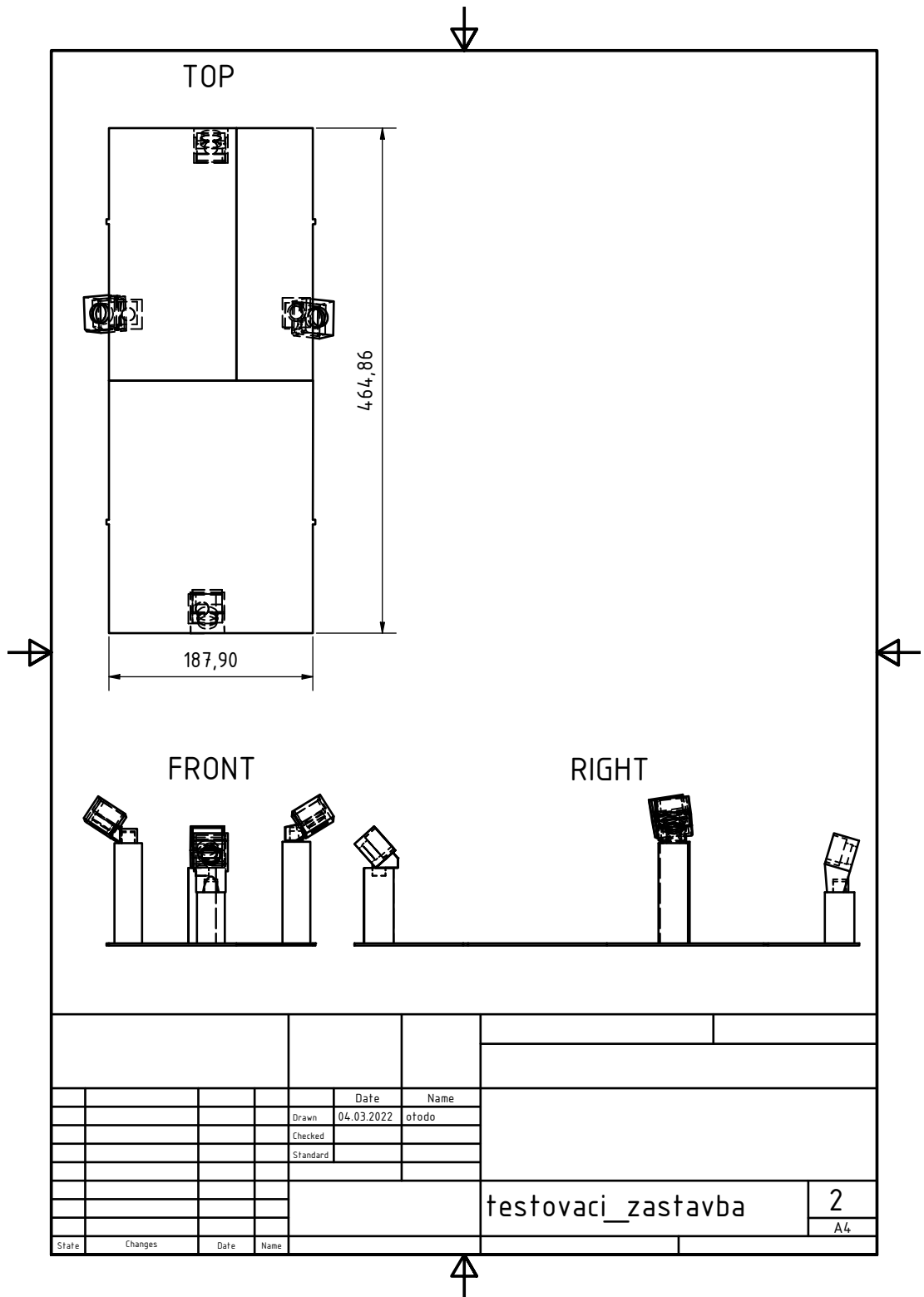
- [36] *SKODA ENYAQ iV: 3D Model* [online]. zifir3d, 2021 [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: <https://sketchfab.com/3d-models/skoda-nyaq-iv-3636c4523dc143728595ae1df8fdb4f>
- [37] *SM-42BYG011-25 datasheet* [online]. 2009 [cit. 2021-12-28]. Dostupné z: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Robotics/SM-42BYG011-25.pdf>
- [38] *Řemenice GT2* [online]. sharplayers [cit. 2021-12-28]. Dostupné z: <https://eshop.sharplayers.cz/p/remenice-gt2>
- [39] *OZUBENÝ ŘEMEN GT2 6MM, BELTGT26* [online]. Levné 3D tiskárny [cit. 2021-12-28]. Dostupné z: <https://www.levne3dtiskarny.cz/cs/remeny-remenice/105-ozubeny-remen-gt2-6mm-beltgt26.html>
- [40] *Kladka GT2* [online]. 3D FOX [cit. 2021-12-28]. Dostupné z: <https://www.3dfoxshop.cz/kladka-gt2/?variantId=16617>
- [41] *LTH-301-07 datasheet* [online]. [cit. 2021-12-28]. Dostupné z: <https://www.gme.cz/data/attachments/dsh.521-040.1.pdf>
- [42] *Sada Machifit pro lineární pohyb 500 mm s vozíkem MGN12* [online]. GMElectronic [cit. 2022-04-19]. Dostupné z: <https://www.gme.cz/sada-machifit-pro-linearni-pohyb-500-mm-s-vozikem-mgn12>
- [43] *ŠKODA ENYAQ IV - Infografika* [online]. ŠKODA Storyboard, 2020 [cit. 2022-05-13]. Dostupné z: [https://www.skoda-storyboard.com/cs/tiskove-mapy/skoda-nyaq-iv-tiskova-mapa/exterier-osvetlena-predni-maskacrystal-face-velka-kola-a-mnoho-krystalicky-prvku/attachment/nyaq\\_iv\\_cz\\_rozmary/](https://www.skoda-storyboard.com/cs/tiskove-mapy/skoda-nyaq-iv-tiskova-mapa/exterier-osvetlena-predni-maskacrystal-face-velka-kola-a-mnoho-krystalicky-prvku/attachment/nyaq_iv_cz_rozmary/)

# A Přílohy

## A.1 Seznam souborů na úložišti

Složka „vykresy“ obsahuje veškeré výkresy, na které se práce odkazuje, a jsou důležité pro pochopení textu. Význam jednotlivých souborů lze nalézt ve výkresech 3.5 a 3.4. Obsah složky „vykresy“ je následující:

- bocni\_lista.pdf
- kladka\_uchyt.pdf
- propojovaci\_prvek.pdf
- X\_lista\_stred.pdf
- Y\_lista\_stred.pdf
- remenice\_horni.pdf
- remenice\_dolni.pdf
- uchyty\_svet\_zavora.pdf
- uchyty\_krok\_motor.pdf
- uchyty\_vozik.pdf
- Pas\_VAS7210001\_levy.pdf
- Pas\_VAS7210001\_pravy.pdf
- enyaq\_s\_doplanky.pdf



Obrázek A.1: Testovací kalibrační model se zástavbovými parametry Enyaq iV v měřítku 1:10