

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI**  
**FAKULTA STROJNÍ**

**Studijní program: N0715A270017 - Konstruování strojů a technických zařízení**

**Studijní specializace: Konstruování vozidel a manipulačních zařízení**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Asistenční systém řidiče motocyklu pro detekci překážek a vizualizací v zorném poli jezdce**

**Autor: Bc. Václav Mašek**

**Vedoucí práce: Ing. Roman ČERMÁK, Ph.D.**

**Akademický rok 2020/2021**

## ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2020/2021

# ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Václav MAŠEK**  
Osobní číslo: **S19N0125P**  
Studijní program: **N0715A270017 Konstruování strojů a technických zařízení**  
Studijní obor: **Konstruování vozidel a manipulačních zařízení**  
Téma práce: **Asistenční systém řidiče motocyklu pro detekci překážek a vizualizací v zorném poli jezdce**  
Zadávací katedra: **Katedra konstruování strojů**

## Zásady pro vypracování

### Základní požadavky:

Provedte rešerši stávajícího stavu asistenčních systémů pro motocykly a podobná vozidla. Navrhněte koncepci asistenčního systému pro včasnou detekci překážek v jízdě (jiných vozidel, chodců, apod.) s vhodnou vizualizací v prostoru hledí přílby jezdce. Navrhněte detekční systém pro montáž na motocykl a vhodné technické prostředky pro vizualizaci v hledí přílby.

### Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

### Osnova práce:

1. Literární rešerše
2. Návrh koncepce asistenčního systému
3. Detailní návrh detekčního subsystému a prostředku pro vizualizaci

Rozsah diplomové práce: **40-60 stran**  
Rozsah grafických prací: **podle potřeby**  
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam doporučené literatury:

- [1] Winner H. at al. */Handbook of Driver Assistance Systems/*, Springer, 2016, ISBN 978-3-319-12352-3  
[2] Fossen T.I. at al. */Sensing and Control for Autonomous Vehicles/*, Springer, 2017, ISBN 978-3-319-55372-6  
Podkladové materiály, výkresy, prospekty, katalogy, apod. poskytnuté zadavatelem úkolu.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Roman Čermák, Ph.D.**  
Katedra konstruování strojů

Konzultant diplomové práce: **Ing. Filip Hrdlička**  
Katedra konstruování strojů

Datum zadání diplomové práce: **16. října 2020**  
Termín odevzdání diplomové práce: **28. května 2021**

L.S.

---

**Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.**  
děkan

---

**Prof. Ing. Václava Lašová, Ph.D.**  
vedoucí katedry

V Plzni dne 16. října 2020

## **Prohlášení o autorství**

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

V Plzni dne: .....

.....

podpis autora

## **Poděkování**

Děkuji vedoucímu práce, Ing. Romanu Čermákovi, Ph.D. za cenné rady, vedoucí k vypracování této diplomové práce a za přínosné připomínky.

Dále bych rád poděkoval své rodině za podporu v průběhu celého studia.

## ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

<b>AUTOR</b>	<b>Příjmení</b> Mašek	<b>Jméno</b> Václav	
<b>STUDIJNÍ OBOR</b>	N0715A270017 Konstruování strojů a technických zařízení		
<b>VEDOUcí PRÁCE</b>	<b>Příjmení (včetně titulů)</b> Ing. Čermák, Ph.D.	<b>Jméno</b> Roman	
<b>PRACOVIŠTĚ</b>	ZČU - FST - KKS		
<b>DRUH PRÁCE</b>	<b>DIPLOMOVÁ</b>	<del><b>BAKALÁŘSKÁ</b></del>	<b>Nehodící se škrtněte</b>
<b>NÁZEV PRÁCE</b>	Asistenční systém řidiče motocyklu pro detekci překážek a vizualizací v zorném poli jezdce		

<b>FAKULTA</b>	strojní	<b>KATEDRA</b>	KKS	<b>ROK ODEVZD.</b>	2021
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

### POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

<b>CELKEM</b>	103	<b>TEXTOVÁ ČÁST</b>	77	<b>GRAFICKÁ ČÁST</b>	26
---------------	-----	---------------------	----	----------------------	----

<b>STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</b>  <b>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</b>	Diplomová práce popisuje návrh asistenčního systému řidiče motocyklu. Popsán je detailní návrh senzorické jednotky, umístěné na motocyklu a zobrazovací jednotky s HUDem, umístěné na přilbě. Práce obsahuje výpočet namáhaných částí a ergonomickou analýzu zorného pole řidiče. Součástí práce je dále výběr vhodných senzorů a ostatních elektronických součástí a rámcový návrh obslužného softwaru.
<b>KLÍČOVÁ SLOVA</b>  <b>ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</b>	motocykl, řidič, asistent, prevence, doprava, senzorická jednotka, zobrazovací jednotka, SW, HW, HUD, MKP, CAD, MATLAB, ARAS

## SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

<b>AUTHOR</b>	<b>Surname</b> Mašek	<b>Name</b> Václav	
<b>FIELD OF STUDY</b>	N0715A270017 Design engineering of machines and technical devices		
<b>SUPERVISOR</b>	<b>Surname (Inclusive of Degrees)</b> Ing. Čermák, Ph.D.	<b>Name</b> Roman	
<b>INSTITUTION</b>	ZČU - FST - KKS		
<b>TYPE OF WORK</b>	<b>DIPLOMA</b>	<b>BACHELOR</b>	<b>Delete when not applicable</b>
<b>TITLE OF THE WORK</b>	Motorcycle rider assistance system for obstacle detection with visualization in the rider's visual area		

<b>FACULTY</b>	Mechanical Engineering	<b>DEPARTMENT</b>	Machine Design	<b>SUBMITTED IN</b>	2021
----------------	------------------------	-------------------	----------------	---------------------	------

### NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

<b>TOTALLY</b>	103	<b>TEXT PART</b>	77	<b>GRAPHICAL PART</b>	26
----------------	-----	------------------	----	-----------------------	----

<b>BRIEF DESCRIPTION</b> <b>TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS</b>	This diploma thesis describes a design study of motorcycle riders assistant system. The thesis contains detailed design of sensoric unit placed on the motorcycle, and visualisation (HUD equipped) unit placed on the riders helmet. Thesis contains stress analysis of stressed parts and ergonomic analysis of riders field of view. This thesis also contains a selection of suitable sensor units and other electronic components, it also shows general design of the control software.
<b>KEY WORDS</b>	motorcycle, rider, assistant, prevention, traffic, sensoric unit, displaying unit, HUD, FEA, CAD, MATLAB, ARAS

## Obsah

Poděkování .....	5
Obsah.....	8
Přehled použitých zkratk a symbolů.....	10
Seznam tabulek .....	14
1. Úvod.....	15
1.1. Podpůrné a autonomní systémy u silničních vozidel.....	16
1.2. Autonomní řízení u jednoštopých vozidel.....	16
1.2.1. MoNa.....	17
1.2.2. Energica E2R.....	18
1.2.3. Bosch ARAS .....	18
1.2.4. Samsung Smart Windshield .....	19
1.2.5. NUVIZ HUD set .....	19
1.3. Stupně autonomie silničních vozidel.....	20
1.3.1. Úroveň „0“: Žádná autonomie .....	20
1.3.2. Úroveň „1“: Podpora řidiče.....	20
1.3.3. Úroveň „2“: Částečná autonomie.....	20
1.3.4. Úroveň „3“: Podmíněná autonomie .....	20
1.3.5. Úroveň „4“: Vysoká autonomie .....	20
1.3.6. Úroveň „5“: Plná autonomie .....	20
2. Specifikace požadavků na vyvíjený systém.....	21
3. Koncepční řešení.....	22
3.1. Koncepce „1“.....	22
3.2. Koncepce „2“.....	22
3.3. Koncepce „3“.....	23
4. Výběr elektronických komponent .....	24
4.1. Senzory .....	25
4.2. Vývojové desky .....	29
4.3. Komunikační rozhraní a zobrazování dat.....	30
4.4. Zdroje energie.....	31
5. Konstrukční řešení sensorické jednotky .....	32
6. Konstrukční řešení zobrazovací jednotky .....	49
7. Software .....	57
7.1. Komunikace se senzory .....	57
7.1.1. Lidar .....	57



7.1.2. Kamera .....	59
7.1.3. Inerciální a GPS senzor .....	61
7.2. Komunikace senzorické a zobrazovací jednotky .....	66
7.3. Interpretace dat řidiči .....	66
8. Závěr .....	69
9. Směrování dalšího vývoje .....	70
Seznam použité literatury .....	71
PŘÍLOHA č. 1 .....	i
PŘÍLOHA č. 2 .....	iii
PŘÍLOHA č. 3 .....	vi

## Přehled použitých zkratk a symbolů

Zkratka	Anglický význam (je-li k dispozici)	Český význam (je-li k dispozici)
"	Inch	Palec
°	Degree	Stupeň
°C	Degree Celsius	Stupeň Celsia
3D	Three-Dimensional	Třírozměrný
A	Ampere	Ampér
ABS	Anti-Lock Brake System	Protiblokovací systém
ARAS	Advanced Rider Assistance System	Pokročilý asistenční systém jezdce
CAD	Computer-Aided Design	Počítačem podporované projektování
CCD	Charge-Coupled Device	Zařízení s vázanými náboji
cm	Centimetre	Centimetr
CPU	Central Processing Unit	Centrální procesorová jednotka
CSI	Camera Serial Interface	Sériové rozhraní kamery
FDM	Fused Deposition Modeling	Nanášení vrstev termoplastu
FFC	Flexible Flat Cable	Plochý flexibilní kabel
Fy	-	Firmy
g	Gram	Gram
g/cm <sup>2</sup>	Gram Force per Square Centimetre	Gram na centimetr čtvereční
g/cm <sup>3</sup>	Gram per Cubic Centimetre	Gram na centimetr krychlový
GHz	Gigahertz	Gigahertz
GPIO	General-Purpose Input / Output	Univerzální vstupní / výstupní pin
GPS	Global Positioning System	Globální družicový polohový systém
Hz	Hertz	Hertz
HUD	Head-Up Display	Průhledový displej
HW	Hardware	Fyzická část stroje
IR	Infrared	Infračervené světlo
I <sup>2</sup> C	Inter-Integrated circuit	Multi-masterová počítačová sběrnice
ISO	International Organization for Standardization	Mezinárodní organizace pro standardizaci
kb/s	Kilobit per Second	Kilobit za sekundu
km	Kilometre	Kilometr
km/h	Kilometre per Hour	Kilometr za hodinu

LCD	Liquid Crystal Display	Displej z tekutých krystalů
LED	Light-Emitting Diode	Světlo emitující dioda
m	Metre	Metr
mA	Milliampere	Miliampér
mAh	Milliampere Hour	Miliampéřhodina
Mb/s	Megabit per Second	Megabit za sekundu
MHz	Megahertz	Megahertz
MKP	-	Metoda konečných prvků
mm	Millimeter	Milimetr
MPa	Megapascal	Megapascal
Mpx	Megapixel	Megapixel
MSC	Motorcycle Stability Control	Kontrola stability motocyklu
mW	Milliwatt	Miliwatt
N/cm <sup>2</sup>	Newton per Square Centimetre	Newton na čtvereční centimetr
NIR	Near Infrared	Blízké infračervené světlo
p	Pixel	Obrazový bod
PLA	Polylactic Acid	Kyselina polyléčná
RGB	Red-Green-Blue	Červená-Zelená-Modrá (barevný model)
RX	Receive	Přijímat
s	Second	Sekunda
SDA	Serial Data	Sériový datový pin
SCL	Serial Clock	Sériový hodinový signál
SW	Software	Programová část stroje
TFT	Thin Film Transistor	Tenkovrstvý tranzistor
TX	Transmit	Odesílat
UART	Universal asynchronous receiver-transmitter	Univerzální asynchronní přijímač-vysílač
USB	Universal Serial Bus	Univerzální sériová datová sběrnice
V	Volt	Volt
W	Watt	Watt

## Seznam obrázků

Obr. 1: Mnoha vážným nehodám předchází nepozornost [5] .....	15
Obr. 2: Mercedes S-Class z projektu Eureka Prometheus [9].....	16
Obr. 3: Prvky autonomního řízení motocyklu [10] .....	17
Obr. 4: Systém MoNa [12] .....	17
Obr. 5: Energica Ego [15] .....	18
Obr. 6: Uspořádání ARAS systému fy Bosch [16] .....	18
Obr. 7: Samsung Smart Windshield [17] .....	19
Obr. 8: NUVIZ HUD [20].....	19
Obr. 9: Koncepční řešení „1“ [převzato z 24].....	22
Obr. 10: Koncepční řešení „2“ [převzato z 24].....	22
Obr. 11: Koncepční řešení „3“ [převzato z 24].....	23
Obr. 12: Blokové schéma zapojení sensorické jednotky .....	24
Obr. 13: Blokové schéma zapojení zobrazovací jednotky .....	24
Obr. 14: Porovnání nočního obrazu z RGB (vlevo) a NIR kamery (vpravo) [26].....	25
Obr. 15: Waveshare RPi [28] .....	26
Obr. 16: Zapojení kamery do Raspberry Pi [29].....	26
Obr. 17: Inerciální senzor (vlevo) a GPS senzor (vpravo) [30, 31] .....	27
Obr. 18: Zapojení GPS senzoru (vlevo) a inerciálního senzoru (vpravo) [35, 36] .....	27
Obr. 19: Dálkoměr TeraRanger Evo [37].....	28
Obr. 20: Raspberry Pi 3B [40] .....	29
Obr. 21: ESP 32 [41].....	30
Obr. 22: TFT displej [48] .....	31
Obr. 23: Power banka ADATA (vlevo) a Eloop Ultralim (vpravo) [49, 50] .....	31
Obr. 24: Sensorická jednotka - řešení „1“ .....	32
Obr. 25: Sensorická jednotka - řešení „2“ .....	32
Obr. 26: Zástavbové rozměry dálkoměru TeraRanger Evo [54].....	33
Obr. 27: Umístění kamery a dálkoměru .....	34
Obr. 28: Nosný element .....	35
Obr. 29: Uložení power banky (vlevo) a víčko s přítlačnými elementy a větracím průduchem .....	36
Obr. 30: USB průchodka [55] .....	37
Obr. 31: Ovládací tlačítko [61] .....	37
Obr. 32: Výkresová dokumentace Raspberry Pi [56] .....	38
Obr. 33: Umístění Raspberry Pi a senzorů v sensorické jednotce .....	38

Obr. 34: Řez odlučovačem, vzduch vchází zleva, dole vstup do odvodňovací drážky, výstup vzduchu nahoru a vpravo .....	39
Obr. 35: Proudění vzduchu senzorickou jednotkou, modrá barva - studený vzduch, červená - ohřátý vzduch .....	39
Obr. 36: Ukázka odvodňovacího kanálu (vlevo) a odvodnění průsaku napájecího konektoru	40
Obr. 37: Uspořádání odlučovače .....	40
Obr. 38: Přední kryt senzorické jednotky .....	41
Obr. 39: Dynamický model motocyklu [58] .....	41
Obr. 40: Osy rotačních pohybů motocyklu [60] .....	42
Obr. 41: Zjednodušený model pouzdra pro účely modální analýzy .....	42
Obr. 42: Detail sítě pro výpočet modální analýzy .....	43
Obr. 43: Prvních 10 vlastních frekvencí senzorické jednotky (výpočet proveden v Autodesk Nastran) .....	44
Obr. 44: Detail sítě pro výpočet napětí v západce .....	44
Obr. 45: Výsledky simulace - rozložení deformace (vlevo) a napětí (vpravo) .....	45
Obr. 46: Wöhlerova křivka pro PLA se 100% výplní [64] .....	45
Obr. 47: Předpokládaná životnost pružné části tvarového spoje senzorické jednotky (počet cyklů) .....	46
Obr. 48: Detail svěrného spoje s nastavením sklonu šrouby .....	48
Obr. 49: Nastavení sklonu držáku dle úhlu řízení .....	48
Obr. 50: Základní součásti HUDu [73] .....	49
Obr. 51: Sygic HUD [74] .....	50
Obr. 52: HUDWAY Glass [76] .....	50
Obr. 53: Návrh zobrazovací jednotky „1“ .....	51
Obr. 54: Návrh zobrazovací jednotky „2“ .....	51
Obr. 55: Slučovač .....	52
Obr. 56: Upevnění displejů a jejich umístění .....	52
Obr. 57: Umístění ESP32 .....	53
Obr. 58: Detail umístění komponent zobrazovací jednotky .....	53
Obr. 59: Držák zobrazovací jednotky .....	54
Obr. 60: Držák s tvarovým elementem a detail spoje obou částí .....	54
Obr. 61: Posunutí západky (vlevo) a rozložení napětí v západce při jejím zatížení .....	55
Obr. 62: Životnost pružné části tvarového spoje zobrazovací jednotky (počet cyklů) .....	55
Obr. 63: Simulace výhledu - kompozice .....	56
Obr. 64: Zorné pole levého a pravého oka .....	56
Obr. 65: Vizualizace dat z IR senzoru [85] .....	58

Obr. 66: Výstup z laserového dálkoměru při pohybu proti překážce.....	58
Obr. 67: Příklad tzv. „Haarových příznaků“ (vlevo) a jejich aplikace na oblasti obrazu (vpravo) [89, 90] .....	59
Obr. 68: Demonstrace funkce kaskádového klasifikátoru [92].....	60
Obr. 69: Aplikace kaskádového klasifikátoru pro rozpoznávání chodce (modrá).....	60
Obr. 70: Výstupní veličiny inerciálního senzoru [94].....	61
Obr. 71: Naměřené hodnoty akcelerometru (vlevo) a gyroskopu (vpravo), inerciální jednotka se nehýbe .....	62
Obr. 72: Působení gravitačního zrychlení v ose pohybu motocyklu [upraveno z 66] .....	62
Obr. 73: Ortodroma spojující Londýn a Los Angeles [96] .....	63
Obr. 74: Rychlost vypočtená z naměřených GPS koordinátů .....	64
Obr. 75: Skutečný průběh rychlosti v závislosti na čase (a) a naměřená data (b) [98] .....	65
Obr. 77: Aplikace klouzavého filtru.....	66
Obr. 78: Výstup sériové komunikace (vlevo) a naměřené hodnoty (vpravo) .....	66
Obr. 79: Možná zjednodušení množin zobrazovaných značek [99] .....	67
Obr. 80: Možnosti signalizace střetu s vozidlem, chodcem či zvěří [100, 101, 102] .....	67
Obr. 81: Ukázka hexadecimálního zápisu barev (vlevo) a zobrazený obrázek (vpravo).....	68

## Seznam tabulek

Tab. 1: Hodnocení koncepčních řešení .....	23
Tab. 2: Specifikace použité kamery [27] .....	25
Tab. 3: Specifikace použitého inerciálního senzoru [32, 33].....	27
Tab. 4: Specifikace použitého GPS senzoru [34].....	27
Tab. 5: Specifikace použitého dálkoměru [38] .....	28
Tab. 6: Popis jednotlivých komunikačních rozhraní [44, 45, 46, 47] .....	30
Tab. 7: Specifikace použitých zdrojů energie [51, 52] .....	31
Tab. 8: Hodnocení variant sensorické jednotky .....	33
Tab. 9: Materiálové vlastnosti PLA [62, 63].....	43
Tab. 10: Porovnání variant zobrazovací jednotky.....	51
Tab. 11: Specifikace Sugru [78].....	54

## 1. Úvod

V České republice je za rok 2019 evidováno celkem 107 572 dopravních nehod, při nichž bylo usmrceno 547 lidí. Ve více než 17 tisících případech bylo příčinou nehody pochybení řidiče během řízení motorového vozidla. [1]

Mezi příčinami dopravních nehod, především těch s následky na zdraví a životech, je na prvním místě nedodržování silničních předpisů, následované pochybením řidiče při ovládnutí vozidla. Za většinou pochybení řidičů motorových vozidel stojí nepozornost, nedodržení bezpečné vzdálenosti či nepřizpůsobení rychlosti povaze a stavu vozovky. [2]

Nejohroženější skupinou motoristů jsou řidiči jednostopých vozidel. Na 100 000 registrovaných motocyklů připadá průměrně šestkrát více nehod než u stejného počtu automobilů. [3] Následky nehod jsou také pro motocyklisty daleko vážnější. Při srážce či nárazu má motocyklista téměř třicetkrát menší šanci na přežití než osádka automobilu. [4]



Obr. 1: Mnoha vážným nehodám předchází nepozornost [5]

Při použití vhodného asistenčního systému, informujícího motocyklisty o hrozícím nebezpečí, by mohlo být dosaženo snížení počtu dopravních nehod s fatálními následky.

Tato diplomová práce se zabývá vývojem jednoduchého asistenčního systému, využívajícího informace z kamery a senzorů, umístěných na motocyklu. Získané informace jsou zpracovány a následně vizuálně předány řidiči motocyklu prostřednictvím průhledového displeje.

## 1.1. Podpůrné a autonomní systémy u silničních vozidel

Historie autonomního řízení motorových vozidel sahá až do roku 1939. Na newyorském veletrhu Futurama byl v roce 1939 firmou General Motors představen koncept prvního vozu, schopného sledovat předem určenou dráhu. V roce 1977 byly učiněny pokusy se snímáním okolí vozu pomocí kamer. [6] V roce 1991 si firma General Motors nechala patentovat systém adaptivního tempomatu. [7] Mezi lety 1987 a 1995 proběhl dosud největší jednorázový projekt vývoje autonomních vozidel, projekt Eureka Prometheus. Rozpočet projektu byl téměř tři čtvrtě miliardy euro a jeho výstupem byl první vůz, schopný alespoň částečného autonomního pohybu po veřejných komunikacích (průměrná vzdálenost mezi nutnými zásahy řidiče do řízení činila 9 km). [8, 9]



Obr. 2: Mercedes S-Class z projektu Eureka Prometheus [9]

Od té doby probíhá ve většině světových automobilek vývoj autonomních či asistenčních systémů, snažících se buď úplně, či alespoň částečně usnadnit řidiči ovládání vozu a zároveň učinit jízdu bezpečnější. Vývojáři těchto systémů brzy pochopili, že autonomní či asistenční systém nemusí být nutně pouze doménou dvoustopých vozidel. Postupně se asistenční a autonomní technologie začaly objevovat i v oblasti motocyklů.

## 1.2. Autonomní řízení u jednostopých vozidel

Vytvoření systému autonomního řízení motocyklu představuje mnohem složitější problém, protože poloha těžiště motocyklu se během jízdy mění výrazněji než u automobilu. Motocykl je navíc přirozeně nestabilní a aktivní spoluúčast řidiče na řízení je mnohem větší (řidič nakláněním svého těla mění těžiště soustavy „řidič-motocykl“ a tím napomáhá projíždění zatáček).

Roli hraje i omezený prostor pro senzorké i akční členy, kterých je více, než u autonomního vozu (senzory náklonu, složitější tzv. „ride by wire“ řízení, technologie pro automatické vyvažování motocyklu apod.) Autonomní motocykly v neposlední řadě tvoří mnohem menší tržní segment než autonomní automobily. Je to jednak z důvodu nižší praktičnosti takového systému a především z důvodu snížení atraktivity jízdy na takovém motocyklu (velká část motocyklistů si pořizuje stroj nejen k vlastní přepravě, ale zejména kvůli požitku z ovládání stroje). [10]



Proto se u jednostopých vozidel mnohem více uplatňují nižší stupně autonomie ve formě jízdních asistentů řidiče, nezasahujících přímo do řízení. Zde jsou uvedeny některé zajímavé a perspektivní systémy, které jsou však často jen ve fázi konceptu či vývoje.



Obr. 3: Prvky autonomního řízení motocyklu [10]

### 1.2.1. MoNa

Systém MoNa byl vyvíjen studenty na univerzitě v Salzburgu. Pomáhá řidiči motocyklu v navigaci v silničním provozu, aniž by odpoutával jeho pozornost od řízení. Běžná navigace řidičů motocyklu spočívá v mobilním telefonu, upevněném na přístrojové desce. Řidič musí při jízdě dělit pozornost mezi sledováním provozu na pozemní komunikaci a sledováním displeje. Systém MoNa komunikuje s mobilní navigací. Řidič je směrově navigován pomocí šipek, zobrazovaných v jeho zorném poli pomocí průhledového displeje. Ačkoliv studenti představili funkční prototyp, od roku 2017 neposkytli žádné nové informace o výrobě a tak je další vývoj systému nejistý a projekt se jeví jako neaktivní. [11, 12]



Obr. 4: Systém MoNa [12]

### 1.2.2. Energica E2R

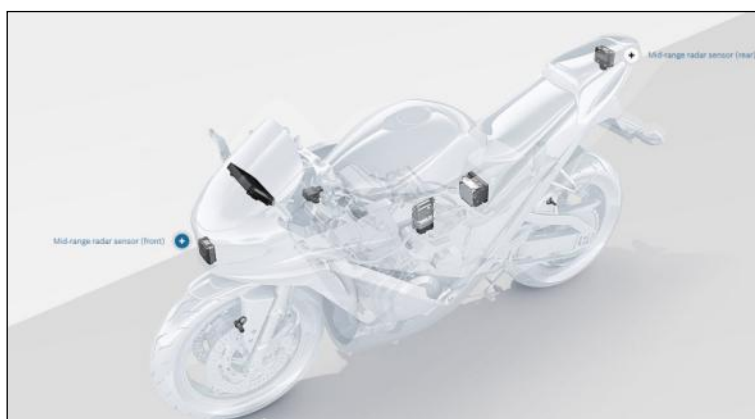
Italský výrobce motocyklů Energica má dlouholetou zkušenost v oblasti elektrických motocyklů a je držitelem řady patentů. V současné době vyvíjí ve spolupráci s univerzitou v německém Saarbrückenu systém E2R, který monitoruje prostor okolo motocyklu a asistuje řidiči motocyklu při manévrování v silničním provozu. Systém zahrnuje asistenta mrtvého úhlu a upozornění na blížící se vozidla. Záměrem projektu je, aby asistent pomáhal řidiči v rozhodování, týkajícího se vhodného načasování složitých manévrů v silničním provozu. Systém by se měl stát součástí výbavy top modelu Energica Ego. Způsob předávání informací řidiči prozatím nebyl představen. [13, 14]



Obr. 5: Energica Ego [15]

### 1.2.3. Bosch ARAS

Systém vyvíjený společností Bosch navazuje na systémy ABS a MSC, vyvinuté stejnou společností. Systém „Bosch Advanced Rider Assistance System“ zahrnuje adaptivní tempomat, systém varování před kolizí s vpředu jedoucím vozidlem a systém detekce jízdních pruhů. Dle studie „Bosch Accident Research“ z roku 2018 lze takto předejít jedné ze sedmi nehod motocyklu. [16]



Obr. 6: Uspořádání ARAS systému fy Bosch [16]

#### 1.2.4. Samsung Smart Windshield

Společnost Samsung představila v roce 2016 ve spolupráci s firmou Yamaha větrný štít „Samsung Smart Windshield“, vybavený ve spodní části průhledovým displejem. Štít je propojený s mobilním telefonem prostřednictvím technologie WiFi. Zobrazuje informace z navigace, rychlost a zároveň i mobilní notifikace. Filozofií fy Samsung je nerozptylovat řidiče motocyklu zobrazováním informací přímo do jeho zorného pole prostřednictvím HUD v rovině očí a zároveň rozšířit možnosti portfolio zobrazovaných informací. [17, 18]



Obr. 7: Samsung Smart Windshield [17]

#### 1.2.5. NUVIZ HUD set

Řešení asistenčního systému od firmy NUVIZ je již nabízeno na trhu. Set lze zakoupit za částku cca 20 000 Kč. Součástí setu jsou HUD, zobrazující informace a ovládací člen. Systém může kromě údajů o provozu také zobrazovat základní notifikace z mobilního telefonu. Zobrazovací jednotka HUD, skládající se z držáku, výpočetní jednotky a kamerového systému, se k přilbě připevňuje lepením. Kamerový systém může fungovat i jako bezpečnostní kamera. Zařízení je ovládáno pomocí mobilní aplikace nebo ovladačem, umístěným na řídítkách. [19, 20]



Obr. 8: NUVIZ HUD [20]

### 1.3. Stupně autonomie silničních vozidel

V závislosti na tom, nakolik je řidiči libovolného motorového vozidla umožněno během řízení omezit svoji pozornost, se dělí autonomie řízení na 5 úrovní – od nulové automatizace, kdy je řidičova percepce okolí pouze doplňována informačními systémy, až po plně autonomní řízení, kdy se řidič stává pasažérem a na řízení vozidla se nepodílí.

#### 1.3.1. Úroveň „0“: Žádná autonomie

Při úrovni „0“ autonomního řízení se musí řidič plně věnovat řízení. Systém nikterak nezasahuje do ovládání vozidla, pouze řidiče informuje pomocí instalovaných senzorů o vlivech okolí, které by mohly ovlivnit jízdu vozidla. [21, 22, 23]

#### 1.3.2. Úroveň „1“: Podpora řidiče

Do této úrovně automatizace se řadí nejzákladnější systémy sebeřízení vozidla, jakými jsou například adaptivní tempomat nebo systém udržování vozidla v jízdním pruhu. Tyto systémy stoprocentně fungují jen při ideálních podmínkách a navíc vykonávají jen jednu konkrétní a navíc velmi jednoduchou činnost. Řidič se i při této úrovni musí stoprocentně podílet na ovládání vozidla. [21, 22, 23]

#### 1.3.3. Úroveň „2“: Částečná autonomie

Při úrovni „2“ je vozidlo při jasně specifikovaných úkolech schopno krátkodobě převzít své ovládání, je tedy způsobilé zajistit korekce směru a rychlosti. Je však nutné, aby řidič po celou dobu sledoval činnost systému a průběh jízdy a v případě nebezpečí do řízení zasáhl. Mezi tyto systémy patří asistent změny jízdního pruhu nebo systémy pro automatické parkování. [21, 22, 23]

#### 1.3.4. Úroveň „3“: Podmíněná autonomie

Při této úrovni je již systém schopen po delší časový úsek převzít plné ovládání vozidla. Mimo situací, kdy výrobce přímo definuje, že je vyžadována účast řidiče, může vozidlo fungovat v plně autonomním módu. Toho lze dosáhnout tzv. senzorskou fúzí, kdy pomocí informací z více senzorů autopilot vozidla plně vyhodnocuje dynamiku okolního provozu a tomu přizpůsobuje řízení. [21, 22, 23]

#### 1.3.5. Úroveň „4“: Vysoká autonomie

Vozidla s autopilotem úrovně „4“ jsou schopna téměř nepřetržitého autonomního provozu, s výjimkou velmi špatných klimatických podmínek. Většinou ani tehdy není nutný zásah řidiče, je ale nutné, aby dohlížel na situaci a v případě potřeby zasáhl do řízení. Při běžných podmínkách není přítomnost osoby na sedadle řidiče nutná vůbec. Platná legislativa většiny zemí tuto možnost prozatím neumožňuje. [21, 22, 23]

#### 1.3.6. Úroveň „5“: Plná autonomie

Při plné autonomii systém zvládá veškeré operace řízení vozidla a není potřeba žádné intervence ze strany řidiče. Pojem „řidič“ přestává existovat, vozidlo nemusí být vybaveno volantem, pedály ani dalšími ovládacími prvky. Na všech sedadlech sedí pouze pasažéři, kteří vozidlu příslušným, předem definovaným způsobem sdělují cíl cesty. [21, 22, 23]

## 2. Specifikace požadavků na vyvíjený systém

Tato práce se zabývá základním vývojem systému, asistujícímu řidiči motocyklu při jízdě a rozšiřujícím jeho senzorické schopnosti při celkovém zvýšení bezpečnosti účastníků silničního provozu.

- Systém by měl umožnit identifikaci významných ukazatelů a situací, ovlivňujících bezpečnost řidiče motocyklu v provozu. Dále by měl být schopen tato data relevantně posoudit, vyhodnotit priority a vhodně je řidiči interpretovat.
- Systém by měl být tvořen elektronickým vybavením v příznivé cenové relaci. Vzhledem k tomu, že tato práce se nevěnuje návrhu hardwaru, musí být veškeré využívané hardwarové vybavení dostupné na trhu.
- Systém by měl být koncipován jako nezávislý na vozidle a měl by být napájen vlastním zdrojem energie.
- Zobrazovací jednotka by měla být umístěna tak, aby byly informace řidiči vždy k dispozici, neměla by však omezovat ve výhledu.
- Systém by měl zaručit dostatečnou ochranu všem svým komponentám při zachování dostatečného chlazení.

Vzhledem k výše zmíněným parametrům byla vyhotovena následující specifikace požadavků na systém:

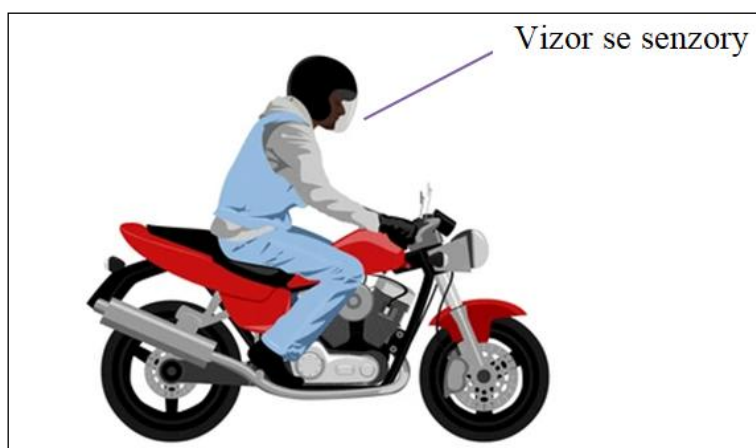
- Umožnit měření rychlosti motocyklu bez zásahu do jeho elektroniky.
- Umožnit detekci dopravních značek / osob / zvířat (popř. dalších subjektů dle dodatečné specifikace).
- Umožnit zjištění vzdálenosti od vpředu jedoucího vozidla / zjištění vzdálenosti od překážky / vnímání vzdálenosti.
- Umožnit svůj provoz nezávisle na elektroinstalaci motocyklu.
- Zajistit dostatečnou ochranu elektronických komponent proti vnějším vlivům.
- Zajistit dostatečné chlazení elektronických komponent.
- Zajistit jednoduchou montáž na motocyklu / přilbě při zachování dostatečné držebnosti.
- Zajistit zobrazování relevantních informací řidiči.

### 3. Konceptní řešení

V návaznosti na specifikaci požadavků byly navrženy 3 možné varianty koncepce systému:

#### 3.1. Koncepce „1“

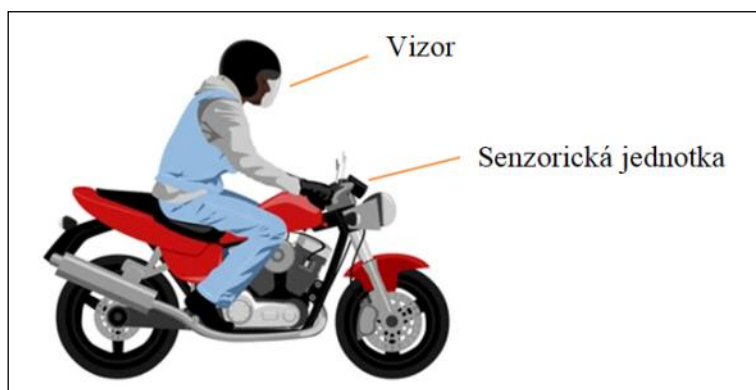
Koncepce „1“ uvažuje umístění kombinované sensorické i zobrazovací jednotky na přilbě řidiče. Výhodou tohoto řešení je nižší množství elektronických komponent a naprostá nezávislost na použitém vozidle. Mezi nevýhody patří složité softwarové řešení, vysoká hmotnost a značné rozměry. Systém je závislý na směru natočení přilby. Existuje proto nebezpečí, že potenciálně kolizní situace nebude vždy zaznamenána.



Obr. 9: Konceptní řešení „1“ [upraveno z 24]

#### 3.2. Koncepce „2“

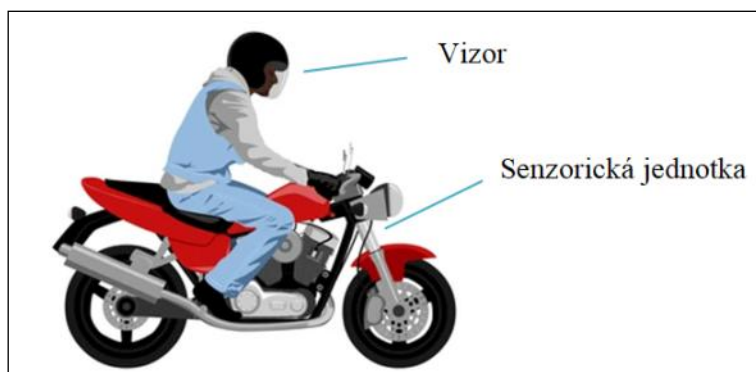
Koncepce „2“ uvažuje umístění zobrazovací jednotky - vizoru (který má pouze zobrazovací funkci) na přilbě. Sensorická jednotka je osazena nad palubní deskou motocyklu. Výhodou oproti řešení ad „1“ je jednodušší konstrukce, menší hmotnost části nesené na přilbě a směřování směrůvých senzorů vždy ve směru podélné osy motocyklu. Nevýhodou je nutnost umístění na místo, které při projektování motocyklu nebylo pro tento účel zamýšleno. Systém je zásadně nevhodný pro motocykly vybavené větrným štítem (ovlivnění funkce laserového dálkoměru optickými vlastnostmi materiálu štítu).



Obr. 10: Konceptní řešení „2“ [upraveno z 24]

### 3.3. Koncepce „3“

Koncepce „3“ používá - stejně jako v případě koncepce „2“ - samostatný vizor na přilbě a senzorickou jednotku umístěnou na motocyklu. V tomto případě je však senzorická jednotka umístěna na přední vidlici motocyklu, což umožňuje použití systému i na motocyklech vybavených větrným štítem. Výhodou je - opět na rozdíl od řešení ad „2“ - jednodušší upevnění senzorické jednotky, které je však závislé na tom, aby byl na přední vidlici dostatečný prostor pro její umístění. Tato koncepce je náchylná na provozní znečištění.



Obr. 11: Koncepční řešení „3“ [upraveno z 24]

Bylo provedeno subjektivní hodnocení jednotlivých variant dle zvolených kritérií pro provoz. Zvolena byla stupnice 0 - 5, přičemž „5“ je ideální stav a „0“ definuje praktickou nepoužitelnost v provozu.

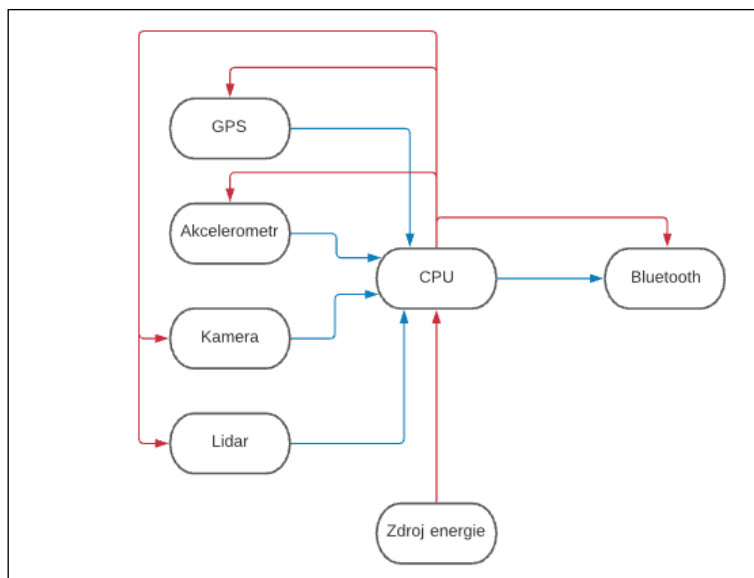
Tab. 1: Hodnocení koncepčních řešení

Kritérium	Alternativa „1“	Alternativa „2“	Alternativa „3“	Ideální stav
Softwarová náročnost:	2	4	4	5
Hmotnost:	2	3	3	5
Cena komponent:	4	3	3	5
Konstrukční náročnost:	3	3	4	5
Rozměry:	2	3	3	5
Odolnost vůči nečistotám:	4	3	2	5
Univerzálnost:	4	2	3	5
Využitelnost senzorů:	2	4	4	5
<b>Hodnocení:</b>	<b>23</b>	<b>25</b>	<b>26</b>	<b>40</b>

Po vyhodnocení vyjmenovaných kritérií bylo jako neoptimálnější zvoleno koncepční řešení „3“, tzn. zobrazovací jednotka (vizor) je umístěna na přilbě řidiče motocyklu a senzorická jednotka je umístěna na přední vidlici motocyklu.

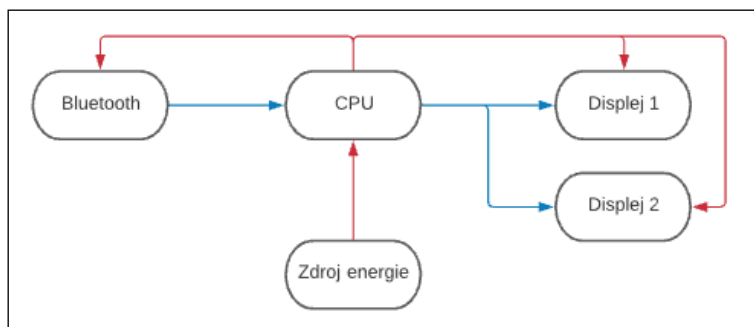
## 4. Výběr elektronických komponent

Pro zajištění požadovaných funkcí systému jsou zapotřebí odpovídající elektronické komponenty. V této kapitole je popsán a odůvodněn jejich výběr. Výběr komponent na základě specifikace požadavků, uvedených v kapitole 2, respektuje níže prezentovaná schémata. Blokové schéma zapojení senzorické jednotky zobrazuje modrými čarami informační toky mezi jednotlivými komponentami a červenými čarami jejich napájení.



Obr. 12: Blokové schéma zapojení senzorické jednotky

Schéma zapojení zobrazovací jednotky (červeně vyznačeno napájení, modře informační toky):



Obr. 13: Blokové schéma zapojení zobrazovací jednotky

Komponenty lze rozdělit na skupiny dle jejich účelu:

- výpočetní hardwarová část (řídící jednotky),
- senzory,
- subsystémy zajišťující část systému zodpovědnou za přenos dat v systému a interpretaci těchto dat řidiči motocyklu,
- ostatní subsystémy, zajišťující správnou funkčnost celého systému.



## 4.1. Senzory

Použité senzory mají za úkol zprostředkovávat asistenčnímu systému relevantní data, která lze následně zobrazit řidiči motocyklu. Výběr senzoru je závislý na požadavcích, které jsou na něj z hlediska zajištění plnohodnotné informovanosti řidiče kladeny.

Při řízení vozidla jsou primární vizuální vjemy. Vhodným senzorem pro snímání obrazu je tedy kamera, pomocí níž lze identifikovat dopravní značení, chodce či ostatní účastníky silničního provozu, apod.

Důležitými vlastnostmi kamery pro aplikaci dopravního asistenta řidiče jsou [25]:

- úhel záběru,
- rozsah světelné citlivosti,
- rozlišení a hloubka ostrosti objektivu,
- denní / noční vidění.

Při využití kamery schopné snímat obraz v IR spektru lze za tmy a při snížené viditelnosti dosáhnout mnohem lepších výsledků, než při použití kamery, pracující ve viditelném spektru a doplněné standardním přisvětlením. Nevýhodou zobrazení v IR spektru je absence vnímání barev snímaných objektů.



Obr. 14: Porovnání nočního obrazu z RGB (vlevo) a NIR kamery (vpravo) [26]

Pro tento projekt byla vybrána kamera typu Waveshare RPi. Její výhodou je kombinace RGB a NIR kamery a integrovaného mechanismu deaktivace IR filtru před objektivem. Kamera též disponuje IR přisvětlením, které však nemá dostatečný výkon (dle údaje výrobce je vhodná pouze do vzdálenosti 6 m), proto bylo pro účely tohoto projektu demontováno. V případě nutnosti rozšíření sensorické jednotky o IR přisvit je nutno použít typ osvětlení s delším dosahem.

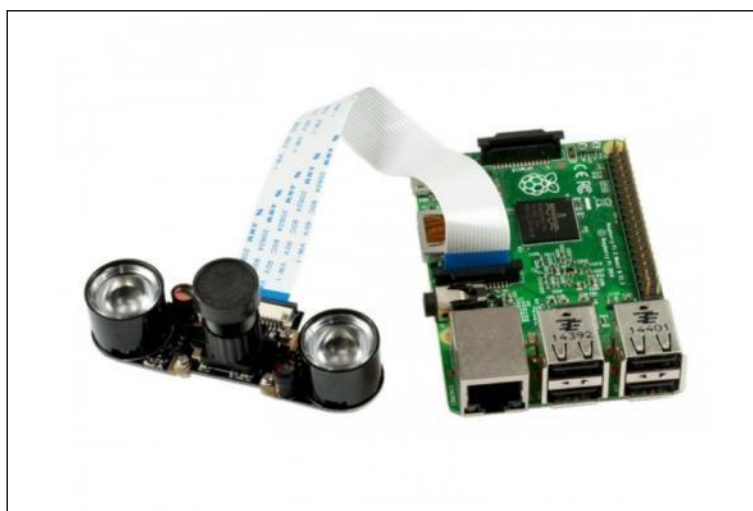
Tab. 2: Specifikace použité kamery [27]

<b>Rozlišení senzoru:</b>	5 MPx
<b>Maximální rozlišení videa:</b>	1080p
<b>Velikost CCD čipu:</b>	1/4"
<b>Světelnost objektivu:</b>	1,8
<b>Ohnisková vzdálenost:</b>	3,6 mm
<b>Zorné pole:</b>	75.7 °
<b>Provozní napětí:</b>	3,3 V



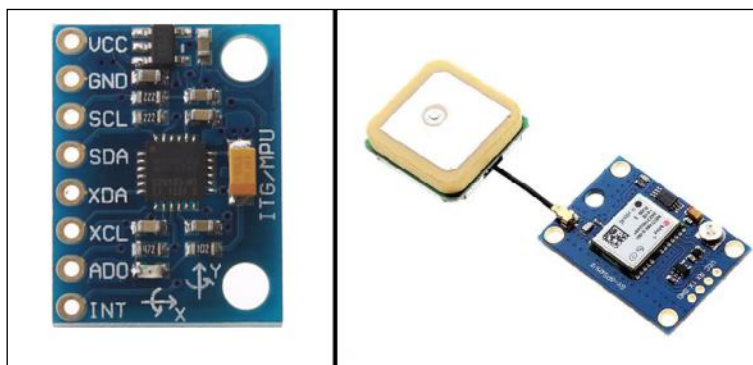
**Obr. 15: Waveshare RPi [28]**

Kamera je k řídicímu mikropočítači Raspberry Pi připojena 15-pinovým FFC CSI kabelem. Připojení kamery je patrné z obrázku 16.



**Obr. 16: Zapojení kamery do Raspberry Pi [29]**

Další funkcí asistenčního systému je včasné varování před nárazem do vpředu jedoucího vozidla. Jedním ze vstupů pro tuto funkci je rychlost motocyklu. Vzhledem k tomu, že systém je koncipován pro použití na jakémkoliv značce a typu, je potřeba zajistit měření rychlosti jako nezávislé. Byla zvolena kombinace GPS senzoru, který snímá údaje o poloze v otevřených prostorech, a inerciální měřicí jednotky, která připadá v úvahu v prostorech bez dosahu GPS. Jako GPS senzor byl zvolen typ Neo-6M, inerciální senzor je typu MPU-6050.



Obr. 17: Inerciální senzor (vlevo) a GPS senzor (vpravo) [30, 31]

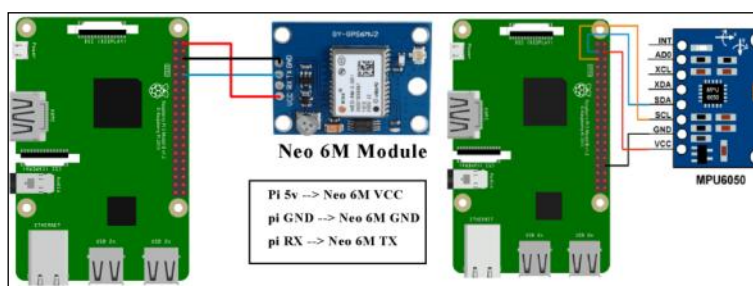
Tab. 3: Specifikace použitého inerciálního senzoru [32, 33]

<b>Provozní napětí:</b>	2,375 V až 3,460 V
<b>Provozní proud:</b>	3,9 mA
<b>Rozsah měření akcelerometru:</b>	$\pm 16$ g
<b>Rozsah měření gyroskopu:</b>	$\pm 2\,000$ °/s
<b>Rozsah provozních teplot:</b>	-40 °C až +85 °C
<b>Přesnost měřených veličin:</b>	$\pm 3$ %

Tab. 4: Specifikace použitého GPS senzoru [34]

<b>Provozní napětí:</b>	2,7 V až 5,0 V
<b>Provozní proud:</b>	45 mA
<b>Přesnost:</b>	2,5 m
<b>Frekvence měření:</b>	1 Hz až 5 Hz
<b>Čas kalibrace:</b>	27 s
<b>Rozsah provozních teplot:</b>	-40 °C až +85 °C

Zapojení obou senzorů je znázorněno na obrázku 18. U GPS senzoru je vysílací pin TX připojen k přijímacímu pinu (RX) GPIO. U inerciálního senzoru jsou připojeny 2 piny - datový pin SDA a pin pro synchronizační časový signál SCL.



Obr. 18: Zapojení GPS senzoru (vlevo) a inerciálního senzoru (vpravo) [35, 36]

Vzdálenost od vpředu jedoucího vozidla bude v reálu měřena senzorem zjišťování vzdálenosti. Vzhledem k rychlostem, kterých běžně vozidla během silničního provozu dosahují, je nutné použít senzor s minimálním dosahem v řádu desítek metrů. Zvolen byl

laserový dálkoměr typu TeraRanger Evo 60m s dosahem 60 m. Dodává se se dvěma typy výstupních konektorů, micro USB/USB a I<sup>2</sup>C/UART. Vzhledem k tomu, že použitý mikropočítač má k dispozici 4 volné USB konektory, byla zvolena verze s výstupem micro USB/USB.



Obr. 19: Dálkoměr TeraRanger Evo [37]

Tab. 5: Specifikace použitého dálkoměru [38]

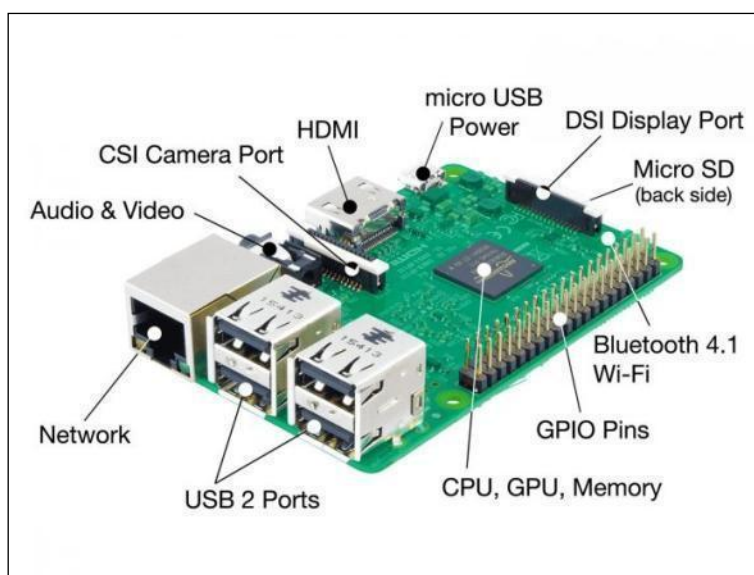
<b>Provozní napětí:</b>	5 V ± 5 %
<b>Provozní proud:</b>	90 až 330 mA
<b>Dosah měření:</b>	0,5 až 60,0 m
<b>Frekvence měření:</b>	240 / s
<b>Přesnost měření:</b>	± 4 cm (0 až 14 m); 1,5 % (14 až 60 m)
<b>Rozlišení:</b>	0,5 cm (0 až 14 m); 2 cm (14 až 60 m)
<b>Zorné pole:</b>	≈ 2°

## 4.2. Vývojové desky

Zvolená koncepce vyvíjeného systému uvažuje se dvěma řídicími jednotkami, tvořenými jednodeskovými, spolu komunikujícími počítači. Jeden počítač je osazen v senzorické jednotce, vyhodnocuje data získaná z jednotlivých senzorů a vyhledává v nich informace, které jsou pro řidiče podstatné. Druhý počítač je součástí zobrazovací jednotky a zajišťuje vizuální interpretaci takto získaných informací řidiči.

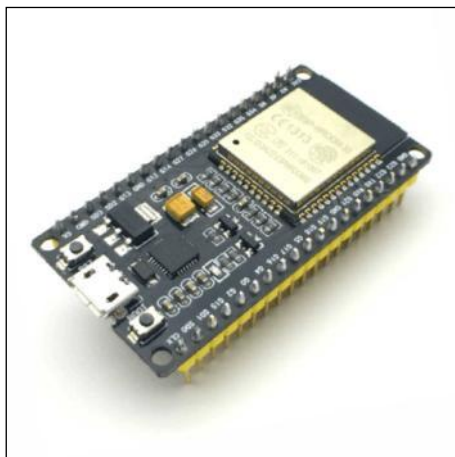
Při výběru počítače senzorické jednotky je třeba vzít v úvahu, že bude zpracováváno velké množství informací v reálném čase. Jelikož je jedním ze senzorů kamerový systém (přičemž úlohy strojového zpracování obrazu patří z hlediska výpočetní složitosti k nejnáročnějším), je důležité vybrat desku s dostatečnou výpočetní kapacitou, aby byla schopna zajistit tuto funkci a zároveň poskytovat dostatečnou výkonovou rezervu pro zpracování dat z ostatních senzorů. [39]

Byla zvolena platforma jednodeskového počítače Raspberry Pi ve verzi 3B+, poskytující dostatečný výkon pro běh jednodušších úloh zpracování obrazu a zároveň je snadno dostupná, včetně příslušné dokumentace. Pro návrh komerčního řešení ve velkosériové produkci by bylo vhodnější vytvořit jednoúčelový optimalizovaný HW. Výkonová analýza, optimalizace SW a návrh odpovídajícího HW však tvoří problematiku nad rámec této diplomové práce.



Obr. 20: Raspberry Pi 3B [40]

Počítač zobrazovací jednotky provádí nepoměrně menší množství výpočtů, než počítač senzorické jednotky. Je proto možné využít méně výkonný jednodeskový počítač, v tomto případě jednočipový počítač ESP32. Ten oproti ostatním konkurenčním zařízením obsahuje navíc integrální WiFi a Bluetooth moduly, aniž by je výrazně převyšoval cenou.



Obr. 21: ESP 32 [41]

### 4.3. Komunikační rozhraní a zobrazování dat

Komunikace zobrazovací a senzorické jednotky je bezdrátová. Bezdrátovou komunikaci lze na krátké až střední vzdálenosti realizovat několika způsoby, především rozhraními Bluetooth, WiFi, ZigBee či LoRa. Cenově jsou veškerá z uvedených řešení ekvivalentní. Liší se v možné topologii sítě, kterou tvoří současně propojená zařízení. Vzhledem k tomu, že síť v navrhované aplikaci tvoří pouze dvě zařízení (senzorická a zobrazovací jednotka), je i tento parametr nepodstatný a lze využít všechna výše uvedená rozhraní. [42, 43]

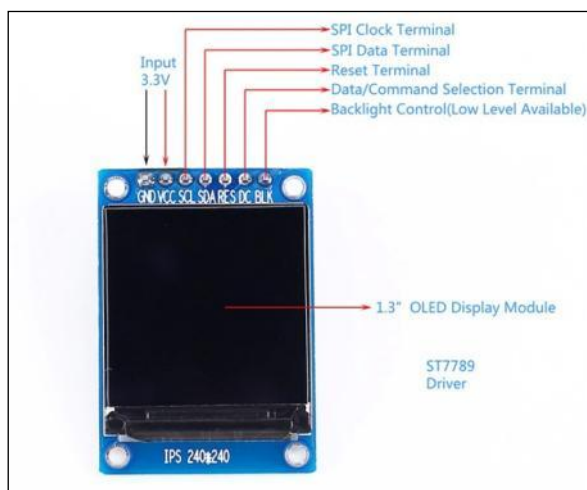
Tab. 6: Popis jednotlivých komunikačních rozhraní [44, 45, 46, 47]

	Bluetooth	WiFi	LoRa	ZigBee
<b>Dosah:</b>	10 m	100 m	2 km až 5 km	10 až 100 m
<b>Frekvence:</b>	2,4 GHz	2,4 GHz / 5 GHz	433 / 868 / 780 / 915 MHz	868 / 915 MHz; 2,4 GHz
<b>Datová propustnost:</b>	2 Mb/s <sup>1)</sup>	90 Mb/s <sup>1)</sup>	50 kb/s	250 kb/s
<b>Energetická spotřeba:</b>	≈ 20 mW	≈ 1000 mW	≈ 20 mW	≈ 100 mW

Pro finální aplikaci bylo s přihlédnutím k použitým počítačům pro senzorickou a zobrazovací jednotku zvoleno rozhraní Bluetooth, kterým jsou oba počítače vybaveny. Dosah 10 metrů je dostatečný a datová propustnost je vzhledem k množství přenášených dat přijatelná. V porovnání s WiFi má rozhraní Bluetooth navíc nižší energetickou spotřebu.

K zobrazování dat řidiči motocyklu je nutno zajistit zdroj obrazové informace pro průhledový displej. Vzhledem k množství informací a jejich odlišení či zdůraznění relevance (varování, zobrazování aktuální rychlosti apod.) byly zvoleny dva barevné TFT displeje, každý o úhlopříčce 1.3" (viz kapitola 5).

<sup>1</sup> Měřeno na Raspberry Pi 3B+



Obr. 22: TFT displej [48]

#### 4.4. Zdroje energie

Pro správnou funkci systému je potřeba zajistit napájení vývojových desek a jejich periférií. Systém je navrhován jako univerzální řešení, nezávislé na vnějším napájení.

Vzhledem k tomu, že na trhu je velký výběr power bank s dostatečnou kapacitou, bylo zvoleno napájení systému tímto způsobem. Napájecí vstup je řešen pomocí konektoru micro USB/USB.

Pro napájení senzorické jednotky byla zvolena power banka typu ADATA AT10000, pro napájení zobrazovací jednotky powerbanka Eloop Ultralim E30, která má při dostatečné kapacitě malé rozměry a nízkou hmotnost.



Obr. 23: Power banka ADATA (vlevo) a Eloop Ultralim (vpravo) [49, 50]

Tab. 7: Specifikace použitých zdrojů energie [51, 52]

	<b>ADATA AT10000</b>	<b>Eloop Ultralim E30</b>
<b>Kapacita:</b>	10 000 mAh	5 000 mAh
<b>Výstupní proud:</b>	2 A	1 A
<b>Výstupní napětí:</b>	5 V	5 V
<b>Napájení:</b>	Micro USB/USB	Micro USB/USB
<b>Rozměry (šířka / výška / hloubka):</b>	67 / 135,5 / 15 mm	68,5 / 118,5 / 9,3 mm
<b>Hmotnost</b>	217 g	116 g

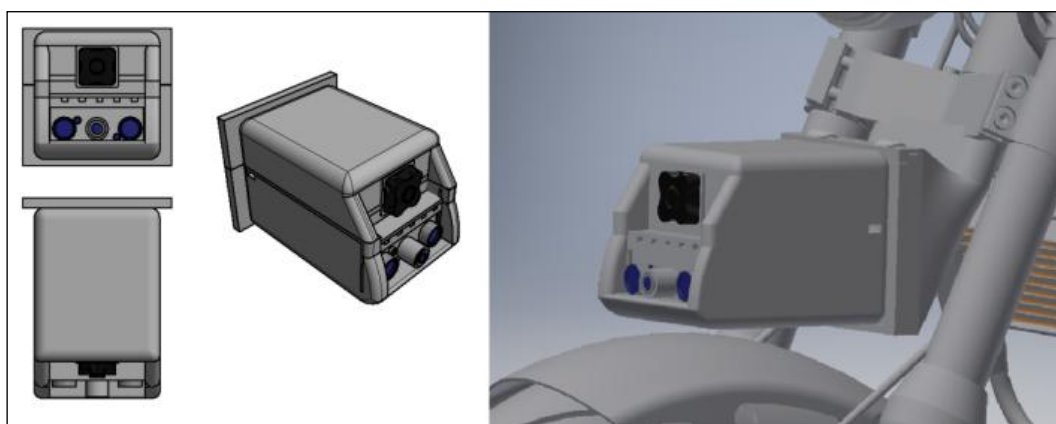
## 5. Konstrukční řešení senzorické jednotky

Tato kapitola se zabývá návrhem rámu pro umístění počítače a periferií senzorické jednotky.

Pouzdro senzorické jednotky musí mít tyto vlastnosti:

- Zajištění správného umístění jednotlivých komponent senzorické jednotky.
- Poskytnutí mechanické ochrany a ochrany proti povětrnostním vlivům jednotlivým komponentám.
- Umožnění stabilního upevnění senzorické jednotky na motocyklu.
- Zajištění potřebného chlazení elektronických komponent.

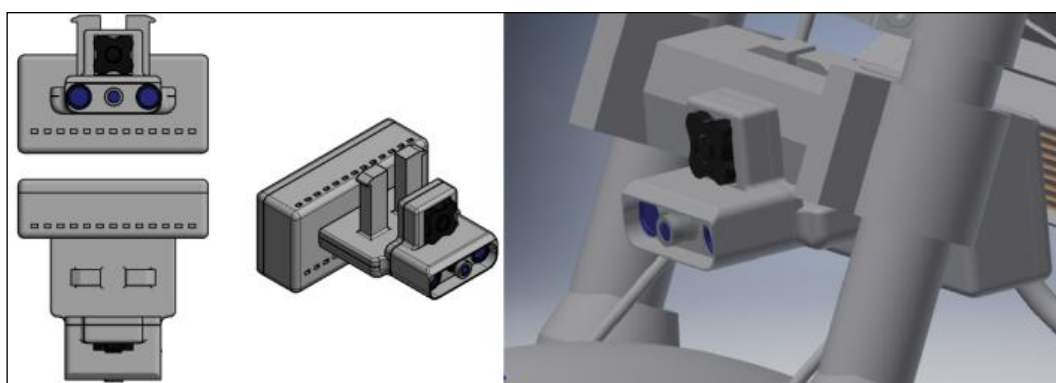
V rámci projektu byly navrženy dvě varianty koncepce řešení senzorické jednotky. První varianta je upevněna k motocyklu svou zadní částí, v její střední části jsou umístěny senzory, řídicí jednočipový počítač a baterie. Vpředu je umístěn laserový dálkoměr a kamera.



Obr. 24: Senzorická jednotka - řešení „1“

V případě druhé varianty je v přední části senzorické jednotky umístěna kamera a laserový dálkoměr, upevňovací zařízení je umístěno ve střední části a v zadní části jsou osazeny senzory, baterie a jednočipový počítač.

Při návrhu variant řešení bylo uvažováno použití IR přisvícení kamery, od kterého bylo ve finálním návrhu upuštěno, viz kapitola 4.1.



Obr. 25: Senzorická jednotka - řešení „2“



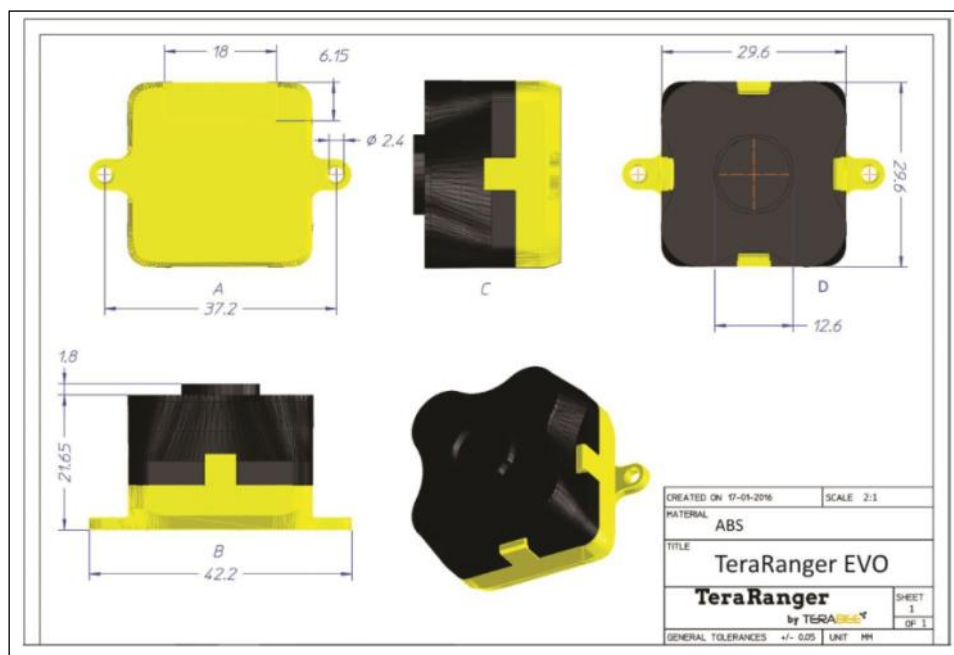
Bylo provedeno subjektivní hodnocení jednotlivých variant dle zvolených kritérií pro provoz. Byla zvolena stupnice 0 – 5, přičemž „5“ je ideální stav a „0“ definuje praktickou nepoužitelnost v provozu.

Tab. 8: Hodnocení variant senzorické jednotky

Kritérium	Varianta „1“	Varianta „2“	Ideální stav
Hmotnost / Prostorové uspořádání:	1	3	5
Odolnost proti vibracím:	2	3	5
Chlazení:	3	4	5
Náročnost výroby:	4	3	5
Cena:	4	3	5
<b>Hodnocení:</b>	<b>14</b>	<b>16</b>	<b>25</b>

U posuzovaných kritérií bylo nutno zdůraznit, která z nich jsou pro praktickou použitelnost řešení více důležitá a která méně či vůbec. Pro potřebu tohoto projektu bylo stanoveno, že rozměry, hmotnost a odolnost jsou důležitějším kritériem, než náročnost výroby či cena. Původním záměrem bylo i hodnocení estetického provedení, které však nakonec nebylo provedeno, neboť design výsledného produktu je nad rámec této práce.

Na základě posuzovaných kritérií byla z důvodu lepšího rozvržení hmotnosti a menšímu rozkmitu senzorické jednotky během jízdy zvolena varianta „2“. Tato varianta také působí méně rušivým dojmem, neboť větší část senzorické jednotky je ukryta za přední vidlicí.



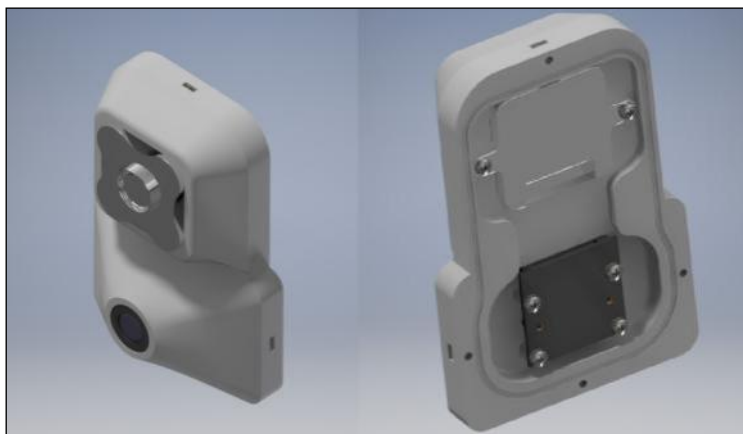
Obr. 26: Zástavbové rozměry dálkoměru TeraRanger Evo [54]

Při umístění laserového dálkoměru Teraranger Evo je třeba respektovat doporučení výrobce pro montáž [53]:

- Neumísťovat žádné překážky v úhlu  $15^\circ$  od osy dálkoměru.
- V prvním metru od senzoru neumísťovat žádné vysoce reflexivní předměty v úhlu  $45^\circ$ .
- Vyhnout se v blízkosti senzoru silným zdrojům IR záření.
- Pokud možno zabránit znečištění, zároveň však není doporučeno zakrytí senzoru.
- Neumísťovat v blízkosti žádné rotující předměty, odražející světlo.

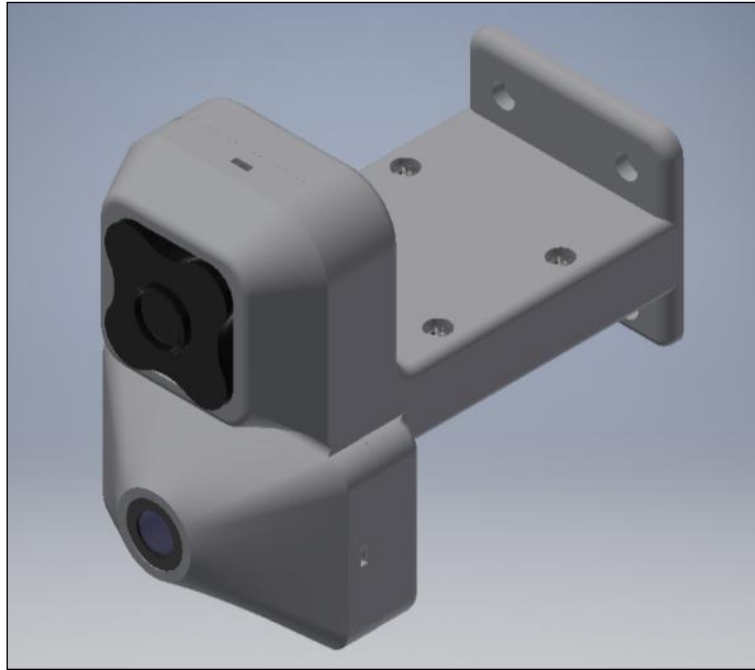
Výrobce kamery neuvedl žádné specifické požadavky pro její zástavbu. Kamera i laserový dálkoměr jsou umístěny nad sebou, čímž se snižuje nebezpečí poškození dálkoměru, např. odletujícími kaménky od vpředu jedoucího vozidla.

V pouzdře jsou oba výše uvedené senzory upevněny samořeznými šrouby, neboť po instalaci se nepředpokládá jejich častá demontáž. Spojení s dalšími částmi sensorické jednotky je realizováno kombinací šroub - matice. Matice jsou umístěny v předem připravených kapsách. Dále je součástí pouzdra drážka na vložení těsnění vůči nosnému elementu sensorické jednotky.



**Obr. 27: Umístění kamery a dálkoměru**

Část, obsahující laserový dálkoměr a kameru, je k pouzdru na HW sensorické jednotky připojena nosným elementem. Ten zajišťuje, že kamera i dálkoměr mají nerušený výhled vpřed a nejsou ovlivněny světelnými odrazy, např. od reflektoru motocyklu.



**Obr. 28: Nosný element**

Dalším úkolem bylo zabudování počítače Raspberry Pi, inerciálního senzoru, GPS senzoru a napájecích systémů do sensorické jednotky. U power banky bylo vycházeno z rozměrů dodaných výrobcem, viz kapitola 4.4. Poloha power banky je vymezena tvarovými elementy, bránícími jejímu pohybu. Nad power bankou je vytvořen chladicí průduch pro zajištění ochlazování instalované elektroniky. Ohřátý vzduch je odváděn výstupním průduchem v zadní části pouzdra sensorické jednotky. Výstupní otvor prochází stěnou pouzdra ve sklonu  $105^\circ$ , aby případná atmosférická vlhkost nevnikla do zařízení. Toto řešení bylo - na rozdíl od koncepčního řešení „2“, kde je odvod vzduchu realizován horní stranou sensorické jednotky - zvoleno zejména z důvodu prevence vniknutí vlhkosti. Pro zabránění vniknutí nečistot a hmyzu je doporučeno doplnit otvor vhodnou mřížkou, nezabraňující volnému proudění vzduchu.



**Obr. 29: Uložení power banky (vlevo) a víčko s přítlačnými elementy a větracím průduchem**

Mezi pouzdem pro power banku a víčkem pouzdra je v drážce umístěno silikonové tvarové těsnění, které zabraňuje zatékání vlhkosti. Spojení pouzdra a víčka je zajištěno čtyřmi samořeznými šrouby. Vzhledem k tomu, že spojení mezi pouzdem a víčkem není navrženo za účelem časté demontáže, je nutné zajistit externí napájení power banky a funkci zapínání / vypínání systému. K napájení je použita USB průchodka od firmy Cliff s redukcí USB B / USB, která je vybavena plastovým uzávěrem. Tímto řešením lze senzorickou jednotku napájet jak před použitím, tak i během jízdy, pokud je motocykl vybaven zásuvkou pro napájení drobných elektrospotřebičů.



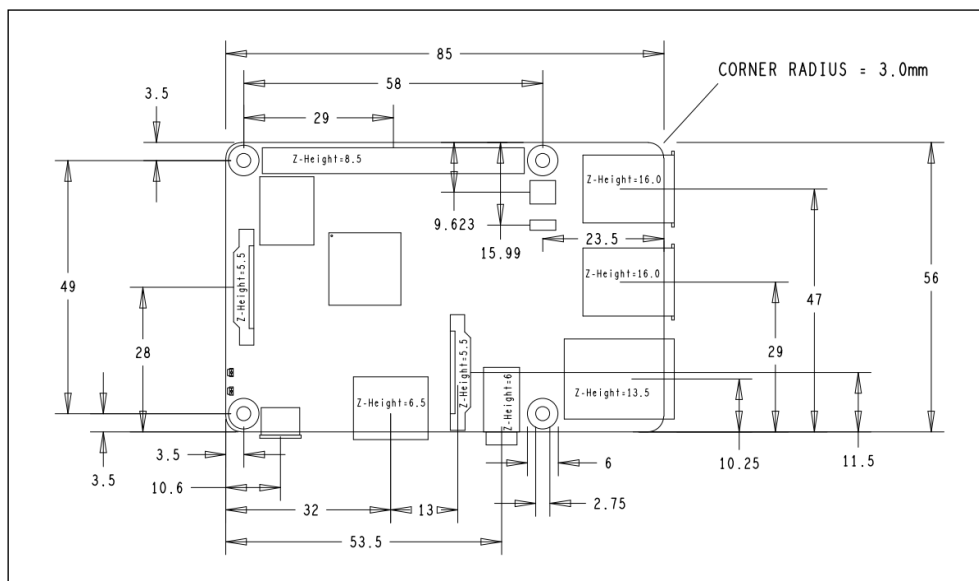
**Obr. 30: USB průchodka [55]**

Pro zapínání / vypínání systému je použito vodotěsné / prachotěsné tlačítko typu TRU Components TC-R13. Vestavěná LED navíc slouží jako indikátor zapnutí / vypnutí.



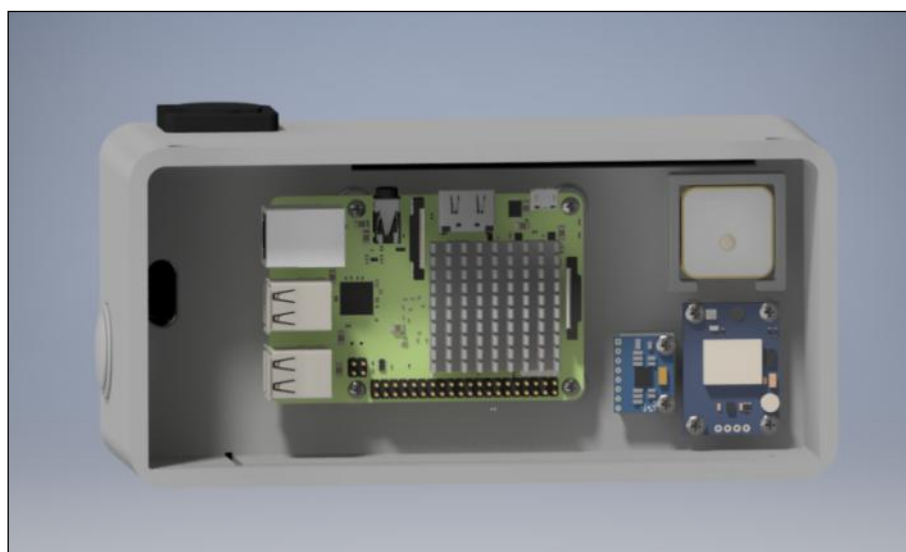
**Obr. 31: Ovládací tlačítko [61]**

Zabudování Raspberry Pi bylo provedeno v souladu s oficiálním rozměrovým výkresem výrobku:



Obr. 32: Výkresová dokumentace Raspberry Pi [56]

Raspberry Pi je společně s inerciálním senzorem a GPS senzorem umístěno na přední straně pouzdra sensorické jednotky. Tyto komponenty jsou za jízdy proudícím vzduchem chlazeny náporově.

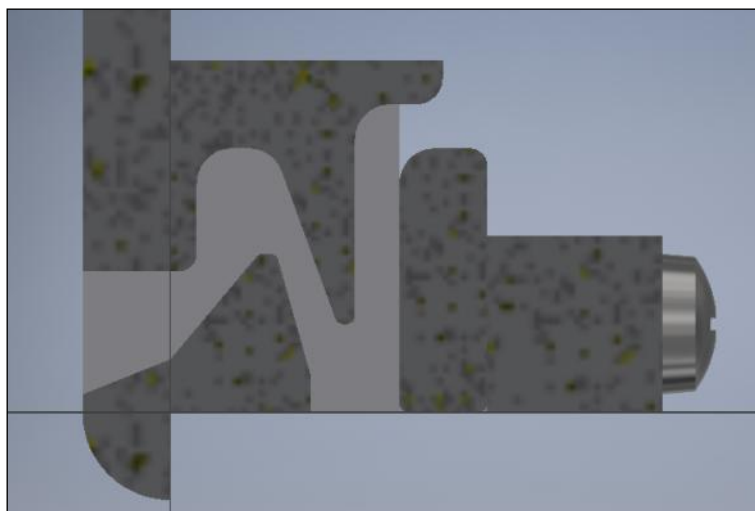


Obr. 33: Umístění Raspberry Pi a senzorů v sensorické jednotce

Počítač Raspberry Pi je vybaven funkcí tzv. „thermal throttling,“ tj. snižováním výkonu při dosažení kritické teploty. Náporové vzduchové chlazení je během jízdy pro bezchybnou funkci systému dostatečné, případné snížení výkonu při stání (tj. při absenci chlazení) není na závadu, avšak je nutno počítat s tím, že po rozjetí se musí počítač pohybem vozidla ochladit, což může způsobit prodlevu ve znovuobnovení asistenčních funkcí v plném rozsahu. [57]

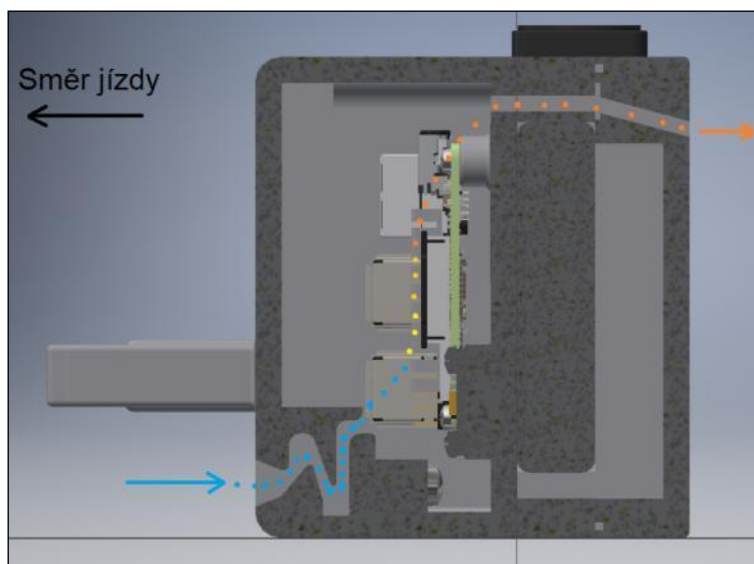
Vzhledem k riziku, že při náporovém chlazení do zařízení vniknou vlhkost, nečistoty či hmyz, bylo třeba navrhnout řešení, které tomu zabrání. Byl zvolen labyrintový systém, který

zajistí, že těžší pevné částice a vodní kapky v systému ztratí kinetickou energii a neproniknou k citlivým součástem. Vstupní otvor labyrintu je řešen tak, že těžší částice a kapky ztratí energii v jeho ústí a do pouzdra vůbec nevniknou. Lehčí částice a kapky proniknou šikmým průduchem až k nejvyšší části labyrintu, kde na jeho sestupné části ztratí energii a odvodňovací drážkou jsou odvedeny ven z pouzdra. Vstupní otvor do labyrintu je třeba vhodným způsobem (např. kovovým sítím) chránit. V tomto návrhu ochrana vstupního otvoru není znázorněna.



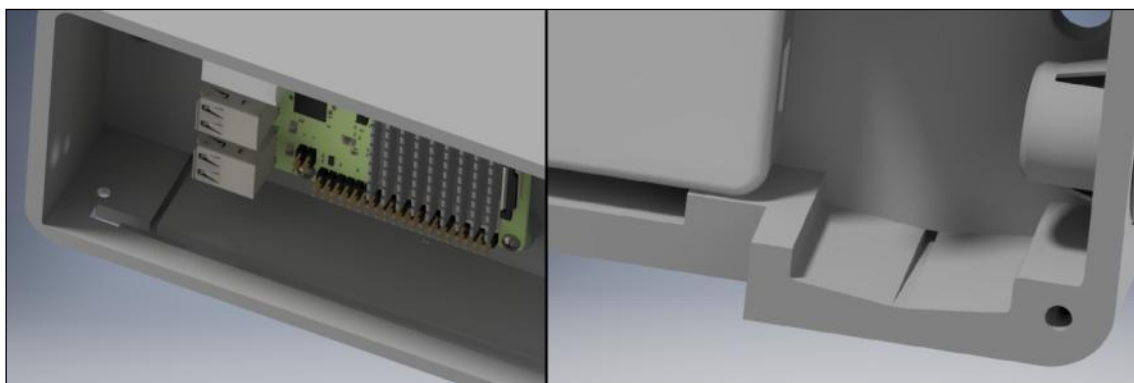
Obr. 34: Řez odlučovačem, vzduch vchází zleva, dole vstup do odvodňovací drážky, výstup vzduchu nahoru a vpravo

Vzduch, zbavený vlhkosti a pevných částí, postupuje vzhůru svislým kanálem do pouzdra senzorické jednotky, kde chladí HW a baterii. Ohřátý vzduch je z pouzdra senzorické jednotky odveden výstupním průduchem v její zadní části.



Obr. 35: Proudění vzduchu senzorickou jednotkou, modrá barva – studený vzduch, červená – ohřátý vzduch

Do odvodňovací drážky je dále zaústěn odvodňovací kanálek ze zadní části senzorické jednotky, který by v případě narušení těsnosti víčka napájecího konektoru nahromaděný kondenzát odvedl mimo pouzdro.

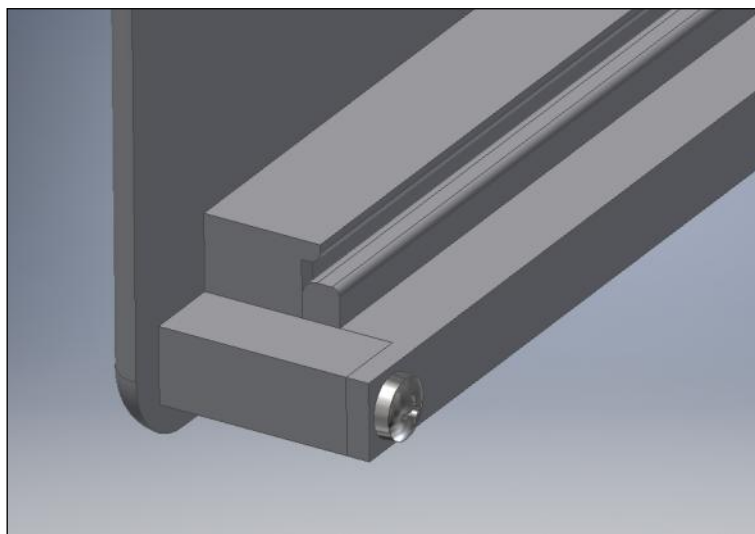


Obr. 36: Ukázka odvodňovacího kanálu (vlevo) a odvodnění průsaku napájecího konektoru

Složení chladicího systému:

- Rám s víkem,
- Odlučovací labyrint,
- Přídržný člen.

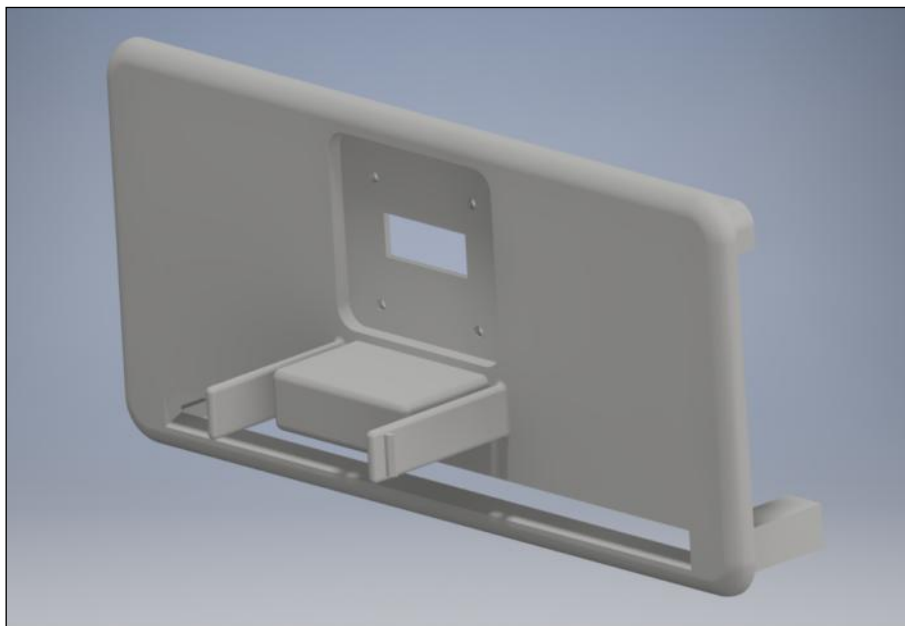
Odlučovací labyrint není monoblok, ale je složen ze tří tvarových segmentů. Toto řešení bylo přijato z důvodu snadnější výroby i jinými způsoby, než pouze 3D tiskem. Sestavený labyrint je zasunutý do drážky v rámečku chlazení a v této poloze je zaaretován tvarovým členem. Montáž je realizována pomocí dvojice samořezných šroubů.



Obr. 37: Uspořádání odlučovače

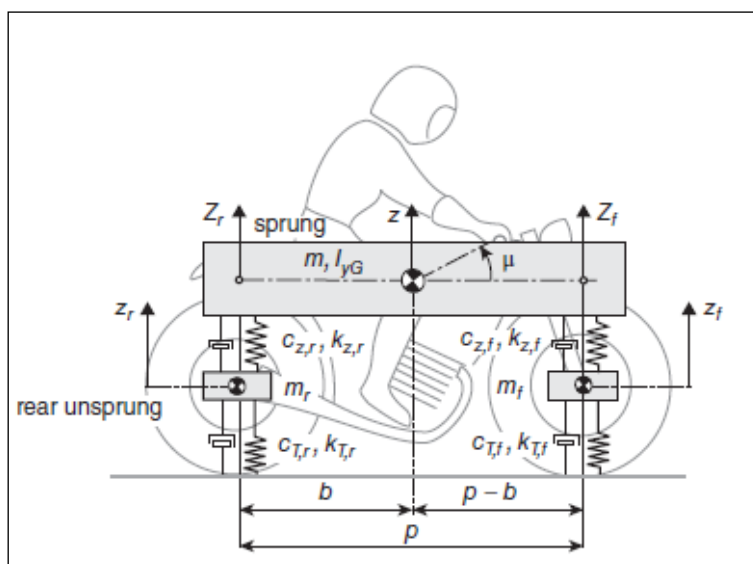
Rámeček chlazení zároveň slouží jako přední víko sensorické jednotky. V přední části krytu je nad vstupním ústím chladicího systému osazena dutá dvoudílná spojovací část, na níž je připevněna kamera a laserový dálkoměr a pomocí níž jsou k Raspberry Pi vedeny přívodní vodiče těchto periférií. Sestavu doplňuje dvojice pružných členů, jimiž je sensorická jednotka odnímatelně připevněna k držáku, umístěnému mezi trubkami přední vidlice motocyklu.





Obr. 38: Přední kryt sensorické jednotky

Důležitou vlastností sensorické jednotky je odolnost vůči vibracím, vznikajícím během jízdy. U motocyklu, jakožto dynamického systému s více stupni volnosti dochází během provozu k mechanické oscilaci jednotlivých komponent. Vzhledem k tomu, že použité senzory by se mohly při větších amplitudách mechanického kmitání poškodit, popřípadě by mohlo měření příslušných veličin proběhnout nekorektně, je nutné se vyhnout rezonanci konstrukce systému, nastávající při buzení soustavy stejnou frekvencí jakou je její vlastní frekvence a způsobující rezonanční chvění.



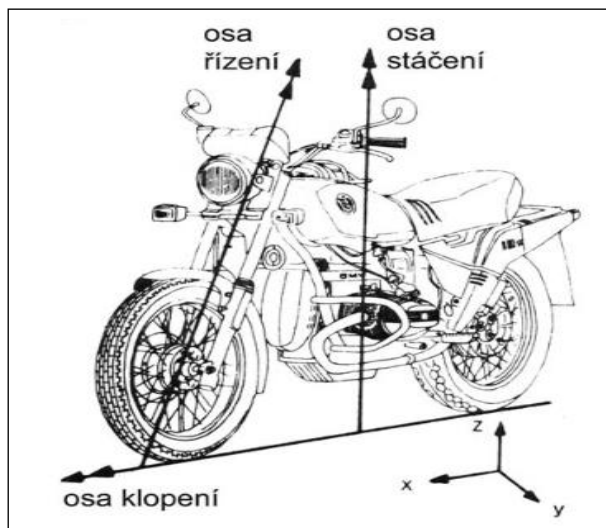
Obr. 39: Dynamický model motocyklu [58]

Senzorická jednotka je umístěna pod předním světlometem motocyklu a je od vozovky a jejích nerovností oddělena dvěma tlumícími prvky - tlumičem přední vidlice a pneumatikou.

Při návrhu odpružení a z něho vyplývajících oscilací jednotlivých částí motocyklu se obvykle vychází z normy ISO 2631, která se zabývá vibracemi a jejich vlivu na lidské tělo, a z normy ISO 5349, která se zabývá stejnou problematikou, u níž je ale uvažován pouze

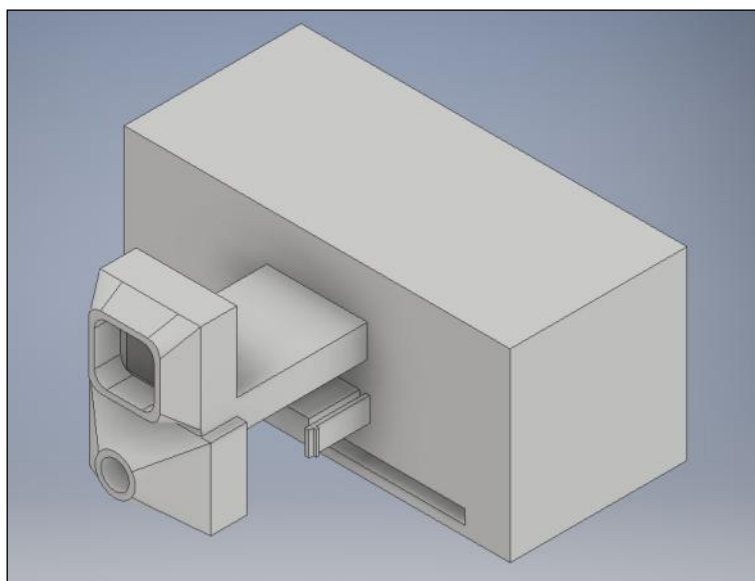
přenos vibrací přes úchop rukou. Výsledná frekvence oscilací, přenesených na tělo řidiče sezením, se pohybuje v rozmezí 1 až 8 Hz a v rozmezí 12 až 16 Hz u oscilací přenesených úchopem řídítek. Pro potřebu této práce byly uvažovány vidlice řízení a řídítka jako jedno integrální tuhé těleso, kmitající stejnou frekvencí. [59]

Dalším typem oscilace přední vidlice je tzv. „wobbling“, což je stav, kdy vidlice osciluje okolo osy řízení motocyklu (vyznačena na obr. 39) s frekvencí 2 až 10 Hz. Experimentálně bylo již dříve zjištěno, že tento jev nejčastěji nastává při rychlostech mezi 40 a 90 km/h. [60]



Obr. 40: Osy rotačních pohybů motocyklu [60]

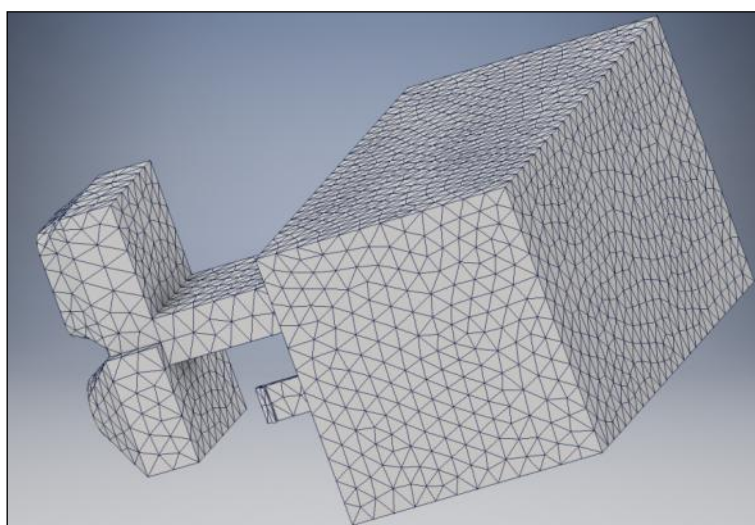
Jak vyplývá z předchozího, nejvyšší v úvahu připadající frekvence oscilace přední vidlice je 16 Hz (tj. frekvence oscilací přenesených úchopem). Aby bylo zabráněno rezonančnímu chvění senzorické jednotky, její první nenulová vlastní frekvence musí být vyšší, než tato. Pro účely této práce je uvažována bezpečná minimální vlastní frekvence 25 Hz. Pro zjištění vlastních frekvencí systému byla provedena tzv. modální analýza.



Obr. 41: Zjednodušený model pouzdra pro účely modální analýzy

Za účelem provedení výpočtu byl vytvořen zjednodušený model, reprezentující geometrii pouzdra senzoričké jednotky. Tento model má vnitřní i vnější geometrii totožnou s výsledným modelem, odstraněny byly spáry a spojovací prvky – všechny části tvoří jeden celek. Odstraněna byla veškerá zaoblení a zkosení, komplikující geometrii modelu. Součástí modelu taktéž není nainstalovaný hardware. Je vycházeno z předpokladu, že zabudovaná elektronika zvýší tuhost soustavy. Výsledná vlastní frekvence systému by v tomto případě neměla být nižší než frekvence získaná výpočtem.

Výpočet vlastních frekvencí byl proveden pomocí modulu Nastran v 3D CAD softwaru Autodesk Inventor, typ výpočtu „Normal Modes“. Velikost elementu 3D sítě byla nastavena na 7,5 mm. Těleso bylo řešeno jako neupevněné v prostoru. Vzhledem k tomu, že neupevněné těleso má prvních šest vlastních frekvencí nulových, bylo omezeno zobrazování vlastních frekvencí na nenulovou hodnotu. Protože materiál PLA, který je uvažován jako konstrukční, není v materiálové knihovně softwaru Inventor uveden, bylo nutno jeho vlastnosti zadat ručně. Tyto údaje jsou uvedeny v tabulce 9.



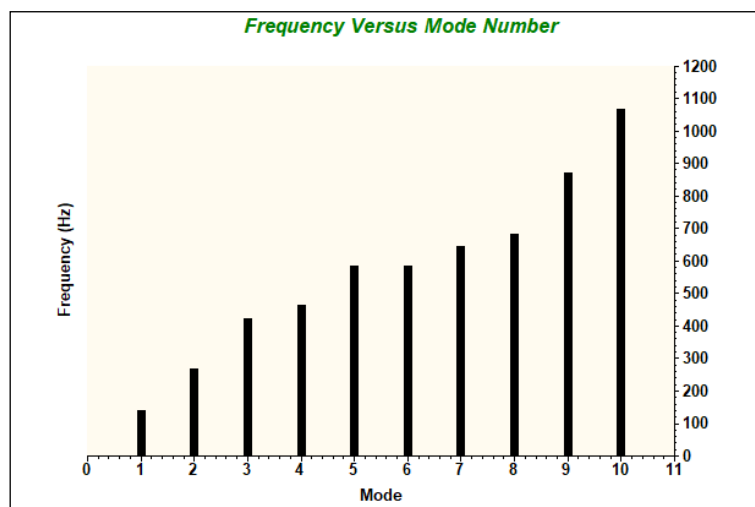
Obr. 42: Detail sítě pro výpočet modální analýzy

Ačkoliv je pro účely této práce výroba prototypu uvažována metodou 3D tisku typu FDM, kdy je chování použitého materiálu anizotropní, při masové výrobě pomocí metody vstřikování plastů by výsledný materiál byl izotropní, a proto byl materiál PLA uvažován pro účely výpočtu jako izotropní nebo se této vlastnosti blížící. Vzhledem k tomu, že u prototypu se počítá s omezenou dobou používání, navíc za jasně definovaných zkušebních podmínek (tj. pouze pro účely dalšího vývoje), není snížena držečnost ve směru kolmém na vrstvy tisku na závadu, protože masově vyráběný produkt by byl zjevně odolnější.

Tab. 9: Materiálové vlastnosti PLA [62, 63]

<b>Modul pružnosti v tahu:</b>	2,34 GPa
<b>Koeficient tření:</b>	0,266
<b>Pevnost v tahu:</b>	64,5 MPa
<b>Mez kluzu:</b>	40 MPa
<b>Poissonova konstanta:</b>	0,36
<b>Hustota:</b>	1,29 g/cm <sup>3</sup>

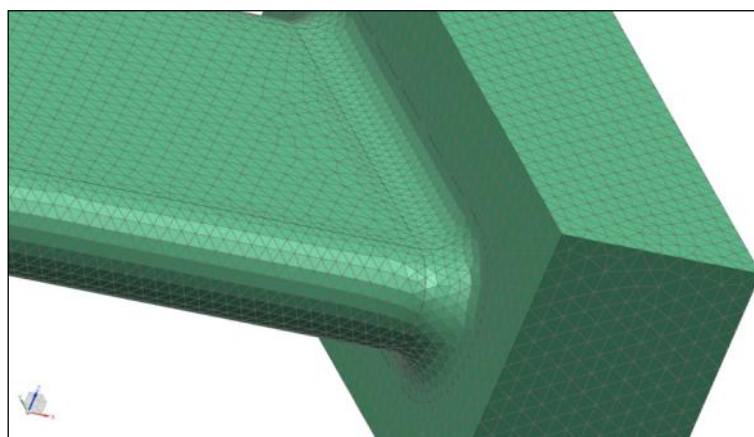
První nenulová vlastní frekvence sestavy má dle provedeného výpočtu hodnotu cca 130 Hz. Vzhledem k tomu, že tato frekvence je s dostatečnou rezervou vyšší, než potřebná (stanovená) vlastní frekvence 25 Hz, lze sestavu sensorické jednotky považovat za odolnou vůči rezonančnímu chvění.



Obr. 43: Prvních 10 vlastních frekvencí sensorické jednotky (výpočet proveden v Autodesk Nastran)

Vzhledem k tomu, že v konstrukčním řešení je spojení odnímatelné částí řešeno pomocí deformovatelného tvarového elementu (pružná západka), je nutno ověřit jeho odolnost vůči cyklickému namáhání.

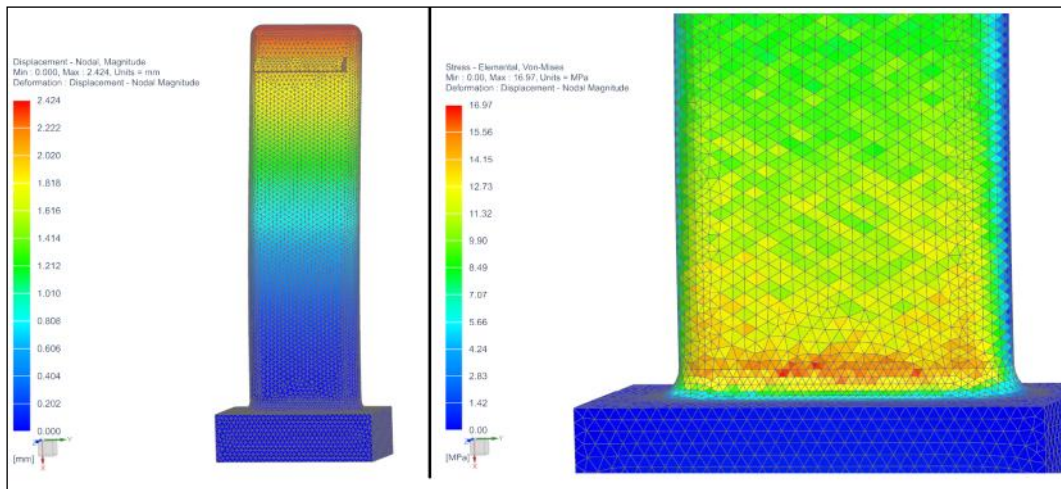
Pro výpočet deformovatelného spoje byl vytvořen zjednodušený model, reprezentující pouze tento tvarový spoj (respektive pouze jeho polovinu, neboť úloha je symetrická) a jeho nejbližší okolí. V první fázi výpočtu bylo vyšetřeno rozložení napětí v západce při deformaci. Tato část výpočtu statické zatěžovací analýzy byla řešena tzv. metodou konečných prvků (MKP) v simulačním balíku Simcenter v 3D CAD softwaru Siemens NX, typ úlohy „Linear Static“, řešící elastické úlohy v oboru platnosti Hookeova zákona. Velikost elementu byla vzhledem k malým rozměrům modelu nastavena na 0,5 mm.



Obr. 44: Detail sítě pro výpočet napětí v západce

Jako tzv. vazbová okrajová podmínka byla zadána pevná vazba („Fixed Constrain“), definující upevnění předního víka sensorické jednotky v sestavě, přičemž deformovaným členem je pouze západka. Okrajovou podmínkou, definující zatížení, je vynucený posuv („Enforced Load“), definující deformaci západky při zasouvání či vyjímání těla sensorické

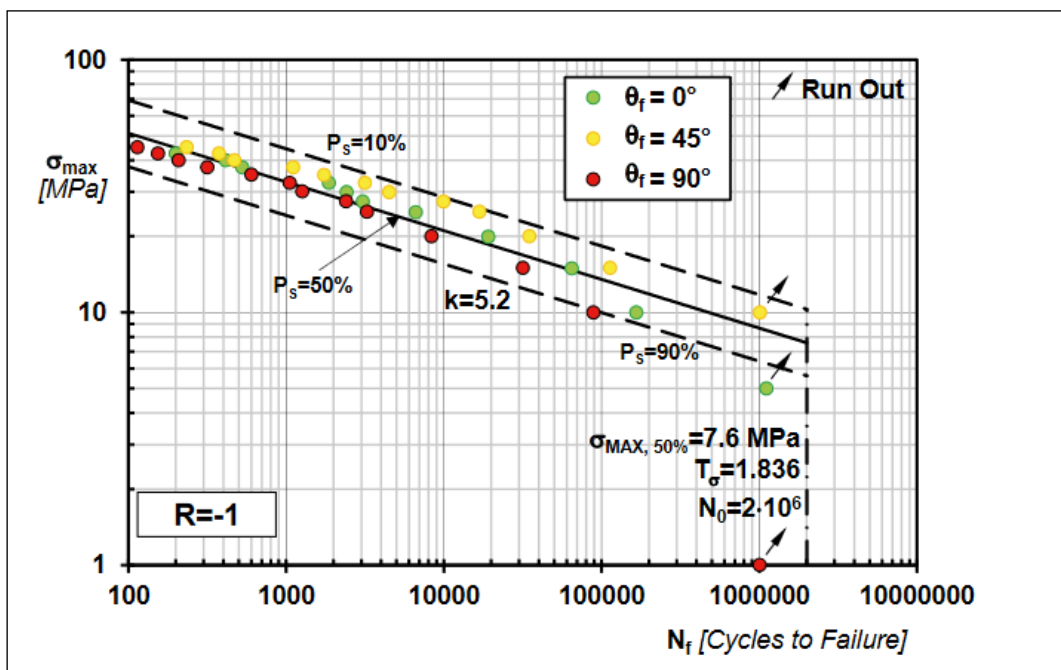
jednotky. Definované posunutí tvarového elementu západky vůči tvarovému elementu držáku je 2 mm.



Obr. 45: Výsledky simulace - rozložení deformace (vlevo) a napětí (vpravo)

Nejvyšší dosažené napětí při deformaci elementu je podle provedeného MKP výpočtu přibližně 17 MPa.

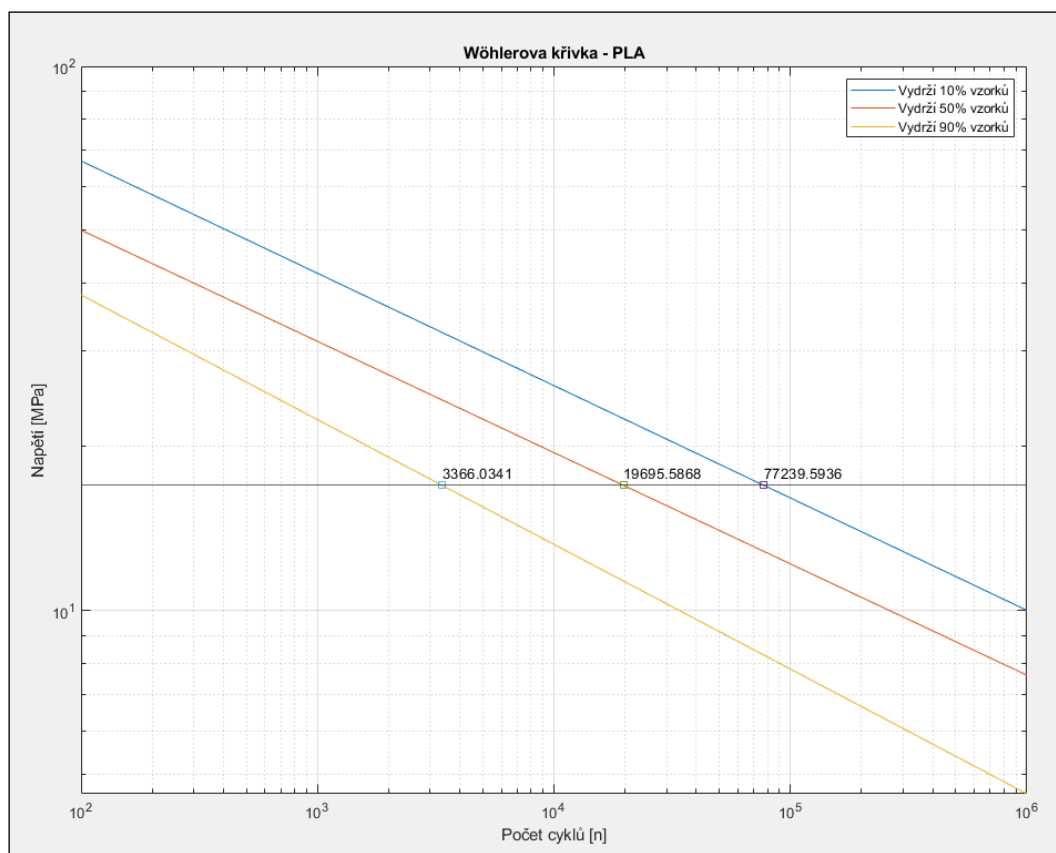
Za účelem posouzení únavové pevnosti je nutno znát mj. průměrný počet cyklů při cyklickém namáhání a při určitých amplitudách, až do meze porušení materiálu. Tuto závislost udává tzv. Wöhlerova křivka. Pro PLA se 100% výplní tisku, nejvíce se blížíci svými vlastnostmi izotropnímu materiálu, má tato křivka následující průběh:



Obr. 46: Wöhlerova křivka pro PLA se 100% výplní [64]

Pro výpočet únavové pevnosti bylo využito programové prostředí MATLAB, které umožňuje ze zadaných dat interpolovat přibližnou hodnotu životnosti. Předpokládaná životnost spoje, která odpovídá životnosti 50 % testovaných vzorků PLA, je necelých 20 000

cyklů. Tento počet zatížení při běžném používání s přihlédnutím k životnosti výrobku nebude překročen.



Obr. 47: Předpokládaná životnost pružné části tvarového spoje senzorké jednotky (počet cyklů)

Senzorká jednotka je osazena v držáku, umístěném na přední vidlici motocyklu. Tento držák je k vidlici upevněn svěrným spojem. Na základě údaje, uvedeném v tabulce 9, je použitý koeficient tření 0,266.

Výpočet třecí síly, vyvozené ve svěrném spoji, je:

$$F_T = n \cdot \pi \cdot d \cdot l \cdot f \cdot p \geq F_D \cdot k = m \cdot a \cdot k,$$

kde  $d$  = průměr přední vidlice,  $l$  = délka kontaktní části spoje,  $f$  = koeficient tření,  $p$  = tlak ve svěrném spoji,  $n$  = počet třecích ploch,  $F_T$  = třecí síla ve spoji,  $F_D$  = maximální dynamická síla působící na sestavu o hmotnosti  $m$  se zrychlením  $a$ , koeficient  $k$  = koeficient bezpečnosti.

Třecí díl je zhotoven pomocí 3D tisku a odpovídá vždy rozměrům vidlice jednoho konkrétního typu motocyklu. Bylo již dříve zjištěno, že v závislosti na parametrech tisku se mez kluzu PLA pohybuje od 9 do 26 MPa. [65]

Pro účely výpočtu byla uvažována s rezervou mez kluzu 2 MPa, aby se předešlo riziku poškození spoje otláčením spoje hlavou šroubu. Při použití šroubů M6 dle normy ČSN 02 1143, jejichž plocha pod hlavou  $S$  je  $\approx 48 \text{ mm}^2$ , je maximální přípustná síla  $F$ , působící v ose jednoho šroubu:

$$F = p \cdot S = 2 \cdot 48 = 96 \text{ N},$$

kde  $p$  = tlaková síla pod hlavou šroubu.

Dynamické síly, působících při jízdě na systém, se mohou lišit, výsledná síla závisí vzhledem k druhému Newtonovu pohybovému zákonu na zrychlení celé sestavy, na úhlu řízení a na celkové hmotnosti soustavy. Vzhledem k tomu, že do hmotnosti soustavy se započítává i hmotnost držáku senzorické jednotky, která se kus od kusu může lišit, bylo přijato zjednodušení, kdy se předpokládá, že celková hmotnost nebude vyšší než 1 200 g.

Jelikož se úhel řízení může u jednotlivých motocyklů opět lišit, je tento úhel za účelem zvýšení bezpečnosti uvažován  $0^\circ$  (tj. vidlice je kolmá k rovině vozovky) a při rázu způsobeném přejetím nerovnosti působí na hmotu senzorické jednotky maximální dynamické účinky. Maximální vertikální zrychlení přední vidlice motocyklu nebylo dohledáno, s přihlédnutím k informacím, uvedeným ve zdrojích [66, 67, 68, 69, 71] lze při běžném způsobu jízdy uvažovat vertikální zrychlení přední vidlice do  $10 \text{ m/s}^2$ . Pro ověření únosnosti spoje, realizovaného osmi šrouby, je nutno posoudit, zda je třecí síla ve spoji větší než dynamická síla, působící na senzorickou jednotku při přejetí nerovnosti:

$$2 \cdot \pi \cdot d \cdot l \cdot f \cdot p \geq F_D \cdot k = m \cdot a \cdot k$$

$$\frac{2 \cdot \pi \cdot d \cdot l \cdot f \cdot i \cdot F_s}{d \cdot l} \geq m \cdot a \cdot k$$

$$2 \cdot \pi \cdot f \cdot i \cdot F_s \geq m \cdot a \cdot k$$

Do vzorce byly dosazeny následující hodnoty:

$$m = 1,2 \text{ kg}$$

$$a = 19,81 \approx 20 \text{ m/s}^2$$

$$k = 3$$

$$f = 0,266$$

$$F_s = 96 \text{ N}$$

$$i = 8$$

Po dosazení:

$$2 \cdot \pi \cdot 0,266 \cdot 8 \cdot 96 \geq 1,2 \cdot 20 \cdot 3$$

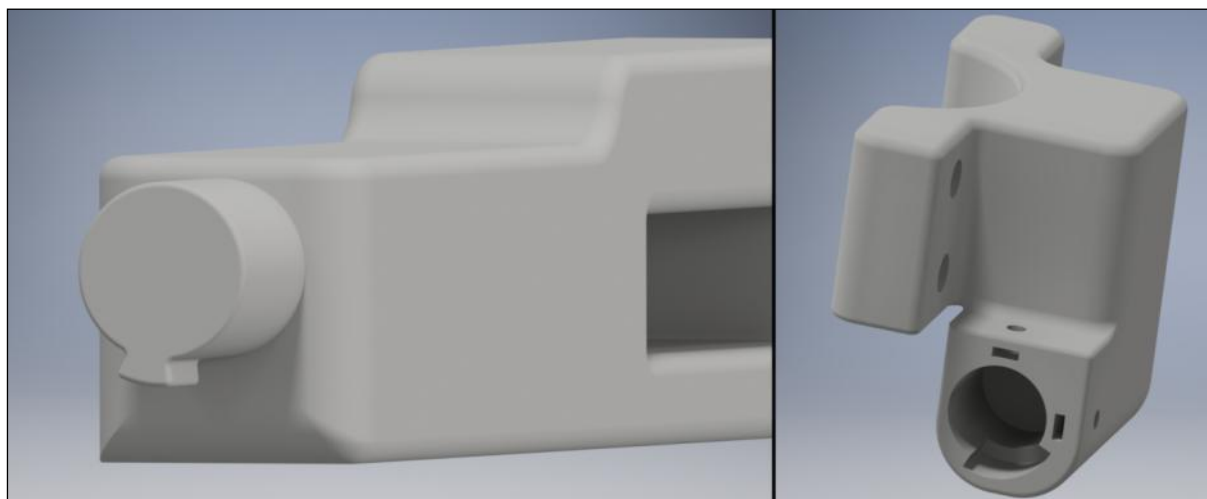
$$1283,6 \text{ N} \gg 72 \text{ N}$$

Spoj je předdimenzovaný s mnohonásobným koeficientem a při běžném provozu udrží senzorickou jednotku v zamýšlené poloze.



**Obr. 48: Detail svěrného spoje s nastavením sklonu šrouby**

Vzhledem k tomu, že navrhovaný systém je předpokládán jako univerzální, je nutné, aby bylo možno držák sensorické jednotky nastavit podle aktuálního úhlu řízení (tj. úhlu vidlice vůči ose kolmé na vozovku). Část držáku, do které je upevněno tělo sensorické jednotky, je proto otočná a v požadované poloze je zaaretována dvojicí šroubů s maticemi. V případě náhodného uvolnění aretačních šroubů je otočná část držáku vybavena tvarovým elementem, který zamezí nekontrolovanému protáčení sensorické jednotky.



**Obr. 49: Nastavení sklonu držáku dle úhlu řízení**

Tvarový element na držáku sensorické jednotky je vymezen v úhlu  $30^\circ$ , přičemž se pohybuje v drážce s úhlem  $90^\circ$ . Je tedy standardně použitelný pro motocykly s úhlem sklonu řízení  $0^\circ - 60^\circ$ . Vzhledem k tomu, že svěrný spoj si bude uživatel pravděpodobně tisknout za pomoci 3D tiskárny (viz předpoklad uvedený výše), je možné, aby si drážku ve svěrném spoji upravil dle své vlastní specifické potřeby, popřípadě spoj koncipoval jako neotočný vytvořením drážky s úhlem  $30^\circ$ .



## 6. Konstrukční řešení zobrazovací jednotky

Mechanická část zobrazovací jednotky je rozdělena na části:

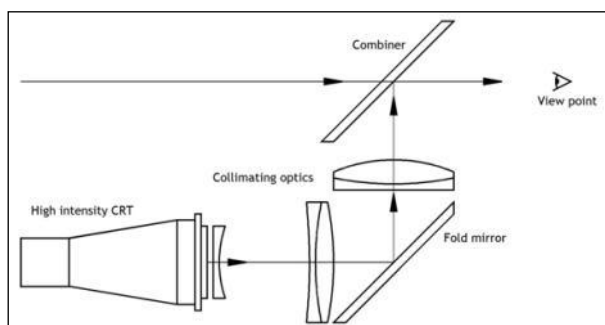
- pouzdro pro uložení hardwaru,
- zobrazovací průhledový displej (HUD),
- držák pro montáž na přilbu.

Při konstrukci je nutno respektovat požadavky:

- nízká hmotnost,
- čitelnost zobrazovaných dat,
- možnost demontáže zařízení od přilby,
- nedestruktivní připojení držáku k přilbě,
- spolehlivá fixace zobrazovací jednotky na držáku,
- snadný přístup k napájecímu modulu zobrazovací jednotky.

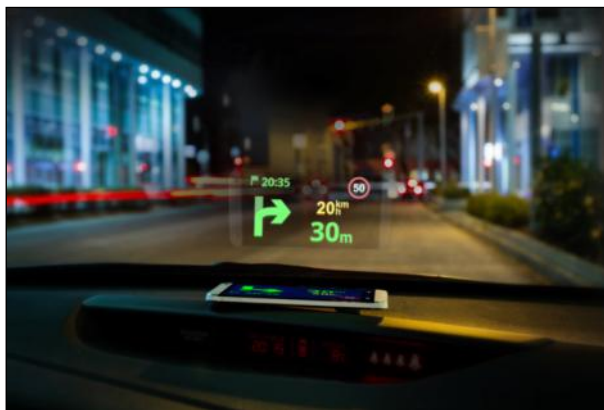
Jak již bylo zmíněno, informace jsou zobrazovány řidiči pomocí průhledového displeje (HUD). Konstrukční provedení se může lišit, ale základní prvky orgánové struktury zůstávají u všech HUD stejné. Jsou to:

- Zdroj světla: zobrazovací systém pro vizualizaci dat. Dnes běžně ve formě LCD displeje, popřípadě u novějších systémů v podobě světlovodivých vláken, která jsou přímo součástí slučovače. [72]
- Kolimační optika: systém zrcadel a čoček, zaostřující paprsky ze světelného zdroje tak, aby byl výsledný obraz zakomponován do obrazové scény, kterou sleduje pozorovatel přes slučovač.
- Slučovač (combiner): projekční plocha, na které je v zorném poli pozorovatele sloučen obraz ze světelného zdroje s obrazem, který je přes průhledový displej sledován přímo, takže ve výsledku tvoří kompaktní scénu. [73]



Obr. 50: Základní součásti HUDu [73]

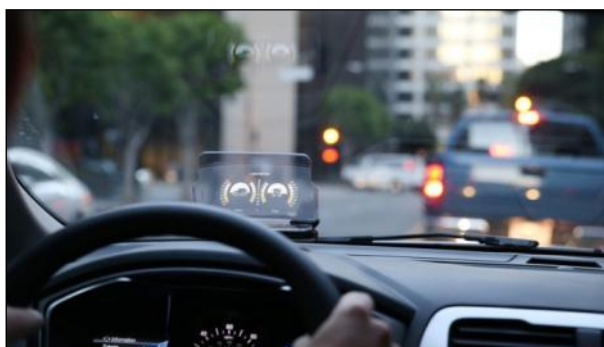
V současné době se složité HUD systémy nahrazují mobilními aplikacemi. Ty ve zjednodušené formě umožňují využívat výhody průhledových displejů i řidičům osobních vozidel, která nejsou z výroby těmito druhy zobrazovacích jednotek osazena. Zdrojem světla je mobilní telefon, jako slučovač je často využíváno přímo přední sklo automobilu. Jako příklad lze uvést aplikaci Waze či aplikaci slovenské fy Sygic.



Obr. 51: Sygic HUD [74]

Řidič při absenci kolimační optiky je nucen přeastřovat zrak mezi obrazem silnice a odrazem displeje na předním skle. Tato metoda je i přes toto omezení uživatelsky přívětivější, než přeastřování mezi pohledem na vozovku a skláněním zraku k ukazatelům na palubní desce vozidla. [75]

Výrobek HUDWAY Glass společnosti HUDWAY povyšuje tento systém na vyšší úroveň tím, že obraz displeje mobilního telefonu je promítán na jednoduchý slučovač s nastavitelným úhlem, který eliminuje odrazy slunce na předním skle a je dobře čitelný za jakýchkoliv světelných podmínek.



Obr. 52: HUDWAY Glass [76]

Vzhledem ke konstrukční i cenové náročnosti bylo pro účely této práce zvoleno řešení bez kolimační optiky. Nutnost přeastřit na zobrazovaná data je do jisté míry kompenzována vhodně zvolenou strategií vizualizace dat (viz kapitola 7.3).

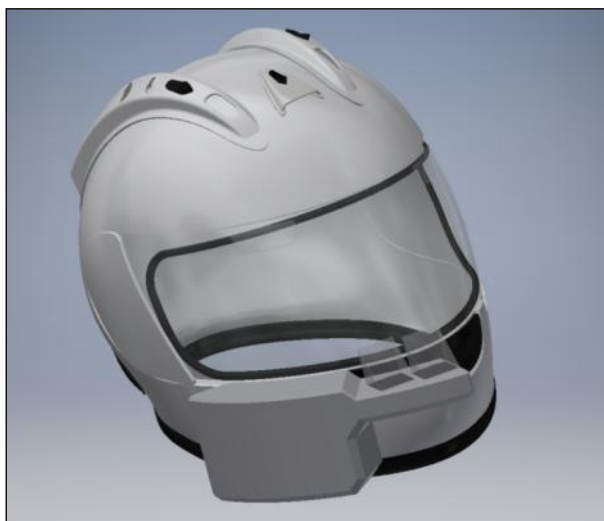
V rámci návrhu koncepčních variant byla zvolena dvě možná řešení zobrazovací jednotky:

Řešení číslo „1“ uvažuje umístění zobrazovací jednotky ve střední části boční strany přilby. Toto řešení má výhodu v lepším zastínění displeje shora a tím i v kvalitnější čitelnosti zobrazovaných informací. Nevýhodou je větší přesah pouzdra zobrazovací jednotky do pravé strany zorného pole řidiče, a tím větší riziko přehlédnutí pohyblivých překážek, blížících se k ose jízdy v určitém úhlu zprava. System je koncipován jako pravostranný. Toto uspořádání je vhodné pro země s pravostranným provozem, neboť levá strana pohledu řidiče musí zůstat volná, vzhledem k nutnosti sledování provozu v protisměru.



Obr. 53: Návrh zobrazovací jednotky „1“

Řešení číslo „2“ spočívá v umístění zobrazovací jednotky ve spodní části boční strany přilby. Toto řešení do zorného pole řidiče motocyklu zasahuje pouze slučovačem a narušení výhledu je minimální.



Obr. 54: Návrh zobrazovací jednotky „2“

Bylo opět provedeno subjektivní hodnocení jednotlivých variant dle zvolených kritérií pro provoz. Byla zvolena stupnice 0 – 5, přičemž „5“ je ideální stav a „0“ definuje praktickou nepoužitelnost v provozu.

Tab. 10: Porovnání variant zobrazovací jednotky

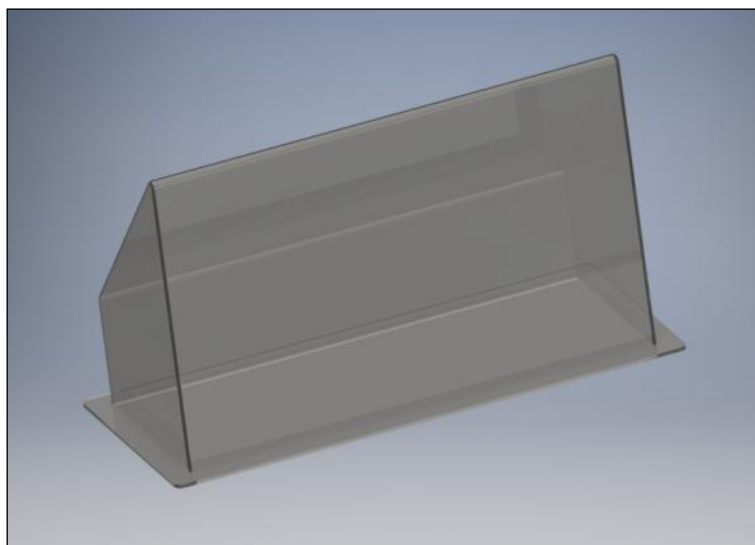
Kritérium	Varianta „1“	Varianta „2“	Ideální
Hmotnost:	3	3	5
Čitelnost:	4	2	5
Zásah do zorného pole:	2	4	5
Náročnost výroby:	3	4	5
Bezpečnost:	2	4	5

<b>Hodnocení:</b>	<b>14</b>	<b>17</b>	<b>25</b>
-------------------	-----------	-----------	-----------

Vzhledem k uvažovaným kritériím byla zvolena varianta číslo „2“, a to především z bezpečnostních důvodů, aby řidiči žádná část zařízení s výjimkou slučovače nepřekážela v periferním vidění.

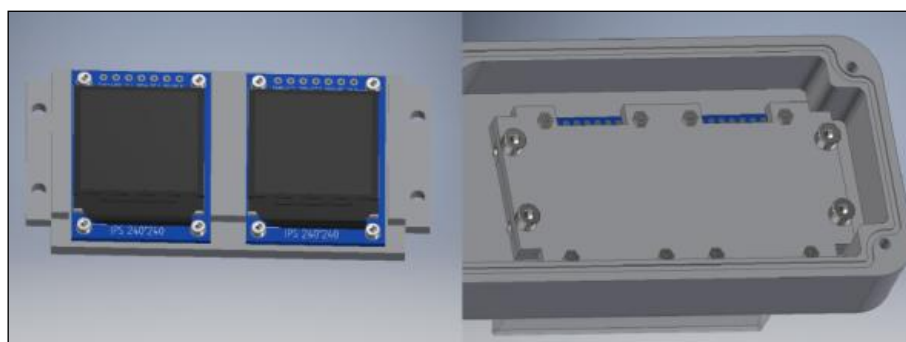
Ačkoliv byla původně uvažována koncepce se dvěma displeji a dvěma slučovači, za účelem zjednodušení byl použit pouze jeden slučovač, společný pro oba displeje. Mezi výhody tohoto řešení patří:

- jednodušší výroba,
- snadná montáž do zařízení,
- zobrazení informací působí kompaktněji.



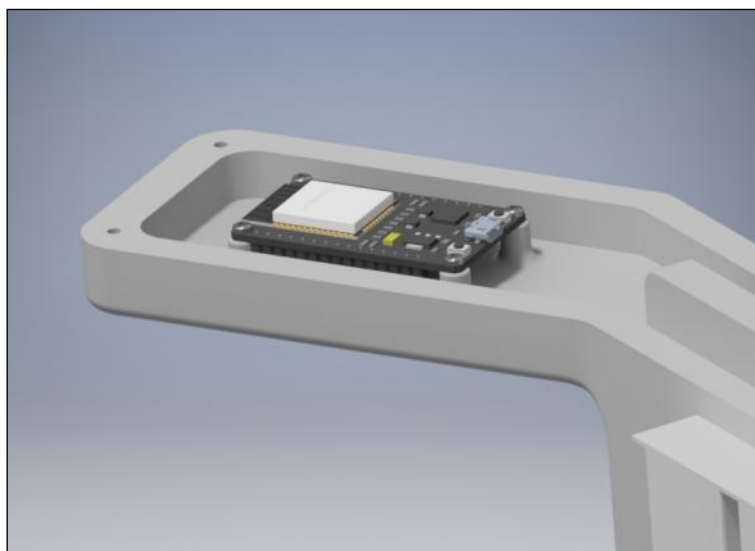
**Obr. 55: Slučovač**

Slučovač je osazen v pouzdře zobrazovací jednotky a na místě je zaaretován destičkou, na níž jsou umístěny oba displeje a která je přišroubována k pouzdru zobrazovací jednotky. Mezi tělem slučovače a krytem zobrazovací jednotky je vložena těsnící šňůra za účelem ochrany před vniknutím vlhkosti.



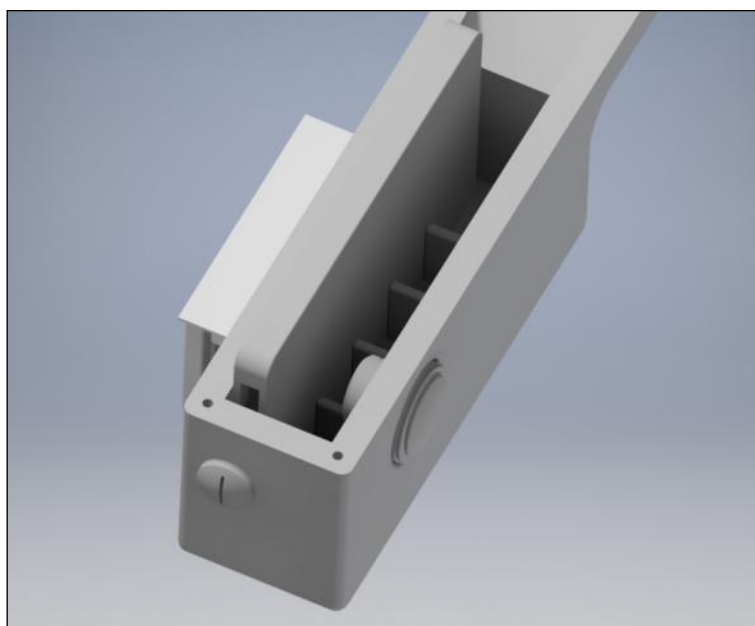
**Obr. 56: Upevnění displejů a jejich umístění**

V prostoru pod displeji je na čtyřech výstupcích osazena a pomocí samořezných šroubů upevněna řídicí deska ESP32.



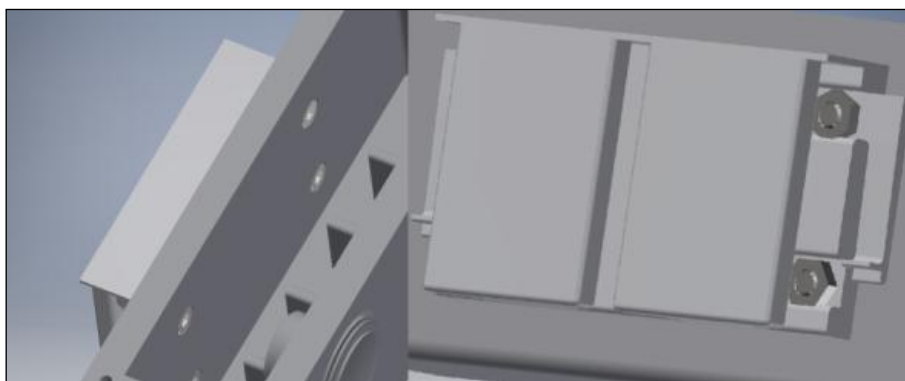
**Obr. 57: Umístění ESP32**

V zadní části zobrazovací jednotky je uložena power banka, sloužící k napájení systému. Její poloha je - stejně jako u senzorické jednotky - vymezena tvarovými elementy. Na boku zobrazovací jednotky je vloženo zapínací / vypínací tlačítko a v zadní části je šroubová záslepka, která kryje micro USB vstup pro externí nabíjení power banky.



**Obr. 58: Detail umístění komponent zobrazovací jednotky**

Na boku zobrazovací jednotky je dále osazen držák, pomocí něhož je senzorická jednotka připevněna k protikus, přilepenému na přilbě. Spojení je zajištěno pevnými tvarovými elementy pro aretaci ve dvou osách a deformovatelným tvarovým elementem, který aretuje zobrazovací jednotku v ose třetí.



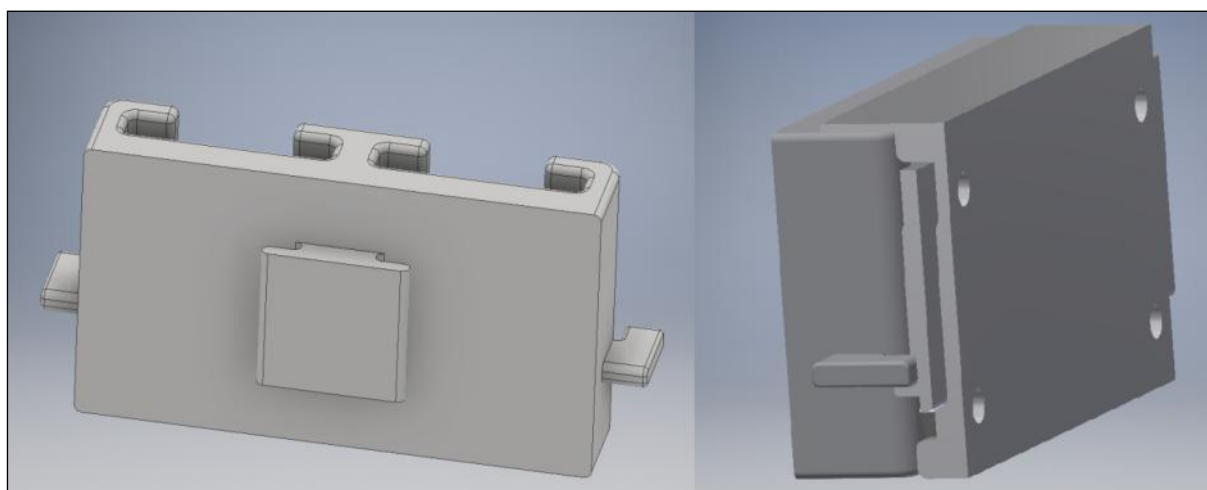
Obr. 59: Držák zobrazovací jednotky

Držák zobrazovací jednotky je na přilbě upevněn lepeným spojem. K tomuto účelu byla zvolena lepicí hmota Formerol, prodávaná pod obchodním názvem Sugru. Hmota po vyjmutí ze vzduchotěsného obalu zůstává cca 30 minut plastická a lze ji libovolně tvarovat; poté se začne vytvrzovat. Po zhruba 24 hodinách je dosaženo maximální pevnosti lepeného spoje. [77]

Tab. 11: Specifikace Sugru [78]

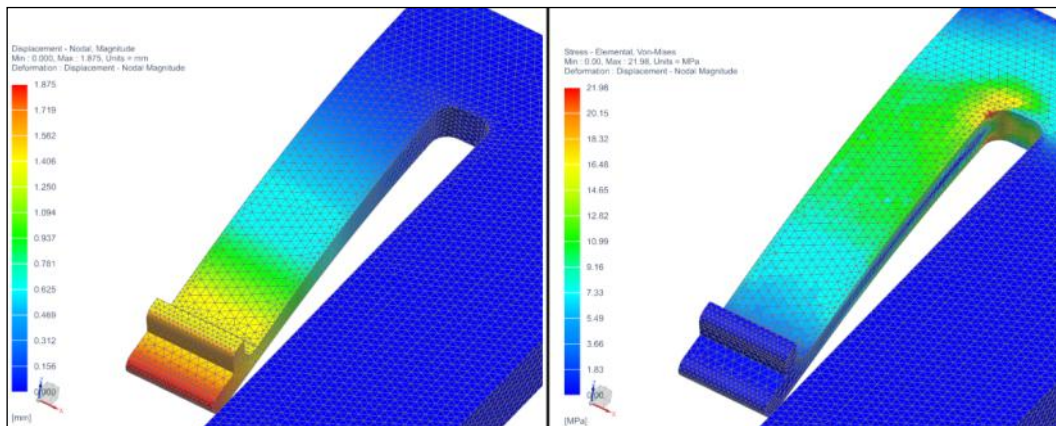
<b>Provozní teplota:</b>	-50 °C až +180 °C
<b>Modul pružnosti v tahu:</b>	5,59 MPa
<b>Mez pevnosti:</b>	1,89 MPa
<b>Hustota:</b>	1,38 g/cm <sup>3</sup>

Většina motocyklových přilb je zhotovena z polykarbonátu. Definovaná pevnost spoje pomocí Sugru ve smyku je pro tento materiál 86 N/cm<sup>2</sup>. Pro materiál PLA výrobce pevnost ve smyku nespecifikuje, avšak pro podobné termoplasty je tato hodnota  $\approx 45\text{-}70$  N/cm<sup>2</sup>. Výrobce Sugru na svých webových stránkách uvádí, že hmota kvalitně přilne k prakticky kterémukoliv plasty. Výjimku tvoří plasty s přirozeně kluznými vlastnostmi, jako je polypropylen, polyetylen a teflon. Pro zvýšení adheze lepeného spoje navíc držák disponuje tvarovým elementem, umožňujícím zatvrdnutí hmoty Sugru kolem svého obvodu a spoj je tudíž držen na přilbě nejen adhezními silami, ale i tímto tvarovým spojem. Pevnost spoje je tak zvýšena ve všech směrech. [79, 80, 81]



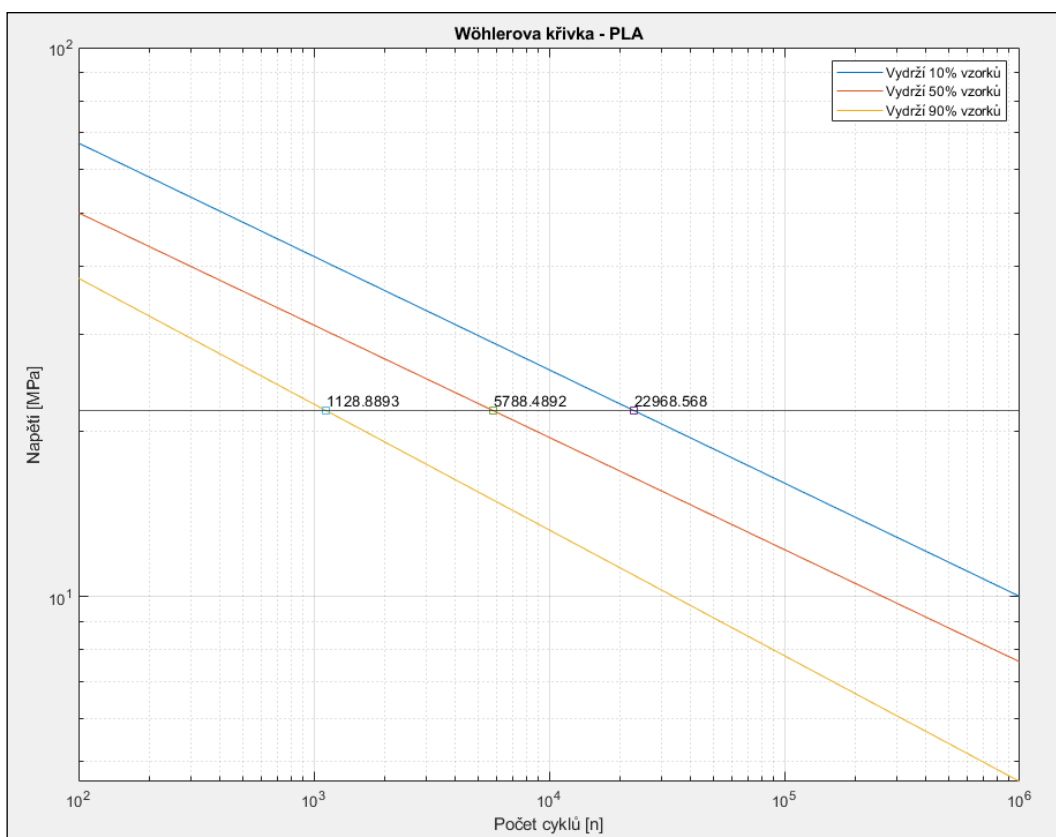
Obr. 60: Držák s tvarovým elementem a detail spoje obou částí

Vzhledem k tomu, že ve spoji dochází při vyjímání z držáku a při opětovném připínání na přílbu k častým deformacím, je nutno opět provést únavovou analýzu spoje. Definice Wöhlerovy křivky a časový průběh zatížení je v tomto případě totožný jako u výpočtu únavové analýzy sensorické jednotky. Dle provedené simulace je při deformaci západky pro vyjmutí zobrazovací jednotky z držáku maximální napětí 22 MPa.



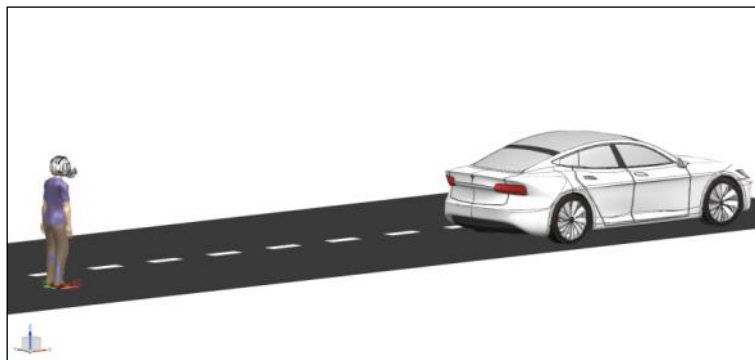
Obr. 61: Posunutí západky (vlevo) a rozložení napětí v západce při jejím zatížení

Následně byl opět proveden výpočet únavové pevnosti v softwarovém prostředí MATLAB. Při daném únavovém namáhání je předpokládána životnost 50 % vzorků delší, než cca 6 000 zatěžovacích cyklů (tj. 3 000 montáží a následných demontáží zobrazovací jednotky na přílbu). Tato životnost se jeví jako dostatečná.



Obr. 62: Životnost pružné části tvarového spoje zobrazovací jednotky (počet cyklů)

Pro ověření, zda a jak zobrazovací jednotka zasahuje do výhledu řidiče motocyklu, byla provedena simulace v prostředí NX Human. Kompozice scény je následující:



**Obr. 63: Simulace výhledu - kompozice**

Pro potřebu simulace je použita stojící postava průměrné výšky (175 cm), což výškově neodpovídá poloze přilby řidiče, sedícího na motocyklu. Pro potřebu simulace je toto zjednodušení irelevantní, neboť se posuzuje výhled z přilby a ne její poloha vůči vozovce. Simulace je dále pro zvýšení realističnosti a přiblížení se k podmínkám skutečného provozu doplněna vložením automobilem a částí vozovky s pravostranným provozem.



**Obr. 64: Zorné pole levého a pravého oka**

Ze simulace vyplývá, že do zorného pole levého oka zasahuje levý horní roh zobrazovací jednotky. V zorném poli pravého oka se nachází slučovač a horní část zobrazovací jednotky. Nejedná se o ideální stav, nicméně pro potřebu této práce lze konstatovat, že výhled řidiče je z hlediska sledování silničního provozu dostatečný.



## 7. Software

Klíčovou funkcí v návrhu celého systému tvoří software. Ten slouží ke zpracování dat, získaných ze senzorů a k jejich předání v optické formě řidiči.

Programovacím jazykem pro tvorbu SW pro funkci senzorické jednotky, je skriptovací jazyk Python. Výhodou tohoto jazyka je velké množství open source knihoven, jeho přímá integrace do operačního systému, použitého v Raspberry Pi, snadná interakce se senzory a uživatelsky přívětivá syntaxe. Použité knihovny jsou vyjmenované v kapitole 7.1. [82]

SW zobrazovací jednotky je napsán v programovacím jazyce Wiring, což je framework jazyka C++, nicméně vzhledem ke své komplexnosti je často považován za samostatný programovací jazyk. Jeho největší výhodou jsou oproti jazyku C++ menší nároky na zkušenosti programátora, především na znalost správy paměti a znalost architektury HW. [83]

Tato kapitola je dělena na tři části, reflektující primární funkci SW z hlediska předpokládané funkčnosti celého asistenčního systému, kterou je:

- získávání potřebných dat ze senzorů a jejich zpracování,
- zasílání získaných informací ze senzorické jednotky do zobrazovací jednotky,
- zobrazování informací řidiči.

Kapitola 7.1.1. je věnována laserovému dálkoměru, kterým lze měřit vzdálenost motocyklu od vpředu jedoucího vozidla či jiné překážky. V závislosti na rychlosti motocyklu pak SW vyhodnotí, zda řidič motocyklu dodržuje bezpečnou vzdálenost.

Zabudovaný kamerový systém snímá dopravní značení a identifikuje některé potenciálně nebezpečné objekty a situace. Rozpoznávání objektů pomocí kamery se věnuje kapitola 7.1.2.

Pro určení bezpečné vzdálenosti od vpředu jedoucího vozidla je třeba v reálném čase odečítat rychlost motocyklu. Je-li k dispozici signál GPS, je jeho využití nejlepší volbou. V místech s absencí tohoto signálu (např. tunely, údolí, lesní úseky) je nutno použít data, získaná inerciálním senzorem. GPS senzoru a inerciálnímu senzoru a práci s daty z nich se věnuje kapitola 7.1.3.

Pro zasílání informací ze senzorické jednotky do zobrazovací jednotky je použita sériová komunikace, a to pomocí rozhraní Bluetooth. O tomto řešení pojednává kapitola 7.2.

Pro zobrazování informací řidiči motocyklu je použit TFT displej, ovládaný procesorem zobrazovací jednotky na základě dat, získaných ze senzorické jednotky. Zobrazováním informací tímto displejem se zabývá kapitola 7.3.

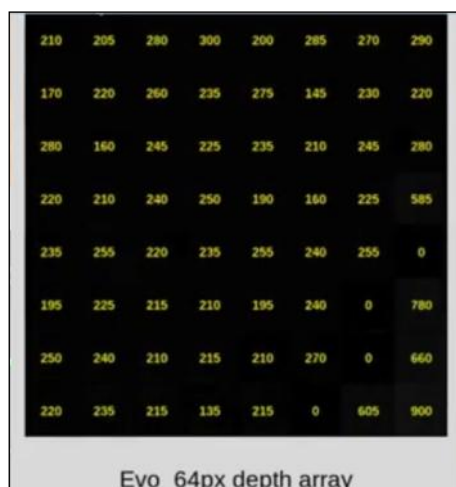
Demonstrační příklady, uvedené v následujících podkapitolách, využívají skriptovací jazyk Python ve verzi 3.7 pro interakci s HW senzorické jednotky a programovací jazyk Wiring ve verzi 1.0 pro ovládání HW zobrazovací jednotky. Pro zobrazení naměřených dat je použito programové prostředí MATLAB.

### 7.1. Komunikace se senzory

#### 7.1.1. Lidar

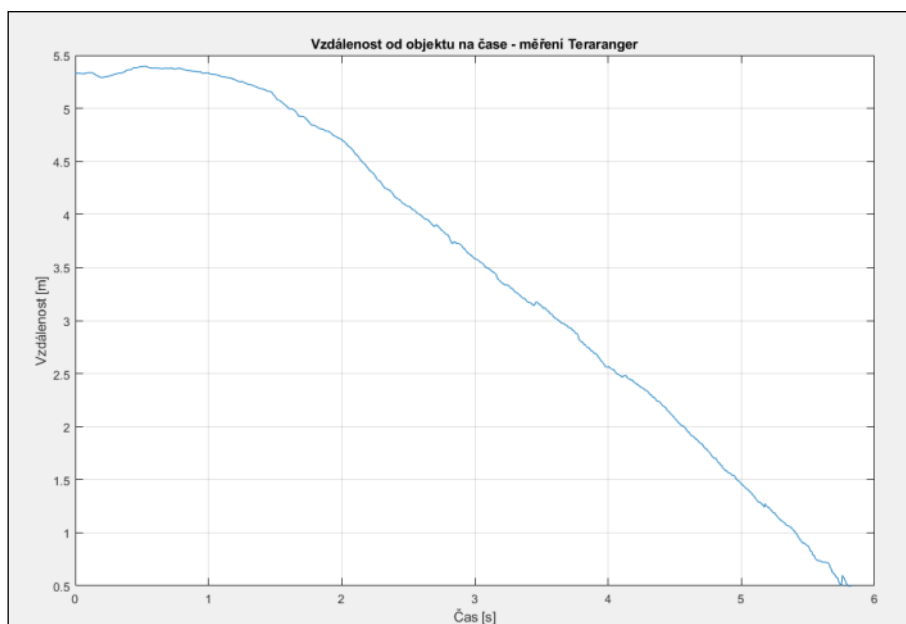
Pro zpracování dat ze senzoru TeraRanger Evo 60m je použit zdrojový kód, dostupný na GitHub účtu jeho výrobce [84]. Výrobce zde nabízí několik skriptů, které umožňují uživateli měřit vzdálenost jednobodově, zobrazit hloubkovou mapu, koordinované měření několika senzorů apod. Senzor TeraRanger Evo 60m totiž nesnímá pouze jediný bod. Jeho návratovou

hodnotou je matice vzdáleností jednotlivých nasnímaných bodů, která jako celek tvoří hloubkovou mapu prostoru před senzorem.



Obr. 65: Vizualizace dat z IR senzoru [85]

Pro potřeby této aplikace je nejvhodnější skript pro jednobodové měření. Výstupem je v jednom okamžiku pouze jedna hodnota vzdálenosti, se kterou lze dále pracovat. Při pokusném měření bylo dosaženo frekvence měření přibližně 80 měření/s. Ačkoliv při reálném provozu bude vzhledem k využití procesoru frekvence měření pravděpodobně nižší, lze předpokládat, že to na výslednou funkci celého zařízení nebude mít vliv, protože tato frekvence měření umožňuje v případě detekce přílišného přiblížení k překážce dostatečně včasné upozornění řidiče motocyklu.



Obr. 66: Výstup z laserového dálkoměru při pohybu proti překážce

Pro odhad bezpečné vzdálenosti za vpředu jedoucím vozidlem neexistuje přesný výpočet. S výjimkou, kdy je tato vzdálenost uvedena příslušným vodorovným či svislým dopravním značením, lze pro odhad bezpečné vzdálenosti na základě empirických zkušeností použít tzv. „pravidlo dvou sekund“, definované následujícím vzorcem:

$$x \geq d = \frac{2 \cdot v}{3,6}$$

$x$  = aktuální vzdálenost motocyklu od vpředu jedoucího vozidla v m

$d$  = požadovaná minimální bezpečná vzdálenost v m

$v$  = rychlost vozidla v km/h

Hodnota „ $d$ “ je považována za hraniční pro bezpečnou jízdu, v reálu je řidičům doporučeno tuto vzdálenost ještě prodloužit. U systému, upozorňujícího na přílišné přiblížení k vpředu jedoucímu vozidlu, je upozornění na hraniční přiblížení dostačující. [86]

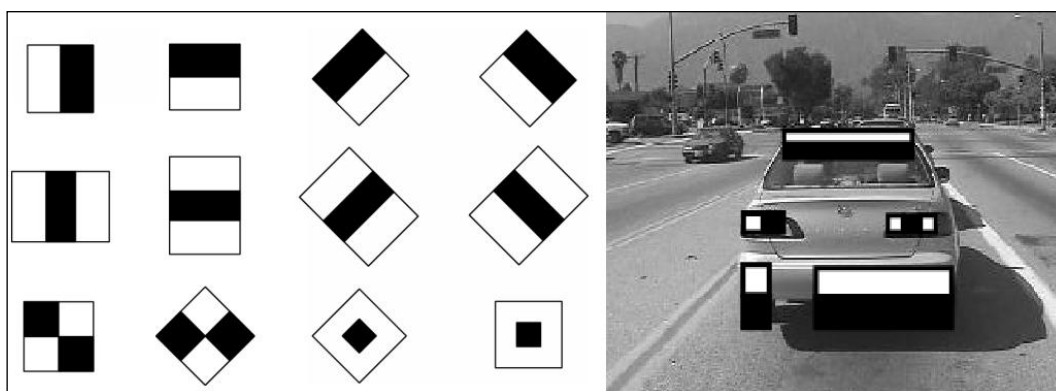
## 7.1.2. Kamera

Načítání dat z kamery a jejich zpracování zajišťuje knihovna programovacího jazyka Python „OpenCV“, která obsahuje implementaci více než 2 500 druhů algoritmů pro práci s obrazovými daty (adaptivní prahování, barevné filtrování, klasifikace objektů apod.) [87]

Pro detekci objektů v obraze lze variantně použít několik následujících metod, například [88]:

- prahování,
- detekce hran,
- detekce oblastí,
- rozhodovací stromy,
- umělé neuronové sítě, apod.

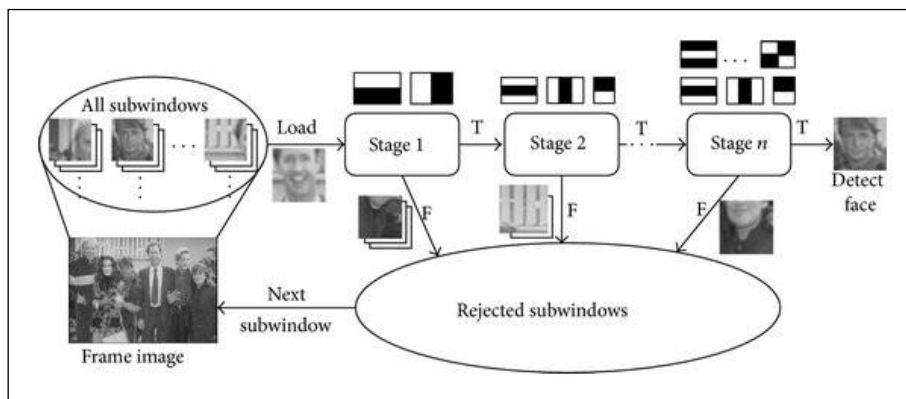
Často využívanou metodou segmentace reálného obrazu na jednoduché prvky se společnými, strojově vyhodnotitelnými vlastnostmi (tj. automatická detekce důležitých oblastí a potlačení nedůležitých) je v dnešní době tzv. „kaskádový klasifikátor“. Ten funguje na principu vytvoření několika tzv. „slabých“ klasifikátorů, které jsou spojeny v jeden „silný“ klasifikátor. „Slabé“ klasifikátory fungují na principu detekce kontrastů v obraze, definujících klasifikovaný objekt v celkové kompozici obrazu a vyčleňujících jej od pozadí. Pro detekci mohou být použity například tzv. „Haarovy příznaky“, sloužící při snímání obrazu k definici významných prvků v nasnímaném obraze prostřednictvím předem definovaných obrazců.



Obr. 67: Příklad tzv. „Haarových příznaků“ (vlevo) a jejich aplikace na oblasti obrazu (vpravo) [89, 90]

Vytvořený klasifikátor poté z matice pixelů, určené pro detekci objektu, kaskádově vylučuje oblasti, které neodpovídají předpokládanému rozložení gradientů, definovaných Haarovými příznaky. Další iterace pracuje již jen s částmi obrazů, obsahujícími parametry definovaného objektu. Aby tento typ klasifikátoru pracoval správně, je zapotřebí pro jeho

učení poskytnout dostatečnou množinu vizuálních či strojově čitelných dat. Tato data jsou rozdělena na „pozitivní“ a „negativní“ příklady, kdy pozitivní příklady jsou obrazy, obsahující klasifikovaný objekt a negativní příklady mohou být jakékoliv jiné obrazy, na kterých se klasifikovaný objekt nevyskytuje. Testovací datový set by měl ideálně obsahovat minimálně několik stovek až tisíců pozitivních a negativních obrazů. [91]



Obr. 68: Demonstrace funkce kaskádového klasifikátoru [92]

Pro každý typ zájmového objektu je zapotřebí jeden klasifikátor. Knihovna „OpenCV“ obsahuje základní sadu identifikátorů; případné další specializované identifikátory (pro detekci obličejů, automobilů, různých druhů zvířat apod.) jsou ke stažení a následné aplikaci k dispozici na specializovaných webových stránkách. Pro rozpoznávání chodců byl použit pro účely této práce použit již předem vytvořený klasifikátor, převzatý z [93]. Pro rozpoznávání každé konkrétní dopravní značky je potřeba získat jeden „natrénovaný“ klasifikátor. Předpokládá se rozpoznávání sady značek, obsahující pouze nejdůležitější dopravní značky, přičemž značky druhořadé důležitosti budou systémem ignorovány.



Obr. 69: Aplikace kaskádového klasifikátoru pro rozpoznávání chodce (modrá)

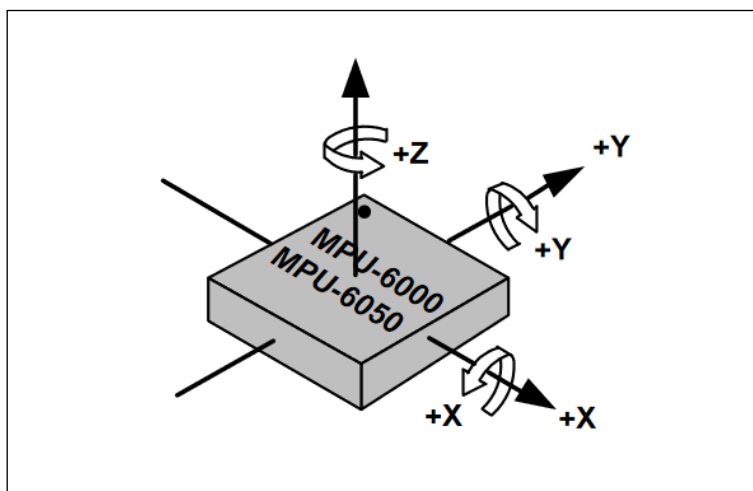
### 7.1.3. Inerciální a GPS senzor

Pro komunikaci s inerciálním senzorem byla využita knihovna jazyka Python „MPU6050“, zajišťující interakci GPIO pinů počítače Raspberry Pi se senzorem MPU-6050. Návratovými hodnotami akcelerometru jsou 3 hodnoty zrychlení v na sobě kolmých vektorech ( $a_x; a_y; a_z$ ) a 3 hodnoty úhlové rychlosti kolem os těchto vektorů ( $\omega_x; \omega_y; \omega_z$ ). Pro výpočet rychlosti senzoru vycházíme z tzv. „zlaté rovnice kinematiky,“ respektive z její části:

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \dot{v}$$

Tuto rovnici lze převést do integrálního tvaru:

$$\int_{t_0}^{t_1} \vec{a} dt = \int_{v_0}^{v_1} d\vec{v}$$



Obr. 70: Výstupní veličiny inerciálního senzoru [94]

Vzhledem k tomu, že výstupní data z akcelerometru nejsou v čase spojitá, ale výstupem jsou diskrétní hodnoty s autorsky definovanou vzorkovací periodou, místo diferenciální rovnice lze použít rovnici diferenční:

$$\vec{a} = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t} = \frac{\vec{v}_1 - \vec{v}_0}{t_1 - t_0}$$

Protože časový rozdíl mezi dvěma měřeními je definován konstantně, lze rovnici zjednodušit do tvaru:

$$\vec{a} = \frac{\vec{v}_1 - \vec{v}_0}{\Delta t}$$

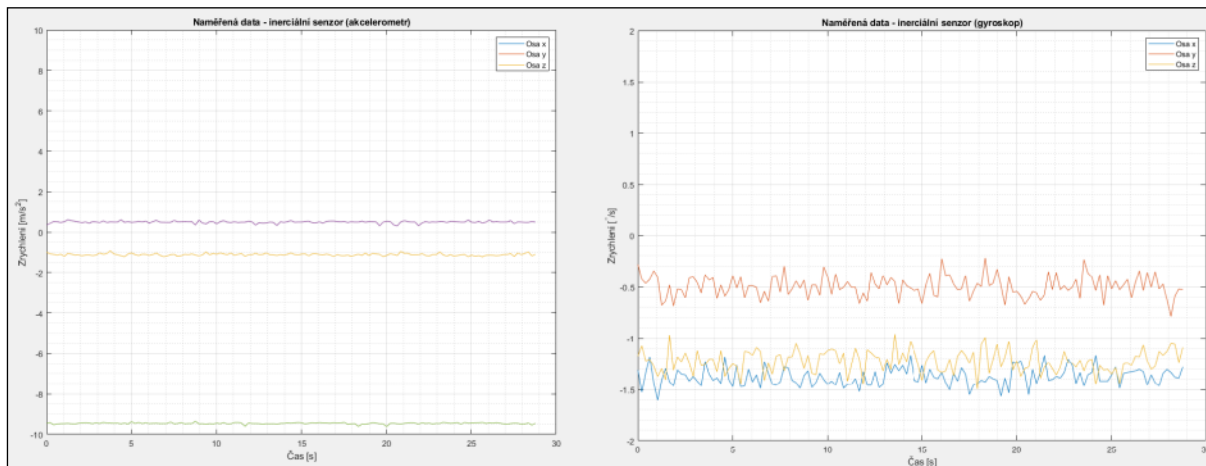
a pro získání výsledné rychlosti  $v_1$  upravit následovně:

$$\vec{v}_1(t) = \vec{a} \cdot \Delta t + \vec{v}_0$$

Pro výpočet výsledné rychlosti je také třeba znát původní rychlost  $v_0$  (tj. počáteční podmínka). Pro každou další iteraci je uvažována rychlost získaná předchozím výpočtem, tedy pro:

$$\vec{v}_n(t) = \vec{a}_n \cdot \Delta t_n + \vec{v}_{n-1}$$

V okamžiku zapnutí sensorické jednotky je počáteční hodnota  $v_0$  uvažována 0, protože se předpokládá, že řidič bude zařízení zapínat při stání vozidla.



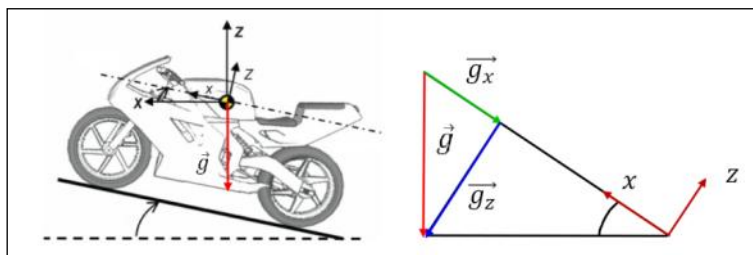
Obr. 71: Naměřené hodnoty akcelerometru (vlevo) a gyroskopu (vpravo), inerciální jednotka se nehýbe

Vzhledem k tomu, že sensorická jednotka je umístěna na vidlici motocyklu, je uvažován pro výpočet rychlosti vektor zrychlení pouze ve směru osy pohybu motocyklu. V případě jízdy do stoupání / klesání je však třeba vzít v úvahu i složku gravitačního zrychlení, která působí v ose motocyklu (viz obr. 47). Je proto třeba znát úhel náklonu sensorické jednotky vůči rovině. Pro získání počátečního úhlu náklonu  $\varphi_0$  je uvažován nulový pohyb motocyklu v okamžiku zapnutí systému. Při znalosti hodnoty úhlového zrychlení  $\vec{g}$  po změření zrychlení v ose pohybu motocyklu  $x$ , která je:

$$\vec{g}_x = \vec{g} \cdot \sin \varphi_0$$

Lze spočítat počáteční náklon jako:

$$\varphi_0 = \arcsin\left(\frac{g_x}{g}\right)$$



Obr. 72: Působení gravitačního zrychlení v ose pohybu motocyklu [upraveno z 66]

Pro zjištění úhlu momentálního náklonu je třeba vycházet ze „zlaté rovnice kinematiky“ v úpravě pro úhlové jednotky ve tvaru:

$$\vec{\omega} = \frac{d\vec{\varphi}}{dt} = \dot{\varphi}$$

Rovnice po převedení do diferenčního tvaru vypadá následovně:

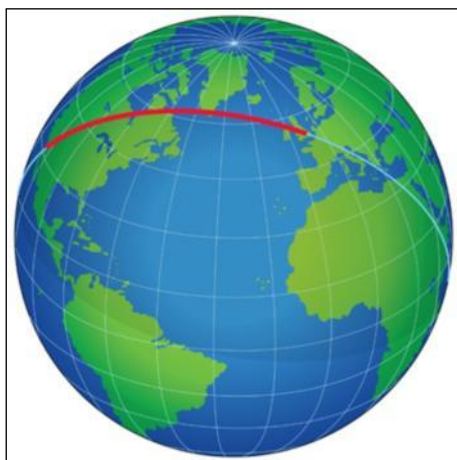
$$\vec{\omega} = \frac{\Delta\vec{\varphi}}{\Delta t} = \frac{\vec{\varphi}_1 - \vec{\varphi}_0}{t_1 - t_0}$$

Z této rovnice získáme aktuální náklon motocyklu v dané ose:

$$\vec{\varphi}_1 = \vec{\omega} \cdot \Delta t + \vec{\varphi}_0$$

kde  $\varphi_0$  je předchozí úhel náklonu,  $\Delta t$  je definovaný časový interval a  $\vec{\omega}$  je současná hodnota úhlové rychlosti, získaná z akcelerometru.

Návratovými hodnotami GPS senzoru jsou hodnoty zeměpisné šířky a délky. Pro získání rychlosti bodu je potřeba znát ujetou vzdálenost, reprezentovanou dvěma body na zemském povrchu a dobu projetí nejkratší vzdálenosti mezi těmito body. Body, naměřené GPS, se nacházejí na povrchu geoidu Země a křivka, která je spojuje, není přímka, ale tzv. „geodetická čára“ neboli „ortodroma.“ Vzhledem k tomu, že rychlost měření je relativně vysoká a vzdálenost ujetá motocyklem v průběhu jednoho měřicího intervalu je v porovnání s rozměry Země zanedbatelná, lze tuto křivku považovat za část kruhového oblouku. Pro výpočet bude uvažován tvar Země jako koule a nikoli jako geoid. [95]



Obr. 73: Ortodroma spojující Londýn a Los Angeles [96]

Pro účely výpočtu je poloměr Země uvažován jako střední poloměr původního geoidu, což je přibližně 6 371 km. Zeměpisná šířka je značena  $\varphi$  a zeměpisná délka  $\lambda$ . Rozdíl mezi dvěma zeměpisnými šířkami je definován jako  $\Delta\varphi$ , rozdíl mezi dvěma zeměpisnými délkami je definován jako  $\Delta\lambda$ .

Vztah vzdálenosti mezi dvěma body, poloměrem Země a rozdíly zeměpisné šířky a délky je následující [97]:

$$\sin\left(\frac{x}{2r}\right)^2 = \sin\left(\frac{\Delta\varphi}{2}\right)^2 + \cos\varphi_1 \cdot \cos\varphi_2 \cdot \sin\left(\frac{\Delta\lambda}{2}\right)^2$$

$r$  = poloměr Země

$x$  = vzdálenost měřených bodů

$\varphi_1$  = počáteční zeměpisná šířka

$\varphi_2$  = koncová zeměpisná šířka

$\Delta\lambda$  = rozdíl zeměpisných délek počátečního a koncového měření

$\Delta\varphi$  = rozdíl zeměpisných šířek počátečního a koncového měření

Tuto rovnici lze následně pro vyjádření vzdálenosti  $x$  upravit do tvaru:

$$x = 2r \cdot \sin^{-1} \left( \sqrt{\sin^2 \left( \frac{\Delta\varphi}{2} \right) + \cos \varphi_1 \cdot \cos \varphi_2 \cdot \sin^2 \left( \frac{\Delta\lambda}{2} \right)} \right)$$

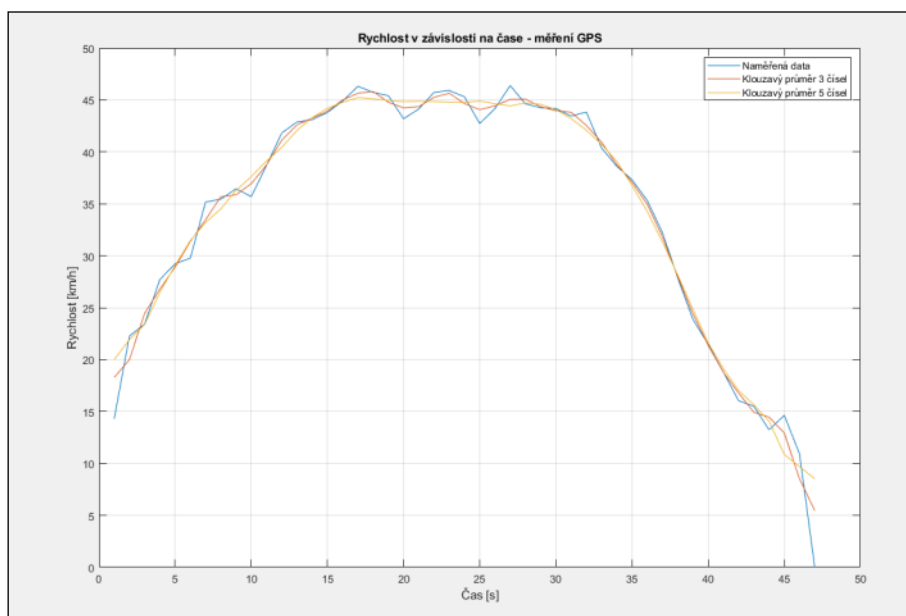
Pro výpočet rychlosti prostřednictvím GPS senzoru využíváme opět tzv. „zlatou rovnici kinematiky“, respektive její část:

$$\vec{v} = \frac{d\vec{x}}{dt}$$

Vzhledem ke konstantní vzorkovací periodě je rovnice převedena na rovnici diferenční:

$$\vec{v} = \frac{\Delta\vec{x}}{\Delta t} = \frac{\vec{x}_1 - \vec{x}_0}{t_1 - t_0}$$

$$\vec{v} = \frac{\vec{x}_1 - \vec{x}_0}{\Delta t}$$

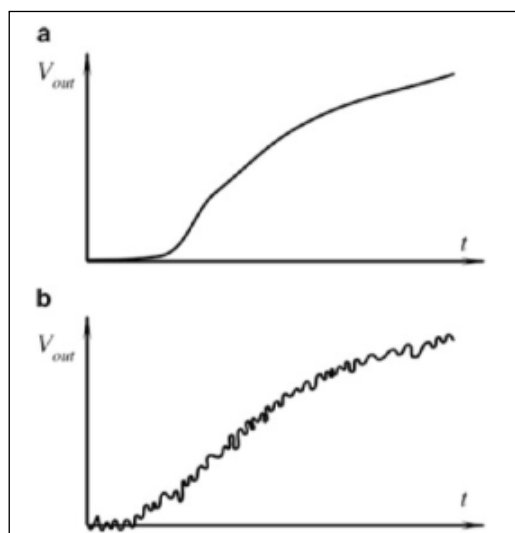


**Obr. 74: Rychlost vypočtená z naměřených GPS koordinátů**

Hodnoty měření, získané pomocí inerciálního a GPS senzoru, nemusí vždy přesně reflektovat realitu, protože každé měření je zatížené chybou či šumem. Každý senzor navíc provádí měření jen s určitou přesností, deklarovanou výrobcem.

Odchylka naměřené a skutečné hodnoty měřených veličin by mohla způsobit problém především v době, kdy se motocykl nachází delší dobu v tunelu či v jiném místě s absencí signálu GPS a jediným dostupným senzorem pro měření rychlosti je akcelerometr.





Obr. 75: Skutečný průběh rychlosti v závislosti na čase (a) a naměřená data (b) [98]

Vzhledem k tomu, že výstupní signál senzoru se většinou pohybuje kolem skutečné hodnoty s odchylkou definovanou výrobcem a která je pro užití v asistenčním systému dostačující, k filtrování dat postačuje použití funkce klouzavého průměru (moving average). Ačkoliv tento způsob filtrace úplně neodstraní chybu měření, jeho použitím se lze vyhnout hodnotám měření, které se zásadně odchylojí od předpokládaných výsledků. Tento typ filtrace lze popsat následovně:

$$x = \frac{\sum_{n=0}^{k-1} x_{(n-k)}}{k}$$

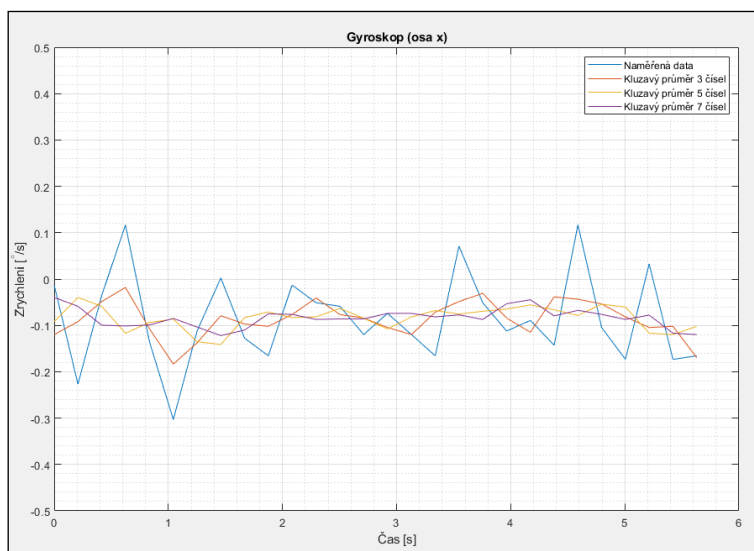
$x$  = aritmetický průměr posledních „ $k$ “ měření

$k$  = zvolený počet členů klouzavého průměru

$n$  = číslo současného měření v časové řadě

Vyšším koeficientem „ $k$ “ lze sice dosáhnout nižší náchylnosti vůči chybám měření, systém však neumí s dostatečnou rychlostí reagovat na náhlé změny naměřených dat (např. akcelerace / decelerace s vyšším než stanoveným zrychlením / zpomalením). Je tedy nutné najít kompromis mezi těmito dvěma stavy.

Sofistikovanější druh filtrace naměřených dat (např. Kálmánův filtr) by poskytl lepší výsledky, jeho implementace je ale složitější a předpokládané nároky na výpočetní výkon jsou vyšší, a proto pro účely této práce nebude dále uvažován.

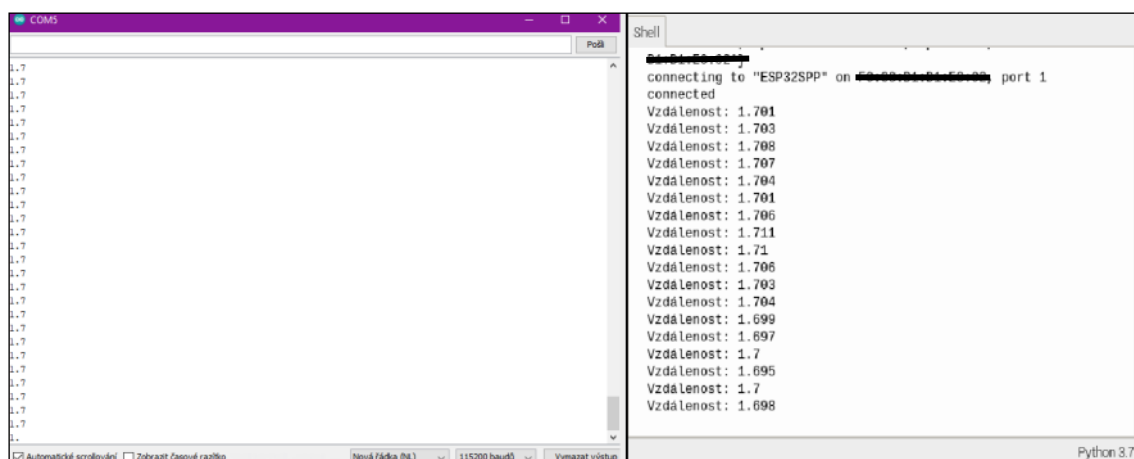


Obr. 76: Aplikace klouzavého filtru

## 7.2. Komunikace senzorké a zobrazovací jednotky

V kapitole 3.3 bylo definováno, že zvoleným komunikačním rozhraním je Bluetooth a ke komunikaci mezi senzorkou a zobrazovací jednotkou je použita sériová komunikace (sekvenční přenos dat po jednotlivých bitech).

Arduino IDE, které je používáno pro programování jednodeskového počítače ESP32, má již v nabídce obslužného SW implementovaný program pro sériovou komunikaci. Pro ovládání rozhraní Bluetooth v Raspberry Pi je možné použít například modul jazyka Python „PyBluez“.



Obr. 77: Výstup sériové komunikace (vlevo) a naměřené hodnoty (vpravo)

## 7.3. Interpretace dat řidiči

Zobrazovací jednotka získává zpracovaná data ze senzorké jednotky. Správná a včasná vizuální interpretace dat řidiči je zásadní. Je potřeba řidiči zobrazovat co nejméně vizuálních vjemů, z nichž ale získá co největší množství relevantních informací.

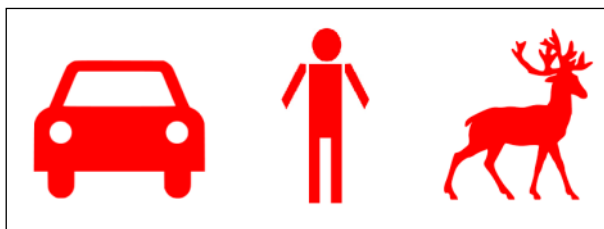
Pro předání vizuálních dat je především využito předem definovaných symbolů a piktogramů, počet textových informací je nutno snížit na minimum.

Vzhledem k tomu, že některé dopravní značky mají stejný nebo podobný význam (např. značka zákaz vjezdu motocyklů má pro řidiče motocyklu stejný význam jako zákaz vjezdu všech vozidel), bylo rozhodnuto použít k interpretování značek podobného významu zjednodušující symboliku, která řidiči umožní okamžitou orientaci a systém tak celkově snižuje jeho zatížení informačními vjemy. Řidič může věnovat maximum pozornosti dění na vozovce. Pro vybrané skupiny značek lze přijmout následující zjednodušení:

Skupina značek	Zobrazovaný piktogram
	
	
	
	
	

Obr. 78: Možná zjednodušení množin zobrazovaných značek [99]

Na potenciální nebezpečí střetu s chodcem, se zvěří, či příliš malou vzdálenost od vpředu jedoucího vozidla lze také upozornit prostřednictvím piktogramů.



Obr. 79: Možnosti signalizace střetu s vozidlem, chodcem či zvěří [100, 101, 102]

Pro zobrazení informací TFT displejem lze použít například knihovnu „TFT\_eSPI“ jazyka Wiring. V případě, že ESP32 využívá externí paměťové médium, například SD kartu, lze zobrazované piktogramy uložit přímo do paměti této karty.

V případě absence externího paměťového média je třeba interpretovat zamýšlený zobrazovaný symbol či piktogram ve formě hexadecimálního zápisu barev jednotlivých

pixelů obrázku. Každý takto popsany obrázek lze definovat do samostatného textového souboru, na nějž zdrojový kód ESP32 odkazuje. Při tomto řešení je však nutné brát v úvahu maximální kapacitu flash paměti počítače ESP32.

Kód je následně zkompileován (přeložen do strojového kódu) a nahrán jako jediný soubor do flash paměti jednodeskového počítače. Tento kód je spuštěn po každém zapnutí ESP32. Výběr konkrétního, na TFT displeji zobrazeného obrázku či piktogramu je řízen vnitřní logikou programu na základě dat, přijatých senzorickou jednotkou.



**Obr. 80:** Ukázka hexadecimálního zápisu barev (vlevo) a zobrazený obrázek (vpravo)

## 8. Závěr

Tato diplomová práce se zabývá návrhem jednoduchého asistenčního systému, který by prostřednictvím v něm zabudovaných senzorů vyhodnocoval dopravní situaci v okolí motocyklu, následně by tato data vhodně zpracoval a vizuálně předal řidiči motocyklu.

V úvodní části byla stručně představena problematika autonomních a asistenčních systémů, úvod do historie a předpoklad využitelnosti v oblasti jednostopých vozidel. Také byla provedena rešerše vyvíjených či komerčně již dostupných systémů. Výsledkem rešeršní části bylo zjištění, že většina projektů, které se dané problematice věnují, jsou buď ve fázi vývoje, případně se jedná o systémy, které nejsou prozatím příliš rozšířené. V oboru návrhu a konstrukce asistenčních systémů pro jednostopá vozidla je však možno předpokládat snahu o vývoj a masové rozšíření.

V druhé a třetí kapitole byla provedena specifikace požadavků vyvíjeného systému a byla stanovena možná koncepční řešení, z nichž bylo na základě ohodnocení zvolených parametrů vybráno to nejlepší, o jehož detailnější návrh se pokouší autor v pozdějších kapitolách této práce.

Další část je věnována výběru vhodných komponent pro realizaci vyvíjeného systému. Autor řeší výběr komponent, založený především na cenové dostupnosti i snadné možnosti programování, a to i vzhledem k dostupné dokumentaci. Pokud by někdo zamýšlel podobný systém na základě této diplomové práce zrealizovat a použít vlastní software, může tak bez problémů učinit.

V páté kapitole je čtenáři představen návrh senzorické jednotky, která je umístěna v přední části motocyklu. Vzhledem k tomu, že umístění je zvoleno na přední vidlici, je tento typ jednotky vhodný pouze pro některé modely motocyklů (např. typu enduro, chopper či naked bike).

Šestá kapitola se věnuje návrhu zobrazovací jednotky, která je umístěna na přilbě řidiče motocyklu. Zobrazování dat bylo realizováno pomocí dvojice HUDů se společným slučovačem. Toto řešení umožní v budoucnu rozšíření zobrazovacích možností.

V poslední kapitole je rámcově popsána koncepce softwaru. Zájemce o problematiku je seznámen s knihovnamí, které mohou být použity k ovládní senzorů a s návodem, jak lze s daty, získanými ze senzorů, pracovat.

## 9. Směřování dalšího vývoje

Autor této práce předpokládá fyzickou výrobu 1 ks prototypu a jeho testování za předem stanovených podmínek mimo silniční provoz. Na základě získaných dat hodlá jednotlivé prvky systému optimalizovat a výsledný prototyp maximálně přiblížit uživatelsky přívětivé koncepci pro pohodlné, spolehlivé a bezpečné masové použití.

U hardwarové části bude snaha o získání alternativního napájecího zdroje, který zachová vlastnosti současného řešení, ale v porovnání s power bankou bude mít menší rozměry a nižší hmotnost. Dalším vývojovým krokem bude optimalizace použitého jednočipového počítače (z hlediska miniaturizace, vyššího výpočetního výkonu a kompaktnosti).

V případě, že po testování prototypu bude konstatováno, že současná hardwarová koncepce je vyhovující, další fází bude snaha o optimalizaci energetické spotřeby, která bude spočívat v testování méně výkonných jednočipových počítačů tak, aby výpočetní kapacita nebyla vůči reálné potřebě předimenzovaná. Tím bude částečně vyřešen i problém chlazení.

## Seznam použité literatury

- [1] *Český statistický úřad: Nehody v dopravě - časové řady* [online]. [2021] [cit. 2021-02-07]. Dostupné z: [https://www.czso.cz/csu/czso/nehody\\_v\\_doprave\\_casove\\_rady](https://www.czso.cz/csu/czso/nehody_v_doprave_casove_rady)
- [2] *Proč řidiči nejčastěji bourají?* [online]. [2019] [cit. 2021-02-07]. Dostupné z: <https://www.povinne-ruceni.com/clanky/nejcastejsi-priciny-dopravnich-nehod/>
- [3] *Facts + Statistics: Motorcycle crashes* [online]. [2019] [cit. 2021-02-07]. Dostupné z: <https://www.iii.org/fact-statistic/facts-statistics-motorcycle-crashes>
- [4] *35 Alarming Statistics on Motorcycle Accidents: 2020 Overview* [online]. 2020 [cit. 2021-02-07]. Dostupné z: <https://carsurance.net/blog/motorcycle-accidents/>
- [5] *Motorcycle accidents caution logos: Logo vector 04 by Starder* [online]. [cit. 2021-02-07]. Dostupné z: <https://freedesignfile.com/>
- [6] *History of the Autonomous Car* [online]. Bonnie Gringer [cit. 2021-02-07]. Dostupné z: <https://www.titlemax.com/resources/history-of-the-autonomous-car/>
- [7] *Adaptive Cruise Control Will Change Driving In America* [online]. Samuel Blackstone, [2012] [cit. 2021-02-07]. Dostupné z: <https://www.businessinsider.com/how-adaptive-cruise-control-will-change-driving-in-america-2012-8>
- [8] *Autonomous Vehicles Plus: A Critical Analysis of Challenges Delaying AV Nirvana*. Victoria, BC, Canada: FriesenPress, [2018]. ISBN 978-1525539824.
- [9] *A Short History of Mercedes-Benz Autonomous Driving Technology* [online]. Alex Oagana, [2013] [cit. 2021-02-07]. Dostupné z: <https://www.autoevolution.com/news/a-short-history-of-mercedes-benz-autonomous-driving-technology-68148.html>
- [10] *The Future Autonomous World Of Motorcycles* [online]. [2018] [cit. 2021-02-07]. Dostupné z: <https://www.boldbusiness.com/transportation/autonomous-motorcycle-finally-happening/>
- [11] *Mona - motorcycle navigation systém* [online]. Copyright © 2021 [cit. 30.04.2021]. Dostupné z: <https://mona-navigation.codingtub.eu/>
- [12] *Mona - motorcycle navigation system. systém* [online]. Copyright ©2021 [cit.30.04.2021]. Dostupné z: <https://www.facebook.com/monanavigation>.
- [13] Energica partnered with German “Hochschule für Technik und Wirtschaft des Saarlandes”. *Energica Motor Company. The italian electric motorcycle manufacturer* [online]. Dostupné z: <https://www.energicamotor.com/10054-partnered-hochschule-technik-wirtschaft-saarlandes/>
- [14] The Next Lane Change Assist Could Be Coming From Energica. *Motorcycle News, Reviews and How-Tos for Enthusiasts | RideApart* [online]. Copyright © 2021 [cit. 30.04.2021]. Dostupné z: <https://www.rideapart.com/news/297386/safety-technology-energica-partnership-university/>
- [15] Energica To Develop Lane Change Assist Safety Feature For Motorcycles - BNM. *Middle East Motorcycle News, Reviews, Prices - Bike Nation* [online]. Copyright © 2014 [cit. 30.04.2021]. Dostupné z: <https://bikenationmag.com/energica-to-develop-lane-change-assist-safety-feature-for-motorcycles/>
- [16] Advanced rider assistance systems. *Document Moved* [online]. Copyright © 2021 Robert Bosch GmbH. All rights reserved. [cit. 30.04.2021]. Dostupné z: <https://www.bosch-mobility->

solutions.com/en/products-and-services/two-wheeler-and-powersports/rider-assistance-systems/advanced-rider-assistance-systems/

[17] Samsung Smart Windshield Is The Head-up Display For Motorcycle | SHOUTS. *SHOUTS Tech Culture and Lifestyle Stuff*. [online]. Dostupné z: <https://mikeshouts.com/samsung-motorcycle-smart-windshield/>

[18] Samsung Head-Up Display (HUD) Motorcycle Windshield | Motorcyclist. *Motorcycle News, Motorcycle Reviews, Prices and More | Motorcyclist* [online]. Copyright ©Motorcyclist [cit. 30.04.2021]. Dostupné z: <https://www.motorcyclistonline.com/first-look-samsung-head-up-display-hud-smart-windshield-for-motorcycles/>

[19] NUVIZ HUD set pro SCHUBERTH - KOM07 | Geneze. *Geneze | Helmy na motorku, moto oblečení, boty na motorku* [online]. Copyright © 2021 Geneze, spol. s r.o. [cit. 30.04.2021]. Dostupné z: <https://www.geneze.cz/nuviz-hud-set-pro-schubertth-c4-a-r2-kom07>

[20] First impressions: Nuviz motorcycle head-up display review. *Bennetts® - UK Insurance Specialists for Motorcycles* [online]. Dostupné z: <https://www.bennetts.co.uk/bikesocial/reviews/products/motorcycle-technology/nuviz-motorcycle-head-up-display-review>

[21] The 6 Levels of Vehicle Autonomy Explained | Synopsys Automotive . *Synopsys | EDA Tools, Semiconductor IP and Application Security Solutions* [online]. Copyright ©2021 Synopsys, Inc. All Rights Reserved [cit. 30.04.2021]. Dostupné z: <https://www.synopsys.com/automotive/autonomous-driving-levels.html>

[22] The 5 Levels of Autonomous Vehicles - TrueCar Blog. *TrueCar | New & Used Cars for Sale | Car Pricing & Reviews* [online]. Copyright © and [cit. 30.04.2021]. Dostupné z: <https://www.truecar.com/blog/5-levels-autonomous-vehicles/>

[23] Autonomní řízení – autolexicon.net. [online]. Copyright © 2021 [cit. 30.04.2021]. Dostupné z: <https://www.autolexicon.net/cs/articles/autonomni-rizeni/>

[24] Stock vektor „Color Classic Motorcycle Rider Wearing Sleeveless“ (bez autorských poplatků) 627746180. *Stock Images, Photos, Vectors, Video, and Music | Shutterstock* [online]. Dostupné z: <https://www.shutterstock.com/cs/image-vector/color-classic-motorcycle-rider-wearing-sleeveless-627746180>

[25] Technické parametry kamerových systémů | Elektronicke-systemy.cz . *Elektronicke-systemy.cz* [online]. Copyright © 2021, Elektronicke [cit. 30.04.2021]. Dostupné z: <https://elektronicke-systemy.cz/technicke-parametry-kamerovych-systemu>

[26] The Value of Thermal Vision in ADAS. *Engineering.com* [online]. [cit. 2021-4-30]. Dostupné z: <https://www.engineering.com/AdvancedManufacturing/ArticleID/17150/The-Value-of-Thermal-Vision-in-ADAS.aspx>

[27] RPi IR-CUT Camera, Better Image in Both Day and Night. *Waveshare* [online]. [2021-4-30]. Available from: <https://www.waveshare.com/rpi-ir-cut-camera.html>

[28] RPi IR-CUT Camera, Raspberry Pi Camera Module, Embedded IR-CUT, Supports Night Vision. *Waveshare Electronics* [online]. Dostupné z: <https://www.waveshare.com/rpi-ir-cut-camera.htm>

[29] Raspberry Pi Night Vision Camera - Waveshare Electronics. *Kiwi Electronics - Elektronica voor prototyping en educatie* [online]. Dostupné z: <https://www.kiwi-electronics.nl/raspberry-pi-night-vision-camera?lang=en>



- [30] U-blox-NEO-6M-GPS-Module-with-EEPROM. *Terabee* [online]. [cit. 2021-4-30]. Dostupné z: <https://i2.wp.com/schemobotics.com/wp-content/uploads/2020/01/U-blox-NEO-6M-GPS-Module-with-EEPROM.jpg?fit=500%2C400>
- [31] Mpu6050-gy521-cheap-6dof-imu-accelerometer-gyro. *Terabee* [online]. [cit. 2021-4-30]. Dostupné z: <https://www.jsumo.com/mpu6050-gy521-cheap-6dof-imu-accelerometer-gyro-127-82-B.jpg>
- [32] *MPU-6000and MPU-6050Product Specification* [online]. [cit. 2021-4-30]. Dostupné z: <https://invensense.tdk.com/wp-content/uploads/2015/02/MPU-6000-Datasheet1.pdf>
- [33] *MPU-6050 3-Axis Gyro & Accelerometer Module* [online]. [cit. 2021-4-30]. Dostupné z: <https://www.generationrobots.com/en/402159-mpu-6050-3-axis-gyro-and-accelerometer-module.html>
- [34] *UART GPS NEO-6M* [online]. [cit. 2021-4-30]. Dostupné z: [https://www.waveshare.com/wiki/UART\\_GPS\\_NEO-6M](https://www.waveshare.com/wiki/UART_GPS_NEO-6M)
- [35] *Raspberry Pi interfacing with MPU6050 motion sensor* [online]. [cit. 2021-4-30]. Dostupné z: <https://medium.com/@kalpeshnpatil/raspberry-pi-interfacing-with-mpu6050-motion-sensor-c9608cd5f59c>
- [36] *Use Neo 6M GPS Module with Raspberry Pi and Python* [online]. [cit. 2021-4-30]. Dostupné z: <https://sparklers-the-makers.github.io/blog/robotics/use-neo-6m-module-with-raspberry-pi/>
- [37] *Teraranger-evo-60m-long-range-object-detection-sensor.pdf*. *Terabee* [online]. [cit. 2021-4-30]. Dostupné z: <https://terabee.b-cdn.net/wp-content/uploads/2019/04/2-teraranger-evo-60m-long-range-object-detection-sensor.jpg>
- [38] *TeraRanger Evo 60m* [online]. [cit. 2021-4-30]. Dostupné z: <https://terabee.b-cdn.net/wp-content/uploads/2021/02/Specification-Sheet-Evo-60m.pdf>
- [39] *Real-time Image Processing on Low Cost EmbeddedComputers.pdf* [online]. [cit. 2021-4-30]. Dostupné z: <https://www2.eecs.berkeley.edu/Pubs/TechRpts/2014/EECS-2014-117.pdf>
- [40] *Raspberry pi 3* [online]. [cit. 2021-4-30]. Dostupné z: [https://www.silverlineelectronics.in/pub/media/catalog/product/cache/e4d64343b1bc593f1c5348fe05efa4a6/r/a/raspberry\\_pi\\_3.jpg](https://www.silverlineelectronics.in/pub/media/catalog/product/cache/e4d64343b1bc593f1c5348fe05efa4a6/r/a/raspberry_pi_3.jpg)
- [41] *ESP32-Development-Board* [online]. [cit. 2021-4-30]. Dostupné z: [https://ae01.alicdn.com/kf/Haf4cfb809f0a4e8aa73ae55f2840684f7/ESP32-Development-Board-ESP-32-ESP-WROOM-32-30-pin-DOIT-Layout-Development-Board-WIFI-Bluetooth.jpg\\_q50.jpg](https://ae01.alicdn.com/kf/Haf4cfb809f0a4e8aa73ae55f2840684f7/ESP32-Development-Board-ESP-32-ESP-WROOM-32-30-pin-DOIT-Layout-Development-Board-WIFI-Bluetooth.jpg_q50.jpg)
- [42] *Four Types Of IoT Wireless Networks* [online]. [cit. 2021-4-30]. Dostupné z: <https://www.iotacommunications.com/blog/types-of-iot-networks/>
- [43] *6 Leading Types of IoT Wireless Tech and Their Best Use Cases* [online]. [cit. 2021-4-30]. Dostupné z: <https://behrtech.com/blog/6-leading-types-of-iot-wireless-tech-and-their-best-use-cases/>
- [44] POTHUGANTI, Karunakar a Anusha CHITNENI. *A comparative study of wireless protocols: Bluetooth, UWB, ZigBee, and Wi-Fi* [online]. 2014 [cit. 2021-4-30]. ISSN 2231-1297. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/312471356\\_A\\_comparative\\_study\\_of\\_wireless\\_protocols\\_Bluetooth\\_UWB\\_ZigBee\\_and\\_Wi-Fi](https://www.researchgate.net/publication/312471356_A_comparative_study_of_wireless_protocols_Bluetooth_UWB_ZigBee_and_Wi-Fi)

- [45] *How to reduce the ESP8266 power consumption?* [online]. [cit. 2021-4-30]. Dostupné z: <https://diyIoT.com/how-to-reduce-the-esp8266-power-consumption/>
- [46] *A Bluetooth & ZigBee Comparison For IoT Applications* [online]. [cit. 2021-4-30]. Dostupné z: <https://www.link-labs.com/blog/bluetooth-zigbee-comparison>
- [47] KAZEEM, Olaide a Olubiyi AKINTADE. *Comparative Study of Communication Interfaces for Sensors and Actuators in the Cloud of Internet of Things* [online]. 2017 [cit. 2021-4-30]. Dostupné z: doi:10.5923/j.ijit.20170601.02
- [48] *1.3 inch SPI 240x240 RGB TFT LCD Display Module* [online]. [cit. 2021-4-30]. Dostupné z: <http://www.icstation.com/inch-240x240-display-module-st7789-driver-240240-p-14035.html>
- [49] *ADATA AT10000* [online]. [cit. 2021-4-30]. Dostupné z: <https://www.alza.cz/adata-powerbank-at10000-cerna-d5837196.htm#parametry>
- [50] *Eloop Ultraslim E30 5000mAh Black* [online]. [cit. 2021-4-30]. Dostupné z: <https://www.alza.cz/eloop-e30-5000mah-black-d5684595.htm?o=1#popis>
- [51] *ADATA PowerBank AT10000 černá* [online]. [cit. 2021-4-30]. Dostupné z: <https://www.alza.cz/adata-powerbank-at10000-cerna-d5837196.htm#parametry>
- [52] *Eloop Ultraslim E30 5000mAh Black* [online]. [cit. 2021-4-30]. Dostupné z: <https://www.alza.cz/eloop-e30-5000mah-black-d5684595.htm?o=1#parametry>
- [53] *User Manual for TeraRanger Evosingle point distance sensors and backboards.pdf* [online]. [cit. 2021-04-30]. Dostupné z: <https://www.robotshop.com/media/files/pdf2/user-manual-for-teraranger-evo-single-point-distance-sensors-and-backboards.pdf>
- [54] *Mechanical design* [online]. [cit. 2021-4-30]. Dostupné z: <https://www.robotshop.com/media/files/pdf2/user-manual-for-teraranger-evo-single-point-distance-sensors-and-backboards.pdf>
- [55] *Adapter-usb-a-na-usb-b-adapter-vestavny-cp30111* [online]. [cit. 2021-4-30]. Dostupné z: <https://www.conrad.cz/p/cliff-cp30112-uzaver-cerna-1-ks-1414444/>  
<https://www.conrad.cz/p/xlr-adapter-usb-a-na-usb-b-adapter-vestavny-cp30111-cp30111-cliff-mnozstvi-1-ks-1214673>
- [56] *Mechanical drawings* [online]. [cit. 2021-4-30]. Dostupné z: <https://www.raspberrypi.org/documentation/hardware/raspberrypi/mechanical/README.md>
- [57] *How Hot Is Too Hot for Raspberry Pi?* [online]. [cit. 2021-4-30]. Dostupné z: <https://www.element14.com/community/community/raspberry-pi/blog/2020/03/12/how-hot-is-too-hot-for-raspberry-pi>
- [58] SAVERESI, Sergio, Matteo CORNO a Mara TANELLI. *Modelling of two wheeled vehicles*. 2014. John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex, PO19 8SQ, United Kingdom, 2014. ISBN 9781119950189.
- [59] Liu, Changdong, *A Multibody Dynamics Model of a Motorcycle with a Multi-link Front Suspension*. 2017. Electronic Theses and Dissertations. 7376. Dostupné z: <https://scholar.uwindsor.ca/etd/7376>
- [60] VLK, František. *Ovladatelnost a stabilita motocyklu* [online]. 2004 [cit. 2021-4-30]. ISSN 1211-443. Dostupné z: <http://www.sinz.cz/archiv/docs/si-2004-06-303-311.pdf>

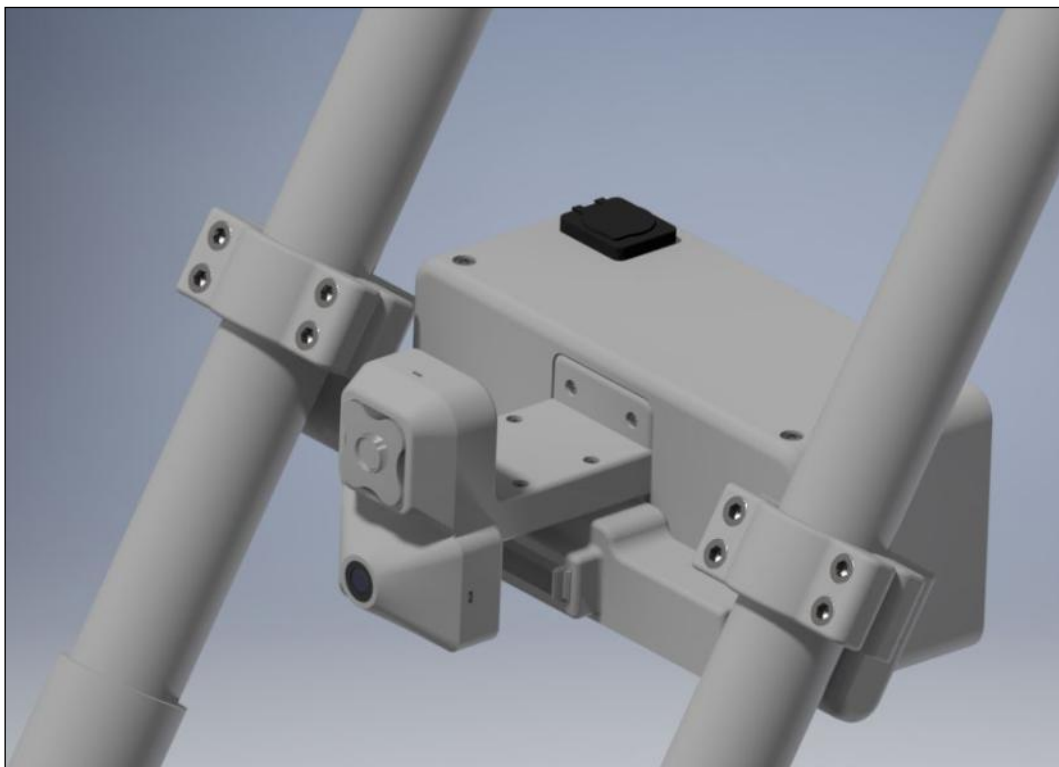
- [61] TRU COMPONENTS TC-R13-527D2B tlačítkový spínač. *Conrad* [online]. [cit. 2021-4-30]. Dostupné z: <https://www.conrad.cz/p/tru-components-tc-r13-527d2b-tlacitkovy-spinac-14-vdc-20-a-1x-zapvyp-s-aretaci-1-ks-1587920>
- [62] *Overview of materials for Polylactic Acid (PLA) Biopolymer* [online]. [cit. 2021-4-30]. Dostupné z: <http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=ab96a4c0655c4018a8785ac4031b9278&ckck&ckck=1>
- [63] FARAH, Shady, Daniel ANDERSON a Robert LANGER. Physical and mechanical properties of PLA, and their functions in widespread applications—A comprehensive review. *Sciencedirect.com* [online]. 2016, 26 [cit. 2021-4-30]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169409X16302058?via%3Dihub>
- [64] EZEH, O. a L. SUSMEL. *On the fatigue strength of 3D-printed polylactide (PLA)* [online]. 2018, , 8 [cit. 2021-4-30]. Dostupné z: [doi:10.1016/j.prostr.2018.06.007](https://doi.org/10.1016/j.prostr.2018.06.007)
- [65] SUBRAMANIAM, L. a SELVAMANI. *Preliminary Investigations of Polylactic Acid (PLA) Properties* [online]. Universiti Malaysia Pahang, [cit. 2021-4-30]. Dostupné z: <https://core.ac.uk/download/pdf/188216366.pdf>
- [66] SAVERESI, Sergio, Matteo CORNO a Mara TANELLI. *Modelling of two wheeled vehicles*. 2014. John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex, PO19 8SQ, United Kingdom, 2014. ISBN 9781118802892.
- [67] SEGLA, Stefan a Roy SAYANTAN. Dynamic Simulation Analysis of a Motorcycle Suspension System – Assessment of Comfort. *MANUFACTURING TECHNOLOGY* [online]. 2020, (20/3) [cit. 2021-4-30]. ISSN 1213–2489. Dostupné z: [doi:10.21062/mft.2020.052](https://doi.org/10.21062/mft.2020.052)
- [68] VRÁTNÍK, Pavel. *Experimentální a výpočetní techniky pro modelování motocyklů a jejich komponent* [online]. Západočeská univerzita v Plzni, 2015 [cit. 2021-4-30]. Dostupné z: <https://dspace5.zcu.cz/handle/11025/20265>. Bakalářská.
- [69] Consolatina Liguori, Paolo Sommella, Antonio Pietrosanto, Alfredo Paolillo a Vincenzo Paciello. *Characterization of motorcycle suspension systems: Comfort and handling performance evaluation* [online]. Department of Industrial Engineering, University of Salerno, Italy [cit. 2021-5-25]. ISSN 1091-5281. Dostupné z: [doi:10.1109/I2MTC.2013.6555457](https://doi.org/10.1109/I2MTC.2013.6555457)
- [70] SO/IEC/IEEE 21451 smart sensor network for the evaluation of motorcycle suspension systems. *IEEE Sensors Journal* [online]. 2014, 11 [cit. 2021-5-25]. ISSN 1530-437X. Dostupné z: [doi:10.1109/JSEN.2014.2363945](https://doi.org/10.1109/JSEN.2014.2363945)
- [71] P. Florian, P. Vrátník a R. Čermák. *MODELLING AND EXPERIMENTAL ANALYSIS OF MOTORCYCLE DYNAMICS USING MATLAB* [online]. In: . Faculty of Mechanical Engineering, University of West Bohemia [cit. 2021-4-30]. Dostupné z: [https://www2.humusoft.cz/www/papers/tcp2015/020\\_florian.pdf](https://www2.humusoft.cz/www/papers/tcp2015/020_florian.pdf)
- [72] *DLP®Technology: Next generation augmented reality head-up display* [online]. [cit. 2021-4-30]. Dostupné z: [https://www.ti.com/lit/wp/dlpa098/dlpa098.pdf?ts=1617604328304&ref\\_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F](https://www.ti.com/lit/wp/dlpa098/dlpa098.pdf?ts=1617604328304&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F)
- [73] *Head Up Displays* [online]. [cit. 2021-4-30]. Dostupné z: [http://www.mikesflightdeck.com/hud/head\\_up\\_displays.html](http://www.mikesflightdeck.com/hud/head_up_displays.html)
- [74] *Sygic Head-up Display: Navigace na čelním skle* [online]. [cit. 2021-4-30]. Dostupné z: <https://www.svetandroida.cz/sygic-head-up-display/>

- [75] Enrique Caño Marín, Gonzalez Prieto a Maroto Gómez. *Head-up displays in driving* [online]. 2016 [cit. 2021-4-30]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/301776934\\_Head-up\\_displays\\_in\\_driving](https://www.researchgate.net/publication/301776934_Head-up_displays_in_driving)
- [76] *HUDway Glass: levný Head-up-display pro každého* [online]. [cit. 2021-4-30]. Dostupné z: <https://mobilmania.zive.cz/clanky/hudway-glass-levny-head-up-display-pro-kazdeho/sc-3-a-1332246/default.aspx>
- [77] *Tvarovatelné lepidlo tesa Sugru* [online]. [cit. 2021-4-30]. Dostupné z: <https://www.tesa.com/cs-cz/spotrebitel/tesa-sugru-tvarovatelne-lepidlo>
- [78] *FORMEROL F.10 / sugru Technical data sheet* [online]. 2013 [cit. 2021-4-30]. Dostupné z: <https://www.farnell.com/datasheets/1783012.pdf>
- [79] *Safety* [online]. [cit. 2021-4-30]. Dostupné z: <https://sugru.com/safety>
- [80] *FORMEROL® F.10/SUGRU® TECHNICAL DATA SHEET* [online]. [cit. 2021-4-30]. Dostupné z: <https://sugru.com/pdfs/tds.pdf>
- [81] *Jak si vybrat přílbu na motorku?* [online]. [cit. 2021-4-30]. Dostupné z: <https://www.k2moto.cz/blog/poradna/jak-si-vybrat-prilbu-na-motorku>
- [82] *7 Important Reasons Why You Should Use Python* [online]. [cit. 2021-4-30]. Dostupné z: <https://www.zibtek.com/blog/7-important-reasons-why-you-should-use-python/>
- [83] VODA, Zbyšek. *Průvodce světem Arduina*. Nakladatelství Martin Stříž, Bučovice, 2015. ISBN 978-80-87106-90-7.
- [84] *Terabee GitHub* [online]. [cit. 2021-4-25]. Dostupné z: <https://github.com/Terabee>
- [85] *Terabee youtube* [online]. [cit. 2021-4-25]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/c/Teraranger/videos>
- [86] *Bezpečná vzdálenost mezi vozidly* [online]. [cit. 2021-4-25]. Dostupné z: [https://www.cspsd.cz/storage/files/vzdalenost\\_mezi\\_vozidly.pdf](https://www.cspsd.cz/storage/files/vzdalenost_mezi_vozidly.pdf)
- [87] *About OpenCV* [online]. [cit. 2021-4-25]. Dostupné z: <https://opencv.org/about/>
- [88] *What is Image Segmentation?* [online]. [cit. 2021-4-25]. Dostupné z: <https://www.analytixlabs.co.in/blog/what-is-image-segmentation/>
- [89] Comparison of HOG, LBP and Haar-Like Features for On-Road Vehicle Detection. *IEEE* [online]. 2018 [cit. 2021-4-25]. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8500159>
- [90] Dingju Zhu. Simple haar-like features. *Hindawi* [online]. 2014 [cit. 2021-4-25]. Dostupné z: <https://www.hindawi.com/journals/tswj/2014/753860/>
- [91] REZAEI, Mahdi. *Creating a Cascade of Haar-Like Classifiers: Step by Step* [online]. Department of Computer Science, the University of Auckland [cit. 2021-4-25]. Dostupné z: [https://www.cs.auckland.ac.nz/~m.rezaei/Tutorials/Creating\\_a\\_Cascade\\_of\\_Haar-Like\\_Classifiers\\_Step\\_by\\_Step.pdf](https://www.cs.auckland.ac.nz/~m.rezaei/Tutorials/Creating_a_Cascade_of_Haar-Like_Classifiers_Step_by_Step.pdf)
- [92] *Haar Cascade Classifiers* [online]. [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: <https://medium.datadriveninvestor.com/haar-cascade-classifiers-237c9193746b>
- [93] *Vehicle-And-Pedestrian-Detection-Using-Haar-Cascades* [online]. [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: <https://github.com/AdityaPai2398/Vehicle-And-Pedestrian-Detection-Using-Haar-Cascades>

- [94] *MPU-6000and MPU-6050Product SpecificationRevision 3.4* [online]. [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: <https://invensense.tdk.com/wp-content/uploads/2015/02/MPU-6000-Datasheet1.pdf>
- [95] *Matematické metody v kartografii* [online]. [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: <https://web.natur.cuni.cz/~bayertom/images/courses/mmk/mk2.pdf>
- [96] *Orthodrome* [online]. [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: <https://de.wikipedia.org/wiki/Orthodrome>
- [97] *Lost but lovely: The haversine* [online]. [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: <https://plus.maths.org/content/lost-lovely-haversine>
- [98] FRADEN, Jacob. *Handbook of modern sensors: physics, designs, and applications*. 4th ed. New York: Springer, 2010. ISBN 978-1-4419-6465-6.
- [99] *Dopravni-znacky* [online]. [cit. 2021-5-20]. Dostupné z: <https://www.bezpecnecesty.cz/cz/autoskola/dopravni-znacky>
- [100] Alone Clipart Image. *Cliparts.zone* [online]. [cit. 2021-4-25]. Dostupné z: <https://cliparts.zone/male-standing-cliparts>
- [101] Red car 4 icon. *Iconsdb.com/* [online]. [cit. 2021-4-25]. Dostupné z: <https://www.iconsdb.com/red-icons/car-4-icon.html>
- [102] Red deer icon. *Iconsdb.com/* [online]. [cit. 2021-4-25]. Dostupné z: <https://www.iconsdb.com/red-icons/deer-icon>

## **PŘÍLOHA č. 1**

### **Render senzorické a zobrazovací jednotky**



## **PŘÍLOHA č. 2**

### **Datasheet Sugru**





For further information contact FormFormForm Ltd  
Unit 2, 47-49 Tudor Road, London, E9 7SN, UK

+44 (0) 20 7998 0022  
technical@sugru.com  
www.sugru.com

Registered Co. no. 5256222

FORMEROL® is a trademark of FormFormForm Ltd  
©2012

FORMEROL® technology is protected by the following international patent applications:  
US Patent Application 10/517,057 and related filings in Europe, China and India.  
US Patent Application 11/921,006 and related filings in Europe, Japan, China and India.  
US Patent Application 11/921,005 and related filings in Europe, Japan, China and India.

## FORMEROL® F.10 / sugru®

Technical data sheet

August 2013

Please note that FORMEROL® F.10 is a standard material and its properties can be varied for specific applications.

FORMEROL® F.10 is a developmental product. Typical properties are illustrative of the current product formulation but may change. This information is offered in good faith. However, because conditions and methods of use of our products are beyond our control, this information should not be used in substitution for customer's tests to ensure that FORMEROL® products are safe, effective, and fully satisfactory for the intended end use.

### DESCRIPTION

FORMEROL® soft-touch materials are specially formulated to allow for :

#### 1. Cold moulding of silicone parts

Moulding at low temperatures allows silicone parts to be directly moulded onto unusual substrates such as aluminium and ceramics. This allows for exciting new design possibilities.

#### 2. Fixing, Adapting and Creating : applications in DIY, Arts & Crafts, Prototyping

The high plasticity of the material allows it to be shaped easily by hand into any shape and its properties such as elasticity and adhesion offer many advantages.

### GENERAL

FORMEROL® F.10	Silicone Elastomer
Basic Material	RTV Moisture Curing Silicone
Service Temperature Range	- 50 to 180 °C
Colour When Uncured	White, but can be easily coloured to any shade
Appearance	Supplied as uncured non-slumping elastomer in moisture proof packaging ready to be processed by extrusion / compression moulding / manual shaping at room temperature.
<u>Cured material:</u>	
Ozone/UV-Resistance	Excellent
Oxidation Resistance	Excellent
Moisture Resistance	Good
Flame Resistance	Good

### MECHANICAL & PHYSICAL PROPERTIES

Properties	Standard	Test Unit	Typical Value
Hardness	BS EN ISO 868	Shore A	70
Density		kg/ m <sup>3</sup>	1380
Williams Plasticity (uncured)	ASTM D 926	mm	166
Ultimate Tensile Stress	ASTM D638	MPa	1.89
Strain to Failure	ASTM D638	%	211
Modulus	ASTM D638	MPa	5.59
Abrasion Resistance	ISO4649 Method A	ARI index %	24
Thermal Conductivity	ASTM D5930	W/mK	0.189
Electrical Resistivity - Surface	BS903	Ohms	1.40 × 10 <sup>14</sup>
Electrical Resistivity - Volume	BS903	Ohm cm	2.55 × 10 <sup>14</sup>
Dielectric Strength	ASTM D419	V/mil	398

P 1 / 2

---

#### ADHESION

Substrate surfaces must be thoroughly degreased in all cases.

Test Title	Results
Adhesion to Butyl Rubber	Excellent
Adhesion to Aluminium	Excellent
Adhesion to Stainless Steel	Excellent
Adhesion to Glass	Excellent
Adhesion to Sugru	Excellent
Adhesion to Leather (Shoe)	Excellent
Adhesion to Fridge Door (Exterior)	Excellent
Adhesion to Fridge/Freezer Interior	Excellent
Adhesion to Brass	Excellent
Adhesion to Galvanised Steel	Excellent
Adhesion to Copper	Excellent
Adhesion to Plywood	Excellent

---

#### PROCESSING

FORMEROL® materials are processed at room temperature, in a dry atmosphere; most commonly by compression moulding, extrusion or manual shaping. Injection moulding processes are under development with a lead industrial partner. The viscosity of the material at room temperature allows moulds to be fabricated from suitable polymers (eg PTFE, polycarbonate) as well as metal.

---

#### PACKAGING

Typical sealing materials include any polymer film with good moisture barrier properties e.g. PE/ALU/PET laminates.

---

## **PŘÍLOHA č. 3**

### **Materiálový list PLA**

(Viewing data as-entered. [Click here](#) to return)

### Overview of materials for Polylactic Acid (PLA) Biopolymer

**Categories:** [Polymer](#); [Thermoplastic](#); [Polylactic Acid \(PLA\) Biopolymer](#)

**Material Notes:** This property data is a summary of similar materials in the MatWeb database for the category "Polylactic Acid (PLA) Biopolymer". Each property range of values reported is minimum and maximum values of appropriate MatWeb entries. The comments report the average value, and number of data points used to calculate the average. The values are not necessarily typical of any specific grade, especially less common values and those that can be most affected by additives or processing methods.

**Vendors:** No vendors are listed for this material. Please [click here](#) if you are a supplier and would like information on how to add your listing to this material.

Physical Properties	Original Value	Comments
Density	1.00 - 2.47 g/cc	Average value: 1.29 g/cc Grade Count:216
	1.08 - 1.12 g/cc	Average value: 1.08 g/cc Grade Count:14
	@Temperature 230 - 230 °C	
Moisture Absorption at Equilibrium	0.55 - 1.3 %	Average value: 0.950 % Grade Count:1
	@Temperature 70.0 - 70.0 °C	
	0.55 - 1.3 %	Average value: 0.950 % Grade Count:1
	@Time 180000 - 1.44e+6 sec	
Additive Loading	10 - 40 %	Average value: 20.0 % Grade Count:14
Moisture Vapor Transmission	8.30 - 15.7 cc-mm/m <sup>2</sup> -24hr-atm	Average value: 11.5 cc-mm/m <sup>2</sup> -24hr-atm Grade Count:4
Water Vapor Transmission	70.0 - 170 g/m <sup>2</sup> /day	Average value: 117 g/m <sup>2</sup> /day Grade Count:7
Oxygen Transmission	14.0 - 27.6 cc-mm/m <sup>2</sup> -24hr-atm	Average value: 20.3 cc-mm/m <sup>2</sup> -24hr-atm Grade Count:4
Oxygen Transmission Rate	130 - 1450 cc/m <sup>2</sup> /day	Average value: 889 cc/m <sup>2</sup> /day Grade Count:7
Nitrogen Transmission	1.65 - 7.29 cc-mm/m <sup>2</sup> -24hr-atm	Average value: 4.74 cc-mm/m <sup>2</sup> -24hr-atm Grade Count:4
Carbon Dioxide Transmission	76.0 - 118 cc-mm/m <sup>2</sup> -24hr-atm	Average value: 94.0 cc-mm/m <sup>2</sup> -24hr-atm Grade Count:4
Maximum Moisture Content	0.020	Average value: 0.0200 Grade Count:4
Linear Mold Shrinkage	0.0010 - 0.013 cm/cm	Average value: 0.00528 cm/cm Grade Count:47
Linear Mold Shrinkage, Transverse	0.0015 - 0.0065 cm/cm	Average value: 0.00391 cm/cm Grade Count:8
Melt Flow	0.38 - 85 g/10 min	Average value: 11.1 g/10 min Grade Count:146

Mechanical Properties	Original Value	Comments
Hardness, Shore A	67 - 85	Average value: 76.3 Grade Count:3
Hardness, Shore D	48 - 87	Average value: 69.8 Grade Count:12
Ball Indentation Hardness	105 - 190 MPa	Average value: 131 MPa Grade Count:4
Tensile Strength, Ultimate	0.160 - 3000 MPa	Average value: 64.5 MPa Grade Count:137
	5.00 - 42.0 MPa	Average value: 27.8 MPa Grade Count:2
	@Temperature 30.0 - 110 °C	
Film Tensile Strength at Yield, MD	19.0 - 54.0 MPa	Average value: 30.5 MPa Grade Count:13
Film Tensile Strength at Yield, TD	14.0 - 48.0 MPa	Average value: 26.5 MPa Grade Count:13
Tensile Strength, Yield	8.00 - 103 MPa	Average value: 40.0 MPa Grade Count:41
	46.0 - 49.0 MPa	Average value: 47.8 MPa Grade Count:2
	@Temperature 30.0 - 110 °C	
Film Elongation at Break, MD	2.0 - 4550 %	Average value: 500 % Grade Count:45
Film Elongation at Break, TD	2.0 - 3980 %	Average value: 564 % Grade Count:45
Elongation at Break	0.50 - 700 %	Average value: 59.6 % Grade Count:152
	15 - 100 %	Average value: 41.3 % Grade Count:2
	@Temperature 30.0 - 110 °C	
Elongation at Yield	1.0 - 400 %	Average value: 42.7 % Grade Count:32

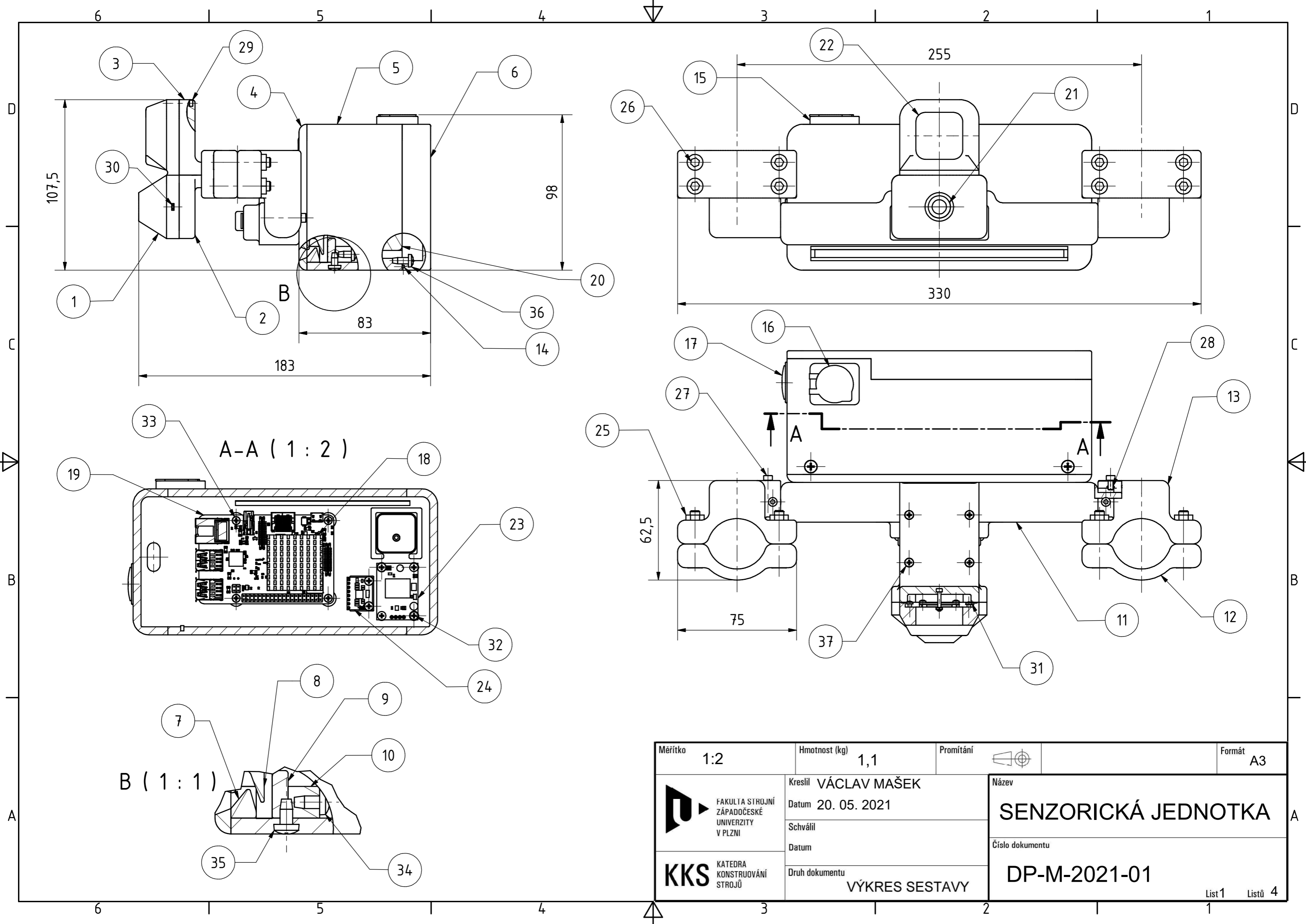
	2.0 - 2.0 % @Temperature 30.0 - 110 °C	Average value: 2.00 % Grade Count:2
Modulus of Elasticity	0.0500 - 13.8 GPa	Average value: 2.34 GPa Grade Count:138
	2.96 - 3.60 GPa @Temperature 30.0 - 110 °C	Average value: 5.92 GPa Grade Count:2
	6.10 - 8.90 GPa @Temperature 70.0 - 70.0 °C	Average value: 5.92 GPa Grade Count:1
	6.10 - 8.90 GPa @Time 0.000 - 1.44e+6 sec	Average value: 5.92 GPa Grade Count:1
Tenacity	0.177 - 0.441 N/tex	Average value: 0.296 N/tex Grade Count:9
Flexural Yield Strength	0.170 - 159 MPa	Average value: 76.4 MPa Grade Count:103
	79.0 - 93.0 MPa @Temperature 30.0 - 110 °C	Average value: 85.0 MPa Grade Count:2
Flexural Modulus	0.178 - 13.8 GPa	Average value: 3.84 GPa Grade Count:109
	2.96 - 3.60 GPa @Temperature 30.0 - 110 °C	Average value: 3.28 GPa Grade Count:2
Flexural Strain at Break	1.7 - 5.5 %	Average value: 3.29 % Grade Count:10
Secant Modulus	0.120 - 0.650 GPa	Average value: 0.354 GPa Grade Count:5
Secant Modulus, MD	3.30 - 3.44 GPa	Average value: 3.35 GPa Grade Count:3
Secant Modulus, TD	3.78 - 3.90 GPa	Average value: 3.85 GPa Grade Count:3
Izod Impact, Notched	0.105 - 8.54 J/cm	Average value: 1.42 J/cm Grade Count:63
	0.490332 - 0.490332 J/cm @Temperature -30.0 - -30.0 °C	Average value: 0.490 J/cm Grade Count:1
Izod Impact, Unnotched	1.92 - 5340 J/cm	Average value: 5.87 J/cm Grade Count:38
	980.567 - 980.567 J/cm @Temperature -30.0 - -30.0 °C	Grade Count:1
Izod Impact, Notched (ISO)	2.50 - 32.5 kJ/m <sup>2</sup>	Average value: 11.1 kJ/m <sup>2</sup> Grade Count:10
	9.00 - 40.0 kJ/m <sup>2</sup> @Temperature 30.0 - 110 °C	Average value: 22.8 kJ/m <sup>2</sup> Grade Count:2
Izod Impact, Unnotched (ISO)	7.35 kJ/m <sup>2</sup> - NB	Average value: 25.0 kJ/m <sup>2</sup> Grade Count:10
	38.0 kJ/m <sup>2</sup> - NB @Temperature 30.0 - 110 °C	Average value: 64.5 kJ/m <sup>2</sup> Grade Count:2
Charpy Impact Unnotched	0.500 J/cm <sup>2</sup> - NB	Average value: 2.95 J/cm <sup>2</sup> Grade Count:42
	999.9 - 999.9 J/cm <sup>2</sup> @Temperature 30.0 - 110 °C	Grade Count:1
Charpy Impact, Notched	0.100 - 1000 J/cm <sup>2</sup>	Average value: 0.717 J/cm <sup>2</sup> Grade Count:56
	2.50 - 6.70 J/cm <sup>2</sup> @Temperature 30.0 - 110 °C	Average value: 4.60 J/cm <sup>2</sup> Grade Count:1
Coefficient of Friction	0.15 - 0.28	Average value: 0.195 Grade Count:11
Coefficient of Friction, Static	0.16 - 0.34	Average value: 0.266 Grade Count:11
Tear Strength	12.0 - 180 kN/m	Average value: 80.3 kN/m Grade Count:12
Elmendorf Tear Strength MD	10 - 400 g	Average value: 274 g Grade Count:5
Elmendorf Tear Strength TD	110 - 567 g	Average value: 327 g Grade Count:5
Elmendorf Tear Strength, MD	0.0441 - 0.862 g/micron	Average value: 0.426 g/micron Grade Count:16
Elmendorf Tear Strength, TD	0.0361 - 1.28 g/micron	Average value: 0.510 g/micron Grade Count:16
Dart Drop Total Energy	240 - 420 J/cm	Average value: 347 J/cm Grade Count:3
Dart Drop Test	0.00350 - 780 g	Average value: 168 g Grade Count:8
Film Tensile Strength at Break, MD	11.3 - 110 MPa	Average value: 29.9 MPa Grade Count:40
Film Tensile Strength at Break, TD	10.3 - 145 MPa	Average value: 31.4 MPa Grade Count:40
<b>Electrical Properties</b>		
	<b>Original Value</b>	<b>Comments</b>
Electrical Resistivity	1.00e+8 - 1.00e+15 ohm-cm	Average value: 8.00e+14 ohm-cm Grade Count:5
Surface Resistance	1.00e+10 - 1.00e+15 ohm	Average value: 8.00e+14 ohm Grade Count:5
<b>Thermal Properties</b>		
	<b>Original Value</b>	<b>Comments</b>
CTE, linear	101 - 120 µm/m-°C	Average value: 114 µm/m-°C Grade Count:3
Thermal Conductivity	0.0320 - 0.170 W/m-K	Average value: 0.0439 W/m-K Grade Count:4

Melting Point	90.0 - 220 °C	Average value: 156 °C Grade Count:103
Maximum Service Temperature, Air	60.0 - 240 °C	Average value: 179 °C Grade Count:29
Deflection Temperature at 0.46 MPa (66 psi)	50.0 - 160 °C	Average value: 84.2 °C Grade Count:99
Deflection Temperature at 1.8 MPa (264 psi)	44.0 - 149 °C	Average value: 77.2 °C Grade Count:33
Vicat Softening Point	44.0 - 160 °C	Average value: 75.6 °C Grade Count:38
Glass Transition Temp, Tg	-43.0 - 120 °C	Average value: 56.9 °C Grade Count:53
Flammability, UL94	HB - V-0	Grade Count:18

Optical Properties	Original Value	Comments
Haze	2.0 - 85 %	Average value: 30.8 % Grade Count:7
Gloss	90 %	Average value: 90.0 % Grade Count:4
Transmission, Visible	90 %	Average value: 90.0 % Grade Count:12

Processing Properties	Original Value	Comments
Processing Temperature	30.0 - 330 °C	Average value: 169 °C Grade Count:32
Nozzle Temperature	140 - 295 °C	Average value: 196 °C Grade Count:56
Adapter Temperature	185 - 200 °C	Average value: 198 °C Grade Count:7
Die Temperature	20.0 - 210 °C	Average value: 170 °C Grade Count:33
Melt Temperature	60.0 - 300 °C	Average value: 182 °C Grade Count:125
Mold Temperature	10.0 - 185 °C	Average value: 59.6 °C Grade Count:97
Drying Temperature	40.0 - 110 °C	Average value: 69.0 °C Grade Count:123
Moisture Content	0.010 - 2.0 %	Average value: 0.224 % Grade Count:81
	0.15 - 0.30 % @Temperature 100 - 100 °C	Average value: 0.192 % Grade Count:13
Dew Point	-40.0 - -35.0 °C	Average value: -38.3 °C Grade Count:93
Drying Air Flow Rate	14.2 l/min	Average value: 14.2 l/min Grade Count:18
Injection Pressure	55.2 - 138 MPa	Average value: 81.4 MPa Grade Count:35

Some of the values displayed above may have been converted from their original units and/or rounded in order to display the information in a consistent format. Users requiring more precise data for scientific or engineering calculations can click on the property value to see the original value as well as raw conversions to equivalent units. We advise that you only use the original value or one of its raw conversions in your calculations to minimize rounding error. We also ask that you refer to MatWeb's [terms of use](#) regarding this information. [Click here](#) to go back to viewing the property data in MatWeb's normal format.



Měřítko 1:2	Hmotnost (kg) 1,1	Promítání 	Formát A3
 FAKULTA STROJNÍ ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY V PLZNI	Kreslil VÁCLAV MAŠEK	Název <b>SENZORICKÁ JEDNOTKA</b>	
	Datum 20. 05. 2021	Číslo dokumentu <b>DP-M-2021-01</b>	
<b>KKS</b> KATEDRA KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ	Schválil	Druh dokumentu VÝKRES SESTAVY	
	Datum	List 1 Listů 4	

Číslo polož.	Název - označení	Polotovár	Hmotn. (kg)	J.	Množ.
	Číslo výkresu - označení normy	Materiál			
1	UCHYCENÍ KAMERA / LIDAR	VÝSTŘÍK	0,06		1
	DP-M-2021-01-1	PLA			
2	NOSNÝ ELEMENT 1	VÝSTŘÍK	0,03		1
	DP-M-2021-01-2	PLA			
3	NOSNÝ ELEMENT 2	VÝSTŘÍK	0,04		1
	DP-M-2021-01-3	PLA			
4	PŘEDNÍ KRYT SENZ. JED.	VÝSTŘÍK	0,12		1
	DP-M-2021-01-4	PLA			
5	TĚLO SENZ. JED.	VÝSTŘÍK	0,27		1
	DP-M-2021-01-5	PLA			
6	ZADNÍ KRYT SENZ. JED.	VÝSTŘÍK	0,15		1
	DP-M-2021-01-6	PLA			
7	CHLADÍCÍ ELEMENT 1	VÝSTŘÍK	0,02		1
	DP-M-2021-01-7	PLA			
8	CHLADÍCÍ ELEMENT 2	VÝSTŘÍK	0,01		1
	DP-M-2021-01-8	PLA			
9	CHLADÍCÍ ELEMENT 3	VÝSTŘÍK	0,01		1
	DP-M-2021-01-9	PLA			
10	CHLADÍCÍ ELEMENTY ARETACE	VÝSTŘÍK	0,03		1
	DP-M-2021-01-10	PLA			
11	ADAPTÉR SENZ. JED.	VÝSTŘÍK	0,18		1
	DP-M-2021-01-11	PLA			
12	SVĚRNÝ SPOJ 1	VÝSTŘÍK	0,08		2
	DP-M-2021-01-12	PLA			
13	SVĚRNÝ SPOJ 2	VÝSTŘÍK	0,02		2
	DP-M-2021-01-13	PLA			
14	TĚSNĚNÍ Ø 1mm				1
15	PRŮCHODKA				1
	CLIFF CP30114				
16	KRYT PRŮCHODKY				1
	CLIFF CP299802				

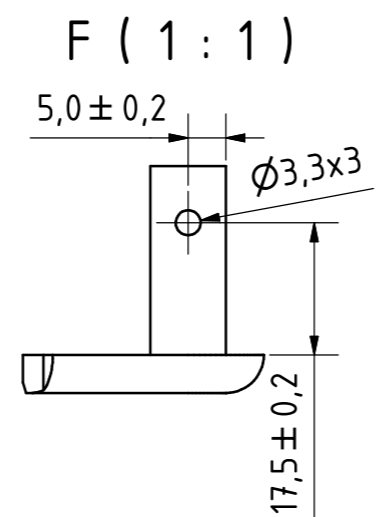
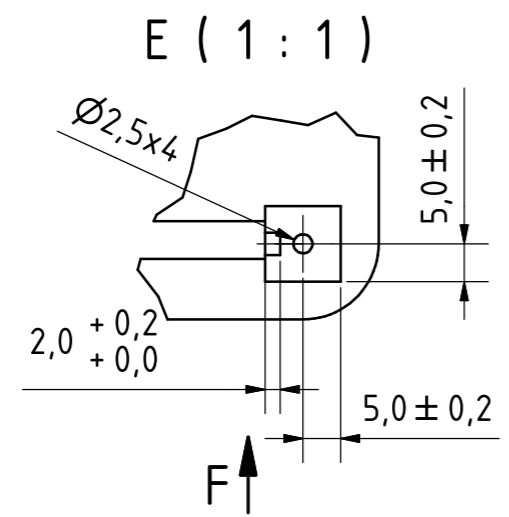
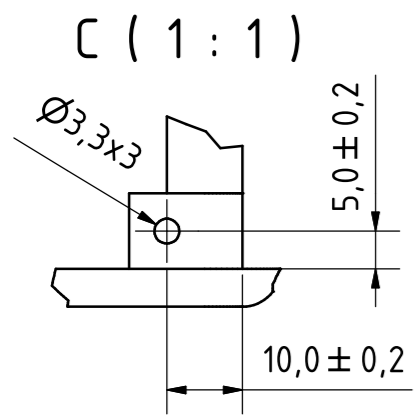
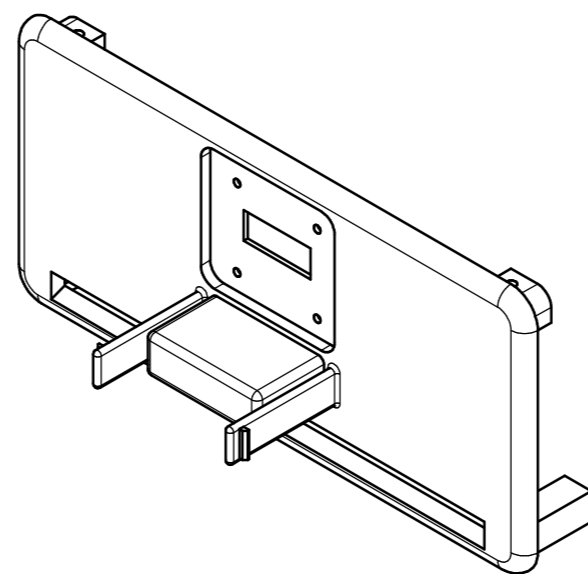
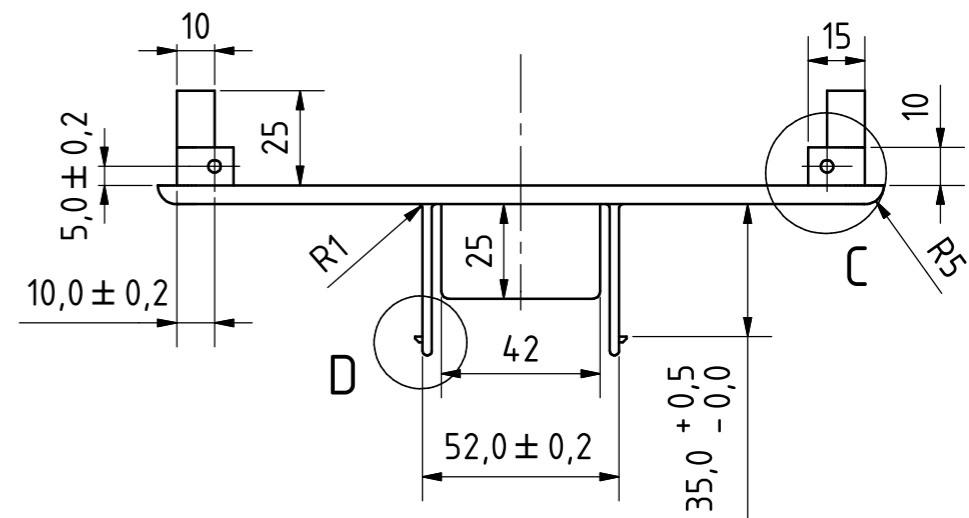
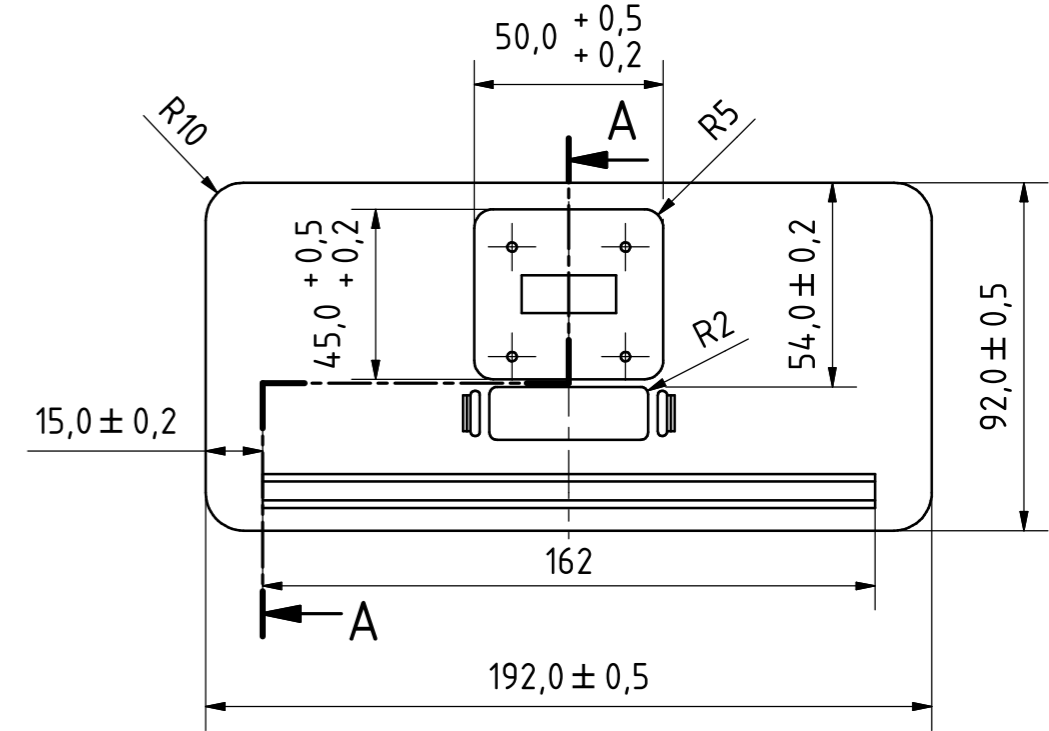
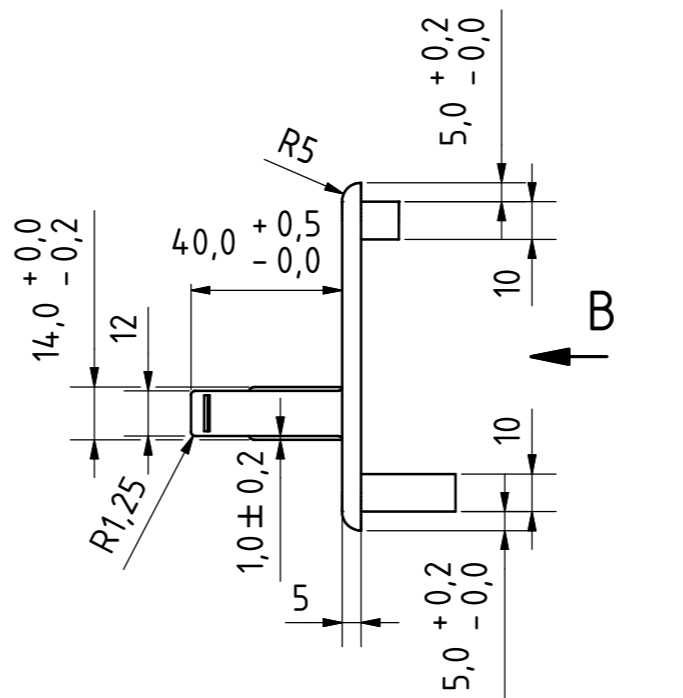
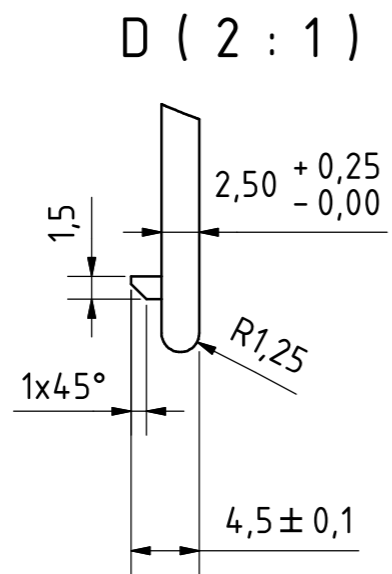
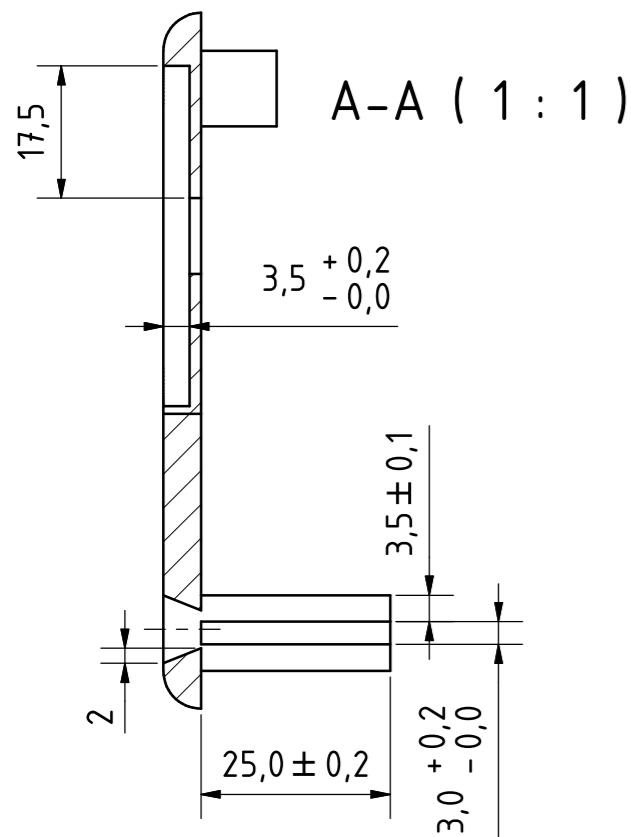
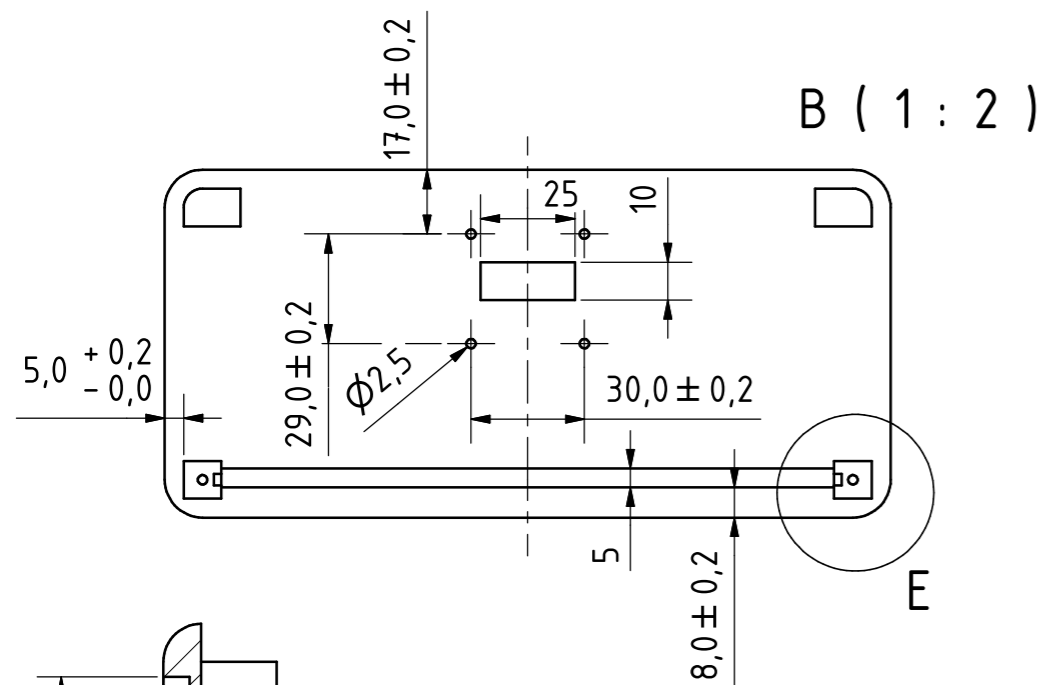
 <p>FAKULTA STROJNÍ ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY V PLZNI</p>	Kreslil <b>VÁCLAV MAŠEK</b>	Název
	Datum 20. 05. 2021	<b>SENZORICKÁ JEDNOTKA</b>
<p><b>KKS</b> KATEDRA KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ</p>	Schválil	Číslo dokumentu
	Datum	<b>DP-M-2021-01</b>
	Druh dokumentu <b>SEZNAM POLOŽEK</b>	



Číslo polož.	Název - označení	Polotovary	Hmotn. (kg)	J.	Množ.
	Číslo výkresu - označení normy	Materiál			
17	TLAČÍTKO				1
	TRU COMPONENTS TC-R13				
18	CHLADIČ RASPBERRY				1
19	RASPBERRY PI 3B+				1
20	POWER BANKA				1
	ADATA AT10000				
21	KAMERA				1
	WAVESHARE RPI IR-CUT				
22	LIDAR				1
	TERARANGER EVO 60M				
23	GPS SENZOR				1
	NEO 6-M				
24	INERCIÁLNÍ SENZOR				1
	MPU-6050				
25	MATICE M6				8
	DIN 934				
26	ŠROUB M6x30				8
	DIN ISO 4762				
27	ŠROUB M3x6				4
	DIN ISO 4762				
28	MATICE M3				4
	DIN 934				
29	ŠROUB M2x12				4
	DIN ISO 4762				
30	MATICE M2				4
	DIN 934				
31	ŠROUB M2x6				6
	BN 82428				
32	ŠROUB M3x6				6
	BN 82428				

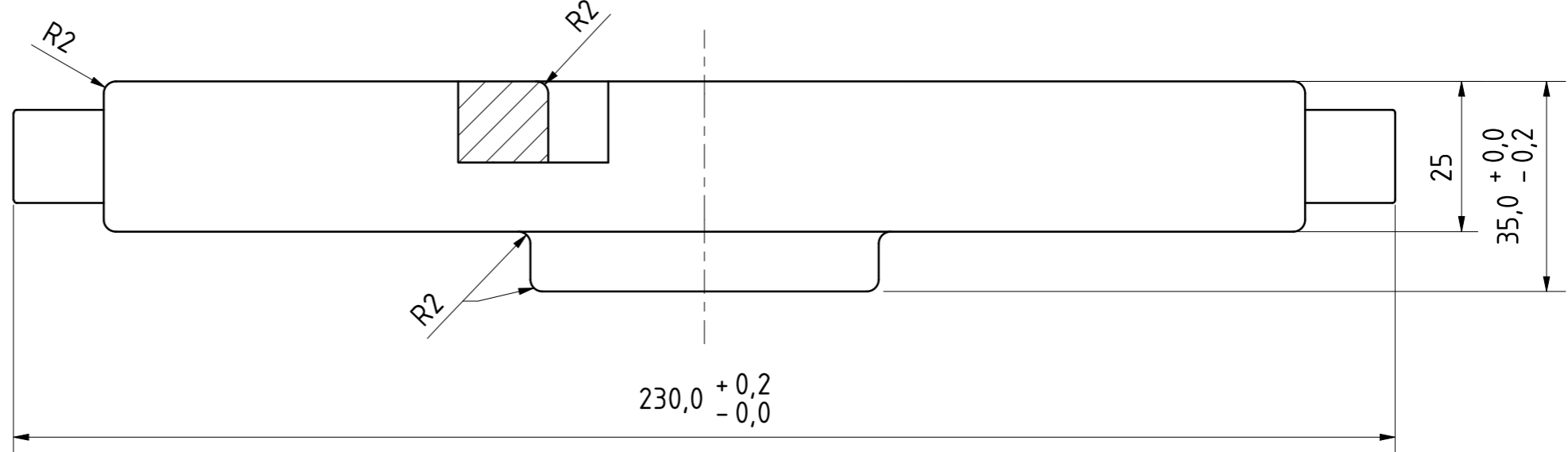
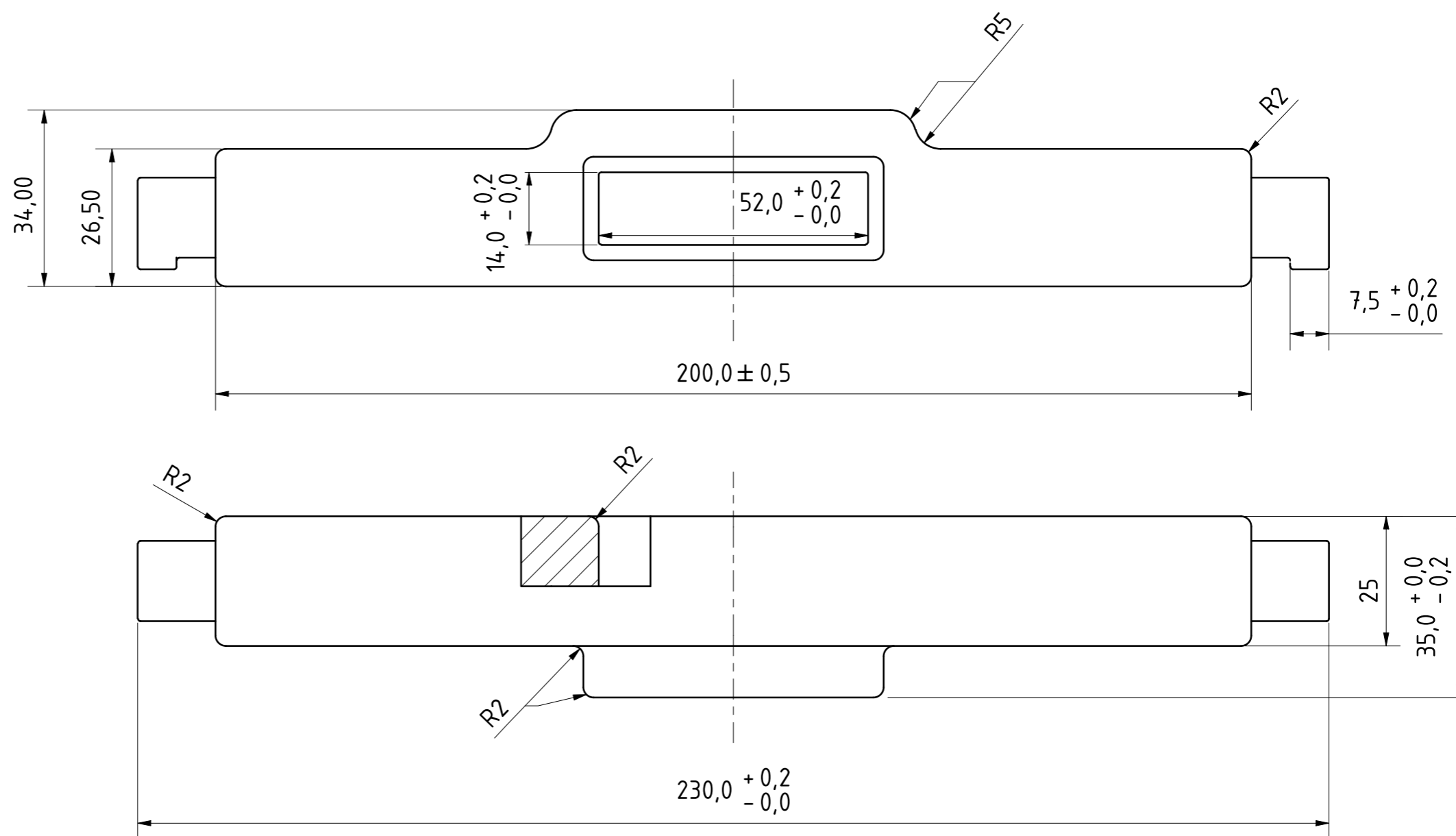
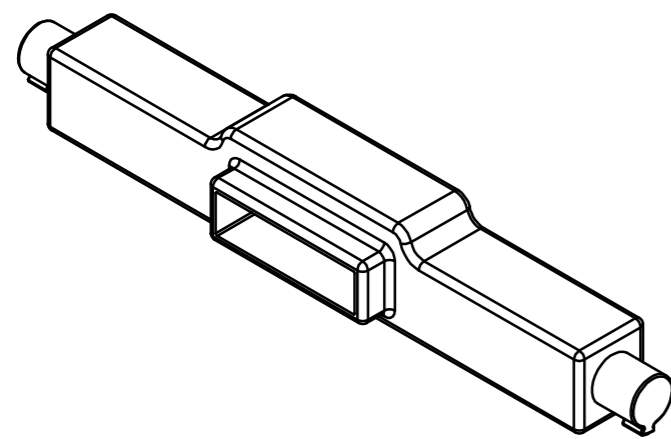
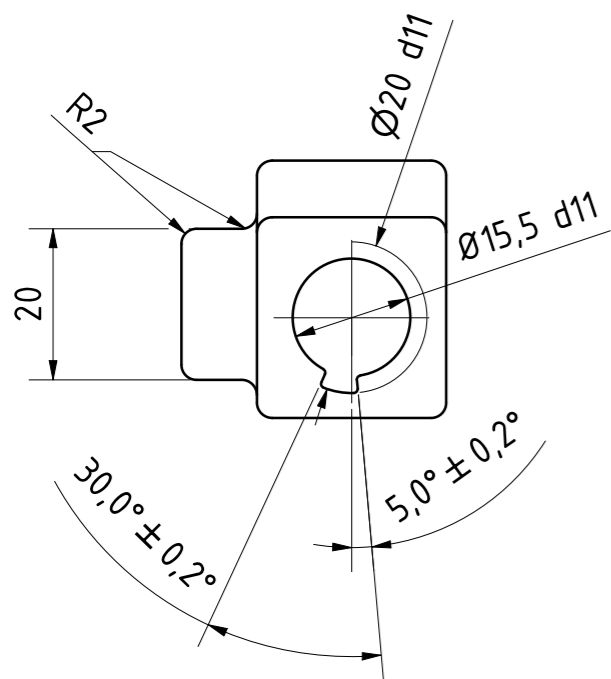
 <p>FAKULTA STROJNÍ ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY V PLZNI</p>	<p>Kreslil <b>VÁCLAV MAŠEK</b></p> <p>Datum 20. 05. 2021</p>	<p>Název</p> <p><b>SENZORICKÁ JEDNOTKA</b></p>
	<p>Schválil</p> <p>Datum</p>	<p>Číslo dokumentu</p> <p><b>DP-M-2021-01</b></p>
<p><b>KKS</b> KATEDRA KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ</p>	<p>Druh dokumentu</p> <p><b>SEZNAM POLOŽEK</b></p>	<p>List 3 Listů 4</p>





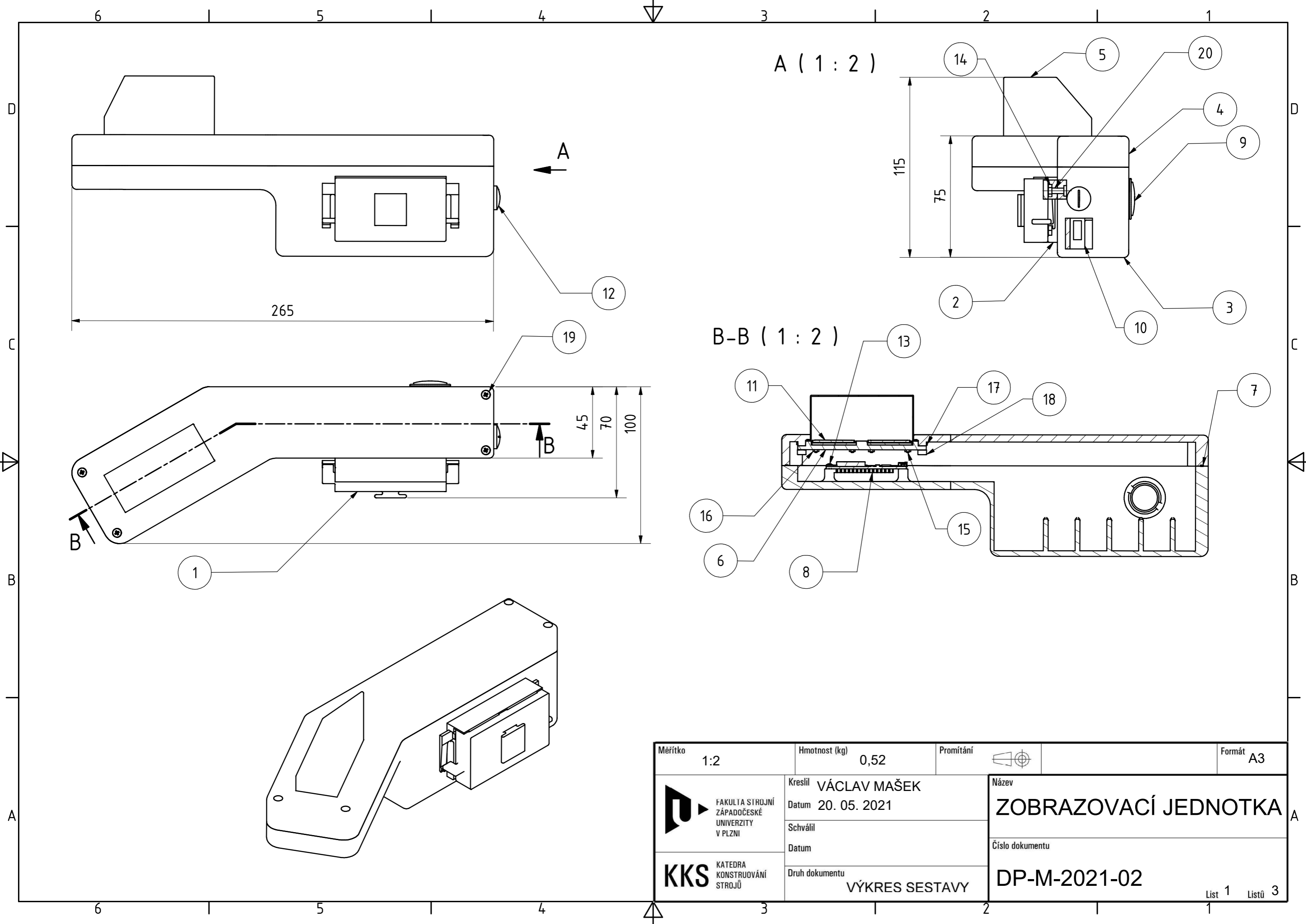
NEKÓTOVANÉ RÁDIUSY R=1 mm

Textura povrchu Ra 3,2	Hrany ISO 13715 0,1 0,2	Měřítko 1:2	Přesnost ISO 2768 - mK
		Hmotnost (kg) 0,12	Tolerování ISO 8015
Materiál - Polotovar PLA			Promítání 
Formát A3			
 FAKULTA STROJNÍ ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY V PLZNI		Kreslil VÁCLAV MAŠEK Datum 20. 05. 2021 Schválil Datum Druh dokumentu VÝROBNÍ VÝKRES	
KKS KATEDRA KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ		Název <b>PŘEDNÍ KRYT SENZ. JED.</b> Číslo dokumentu <b>DP-M-2021-01-4</b>	



NEKÓTOVANÉ RÁDIUSY R=0,5 mm

Textura povrchu 	Hrany ISO 13715 	Měřítko 1:1 Hmotnost (kg) 0,18	Přesnost ISO 2768 -mK Tolerování ISO 8015 Promítání 
Materiál - Polotovar PLA		Formát A3	
	Kreslil VÁCLAV MAŠEK Datum 20. 05. 2021	Název <b>ADAPTÉR SENZ. JED.</b>	
KKS KATEDRA KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ	Schválil Datum Druh dokumentu VÝROBNÍ VÝKRES	Číslo dokumentu <b>DP-M-2021-01-11</b>	



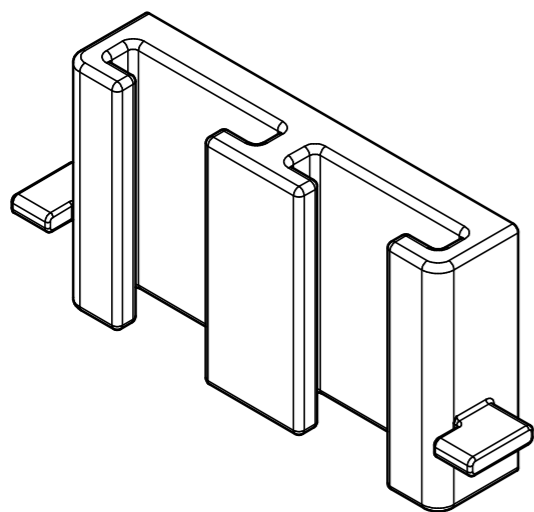
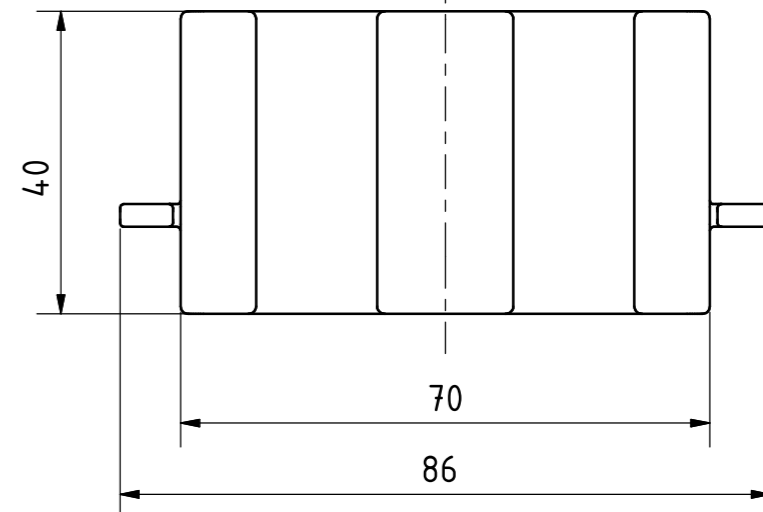
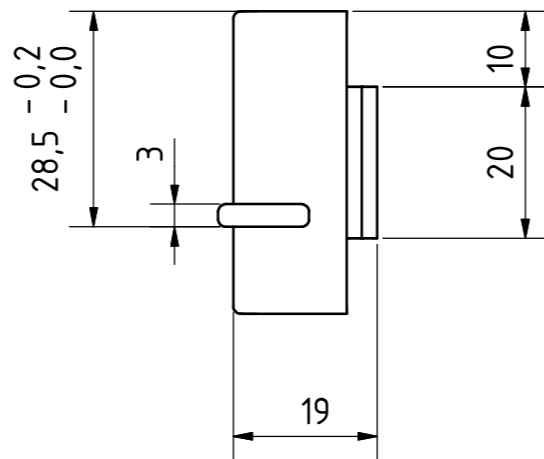
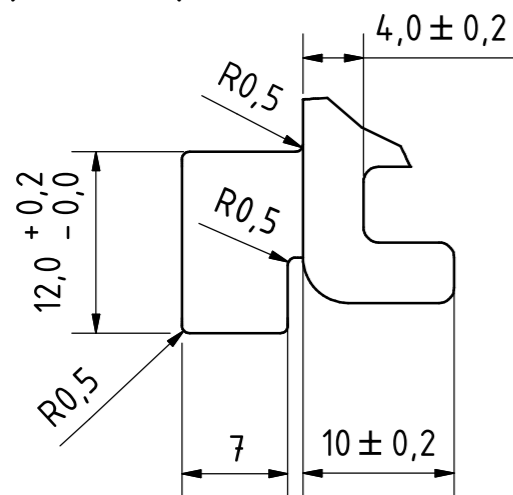
Měřítko 1:2	Hmotnost (kg) 0,52	Promítání 	Formát A3
 FAKULTA STROJNÍ ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY V PLZNI	Kreslil VÁCLAV MAŠEK	Název <b>ZOBRAZOVACÍ JEDNOTKA</b>	
	Datum 20. 05. 2021	Číslo dokumentu	
<b>KKS</b> KATEDRA KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ	Schválil	DP-M-2021-02	
	Datum	List 1 Listů 3	
Druh dokumentu VÝKRES SESTAVY			

Číslo polož.	Název - označení	Polotovar	Hmotn. (kg)	J.	Množ.
	Číslo výkresu - označení normy	Materiál			
1	MONTÁŽ ZOBR. JED. 1	VÝSTŘÍK	0,03		1
	DP-M-2021-02-01	PLA			
2	MONTÁŽ ZOBR. JED. 2	VÝSTŘÍK	0,04		1
	DP-M-2021-02-02	PLA			
3	TĚLO ZOBR. JED. SPODNÍ	VÝSTŘÍK	0,21		1
	DP-M-2021-02-03	PLA			
4	TĚLO ZOBR. JED. VRCHNÍ	VÝSTŘÍK	0,12		1
	DP-M-2021-02-04	PLA			
5	SLUČOVAČ	VÝSTŘÍK	0,01		1
	DP-M-2021-02-05	PC			
6	MONTÁŽ DISPLEJŮ	VÝSTŘÍK	0,01		1
	DP-M-2021-02-05	PLA			
7	TĚSNĚNÍ Ø 1mm				1
8	ESP 32				1
9	TLAČÍTKO				1
	TRU COMPONENTS TC-R13				
10	POWER BANKA				1
	ELOOP ULTRASLIM E30				
11	TFT DISPLEJ 1.3"				2
12	ZÁSLEPKA M12				1
13	ŠROUB M2,2x8				4
	BN 82428				
14	MATICE M4				4
	DIN 934				
15	ŠROUB M1,6x6				8
	DIN ISO 4762				
16	MATICE M1,6				8
	DIN 934				

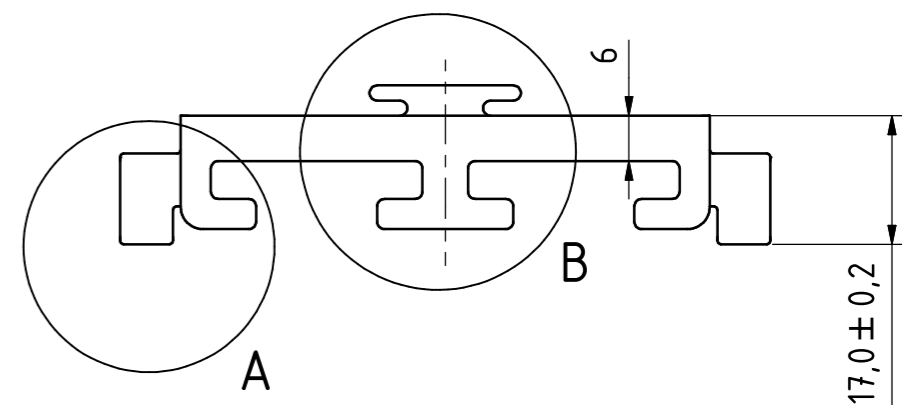
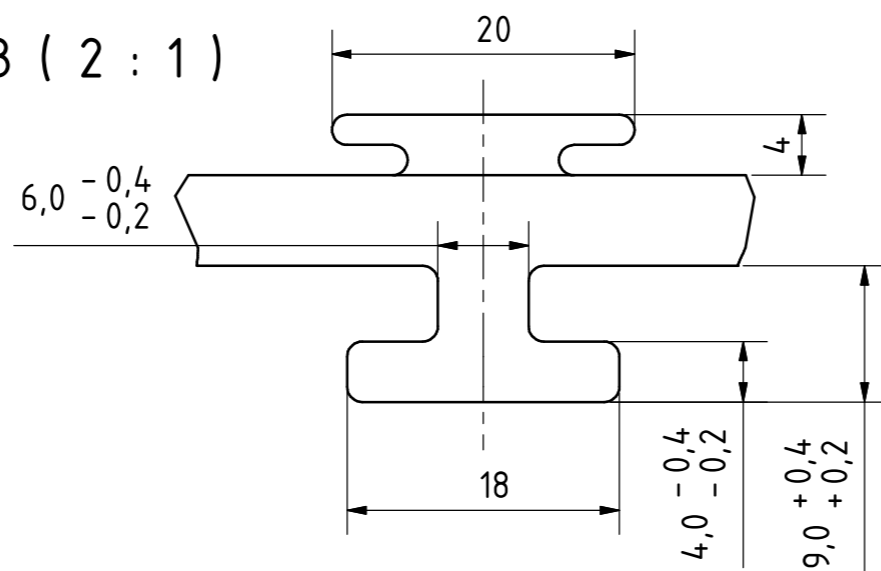
 <p>FAKULTA STROJNÍ ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY V PLZNI</p>	<p>Kreslil <b>VÁCLAV MAŠEK</b></p> <p>Datum 20.05. 2021</p>	<p>Název</p> <p><b>ZOBRAZOVACÍ JEDNOTKA</b></p>
	<p>Schválil</p> <p>Datum</p>	
<p><b>KKS</b> KATEDRA KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ</p>	<p>Druh dokumentu</p> <p><b>SEZNAM POLOŽEK</b></p>	<p>List 2 Listů 3</p>



A ( 2 : 1 )



B ( 2 : 1 )

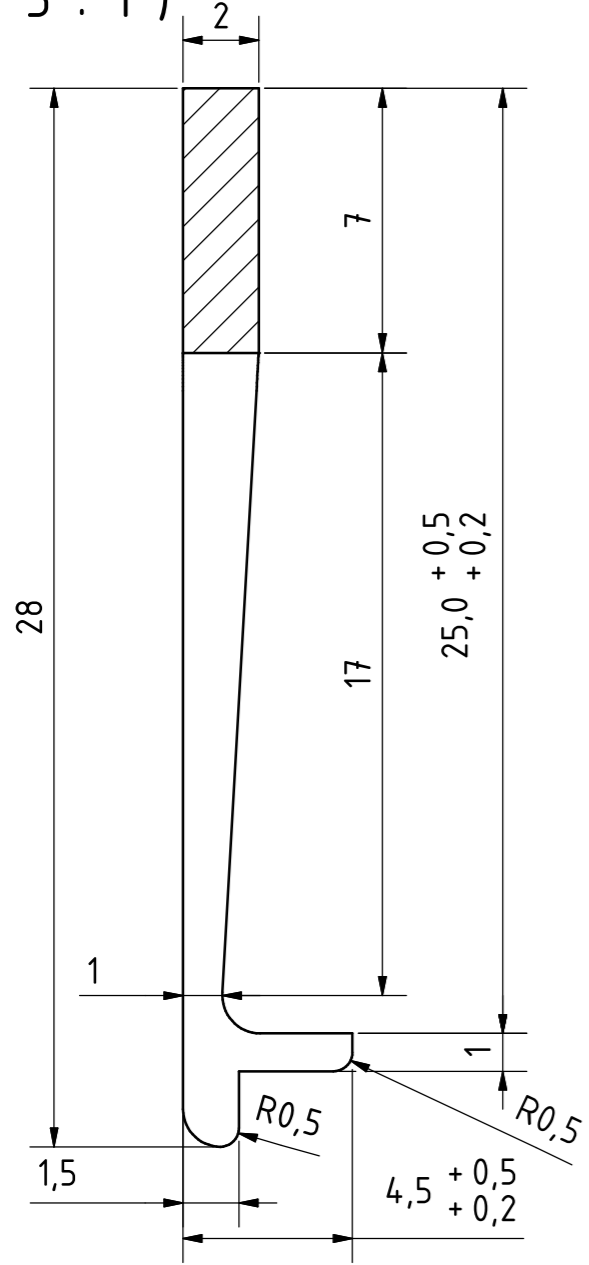


NEKÓTOVANÉ RÁDIUSY R=1 mm

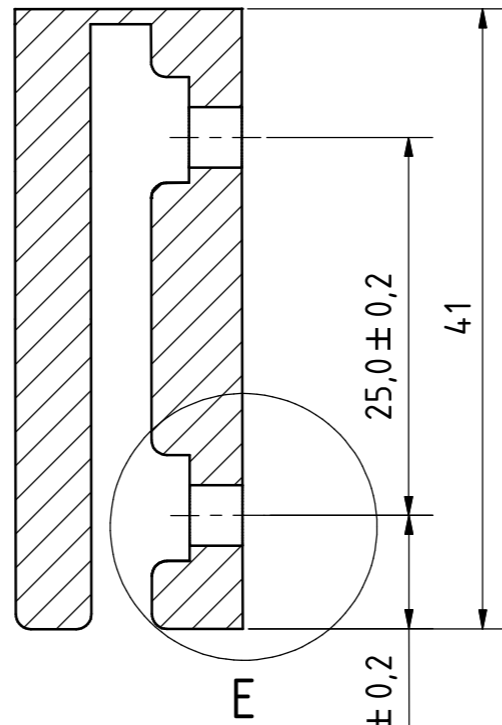
Textura povrchu 	Hrany ISO 13715 	Měřitko	Přesnost
		1:1	ISO 2768 - mK
Materiál - Polotovar		Hmotnost (kg)	Tolerování
PLA		0,03	ISO 8015
			Promítání
			Formát
			A3
	Kreslil	Název	
	VÁCLAV MAŠEK	MONTÁŽ ZOBR. JED. 1	
FAKULTA STROJNÍ ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY V PLZNI	Datum	Číslo dokumentu	
	20. 05. 2021	DP-M-2021-02-1	
KKS KATEDRA KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ	Schválil		
	Datum		
	Druh dokumentu	List 1 Listů 1	
	VÝROBNÍ VÝKRES		



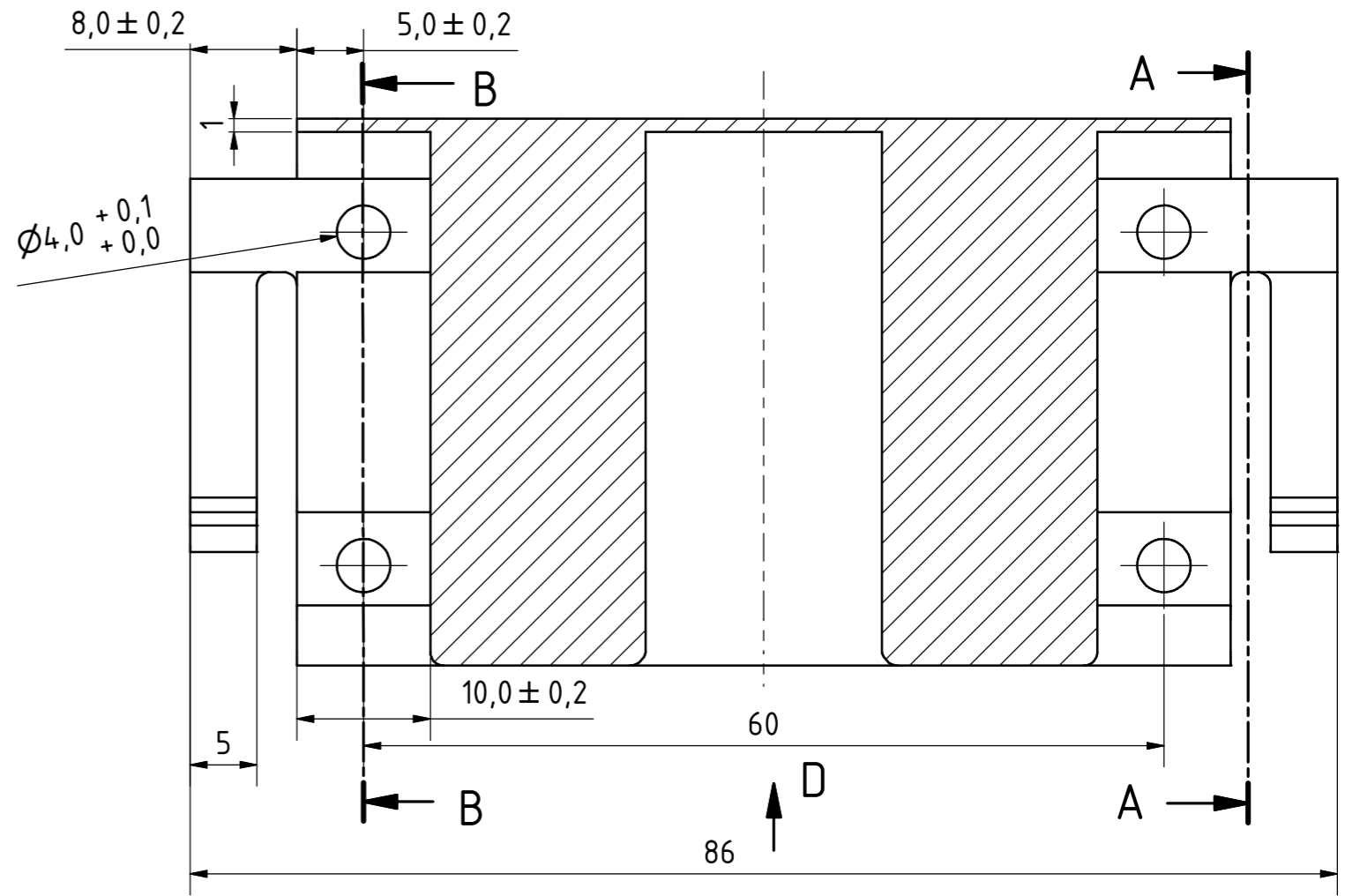
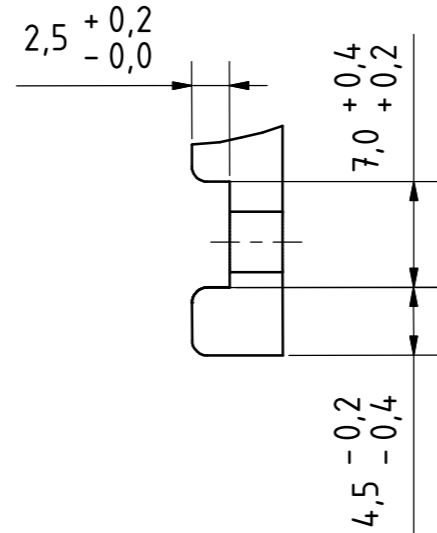
A-A ( 5 : 1 )



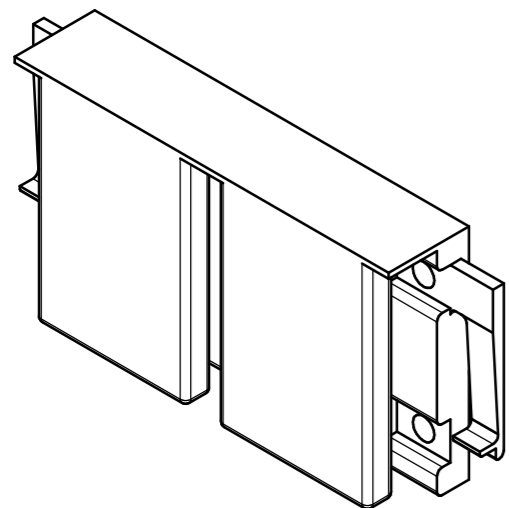
B-B ( 2 : 1 )



E ( 2 : 1 )



D ( 1 : 1 )



NEKÓTOVANÉ RÁDIUSY R=1 mm

Textura povrchu Ra 3,2 (✓)	Hrany ISO 13715 0,1 0,2	Měřítko 2:1	Přesnost ISO 2768 - mK
Materiál - Polotovár PLA		Hmotnost (kg) 0,04	Tolerování ISO 8015
			Promítání 
			Formát A3

 FAKULTA STROJNÍ ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY V PLZNI  KKS KATEDRA KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ	Kreslil VÁCLAV MAŠEK	Název <b>MONTÁŽ ZOBR. JED. 2</b>
	Datum 20. 05. 2021	
	Schválil	Datum
	Druh dokumentu VÝROBNÍ VÝKRES	