

UNIVERZITA PARDUBICE
Fakulta elektrotechniky a informatiky

Multifunkční laboratorní měřicí jednotka

Bc. Dominik Jand'ourek

Diplomová práce

2025

Univerzita Pardubice
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Akademický rok: 2024/2025

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Dominik Jandourek**
Osobní číslo: **I23260**
Studijní program: **N0714A150005 Automatické řízení**
Téma práce: **Multifunkční laboratorní měřicí jednotka**
Zadávací katedra: **Katedra automatizace a matematiky**

Zásady pro vypracování

Cílem práce je návrh a realizace měřicí jednotky pro laboratorní měření fyzikálních veličin. Základními měřitelnými fyzikálními veličinami jsou například čas, rychlost, zrychlení, hmotnost atp. Teoretická část práce bude obsahovat podrobnou analýzu nabídky na trhu přístrojů vybraných typů fyzikálních veličin. Bude uveden podrobný popis principů měření a možnosti technického řešení senzorů těchto veličin. Jednotlivé senzory budou s měřicí jednotkou spojeny buď standardní metalickou kabeláží, nebo zvoleným zipem bezdrátové technologie, (např. Bluetooth, WiFi atp.) V praktické části bude navržen a realizován prototyp měřicí jednotky a senzorů. Manipulace s daty měřených veličin, volbu měření a konfiguraci přístroje bude možné provádět buď autonomně na přístroji, nebo z formulářové aplikace operačního systému Windows. Software pro OS Windows bude vytvořen v programovacím jazyce C#. K realizaci hardwarového řešení měřicího přístroje bude použit vývojový modul s jednočipovým mikropočítačem, např. modul Arduino, STM32, ESP32 atp. Součástí práce budou podrobné výrobní podklady k realizovaným zařízením a uživatelský manuál.

Rozsah pracovní zprávy: **60**
Rozsah grafických prací:
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

MATOUŠEK, D., Práce s mikrokontroléry ATMEL AVR-3.díl, edice uP a praxe, 2. vydání, BEN – technická literatura, 2006, ISBN 80-7300-209-4
ZÁHLAVA, V., Návrh a konstrukce DPS, BEN-technická literatura, 2010, ISBN 978-80-7300-266-4
MAIXNER, L. a kol., Mechatronika, Brno, Computer Press, 2006, ISBN 80-251-1299-3

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Libor Havlíček, Ph.D.**
Katedra automatizace a matematiky

Datum zadání diplomové práce: **8. listopadu 2024**
Termín odevzdání diplomové práce: **23. května 2025**

prof. Ing. Petr Doležel, Ph.D. v.r.
děkan

L.S.

Ing. Libor Kupka, Ph.D. v.r.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 11. listopadu 2024

Prohlášení autora

Prohlašuji:

Práci s názvem Multifunkční laboratorní měřicí jednotka jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 22. 8. 2025

Bc. Dominik Jand'ourek v.r.

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce, panu Ing. Liboru Havlíčkovi, Ph.D. za odborné rady a vedení mé práce. Dále bych chtěl poděkovat své rodině za psychickou i finanční podporu po celou dobu mého studia.

V Pardubicích dne 22. 8. 2025

Bc. Dominik Jand'ourek

Anotace

Diplomová práce se zabývá návrhem a realizací multifunkční laboratorní měřicí jednotky. Jednotka je určena pro odměřování vybraných fyzikálních veličin, kterými jsou rychlost, zrychlení, hmotnost a teplota. Práce obsahuje teoretickou část zabývající se vlastnostmi senzorů pro měření těchto veličin a také bezdrátovou komunikací pomocí, které jsou naměřená data do jednotky odesílány. V praktické části je popsána kompletní realizace multifunkční laboratorní měřicí jednotky včetně softwaru a podrobného uživatelského manuálu.

Klíčová slova

Měření, rychlost, zrychlení, hmotnost, teplota, optická brána, tenzometr, bezdrátová komunikace

Title

Multifunctional laboratory measuring unit

Annotation

The diploma thesis deals with the design and implementation of a multifunctional laboratory measuring unit. The unit is intended for measuring selected physical quantities, namely speed, acceleration, weight, and temperature. The thesis includes a theoretical part focused on the properties of the sensors used for measuring these quantities, as well as on wireless communication, through which the measured data are transmitted to the unit. The practical part describes the complete implementation of the multifunctional laboratory measuring unit, including the software and a detailed user manual.

Keywords

Measurement, speed, acceleration, weight, temperature, optical gate, strain gauge, wireless communication

Obsah

Seznam zkratek	11
Seznam obrázků	13
Seznam tabulek	17
Úvod.....	18
1 Rešerše komerčně dostupných měřicích jednotek	19
1.1 Fotobrána Go Direct Vernier	19
1.2 Bezdrátová inteligentní brána PS-3225	20
1.3 Bezdrátový datalogger ALMEMO 470-1	21
1.4 Profesionální meteorologická stanice Sencor SWS 9500.....	22
1.5 Bezdrátová váha TCS do 100 kg/10 g 35x45 cm	22
2 Bezdrátová komunikace.....	24
2.1 Enhanced ShockBurst	24
2.1.1 Hlavní vlastnosti Enhanced ShockBurst.....	24
2.1.2 Přehled funkce Enhanced ShockBurst.....	25
2.1.3 Průběh automatické transakce paketu.....	25
2.2 Formát paketu Enhanced ShockBurst.....	25
2.2.1 Preambule	26
2.2.2 Adresa	26
2.2.3 Řídicí pole paketu – Packet Control Field.....	26
2.2.4 Užitečný obsah – Payload.....	27
2.2.5 CRC – Cyclic Redundancy Check.....	27
2.3 TX FIFO vysílací fronta a RX FIFO přijímací fronta	27
2.4 Multiceiver.....	27
2.5 Frekvence RF kanálu	28
2.6 GFSK modulace.....	29
3 Měření hmotnosti.....	32

3.1	Tenzometr	32
3.1.1	Odporové tenzometry	33
3.2	Zapojení tenzometrů Wheatstonova můstku.....	35
3.3	Polovodičové tenzometry	36
4	Měření teploty.....	37
4.1	Pracovní princip křemíkových teplotních senzorů s pásmovou referencí – bandgap....	38
5	Měření rychlosti a zrychlení	40
5.1	Varianta 1: Měření pomocí známé délky objektu.....	41
5.2	Varianta 2: Měření bez znalosti délky objektu	41
6	Blokové schéma.....	43
6.1	Popis hlavních bloků blokového schéma.....	44
7	Použité komponenty	45
7.1	Technický popis parametrů konstrukce, výběr komponent.....	46
7.2	Vývojová platforma Arduino.....	47
7.3	Arduino UNO	47
7.3.1	Napájecí obvody modulu Arduina UNO	48
7.3.2	Napájení přes souosý konektor	49
7.3.3	Napájení přes piny VIN a GND.....	49
7.3.4	Napájení přes USB port	50
7.4	Arduino Pro Micro.....	50
7.5	Arduino WiFi modul nRF24L01	52
7.6	Stabilizátor napětí ze 4,5V - 7V na 3,3V	53
7.7	Senzor přerušeni infračerveného paprsku – LED 5 mm - 0-50 cm	54
7.8	Váhový senzor 3 Kg YZC-131	54
7.9	AD převodník modul 24-bit 2 kanály HX711	54
7.10	Voděodolný teploměr pro jednodeskové počítače DS18B20	54
7.11	I ² C OLED displej 1,3" - Bílý, 128 x 64.....	55

7.12	LCD displeje 20x4 a 16x2	55
7.13	I ² C převodník pro LCD 20x4 a 16x2.....	55
7.14	Tlačítka	56
8	Firmware.....	57
8.1	Arduino IDE	57
8.2	Visual Studia.....	57
8.3	Vývojové diagramy.....	58
8.3.1	Vývojový diagram jednotky pro příjem naměřených dat	59
8.3.2	Vývojový diagram měření rychlosti a zrychlení optickou bránou	60
8.3.3	Vývojový diagram měření hmotnosti	66
8.3.4	Vývojový diagram měření teploty	67
8.3.5	Vývojový diagram formulářové aplikace	68
8.4	Popis programů	69
8.4.1	Program jednotky pro příjem naměřených dat	69
8.4.2	Program pro měření rychlosti a zrychlení optickou bránou	73
8.4.3	Program pro měření hmotnosti	81
8.4.4	Program pro měření teploty	83
8.4.5	Program pro formulářovou aplikaci.....	83
9	Uživatelský manuál.....	85
9.1	Uživatelský manuál jednotky pro příjem naměřených dat	85
9.2	Uživatelský manuál jednotky pro měření rychlosti a zrychlení	91
9.3	Uživatelský manuál jednotky pro měření hmotnosti	99
9.4	Uživatelský manuál jednotky pro měření teploty	102
10	Konstrukce	103
10.1	Celkové schéma zapojení multifunkční laboratorní měřicí jednotky	104
10.1.1	Schéma zapojení jednotky pro příjem naměřených dat	105
10.1.2	Schéma zapojení jednotky pro měření rychlosti a zrychlení	105

10.1.3	Schéma zapojení jednotky pro měření hmotnosti.....	106
10.1.4	Schéma zapojení jednotky pro měření teploty.....	106
10.2	3D modely.....	107
10.3	Vnitřní zapojení měřících jednotek.....	110
10.4	Finální vzhled multifunkční laboratorní měřící jednotky	112
10.4.1	Vzhled jednotky pro příjem naměřených dat.....	113
10.4.2	Vzhled jednotky pro měření rychlosti a zrychlení.....	113
10.4.3	Vzhled jednotky pro měření hmotnosti	116
10.4.4	Vzhled jednotky pro měření teploty	117
11	Funkční testování multifunkční laboratorní měřící jednotky	119
11.1	Testování jednotky pro měření rychlosti a zrychlení.....	119
11.2	Testování jednotky pro měření hmotnosti	120
11.3	Testování jednotky pro měření teploty	122
	Závěr	123
	Literatura.....	124

Seznam zkratek

AC	střídavý proud
AD	analogově-digitální
ADC	Analog-to-Digital Converter Input – vstupní pin
AW	Address Width – šířka adresy u nRF24L01
CE	Chip Enable – povolení čipu
COM	komunikační port
CRC	Cyclic Redundancy Check – cyklická redundantní kontrola, metoda pro detekci chyb při přenosu nebo ukládání dat
DC	stejnoseměrný proud
DTR	Data Terminal Read – řídicí signál používaný v sériové komunikaci
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory – nevolatilní paměť
FIFO	First In, First Out – způsob organizace dat v paměti
FLASH	programová paměť
FSK	Frequency Shift Keying – modulace frekvenčním klíčováním
GFSK	Gaussian Frequency Shift Keying – Gaussovská frekvenční klíčovací modulace
GND	Ground – společná zem
GUI	grafické uživatelské rozhraní
HIGH	logická úroveň jedna
ID	identifikátor
IDE	integrated development environment – integrované vývojové prostředí
IR	infračervené záření
ISCP	In Circuit Serial Programming – standardizovaná skupina pinů určená pro programování
I ² C	Inter-Integrated Circuit – poloduplexní multi-masterová synchronní sériová sběrnice
I/O	vstup / výstup
LCD	Liquid Crystal Display – displej z tekutých krystalů
LED	Light Emitting Diode – světelná dioda
Li-Pol	Lithium-Polymer akumulátor – typ nabíjecí baterie
LOW	logická úroveň nula
LR	regulátor napětí
OFF	vypnuto

OLED	displejová technologie, která používá organické LED diody
ON	zapnuto
OR	logický součet
PC	personal computer – osobní počítač
PID	Packed ID – zkomprimované ID ze několik různých informací zabalených do jedné proměnné kvůli úspoře dat při přenosu
PN	P–N přechod – základní prvek polovodičových součástek
PWM	Pulse Width Modulation – pulzně šířková modulace
RAW	vstupní napájecí pin
RF	Radio Frequency – přenos dat pomocí elektromagnetických vln
RJ12	registred jack 12 – konektor kabelu
RST	Reset
RX	Receive – příjem
SCL	vodič pro data
SDA	vodič pro hodinový signál
SPI	Serial Peripheral Interface – sériová komunikační sběrnice
SRAM	datová paměť
TTL	tranzistorově tranzistorová logika
TX	Transmit – vysílání
UART	metoda sériové komunikace
USB	Universal Serial Bus – univerzální sériové rozhraní pro přenos dat a napájení
UV	ultrafialové záření
VCC	napájecí napětí
VIN	vstupní napětí
WIFI	Wireless Fidelity – technologie pro bezdrátový přenos dat
ZIP	souborový formát pro kompresi dat
.NET	platforma pro vývoj aplikací

Seznam obrázků

Obr. 1 – Fotobrána Go Direct Vernier	20
Obr. 2 – Bezdrátová inteligentní brána PS-3225 (Pasco, nedatováno).....	20
Obr. 3 – Bezdrátový datalogger ALMEMO 470-1 (Ahlborn, 2025).....	21
Obr. 4 – Profesionální meteorologická stanice Sencor SWS 9500 (Sencor, nedatováno)	22
Obr. 5 – Bezdrátová váha TCS do 100 kg/10 g 35x45 cm (Spina Trade, nedatováno).....	23
Obr. 6 – Formát paketu Enhanced ShockBurst (Nordic Semiconductor, 2025).....	25
Obr. 7 – Řídicí pole paketu – Packet Control Field (Nordic Semiconductor, 2025).....	26
Obr. 8 – Multiceiver (Nordic Semiconductor, 2007).....	28
Obr. 9 – Adresování kanálů (Nordic Semiconductor, 2007)	28
Obr. 10 – Blokové schéma nRF24L01	29
Obr. 11 – FSK modulace (everithing RF, 2022).....	30
Obr. 12 – Impulzní odezva Gaussova filtru	30
Obr. 13 – GFSK modulace (everithing RF, 2022).....	31
Obr. 14 – Provedení odporových tenzometrů (uprt.vscht, nedatováno).....	33
Obr. 15 – Princip tenzometru (uprt.vscht, nedatováno).....	33
Obr. 16 – Funkce tenzometru při deformaci ε protažením o Δl působením síly $F =$ měna odporu o ΔR (Vojáček, 2017).....	34
Obr. 17 – Fóliový tenzometr (tme, nedatováno).....	35
Obr. 18 – Wheatstonuv můstek se čtyřmi tenzometry a s pomocnými odpory (Vojáček, 2017)	36
Obr. 19 – Widlarova reference (Levido, 2021).	39
Obr. 20 – Blokové schéma.....	43
Obr. 21 – Komponenty na desce Arduino UNO (Voda, 2015)	48
Obr. 22 – Zapojení obvodů napájení Arduina Uno (Svoboda, nedatováno)	49
Obr. 23 – Varianty zapojení napájení Arduino Uno (Svoboda, nedatováno).....	50
Obr. 24 – Arduino Pro Micro (Lindblom, nedatováno).....	52
Obr. 25 – Arduino WiFi modul nRF24L01 (Drátek návody, nedatováno)	53
Obr. 26 – Stabilizátor napětí ze 4,5V – 7V na 3,3V (Drátek, nedatováno)	53
Obr. 27 – I ² C sběrnice (Zavavov, 2014).....	55
Obr. 28 – I ² C adaptér pro LCD displej (Černý, 2015).....	56
Obr. 29 – Vývojový diagram jednotky pro příjem naměřených dat.....	59
Obr. 30 – Vývojový diagram měření rychlosti a zrychlení optickou bránou loop()	60

Obr. 31 – Vývojový diagram měření rychlosti a zrychlení optickou bránou loop() 3 brány přednastaveno	61
Obr. 32 – Vývojový diagram měření rychlosti a zrychlení optickou bránou loop() nastavení	62
Obr. 33 – Vývojový diagram měření rychlosti a zrychlení optickou bránou loop() 3 brány nastav	63
Obr. 34 – Vývojový diagram měření rychlosti a zrychlení optickou bránou loop() 2 brány nastav	64
Obr. 35 – Vývojový diagram měření rychlosti a zrychlení optickou bránou loop() zobrazení výsledků	65
Obr. 36 – Vývojový diagram měření hmotnosti	66
Obr. 37 – Vývojový diagram měření teploty	67
Obr. 38 – Vývojový diagram formulářové aplikace	68
Obr. 39 – začátek programu pro příjem dat – načtení knihoven, definice pinů, nastavení tlačítka, vytvoření proměnných	70
Obr. 40 – setup programu pro příjem dat.....	71
Obr. 41 – loop() programu pro příjem dat – změna režimu.....	71
Obr. 42 – loop() programu pro příjem dat – režimu 0	72
Obr. 43 – loop() programu pro příjem dat – volba režimu tlačítkem	72
Obr. 44 – loop() programu pro příjem dat – nastavení přijímací adresy	73
Obr. 45 – loop() programu pro příjem dat – vykreslení teploty na OLED	73
Obr. 46 – Určení aktuálně vybrané položky menu	74
Obr. 47 – Stav tlačítek	74
Obr. 48 – Globální parametry	74
Obr. 49 – Nastavení pinů a inicializace nRF24L01	75
Obr. 50 – Výběr v hlavním menu	75
Obr. 51 – Výběr v menu	76
Obr. 52 – Volené režimy.....	76
Obr. 53 – Začátek části programu režimu 3 brány s pevnou roztečí a vypsání na LCD displej	77
Obr. 54 – Načtení stavů ze senzorů	77
Obr. 55 – Určení směru průchodu a výpočet rychlosti a zrychlení	77
Obr. 56 – Režim měření dvěma bránami	78
Obr. 57 – Vykreslení uživatelského rozhraní	79
Obr. 58 – Část kódu pro pohyb editačního kurzoru v poli bufferu doleva a doprava	79

Obr. 59 – Změna číslice na aktuální pozici kurzoru směrem nahoru a dolů	79
Obr. 60 – Potvrzení nastavení a zobrazení na LCD displej	80
Obr. 61 – Návrat do hlavního menu a aktualizace stavu tlačítek	80
Obr. 62 – Zobrazení výsledků a odeslání dat přes nRF24L01.....	80
Obr. 63 – Definování kanálu A.....	81
Obr. 64 – Kalibrační konstanta	81
Obr. 65 – Inicializace pinů převodníku	81
Obr. 66 – Průměr ze čtyř hodnot.....	81
Obr. 67 – Vypočet finální hmotnosti	82
Obr. 68 – Smyčka pro impulsy na datovém pinu a bity měření	82
Obr. 69 – Doplnění o horní bity.....	83
Obr. 70 – Načtení teploty ze senzoru.....	83
Obr. 71 – Struktura a hlavní proměnné.....	83
Obr. 72 – okno Form1 WinForms aplikace – návrhový náhled z Designeru.	84
Obr. 73 – Tlačítka jednotky pro příjem naměřených dat.....	85
Obr. 74 – Zobrazení naměřených hodnot rychlosti a zrychlení na displeji jednotky pro příjem naměřených dat	86
Obr. 75 – Zobrazení teploty na displeji jednotky pro příjem naměřených dat	86
Obr. 76 – Zobrazení hmotnosti na displeji jednotky pro příjem naměřených dat	87
Obr. 77 – Bok jednotky pro příjem naměřených dat – souosí a USB konektor	88
Obr. 78 – Formulářová aplikace	88
Obr. 79 – Výběr portu ve formulářové aplikaci.....	89
Obr. 80 – Nevydařené připojení k Arduinu	89
Obr. 81 – Zdařilé připojení k Arduinu.....	89
Obr. 82 – Zobrazení rychlosti a zrychlení ve formulářové aplikaci	90
Obr. 83 – Zobrazení teploty ve formulářové aplikaci.....	90
Obr. 84 – Zobrazení teploty ve formulářové aplikaci.....	91
Obr. 85 – Ovládání jednotky pro měření rychlosti a zrychlení	91
Obr. 86 – Bok jednotky pro měření rychlosti a zrychlení – RESET, USB port a vypínač.....	92
Obr. 87 – Další bok jednotky pro měření rychlosti a zrychlení – zdířky pro konektory RJ12.....	92
Obr. 88 – Optická brána.....	93
Obr. 89 – Optická brána připojená k jednotce pro měření rychlosti a zrychlení.....	93
Obr. 90 – Děrovaná deska, ke které jsou připevněny optické závory	94
Obr. 91 – Šrouby, kterými jsou optické brány připevněny.....	94

Obr. 92 – Displej jednotky pro měření rychlosti a zrychlení – výběr možnosti měření v menu	95
Obr. 93 – výběr možnosti měření v menu – posunutí šipky	95
Obr. 94 – Čekání na měření po volbě první možnosti 3 brany 10 cm	95
Obr. 95 – Nastavení vzdálenosti	96
Obr. 96 – Nastavení vzdálenosti – posunutí hranaté závorky pro výběr řádu	96
Obr. 97 – Nastavení vzdálenosti – vybírání hodnoty	96
Obr. 98 – Zobrazení zvolené hodnoty čekání na měření po volbě možnosti 3 brany nastav ...	97
Obr. 99 – Nastavení velikosti měřeného objektu	97
Obr. 100 – Zobrazení zvolené hodnoty čekání na měření po volbě možnosti 2 brany nastav	97
Obr. 101 – Naměřené hodnoty	98
Obr. 102 – Naměřené hodnoty při průchodu objektu v opačném směru	98
Obr. 103 – Ovládání jednotky pro měření hmotnosti	99
Obr. 104 – Jednotka pro měření hmotnosti	99
Obr. 105 – Jednotka pro měření hmotnosti – Vážení	100
Obr. 106 – Jednotka pro měření hmotnosti – Nulování	100
Obr. 107 – Jednotka pro měření hmotnosti – odebrání závaží	101
Obr. 108 – Jednotka pro měření hmotnosti – opětovné vynulování	101
Obr. 109 – Překroční limitu	101
Obr. 110 – Jednotka pro měření teploty	102
Obr. 111 – Celkové schéma zapojení multifunkční měřicí jednotky	104
Obr. 112 – Schéma zapojení jednotky pro příjem naměřených dat	105
Obr. 113 – Schéma zapojení jednotky pro měření rychlosti a zrychlení	105
Obr. 114 – Schéma zapojení jednotky pro měření hmotnosti	106
Obr. 115 – Schéma zapojení jednotky pro měření hmotnosti	106
Obr. 116 – 3D model jednotky pro příjem naměřených dat	107
Obr. 117 – 3D model jednotky pro měření rychlosti a zrychlení	107
Obr. 118 – 3D model optické brány	108
Obr. 119 – 3D model krabičky k optické bráně	108
Obr. 120 – 3D model jednotky pro měření hmotnosti	109
Obr. 121 – 3D model jednotky pro měření teploty	109
Obr. 122 – Vnitřní zapojení jednotky pro příjem naměřených dat	110
Obr. 123 – Vnitřní zapojení jednotky pro měření rychlosti a zrychlení	110
Obr. 124 – Vnitřní zapojení optické brány	111

Obr. 125 – Vnitřní zapojení jednotky pro měření hmotnosti.....	111
Obr. 126 – Vnitřní zapojení jednotky pro měření teploty.....	112
Obr. 127 – Vzhled multifunkční laboratorní měřicí jednotky	112
Obr. 128 – Vzhled jednotky pro příjem naměřených dat, pohled z vrchu.....	113
Obr. 129 – Vzhled jednotky pro příjem naměřených dat, levý bok se souosým a USB konektorem	113
Obr. 130 – Vzhled jednotky pro měření rychlosti a zrychlení, pohled z vrchu.....	114
Obr. 131 – Vzhled jednotky pro měření rychlosti a zrychlení, pohled na levý bok.....	114
Obr. 132 – Vzhled jednotky pro měření rychlosti a zrychlení, pohled na pravý bok.....	115
Obr. 133 – Optická brána, pohled z boku	115
Obr. 134 – Optická brána, pohled z čela.....	116
Obr. 135 – Optická brána, pohled z vrchu	116
Obr. 136 – Jednotka pro měření hmotnosti, pohled z vrchu.....	117
Obr. 137 – Jednotka pro měření hmotnosti, pohled z boku	117
Obr. 138 – Jednotka pro měření teploty, pohled z vrchu.....	118
Obr. 139 – Jednotka pro měření teploty, pohled z boku.....	118
Obr. 140 – Testování jednotky pro měření rychlosti a zrychlení	119
Obr. 141 – Graf závislosti průměrné rychlosti a zrychlení válce na úhlu naklonění roviny ..	120
Obr. 142 – Testování jednotky pro měření hmotnosti – závaží na kuchyňské váze.....	120
Obr. 143 – Testování jednotky pro měření hmotnosti – závaží na jednotce	121
Obr. 144 – Graf kalibrační křivky	121

Seznam tabulek

Tab.1 – Parametry slitin používaných pro kovové tenzometry (Vojáček, 2017).	35
Tab.2 – Testování jednotky pro měření rychlosti a zrychlení.....	119
Tab.3 – Testování jednotky pro měření hmotnost.....	121
Tab.4 – Testování jednotky pro měření teploty.....	122

Úvod

V současné době je kladen stále větší důraz na přesné a spolehlivé měření fyzikálních veličin. V oblasti laboratorních měření je proto stále rostoucí poptávka po univerzálních a kompaktních měřicích jednotkách, které umožňují současně vyhodnocovat více fyzikálních veličin a data efektivně prezentovat uživateli.

Cílem této diplomové práce je návrh a realizace multifunkční laboratorní měřicí jednotky, která umožňuje měřit vybrané fyzikální veličiny, konkrétně rychlost, zrychlení, hmotnost a teplotu. Jednotka je navržena jako modulární systém, který kombinuje různé typy senzorů a využívá principů bezdrátové komunikace pro přenos naměřených dat.

V teoretická částí se zabývá popisem použitých senzorů, principem jejich činnosti a vlastnostmi. Současně jsou zde vysvětleny principy bezdrátové komunikace a způsoby přenosu dat. Praktická část je zaměřena na samotný návrh a realizaci měřicí jednotky. Výsledkem práce je plně funkční zařízení doplněné podrobným uživatelským manuálem.

1 Rešerše komerčně dostupných měřících jednotek

1.1 Fotobrána Go Direct Vernier

Fotobrána Go Direct od výrobce Vernier je senzor s dvojitou bránou, který obsahuje dvě fotobrány zabudované do ramen senzoru, které měří rychlost a zrychlení. Připojuje se k zařízení bezdrátově pomocí technologie Bluetooth nebo přes USB. Infračervený zdroj vyzařuje světlo o délce 880nm. Šířka brány je 77,5mm. Vnitřní vzdálenost mezi bránami je 20 mm. Vzdálenost od vnitřních bran k dolnímu okraji ramen fotobrány je 10 mm. Vzdálenost od vnitřních bran k bočním okrajům ramen fotobrány je 5 mm. LED indikátory brány jsou zhasnuté při volné bráně, rozsvícené při zablokované bráně. Brána je napájena z dobíjecí baterie Li-Pol o kapacitě 650 mAh (vernier, nedatováno).

Tato univerzální fotobrána může být použita pro širokou škálu experimentů ve fyzice a fyzikálních vědách. Mezi příklady patří:

- měření rychlosti valícího se objektu
- měření zrychlení volného pádu
- měření zrychlení vozíku na rampě
- studium kyvadla
- načasování periody rotujícího objektu
- měření rychlosti objektů, které procházejí srážkami

Rychlosti se vypočítají nalezením časového intervalu spojeného s postupným blokováním dvou vnitřních bran. Tento časový interval se označuje jako doba pulzu. Poměr vzdálenosti mezi vnitřními branami (2,0 cm) a dobou pulzu se udává jako velikost rychlosti objektu. Objekt, který nejprve blokuje bránu 1 a poté bránu 2, bude hlásit kladné rychlosti. Objekt, který nejprve blokuje bránu 2 a poté bránu 1, bude hlásit záporné rychlosti. Měření rychlosti lze zobrazit v jednotkách m/s, cm/s nebo ft/s (vernier, nedatováno).



Obr. 1 – Fotobrána Go Direct Vernier

1.2 Bezdrátová inteligentní brána PS-3225

PS-3225 obsahuje dvě fotobrány vzdálené 1,5 cm, což umožňuje přesné měření rychlosti. Vestavěný laserový spínač umožňuje měřit objekty, které jsou příliš velké na to, aby prošly mezi rameny fotobrány. Vlnová délka paprsku je 940 nm. Vnitřní šířka brány je 7,2 cm. Rozměry brány jsou $10,5 \times 7,0 \times 3,0$ cm. Pro sběr a analýzu dat vyžaduje software PASCO. Tento produkt se může připojit přímo k počítači buď pomocí USB, nebo bezdrátově využitím Bluetooth 5.2. K napájení brány je použita dobíjecí Li-Pol baterie (Pasco, nedatováno).



Obr. 2 – Bezdrátová inteligentní brána PS-3225 (Pasco, nedatováno)

1.3 Bezdrátový datalogger ALMEMO 470-1

Bezdrátový datalogger ALMEMO 470-1 je profesionální měřicí přístroj, který přijímá naměřené hodnoty opatřené časovým razítkem ze vzdáleně umístěných bezdrátových snímačů, tyto hodnoty ukládá a zobrazuje je na grafickém displeji. Napájení přístroje je zajištěno síťovým adaptérem. Přístroj lze napájet také z dobíjecí baterie, kterou je vybaven. Napájení z baterie slouží pro krátkodobé mobilní používání přístroje, či jako vyrovnávací zdroj v případě výpadku elektrické energie. Přístroj funguje ve frekvenčním pásmu 2,4 GHz a je možné připojit k němu až 10 bezdrátových snímačů. Snímače se konfigurují na dotykovém displeji přístroje. Naměřená data ze snímačů se zobrazují a zaznamenávají prostřednictvím softwaru WinControl v externím počítači. Datalogger a PC se propojují přes USB rozhraní nebo přes rozhraní Ethernet. Průmyslová microSD karta o paměti 512 MB slouží k bezpečnému uložení naměřených dat. Naměřená data se také zaznamenávají v každém bezdrátovém snímači. Tím je zajištěno, že naměřená data budou k dispozici i při krátkodobém výpadku bezdrátového připojení. Snímače, které se k dataloggeru připojují, jsou bezdrátové snímače FH 1746-1Cx, které měří vlhkost, teplotu a tlak, nebo snímače D7, které měří např. sílu a musí se připojit přes bezdrátové rozhraní ZA 1770-1IF, protože bezdrátovou komunikaci nemají vestavěnou. Rozměry dataloggeru ALMEMO 470-1 jsou 190x135x40 mm (Ahlborn, 2025).



Obr. 3 – Bezdrátový datalogger ALMEMO 470-1 (Ahlborn, 2025)

1.4 Profesionální meteorologická stanice Sencor SWS 9500

Profesionální meteorologická stanice Sencor SWS 9500 je vybavena citlivým a přesným venkovním senzorem 8 v 1, který zaznamenává směr a rychlost větru, srážky, teplotu, vlhkost, UV index, intenzitu světla a index WBGT. Bezdrátová komunikace mezi senzorem a hlavní jednotkou funguje na vzdálenost až 150 metrů na frekvenci 868 MHz (Sencor, nedatováno). Konzole s barevným displejem zobrazuje všechny přijaté meteorologické údaje z venkovního snímače, je napájena adaptérem DC 5 V, 1A se záložní baterií. Bezdrátový snímač 8 v 1 je napájen 3× 1,5 V baterií velikosti AA (Sencor, nedatováno).



Obr. 4 – Profesionální meteorologická stanice Sencor SWS 9500 (Sencor, nedatováno)

1.5 Bezdrátová váha TCS do 100 kg/10 g 35x45 cm

Tato bezdrátová váha má maximální nosnost 100 kg a váží s přesností 10 g. Váha má bezdrátový LCD displej, který má dosah signálu až 10 metrů. Vážicí plošina má rozměr 450 × 350 mm a je vyrobena z rýhovaného plechu. Hlavní funkce váhy jsou TARE pro odečítání hmotnosti nádoby, funkce ZERO pro vynulování hmotnosti. Váha je napájena buď z akumulátoru, který poskytuje provoz až 50 hodin, nebo připojením do sítě prostřednictvím napájecího adaptéru (Spina Trade, nedatováno).



Obr. 5 – Bezdrátová váha TCS do 100 kg/10 g 35x45 cm (Spina Trade, nedatováno)

2 Bezdrátová komunikace

Bezdrátová komunikace mezi jednotkami byla realizována pomocí bezdrátového modulu nRF24L01. Tento jednočipový vysílač a zároveň přijímač má vestavěný komunikační protokol Enhanced ShockBurst, který zajišťuje automatické řízení paketů, potvrzení a retransmise. Retransmise je opakované zasílání datového paketu, pokud nebylo potvrzeno, že paket dorazil správně. Čip může bezdrátově data vysílat i přijímat. Je to tedy Transceiver, to znamená, že je to zařízení, které dokáže vysílat tak i přijímat data rádiovým způsobem. Funguje tedy jako obousměrný rádiový modul, i když v jednu chvíli může být buď v režimu přijímače, nebo vysílače, ne současně v obou. Přepínání režimů se řídí programově. Modul nRF24L01 pracuje v bezlicenčním pásmu na frekvenci 2,4 až 2,4835GHz. Konfigurace a ovládání modulu nRF24L01 probíhá prostřednictvím sériového rozhraní SPI. Přes SPI je přístupná interní mapa registrů, která obsahuje veškerá nastavení, jako jsou adresy, režimy, kanály nebo rychlosti.

Vestavěný základní protokol Enhanced ShockBurst je založen na paketové komunikaci a podporuje různé režimy od ručního ovládání až po pokročilý autonomní provoz. Interní FIFO paměti zajišťují plynulý tok dat mezi rádiovým rozhraním a mikrokontrolérem systému. Rádiové rozhraní používá GFSK modulaci. Má uživatelem konfigurovatelné parametry, jako je frekvenční kanál, vysílací výkon a přenosová rychlost. Přenosová rychlost je až do 2 Mbps (Nordic Semiconductor, 2007).

2.1 Enhanced ShockBurst

Enhanced ShockBurst je protokol podporující obousměrnou komunikaci datových paketů, včetně ukládání paketů do vyrovnávací paměti a automatického opětovného přenosu ztracených paketů. Enhanced ShockBurst poskytuje rádiovou komunikaci s nízkou spotřebou energie, jeho implementace má malou velikost kódu a je snadno použitelná (Nordic Semiconductor, 2025).

2.1.1 Hlavní vlastnosti Enhanced ShockBurst

- Dynamická délka paketu: 1 až 32 bajtů
- Automatické zpracování přenosů paketů
 - Automatické potvrzení
 - Automatické opakování přenosu
- 6 datových kanálů MultiCeiver – vhodné pro sítě 1:6 tedy pro jeden přijímač a více vysílačů

Pokud je funkce automatické potvrzení aktivována příjemce odešle potvrzovací paket zpět odesílateli, jakmile obdrží datový paket. Automatické opakování přenosu nastane v případě, že odesílatel neobdrží potvrzovací paket, datový paket je automaticky poslán znovu.

2.1.2 Přehled funkce Enhanced ShockBurst

Během vysílání sestaví paket a načasuje jednotlivé bity, které se vyšlou přes vysílač. Při příjmu se neustále hledá platná adresa v demodulovaném signálu, když je nalezena platná adresa, tak se zpracuje zbytek paketu a ověří se pomocí cyklického redundantního součtu, ten zjistí, zda paket nebyl poškozen. Pokud je paket platný tak, jsou užitečná data neboli payload přesunuta do FIFO paměti.

Enhanced ShockBurst zahrnuje automatické řízení přenosu paketů, které umožňuje spolehlivý obousměrný přenos. Přenos se vždy uskutečňuje mezi dvěma zařízeními. Transakce vždy začíná vysláním paketu z vysílače a končí, když vysílač obdrží od přijímače potvrzovací paket.

2.1.3 Průběh automatické transakce paketu

Transakce se zahájí vysláním datového paketu z vysílače do přijímače. Po vyslání je vysílač přepnut do režimu příjmu a čeká, zda obdrží potvrzovací paket. Pokud přijímač obdrží paket správně, tak automaticky odešle potvrzovací paket zpět do vysílače. Pokud vysílač neobdrží potvrzovací paket v definovaném čase, tak opakovaně odešle původní paket a znovu čeká na potvrzovací paket. To vše probíhá automaticky bez zásahu mikrokontroléru.

2.2 Formát paketu Enhanced ShockBurst

Paket se skládá z následujících částí:

- Preamble
- Adresové pole
- Řídicí pole paketu
- Užitečná data (payload)
- CRC – Cyklický redundantní součet (kontrola chyb)

Preamble 1 byte	Address 3-5 byte	Packet Control Field 9 bit	Payload 0 - 32 byte	CRC 1-2 byte
-----------------	------------------	----------------------------	---------------------	--------------

Obr. 6 – Formát paketu Enhanced ShockBurst (Nordic Semiconductor, 2025)

2.2.1 Preamble

Preamble je bitová posloupnost používaná k rozpoznání logických úrovní 0 a 1 v přijímači. Má délku 1 bajt a její hodnota je buď 01010101 nebo 10101010. Pokud je první bit 1 preamble se nastaví na 10101010. Pokud je první bit 0 preamble se nastaví na 01010101. Toto nastavení zajistí dostatek přechodů mezi 1 a 0, aby byl přijímač správně synchronizován.

2.2.2 Adresa

Cílová adresa paketu zajišťuje, že paket bude přijat správným zařízením. Délka adresy může být 3, 4 nebo 5 bajtů. Nastavuje se pomocí registru AW. Adresy, které mají změnu jen v jednom bitu například 000FFFFFFF, se mohou snadno zaměnit v šumu, což může vést k falešné detekci a zvýšené chybovosti přenosu. Adresy podobné preamble, tedy střídání mezi 0 a 1, tuto chybovost také zvyšují.

2.2.3 Řídicí pole paketu – Packet Control Field

Řídicí pole paketu má celkem 9 bitů, z toho 6 bitů je pro délku užitečných dat neboli payload length, 2 bity jsou PID tedy pro packet ID identifikaci paketu a poslední 1 bit je NO_ACK vypnutí automatického odesílání potvrzovacího paketu ACK.



Obr. 7 – Řídicí pole paketu – Packet Control Field (Nordic Semiconductor, 2025)

Payload length

Payload length je 6bitové pole určující délku užitečných dat v bajtech.

PID – identifikace paketu

Pole PID neboli paket ID má 2 bity a slouží k rozlišení, zda přijatý paket je nový, nebo opakovaný. Automatické opakování přenosu paketu se nazývá retransmise. Zabraňuje přijímači předat stejný paket dvakrát do mikrokontroléru. Pole PID se inkrementuje v TX registru při každém novém paketu odeslaném přes SPI. Přijímač kontroluje PID a CRC – cyklický redundantní součet, pokud jsou stejné jako u předchozího paketu, považuje nový paket za kopii a zahodí ho.

No Acknowledgment flag – NO_ACK

NO_ACK slouží k vypnutí automatického odesílání potvrzovacího paketu ACK. Pokud je NO_ACK nastaven na 1 paket, nebude potvrzován přijímačem. Pokud je NO_ACK nastaven na 0, proběhne normální automatické potvrzení.

2.2.4 Užitečný obsah – Payload

Užitečný obsah paketu je určený uživatelem. Jeho velikost může být 0 až 32 bajtů. Přenáší se tak, jak byl nahrán do zařízení. Data jsou načítána z fronty TX_FIFO.

2.2.5 CRC – Cyclic Redundancy Check

Cyklický redundantní součet nebo také cyklická redundantní kontrola je mechanismus detekce chyb. Může mít 1 nebo 2 bajty a počítá se z těchto částí: adresy, řídicího pole paketu a užitečných dat (Nordic Semiconductor, 2007).

2.3 TX FIFO vysílací fronta a RX FIFO přijímací fronta

Paměť FIFO pracuje na principu First In, First Out a u vysílače to znamená, že první zapsaný paket je první odeslán, a u přijímače, že první přijatý je první čtený. Pro vysílače i přijímače má kapacitu 3 paketů.

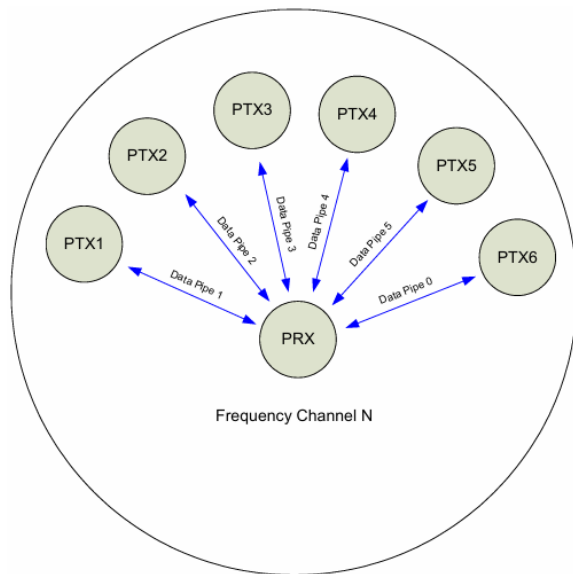
U TX_FIFO, když je pin CE 1, jsou data automaticky odesílána postupně. Pokud je FIFO plná, další pokus o zápis selže, dokud se neuvolní místo. Mikrokontroler zapisuje data příkazem W_TX_PAYLOAD.

U RX_FIFO se do paměti automaticky ukládají přijaté pakety. Mikrokontrolér čte přijatá data pomocí R_RX_PAYLOAD.

Pin CE u nRF24L01 řídí začátek a konec komunikace. Když je CE logická LOW, tak čip nekomunikuje, je ve režimu Standby-I, což je výchozí klidový režim. Když je CE logická HIGH při režimu příjmu, tak čip neustále čeká na pakety. Při režimu vysílání, když je CE logická HIGH, tak vyšle paket z TX_FIFO.

2.4 Multiceiver

Multiceiver je funkce používaná v režimu vysílače, která umožňuje používat až 6 paralelních datových kanálů neboli data pipe, z nichž každý musí mít unikátní adresu. Data pipe je komunikační kanál v rámci jednoho RF kanálu.



Obr. 8 – Multiceiver (Nordic Semiconductor, 2007)

Přijímač nRF24L01 může přijímat data až z šesti různých vysílačů na jednom frekvenčním kanálu. Současně může přijímat pouze jeden paket. Každý datový kanál může mít až 5 bajtovou konfigurovatelnou adresu. Na obr.9 je příklad, jak jsou datové kanály 0–5 adresovány (Nordic Semiconductor, 2007).

	Byte 4	Byte 3	Byte 2	Byte 1	Byte 0
Data pipe 0 (RX_ADDR_P0)	0xE7	0xD3	0xF0	0x35	0x77
Data pipe 1 (RX_ADDR_P1)	0xC2	0xC2	0xC2	0xC2	0xC2
	↓	↓	↓	↓	
Data pipe 2 (RX_ADDR_P2)	0xC2	0xC2	0xC2	0xC2	0xC3
	↓	↓	↓	↓	
Data pipe 3 (RX_ADDR_P3)	0xC2	0xC2	0xC2	0xC2	0xC4
	↓	↓	↓	↓	
Data pipe 4 (RX_ADDR_P4)	0xC2	0xC2	0xC2	0xC2	0xC5
	↓	↓	↓	↓	
Data pipe 5 (RX_ADDR_P5)	0xC2	0xC2	0xC2	0xC2	0xC6

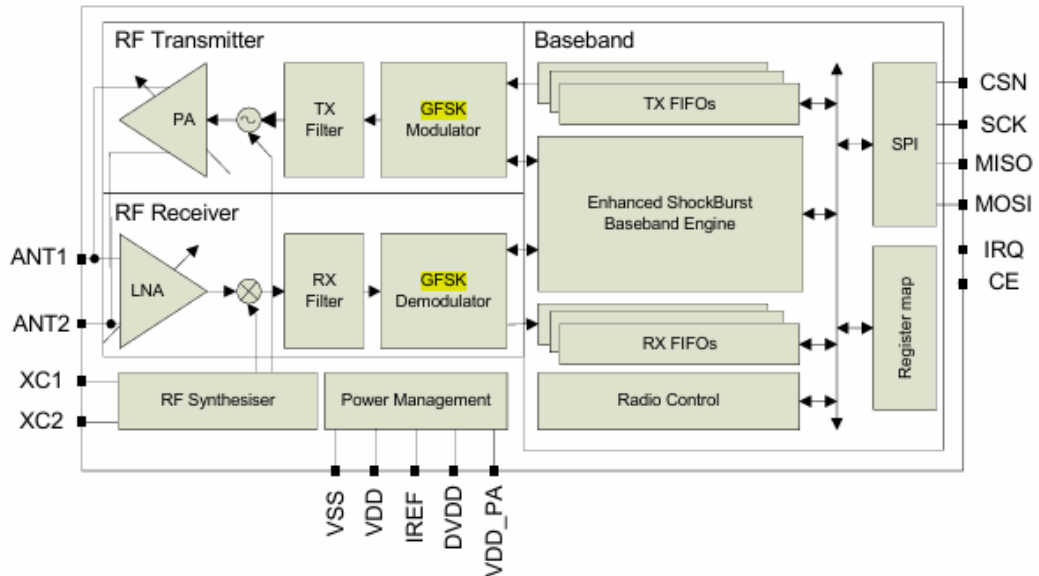
Obr. 9 – Adresování kanálů (Nordic Semiconductor, 2007)

2.5 Frekvence RF kanálu

NRF24L01 může pracovat na frekvencích od 2,400 GHz do 2,525 GHz. Kanál zabírá šířku pásma 1 MHz při rychlosti 1 Mbps a 2 MHz při rychlosti 2 Mbps. Rozlišení nastavení frekvence RF kanálu je 1 MHz. Rozlišení nastavení frekvence RF kanálu je 1 MHz. Frekvence

RF kanálu se nastavuje registrem RF_CH podle následujícího vzorce: $F_0 = 2400 + \text{RF_CH}$ [MHz].

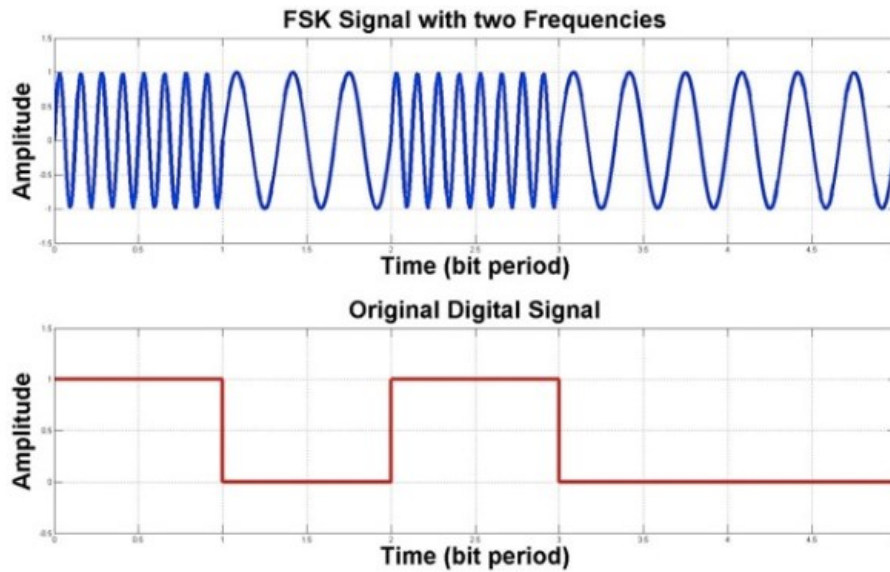
Vysílač a přijímač musí být naprogramovány na stejnou frekvenci RF kanálu, aby spolu mohly komunikovat (Nordic Semiconductor, 2007). Na tuto nosnou frekvenci se následně modulují data pomocí GFSK.



Obr. 10 – Blokové schéma nRF24L01

2.6 GFSK modulace

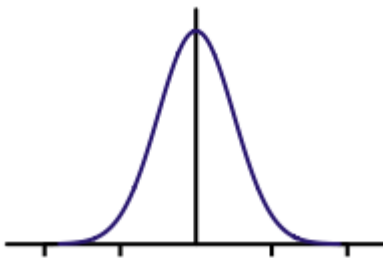
Gaussian Frequency Shift Keying neboli Gaussovské klíčování frekvenčním posuvem je rozšíření modulace FSK. U GFSK se frekvence modulovaného signálu nemění okamžitě na začátku každého symbolu binárních dat. Důsledkem je plynulejší přechod z bitu 0 na bit 1 nebo naopak. FSK je implementováno pomocí nezávislých lokálních oscilátorů. Oscilátory se přepínají na začátku každé symbolové periody. Obecně platí, že všechny nezávislé oscilátory nemají na začátku symbolového období stejnou amplitudu a fázi, což způsobuje náhlé a prudké změny frekvence při každé změně bitu v přenášeném signálu. Modulovaný signál FSK bude tedy velmi široký s nezanedbatelnými postranními laloky.



Obr. 11 – FSK modulace (everithing RF, 2022)

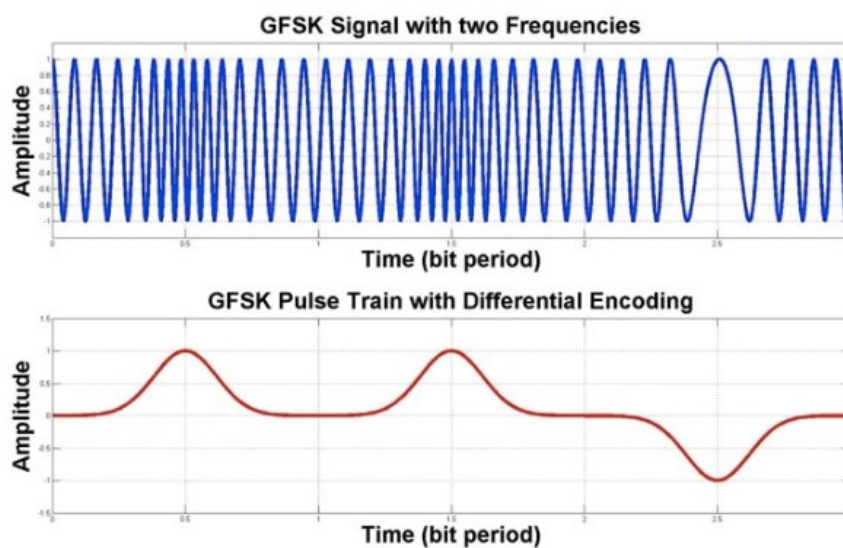
Pokud je takový signál přijat přijímačem, zkreslení způsobené bezdrátovým kanálem spolu s dalšími vlivy jako je rušení a teplotní šum, v přijímači neumožňuje správné dekodování signálu.

V GFSK je před modulací základního pásmového signálu zařazen Gaussův filtr. Zahrnutí tohoto Gaussova filtru před modulací je rozdíl mezi GFSK a FSK. Gaussův filtr je takový filtr, jehož impulsní odezva má tvar Gaussovy funkce, jak je znázorněno na obrázku 12.



Obr. 12 – Impulzní odezva Gaussova filtru

Gaussův filtr má velmi úzkou frekvenční odezvu. Když vstupní signál projde takovým filtrem, výsledná šířka spektra filtrového signálu je menší ve srovnání s FSK schématem. Důsledkem toho je, že náhlé změny frekvence, typické pro FSK, jsou potlačeny. To způsobí, že přechody jsou na začátku každého symbolu ve srovnání s FSK relativně plynulejší.



Obr. 13 – GFSK modulace (everithing RF, 2022)

Tato metoda filtrování snižuje výkon postranního pásma neboli spektrum mimo pásmo, rušení způsobené sousedními kanály a šířku pásma FSK signálu. Toto zúžení však způsobuje rozprostření v časové oblasti, čímž roste pravděpodobnost výskytu interference mezi symboly. Proto je důležité, aby Gaussův filtr měl optimální mezní frekvence, aby se tomu zabránilo. Tato fáze filtrování před modulací signálu se také nazývá tvarování pulzů, protože datové pulzy jsou filtrovány tak, aby vznikl čistý výstupní signál s ostrými náběhovými a sestupnými hranami. To napomáhá přesně určit nosnou frekvenci přijatého signálu (everithing RF, 2022).

3 Měření hmotnosti

Měření hmotnosti představuje jednu ze základních úloh v oblasti fyziky, techniky i průmyslu. Hmotnost patří mezi základní fyzikální veličiny a projevuje se jak setrvačnými, tak gravitačními účinky těles. Při jejím měření se využívá toho, že hmotnost tělesa je přímo úměrná síle, kterou na něj působí zemská gravitace. Tento vztah je popsán rovnicí $G = m \cdot g$. Kde G je tíha tělesa, m jeho hmotnost a g velikost místního gravitačního zrychlení (Dvorský, Foukal, 2007).

Přesné stanovení hmotnosti je nezbytné nejen v laboratorních podmínkách, ale také v celé řadě průmyslových aplikací, a to od jednoduchého vážení až po integraci hmotnostních senzorů do řídicích systémů. Způsoby měření hmotnosti se liší podle požadované přesnosti, rozsahu měření i prostředí, ve kterém se měření provádí. Existuje celá řada metod pro měření hmotnosti, a to jak přímých například klasické mechanické váhy, tak nepřímých, které využívají různé fyzikální principy. Mezi nejčastější metody patří mechanické vážení, elektromagnetická kompenzace, a především tenzometrické měření.

Právě tenzometrické měření bylo zvoleno pro jeden z modulů měřicí jednotky. Pro měření hmotnost byl vybrán váhový senzor YZC-131. Tento senzor se skládá ze čtyř odporových tenzometrů zapojených do Wheatstoneova můstku (eses, 2022).

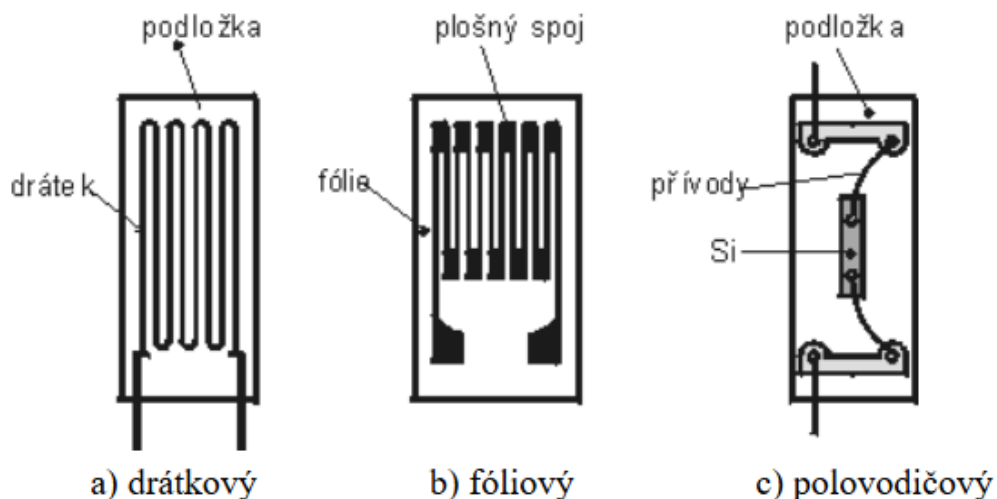
3.1 Tenzometr

Tenzometr je převodník deformace, jako je prodloužení a prohnutí, na změnu odporu. Tenzometr lze kromě měření hmotnosti využít i například pro měření síly, tlaku, krouticího momentu, momentu síly nebo mechanického napětí spojů. Nejrozšířenějším typem tenzometrů jsou tenzometry odporové. Odporové tenzometry lze dělit podle materiálu, z kterého jsou zkonstruovány na tenzometry kovové a polovodičové. (Vojáček, 2005).

Kovové tenzometry lze obecně dělit na:

- Drátové, které mohou být v provedení volném či lepeném k izolační ohebné podložce.
- Vrstvové vakuově nanesené na izolační ohebné podložce.
- Fóliové, které mají odporovou kovovou fólii na izolační podložce

Z těchto tenzometrů je nejčastěji používaný tenzometr fóliový (Vojáček, 2017). Fóliový tenzometr je i váhový senzor YZC-131, který byl použit pro měření hmotnosti (BC Robotics Inc, 2025).



Obr. 14 – Provedení odporových tenzometrů (upřt.vscht, nedatováno)

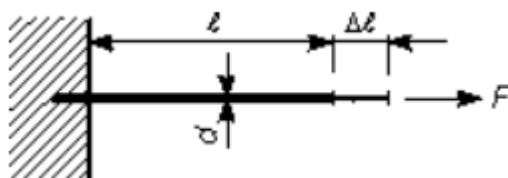
3.1.1 Odporové tenzometry

Odporový tenzometr využívá mechanické namáhání v oblasti pružných deformací u kovových vodičů, nebo u polovodičů vede ke změně jejich elektrického odporu.

Drátové kovové odporové tenzometry se zhotovují z drátků o průměru 0,02 až 0,05 mm. Tento drátek ve tvaru meandrů je nalepen na tenký podklad z papíru nebo plastické hmoty.

Fóliové tenzometry složitých tvarů, jako jsou radiální a spirálové, se vyrábějí odleptáním tenké odporové folie. Nosná izolační vrstva má tloušťku 20 až 50 μm . Tato vrstva je z polyamidu nebo sklem vyztuženém fenolovém filmu. Fóliové tenzometry mají lepší vlastnosti než tenzometry drátkové. Na nosné izolační vrstvě je upevněn odporový meandr o tloušťce 3 až 6 μm .

Principem je, že na odporový drátek o délce l , průřezu S , průměrem d a měrným odporem ρ působí síla F . Síla F drátek deformuje tak, že prodlouží jeho délku o Δl . (homel.vsb, nedatováno)



Obr. 15 – Princip tenzometru (upřt.vscht, nedatováno)

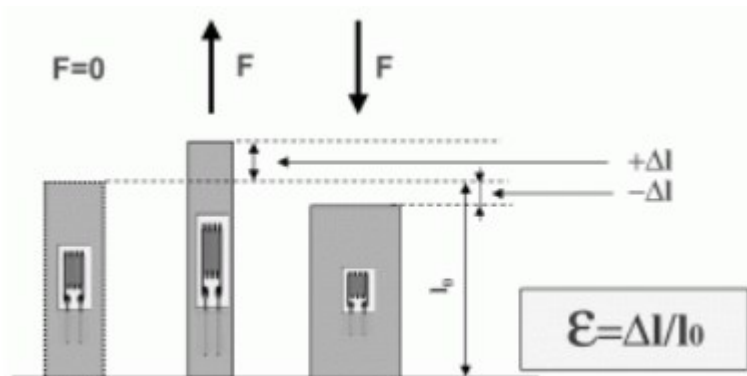
Původní odpor drátku byl:

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

Působením síly se odpor změní o ΔR . Změní se také jeho délka o Δl a průřez o ΔS . Vlivem strukturálních změn i měrný odpor o $\Delta \rho$. Pro malé změny platí:

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta \rho}{\rho} + \frac{\Delta l}{l} - \frac{\Delta S}{S}$$

Pokud je vodič namáhán tahem, tak se zvětšuje jeho délka a při zachování objemu se zmenšuje průřez. Odpor vodiče se tedy zvětšuje (homel.vsb, nedatováno).



Obr. 16 – Funkce tenzometru při deformaci ε protažením o Δl působením síly F = měna odporu o ΔR (Vojáček, 2017)

Při relativní deformaci:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$$

pak pro relativní změnu odporu platí:

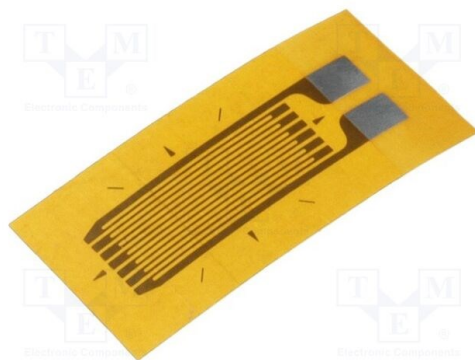
$$\frac{\Delta R}{R} = k \frac{\Delta l}{l} = k\varepsilon$$

Kde k je koeficient deformační citlivosti. Velikost deformační citlivosti k závisí na materiálu vodiče. Z hlediska měřicí techniky by měl být koeficient deformační citlivosti stálý, nezávislý na deformaci, teplotě a na technologické přípravě deformačního materiálu. Hodnota k je pro kovové tenzometry přibližně $k = 2$ s odchylkou podle použitého materiálu (homel.vsb, nedatováno).

Tab. 1 – Parametry slitin používaných pro kovové tenzometry (Vojáček, 2017).

Název materiálu	Přibližné složení	Průměrná hodnota K
konstantan	57 % Cu, 43 % Ni	2,05
karma	73 % Ni, 20 % Cr a Fe + Al	2,1
nichrome	80 % Ni, 20 % Cr	2,2
platina-wolfram	92 % Pt, 8 % W	4

Při vyhodnocování odporu tenzometru se neměří poměrná změna odporu, ale přímo diference ΔR , která je závislá na změně Δl , proto je výhodné, aby délka l vodiče byla co největší. Z tohoto důvodu mají odporové tenzometrické snímače tvar například jako na obr. 17 (uprt.vscht, nedatováno).



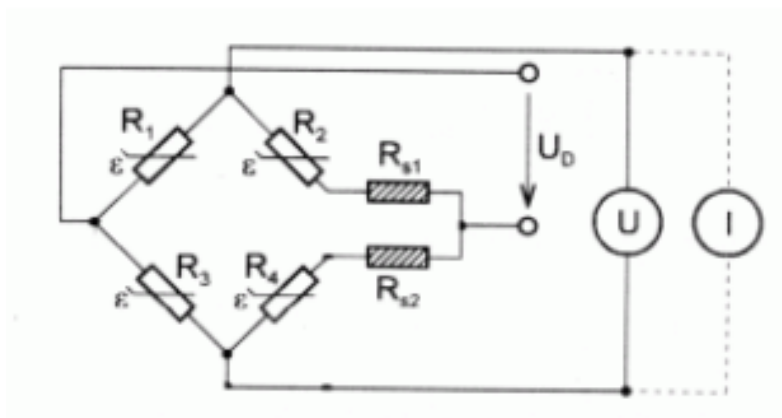
Obr. 17 – Fóliový tenzometr (tme, nedatováno)

Odpor tenzometru se mění pouze o zlomky procent, což je dáno omezeními vyplývajícími z mezí materiálu tenzometru. Síly dostatečně velké na to, aby způsobily větší změny odporu, by trvale deformovaly vodiče samotného tenzometru, čímž by byl tenzometr jako měřicí zařízení znehodnocen. Abychom tedy mohli tenzometr prakticky použít, musíme být schopni s vysokou přesností měřit velmi malé změny odporu (all about circuits, nedatováno). Proto se často využívá zapojení do Wheatstonova můstku. Také se využívají analogově-digitální převodníky s vysokým rozlišením jako je například HX711, který byl použit pro správnou funkci tenzometru při měření hmotnosti.

3.2 Zapojení tenzometrů Wheatstonova můstku

Tenzometry jsou citlivé na změny okolní teploty, proto je nutné vliv okolní teploty kompenzovat. Parazitní parametry tenzometru jsou například teplotní závislost odporu

tenzometru a konstanty k . Pro vyhodnocení měření se využívá zapojení tenzometrů do Wheatstoneova můstku. Na můstek jsou kladeny velké nároky, protože rozlišovací schopnost mechanického napětí tenzometrů odpovídá hodnotám deformace $\varepsilon = 10^{-6}$ a při konstantě k , která je pro kovové tenzometry přibližně $k = 2$ a napájení můstku jednotkami voltů. Při odporu tenzometrů 100Ω jsou změny napětí v řádu μV a odporu v řádu $\mu\Omega$. Z tohoto důvodu se využívá plného můstku složeného ze čtyř senzorů. Toto zapojení anuluje činitele nelinearity, poskytuje čtyřnásobnou citlivost, nulové chyby vlivem teploty i zanedbatelné chyby přívodů (Vojáček, 2017).



Obr. 18 – Wheatstonuv můstkeek se čtyřmi tenzometry a s pomocnými odpory (Vojáček, 2017)

3.3 Polovodičové tenzometry

Polovodičové tenzometry jsou založeny na piezorezistivním jevu, tedy na změně elektrického odporu v závislosti na deformaci polovodičového krystalu. Deformací polovodičových tenzometrů se mění výrazně pohyblivost nosičů nábojů a tím i vodivost. Polovodičové tenzometry se vyrábějí vytvořením difuzí nečistot do tenké vrstvy křemíku. Hlavní předností polovodičových tenzometrů je vysoká citlivost, a to až 60x vyšší než u kovových tenzometrů. Mezi hlavní nevýhody patří velká odchylka od lineární charakteristiky a velká teplotní závislost (Vojáček, 2006).

4 Měření teploty

Existuje mnoho způsobů měření teploty. Lze provádět dotykově, kdy je snímač vnořen do měřeného prostředí a teplota senzoru se ohřívá na teplotu okolního prostředí, nebo bezdotykově, kdy se zjišťuje povrchová teplota tělesa a využívá se šíření elektromagnetického záření.

Při měření teploty se používá mnoho typů senzorů, které využívají různé fyzikální principy závislosti změn elektrických nebo i mechanických parametrů materiálu senzoru.

V praxi se používají například tyto typy senzorů:

- Dilatační senzory, které využívají roztažnosti tuhých, kapalných a plyných látek.
- Senzory se změnou elektrických vlastností jako je například odpor, termoelektrické napětí nebo polovodičový efekt.
- Senzory se snímáním elektromagnetického záření, tedy v infračervené oblasti (Hruška, 2017).

Pro měření teploty bylo vybráno digitální čidlo DS18B20. Toto čidlo funguje na principu, který se nazývá teplotní měření pomocí křemíkové bandgap reference anglicky Bandgap-based silicon temperature sensing. Měření teploty pomocí DS18B20 je realizováno pomocí dvou napětíových zdrojů generovaných pásmovou mezerou (bandgap). Jeden z těchto zdrojů má vysoký teplotní koeficient a mění se deterministicky s teplotou. Druhý zdroj má nízký teplotní koeficient a s teplotou se prakticky nemění. Analogově-digitální převodník převede rozdíl mezi těmito dvěma napětími na digitální hodnotu, která reprezentuje teplotu zařízení. Rozlišení převodu teploty lze zvolit v rozsahu od 9 do 12 bitů (maxim integrated, 2009). Křemíkové teplotní senzory využívají fyzikální vlastnosti polovodičových přechodů PN. Například u bipolárních tranzistorů se konkrétně jedná o závislost napětí báze-emitor na teplotě. Napětí klesá s teplotou přibližně o $2 \text{ mV}/^\circ\text{C}$. Bandgap reference je obvod, který kombinuje napětí s pozitivním a negativním teplotním koeficientem, čímž lze získat teplotně stabilní referenční napětí, které má hodnotu přibližně $1,23\text{V}$ (Arar, 2019). Bandgap reference se v elektronice široce používá ke generování stabilních napětí, která se nemění s teplotou. To je v elektronice obtížné, protože mnoho parametrů polovodičů je vysoce závislých na teplotě. Řešení je důmyslné a spočívá v přidání napětí s kladným teplotním koeficientem k jinému napětí s podobným záporným koeficientem (Levido, 2021).

4.1 Pracovní princip křemíkových teplotních senzorů s pásmovou referencí – bandgap

Křemíkové teplotní senzory využívají závislost propustného napětí na PN přechodu křemíkové diody nebo bipolárního tranzistoru na teplotě. Tento jev je popsán následující rovnicí:

$$V_{BE} = V_{CO} \left(1 - \frac{T}{T_0}\right) + V_{BE0} \left(\frac{T}{T_0}\right) + \frac{nkT}{q} \ln\left(\frac{T_0}{T}\right) + \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{I_C}{I_{C0}}\right)$$

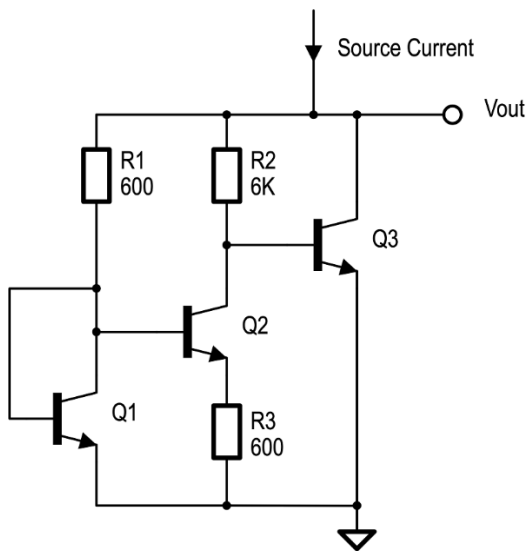
- V_{BE} : napětí báze-emitör
- V_{CO} : pásmová mezera při 0 K
- T : aktuální teplota (v kelvinech)
- T_0 : referenční teplota (např. 300 K)
- I_C, I_{C0} : proudy tranzistoru
- k : Boltzmannova konstanta
- q : náboj elektronu
- n : parametr závislý na technologii
- V_{BE0} = napětí v zakázaném pásmu při teplotě T_0 a proudu I_{C0}

Většinu proměnných ve výše uvedené rovnici lze eliminovat porovnáním napětí v zakázaném pásmu při dvou různých proudech, I_{C1} a I_{C2} . Výsledkem je následující rovnice:

$$\Delta v_{BE} = \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{I_{C1}}{I_{C2}}\right)$$

Toto rozdílové napětí je přímo úměrné absolutní teplotě T (Azo sensors, 2014).

Zapojené bandgap reference může vypadat jako na obr. 19. Na tomto obrázku je Widlarova bandgap reference (Levido, 2021).



Obr. 19 – Widlarova reference (Levido, 2021).

5 Měření rychlosti a zrychlení

Měření rychlosti a zrychlení patří mezi základní úlohy experimentální fyziky a technického měření. Tyto pohybové veličiny hrají důležitou roli v popisu dynamiky těles, ať už v inženýrství, dopravě, robotice nebo řízení technologických procesů. Znalost rychlosti umožňuje určit, jak rychle se objekt pohybuje, zatímco zrychlení popisuje změnu této rychlosti v čase. Přesné měření těchto veličin umožňuje například vyhodnocování pohybu strojů, dopravních prostředků, lidského těla při sportu, nebo řízení procesů závislých na pohybu těles.

Existuje mnoho možností, jak rychlost a zrychlení změřit. Tyto možnosti se mění podle typu pohybu, požadované přesnosti a dostupné technologie.

Měřit se může buď lineární rychlost nebo rychlost úhlová. Úhlová rychlost objektu je definována jako časová změna úhlové polohy a udává, jak rychle se objekt otáčí. Běžné jednotky jsou otáčky za minutu. Úhlová rychlost je vektorová veličina, se směrem vektoru shodným se směrem osy, kolem níž se objekt otáčí. Měření otáček za minutu obvykle znamená generování pulzů nebo sinusového signálu, jehož frekvence je úměrná úhlové rychlosti.

Používané snímače jsou například:

- AC tachogenerátory – frekvence výstupního signálu odpovídá otáčkám.
- DC tachogenerátor – výstupní napětí je úměrné otáčkám.
- Optické snímače – rotující disk se šterbinami přes který prochází světelný paprsek a vytváří impulzy.
- Magnetické snímače.

Lineární rychlost objektu, je definována jako časová změna polohy objektu. Je to vektorová veličina, což znamená, že má směr i velikost. Směr souvisí se směrem změny polohy. Lineární rychlost se obvykle udává ve vztahu k nějakému referenčnímu bodu. Tachometr v autě například ukazuje, jak rychle se auto pohybuje vzhledem k zemi. Problém měření rychlosti je poněkud odlišný od měření jiných veličin v tom, že neexistuje velké množství typů převodníků (snímačů) a výrobců převodníků, ze kterých lze pro daný úkol vybírat. Často je problém takový, že osoba musí využít své znalosti měření jiných veličin a vynalézavost, aby vyvinula metodu měření rychlosti vhodnou pro daný případ. Metody pro měření lineární rychlosti jsou například:

- Měření dráhy a času dvěma optickými bránami nebo laserovou závorou.
- Radar, například Dopplerovský radar (Pinney, Baker, 1999).

Měření rychlosti a zrychlení bylo realizováno pomocí optické brány. Sestavené z IR senzorů a Arduina Pro Micro. Optické brány jsou časovací zařízení, která měří okamžiky změny stavu infračerveného paprsku, který je přerušován (pasco, nedatováno).

Při měření rychlosti a zrychlení optickou branou mohou nastat tyto varianty:

- Varianta 1: Měření pomocí známé délky objektu
- Varianta 2: Měření bez znalosti délky objektu

5.1 Varianta 1: Měření pomocí známé délky objektu

Pro měření rychlosti tělesa se známou délkou L stačí pouze jedna optická brána tedy jedním IR senzor. Při průchodu optickou branou je změřen čas t , po který je paprsek přerušen. Rychlost se pak vypočítá podle vzorce:

$$v = \frac{L}{t}$$

Zrychlení se dá spočítat pomocí dvou optických bran. Spočítají se rychlosti v obou branách a z toho se pak spočítá zrychlení. Rychlost v první bráně je:

$$v_1 = \frac{L}{t_1}$$

Rychlost v druhé bráně je:

$$v_2 = \frac{L}{t_2}$$

Zrychlení se pak spočítá následovně:

$$a = \frac{v_2 - v_1}{\Delta t}$$

Kde Δt je čas mezi bránami:

$$\Delta t = t_{start2} - t_{start1}$$

Tedy rozdíl časů náběhu paprsku, kdy těleso začalo procházet oběma branami (mrsphysics, nedatováno).

5.2 Varianta 2: Měření bez znalosti délky objektu

Pro změření rychlosti bez znalosti délky měřeného objektu jsou potřeba dvě optické brány a pro měření zrychlení jsou potřeba tři optické brány. Měří se časové okamžiky průchodu přední hrany objektu jednotlivými branami. Nutná je znalost vzdálenosti mezi branami s_1 a s_2 . Sleduje se, jak objektu dlouho trvá přejet mezi dvěma body.

Vzorec pro rychlost mezi první a druhou branou je:

$$v_1 = \frac{s_1}{t_1}$$

Vzorec pro rychlost mezi druhou a třetí bránou je:

$$v_2 = \frac{s_2}{t_2}$$

Kde s_1 a s_2 jsou známé vzdálenosti mezi branami a t_1 a t_2 jsou doby, za které objekt projde daný úsek.

Zrychlení se pak spočítá takto:

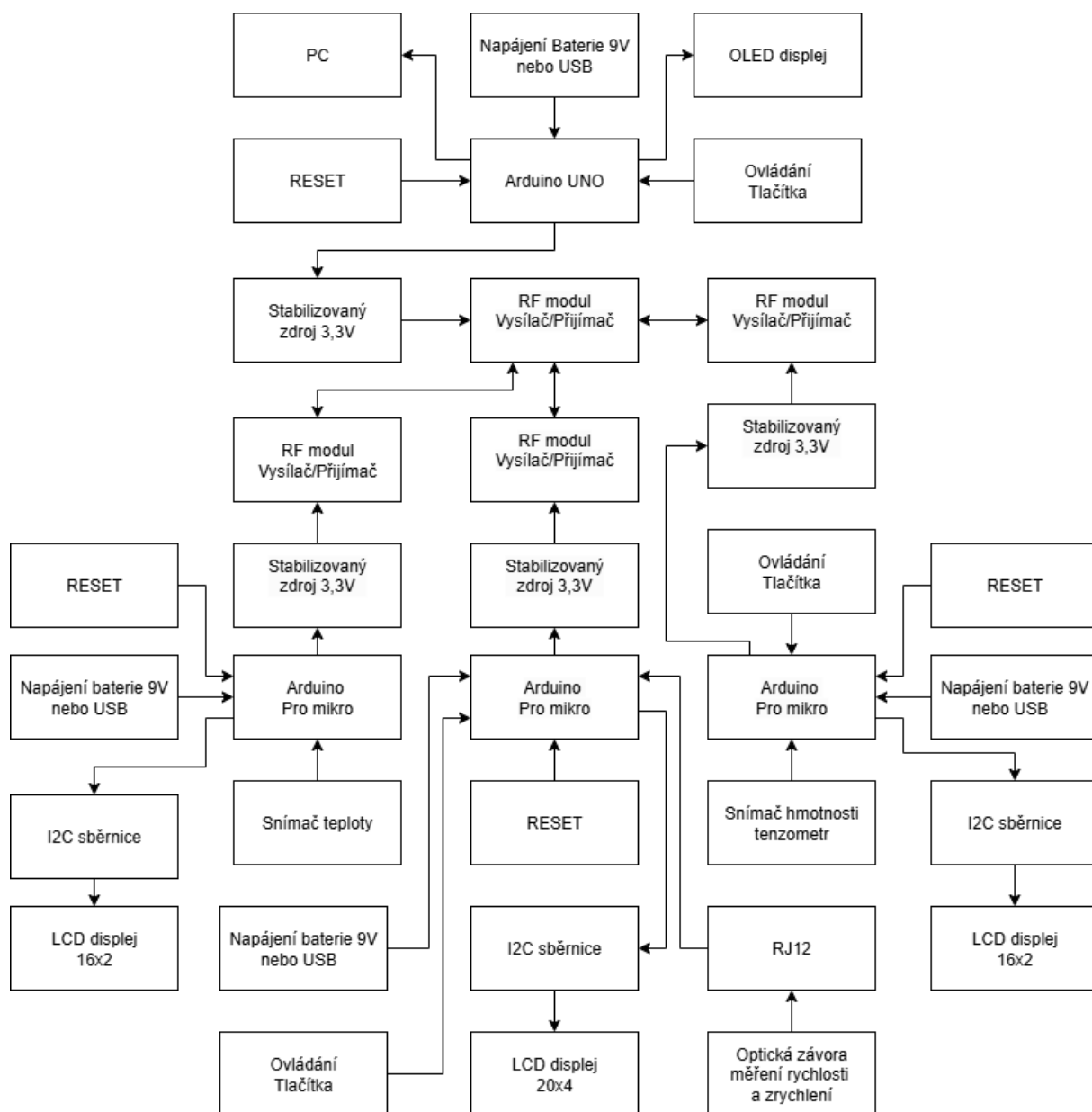
$$a = \frac{v_2 - v_1}{\Delta t}$$

Kde Δt je:

$$\Delta t = t_3 - t_1$$

Tedy časový rozdíl, kdy přední hrana tělesa přeruší první bránu a okamžikem, kdy stejná přední hrana přeruší třetí bránu (thestudentroom, 2010).

6 Blokové schéma



Obr. 20 – Blokové schéma

Blokové schéma zobrazuje celkovou architekturu systému a funkční propojení modulů. Schéma ukazuje základní funkční bloky a jejich vzájemné propojení. Jsou na něm znázorněny bloky měřicího systému, bloky bezdrátového přenosu, displeje a tlačítka. Obsahuje tyto části: hlavní přijímač a pak tři vysílací uzly s měřením teploty, měřením rychlosti a zrychlení a měřením hmotnosti. Poskytuje přehled o kompletní struktuře systému, který umožňuje současné měření teploty, hmotnosti, rychlosti a zrychlení s bezdrátovým přenosem výsledků.

6.1 Popis hlavních bloků blokového schéma

- Arduino UNO – hlavní přijímač dat, zajišťuje zobrazení hodnot na OLED displeji a komunikaci s PC.
- Arduino Pro Micro – tento blok je použit 3x, protože každá jednotka, která byla určena pro měření má vlastní Arduino Pro Micro. Jednotky měří teplotu, měří hmotnost pomocí tenzometru a měří rychlosti a zrychlení – vyhodnocuje průchod objektu přes optické závory, každá jednotka odesílá naměřenou hodnotu bezdrátově přes RF modul.
- RF moduly – zajišťují bezdrátovou komunikaci mezi vysílači a hlavním přijímačem.
- Displeje a tlačítka – umožňují lokální zobrazení a ovládání měřicích jednotek.

Všechny jednotky jsou napájeny z 9V baterie nebo z USB a obsahují stabilizovaný zdroj 3,3 V pro RF modul. Data jsou přenášena bezdrátově pomocí modulu nRF24L01 k přijímací jednotce.

7 Použité komponenty

Multifunkční laboratorní měřicí jednotka je složena ze čtyř jednotek. A to z jednotky pro příjem naměřených dat, jednotky pro měření rychlosti a zrychlení optickou bránou, jednotky pro měření hmotnosti a jednotky pro měření teploty. Pro sestavení multifunkční laboratorní měřicí jednotky byly použity tyto komponenty:

Pro jednotku pro příjem naměřených dat:

- Arduino UNO,
- stabilizátor napětí ze 4,5V – 7V na 3,3V,
- modul nRF24L01,
- tlačítka – 2 kusy,
- OLED I²C displej 1,3",
- kolébkový vypínač.

Pro jednotku pro měření rychlosti a zrychlení optickou bránou:

- Arduino Pro Micro,
- LCD displej 20x4,
- I²C převodník pro LCD 20x4 a 16x2,
- tlačítka – 7 kusů,
- modul nRF24L01,
- stabilizátor napětí ze 4,5V – 7V na 3,3V,
- senzor přerušování infračerveného paprsku – LED 5 mm - 0-50 cm – 3 kusy,
- kolébkový vypínač,
- konektor RJ12 – 4 kusy,
- rezistor 220 Ω – 3 kusy.

Pro jednotku pro měření hmotnosti:

- Arduino Pro Micro,
- LCD displej 16x2,
- I²C převodník pro LCD 20x4 a 16x2,
- tlačítka – 2 kusy,
- modul nRF24L01,
- váhový senzor 3 Kg YZC-131,
- AD Převodník Modul 24-bit 2 kanály HX711,

- kolébkový vypínač,
- stabilizátor napětí ze 4,5V – 7V na 3,3V.

Pro jednotku pro měření teploty:

- Arduino Pro Micro,
- LCD displej 16x2,
- I²C převodník pro LCD 20x4 a 16x2,
- tlačítko,
- modul nRF24L01,
- rezistor 4,7 kΩ
- teploměr pro jednodeskové počítače DS18B20,
- kolébkový vypínač,
- stabilizátor napětí ze 4,5V – 7V na 3,3V.

7.1 Technický popis parametrů konstrukce, výběr komponent

Multifunkční laboratorní měřicí jednotka se skládá ze čtyř samostatných jednotek. První z nich je určená pro příjem naměřených dat a komunikaci s PC. Další tři jsou určeny pro měření hmotnosti, teploty a pro měření rychlosti a zrychlení. Všechny jednotky spolu komunikují bezdrátově pomocí modulu nRF24L01. Jako základní prvek jednotky pro příjem dat bylo zvoleno Arduino UNO z důvodu jeho dostupnosti na trhu. Naměřené hodnoty se u této jednotky se zobrazují na OLED displej. Základním prvkem dalších třech jednotek je Arduino Pro Micro, které bylo zvoleno také díky jeho dostupnosti na trhu, ale především také kvůli jeho velikosti. Arduino Pro Micro je oproti Arduino UNO podstatně menší, což bylo pro tyto tři měřicí jednotky podstatné z důvodu šetření místem uvnitř krabiček pro měřicí jednotky. Pro měření rychlosti a zrychlení byli použity senzory přerušeni infračerveného paprsku, z kterých byla sestavena optická brána. Tato brána se k měřicí jednotce, tedy k Arduino Pro Micro, připojuje pomocí kabelu s konektorem RJ12. Naměřené hodnoty optickou bránou a nastavení se zobrazují na LCD displeji, který je k Arduino Pro Micru připojen přes I²C sběrnici. Displej byl zvolen o velikosti 20 sloupců a 4 řádky to je dostačující pro přehledné zobrazení. K měření hmotnosti byl použit senzor YZC-131 a k měření teploty čidlo DS18B20. Pro zobrazování hmotnosti a teploty byly zvoleny displeje o velikosti 16 sloupců a 2 řádky, které byli pro zobrazení těchto hodnot dostatečně velké. Všechny jednotky se ovládají pomocí tlačítek. U optické brány se dá vybrat jedno ze tří možností měření. U měření hmotnosti je možnost nulování. Všechny jednotky jsou napájeny z 9V baterie, která je umístěna v každé měřicí

jednotce. Baterie je připojena přes kolébkový vypínač pro snadné vypínání a zapínání. Jednotky jdou alternativně napájet také přes USB a jednotka pro příjem naměřených dat jde napájet i přes souosý konektor, jelikož využívá Arduino UNO.

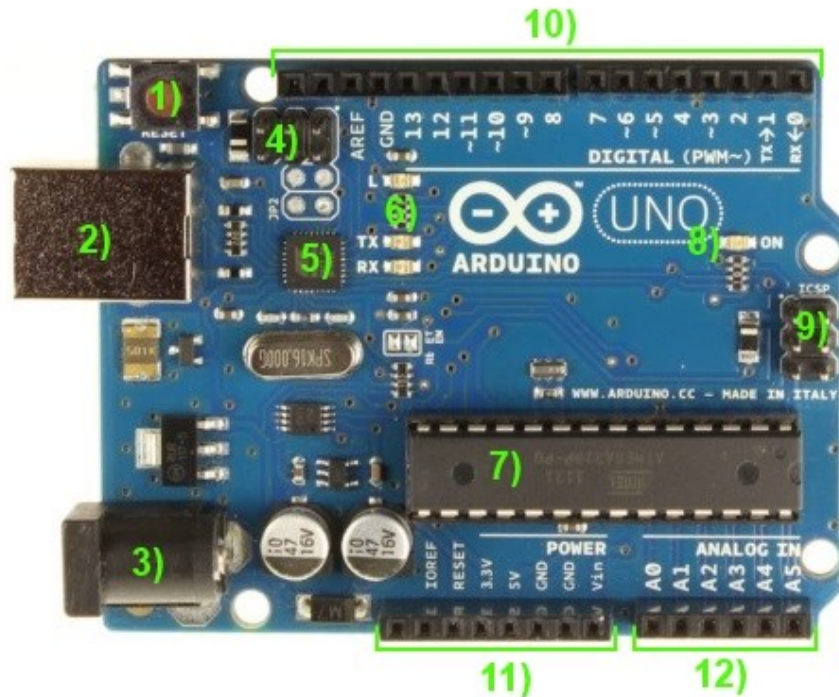
7.2 Vývojová platforma Arduino

Vývojová platforma Arduino je založena na procesorech ATmega od společnosti Atmel. Arduino bylo vyvinuto jako cenově dostupný vývojový set lidmi z italského Interaction Design Institute. Ve většině případů se platforma Arduino skládá ze základní desky s mikrokontrolérem, který je obklopen dalšími elektronickými součástkami. V současné době existuje mnoho druhů velkých a výkonných základních desek (Voda, 2015). Základní desku lze rozšířit o takzvané shildy. Shildy jsou snadno připojitelné periferie jako například Ethernet Shield, Wifi Shield, Motor Shield a další. Většina Arduino desek má USB rozhraní, které je určené pro komunikaci mezi čipem a PC. Některé arduino desky USB nemají, k jejich programování je proto potřeba externí převodník, a to z důvodu že taková deska se nedá přímo připojit k PC (Kozina, 2015).

Arduino je open source platforma, to umožňuje bezplatný přístup k podrobné dokumentaci. Proto vzniklo velké množství neoficiálních desek takzvaných klonů. Svoje Arduino si může sestavit prakticky každý, protože všechna schémata jsou dostupná online. Proto existují klony, které jsou svým tvarem a vybavením naprosto stejné jako oficiální modely Arduino, ale také klony, které jsou modifikované pro konkrétní funkce (Voda, 2015).

7.3 Arduino UNO

Arduino UNO je základní a nejpoužívanější deska Arduina. Základem této desky je mikrokontrolér ATmega328P s frekvencí 16 MHz. FLASH paměť má velikost 32 kB, velikost paměti SRAM jsou 2 kB a velikost paměti EEPROM je 1 kB. Arduino UNO má 14 digitálních vstupně/výstupních pinů z nichž 6 lze použít jako PWM výstupy a 6 analogových vstupů. Arduino UNO deska také obsahuje například USB konektor, napájecí konektor, ICSP hlavici a resetovací tlačítko (Store.arduino, nedatováno).



Obr. 21 – Komponenty na desce Arduino UNO (Voda, 2015)

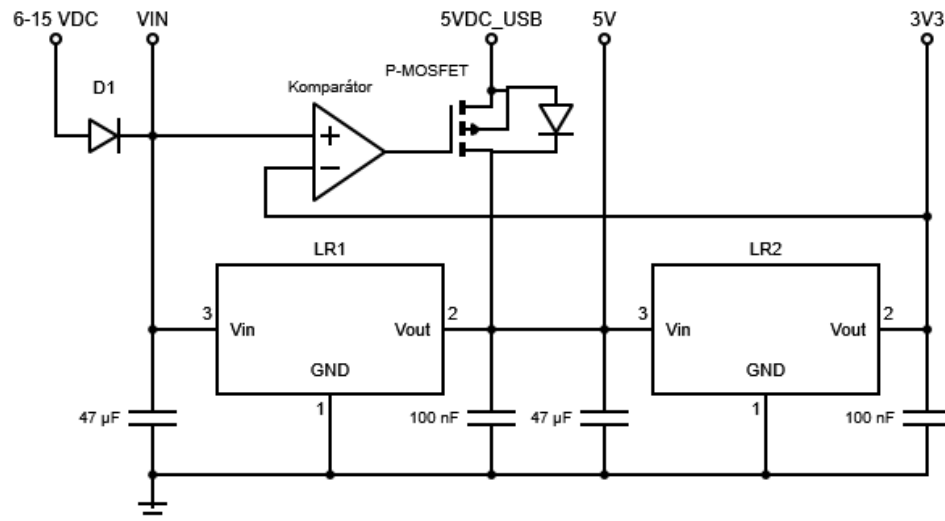
Popis k obrázku č. 21:

- 1) Resetovací tlačítko.
- 2) USB konektor typu B. K napájení a programování čipu.
- 3) Napájecí konektor.
- 4) ICSP hlavice pro externí přeprogramování USB sériový převodníku.
- 5) USB sériový převodník. Slouží ke komunikaci mezi čipem a PC.
- 6) Indikační led diody. Dioda L je připojená k pinu 13, může se využít k otestování i bez externí LED diody. Diody RX a TX blikají, pokud po sériové lince probíhá komunikace.
- 7) ATmega328P. Hlavní čip desky Arduino UNO.
- 8) Led dioda ON. Dioda svítí, když je připojené napájení.
- 9) ICSP konektor pro externí přeprogramování vnitřních pamětí mikropočítače.
- 10) Vstupně/výstupní digitální piny. Vývody označené vlnovkou, podporují PWM modulaci.
- 11) Většina těchto pinů slouží jako napájecí výstupy Arduino.
- 12) Analogové vstupy, pro měření analogových signálů. Lze je použít i jako digitální vstupy a výstupy (Kozina, 2015).

7.3.1 Napájecí obvody modulu Arduino UNO

Arduiono se vždy napájí stejnosměrným napětím. Možnosti, jak Arduino Uno napájet, jsou napájeny přes piny VIN a GND, nebo přes USB port, anebo přes souosý konektor. Napájecí

obvody se skládají z Diody D1, která slouží jako ochrana proti přepólování, lineárního regulátoru LR1, jehož výstupem je napětí o velikosti 5 V, lineárního regulátoru LR2, jehož výstupem je napětí o velikosti 3,3 V, dále pak z komparátoru a tranzistoru typu P-MOSFET, který slouží pro výběr vstupního zdroje napětí.



Obr. 22 – Zapojení obvodů napájení Arduina Uno (Svoboda, nedatováno)

7.3.2 Napájení přes souosý konektor

Tato varianta napájení je ve schématu na obr. 22 označeno jako napájení 6-15 VDC. Toto označení značí rozsah napájecího napětí, které je při napájení přes souosý konektor 6 až 15 V. Proud, který může přes souosý konektor protékat, je až 1 A. Na vstupu se nachází dioda, která brání nechtěnému přepólování. Při použití adaptérového zdroje, který se většinou používá při napájení přes souosý konektor, k přepólování dojít nemůže. Dioda je zde pro případ, že by byl použit nějaký jiný zdroj napětí, kde k přepólování dojít může. U souosého konektoru je vnitřní kontakt kladný a vnější kontakt záporný.

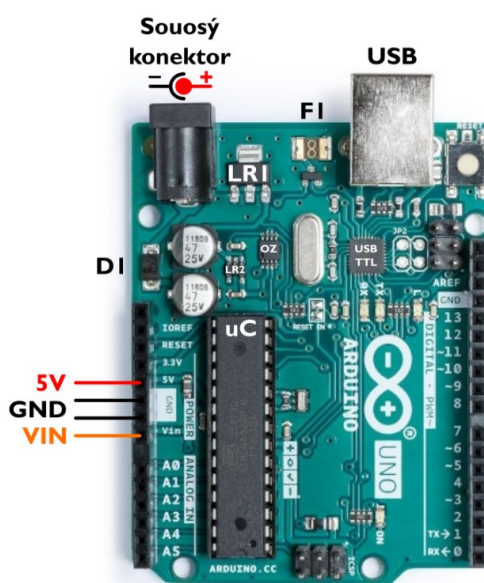
7.3.3 Napájení přes piny VIN a GND

Tento typ napájení je obdobný jako napájení přes souosý konektor. Rozdílem je, že napájení přes piny VIN a GND nemá ochranu proti přepólování. Výhodou toho je, že není zapojena ochranná dioda, a proto na ní nedochází k úbytku napětí. Úbytek napětí na diodě je přibližně 0,8 V. Tento úbytek je nežádoucí při napájení z baterie, protože by se snížila její výdrž. Při zapojení napájení opačně by došlo ke zničení desky, pravděpodobně by také explodoval kondenzátor 47µF. Úbytek napětí na ochranné diodě má vliv i na rozsah napájecího napětí, které by mělo být 5,2 – 14,2V.

Tento typ napájení byl použit u jednotky pro příjem naměřených dat. Byla k tomu použita baterie 9 V.

7.3.4 Napájení přes USB port

Arduino Uno má USB TTL převodník, proto lze napájet přes USB port. Tato varianta napájení se používá při programování, lze ji ale použít i při finální instalaci kdy lze k napájení použít například nabíječku na mobilní telefon nebo powerbanku. Výhoda této varianty je, že může být připojen i další zdroj napájení. USB port se pak využívá pouze pro programování. Napájecí napětí při této variantě je v rozsahu 4,75 – 5,25 V. Maximální proud, který může Arduino odebírat přes USB port, je 500 mA (Svoboda, nedatováno).



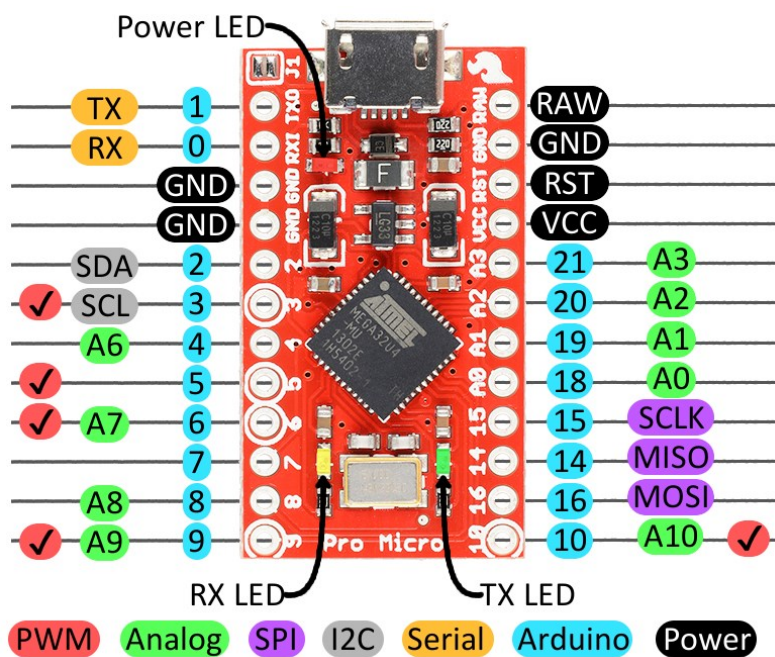
Obr. 23 – Varianty zapojení napájení Arduino Uno (Svoboda, nedatováno)

7.4 Arduino Pro Micro

Pro jednotku s optickou bránou, měřením hmotnosti i pro měření teploty bylo vybráno Arduino Pro Micro. Existují dvě varianty Arduina Pro Micro, který se liší systémovým napětím a provozní frekvencí. Standartní Arduino Pro Micro na 5 V a 16 MHz, které je srovnatelné s Arduinem Leonardem, pak existuje druhá verze, která je na 3,3 V s poloviční rychlostí 8 MHz. Pro jednotku bylo zvoleno Arduino Pro Micro ve standartní verzi 5 V a 16 MHz. Arduino Pro Micro je elektronická deska, která je osazená mikrokontrolérem ATmega32U4. Tento mikrokontrolér lze programovat pomocí arduino IDE. V arduinu IDE se při nahrávání programu musí vybrat deska Arduino Leonardo. Při jiném nastavení je ztracen originální bootloader. Mikrokontrolér ATmega32U4 pracuje na 5 V a 16 MHz a nabízí 32 kB

flash paměti. Paměť SRAM je 2,5 kB a paměť EEPROM je 1 kB. Tato deska poskytuje 12 vstupně výstupních digitálních pinů, 5 pinů PWM a 4 analogové vstupy 10-bit ADC. Vstupní napětí je 6 až 9 V. Výhodou je že ATmega32U4 má vestavěno USB rozhraní, proto pro komunikaci s počítačem už není potřeba používat další speciální obvody. Další výhodou je malý rozměr desky, který je u Arduina Pro Micro pouze 33x18,24 mm (Laskakit, nedatováno). Hlavní nevýhodou desky Arduino Pro Micro je, že mu chybí vyhrazený napájecí konektor, což znamená, že napájení musí být zajištěno přes USB nebo vstupní pin (Barrozo, 2023). Dalšími piny na desce jsou pin RAW, to je napěťový vstup pro Arduino Pro Micro. Pokud je deska napájena přes USB, napětí na tomto pinu bude přibližně 4,8 V, protože z 5 V na USB se odečte pokles napětí na Schottkyho diodě. Na druhou stranu, pokud je deska napájena externě přes tento pin, může přivedené napětí dosáhnout až 12 V. Na pinu VCC je napětí dodávané do integrovaného obvodu ATmega32U4. Toto napětí bude záviset na tom, zda je používána verze Arduina Pro Micro 5 V a 16 MHz nebo verze 3,3 V a 8 MHz, bude to buď 5 V, nebo 3,3 V. Pin RST lze použít k restartování zařízení. Pin GND je společná zem tedy referenční napětí 0 V pro systém. K dispozici jsou také hardwarové piny UART, I²C a SPI, které lze použít k propojení s digitálními zařízeními, jako jsou například sériové LCD displeje. Arduino Pro Micro má také tři vestavěné LED diody. Jedna indikuje, zda je připojené napájení a další dvě indikují přenos dat přes USB.

K napájení Arduino Pro Micro se nejčastěji používá napájení přes USB konektor. Na desce se nachází Micro USB konektor. Další možností, jak napájet Arduino Pro Micro, je použít napájení přes piny RAW nebo VCC. Napájení vstupující na pin RAW bude regulováno na správné napětí podle typu buď na 5 V, nebo na 3,3 V. Napájecí napětí na tomto pinu by nemělo překročit 12 V a mělo by být alespoň o 1 V vyšší než provozní napětí (Lindblom, nedatováno).



Obr. 24 – Arduino Pro Micro (Lindblom, nedatováno)

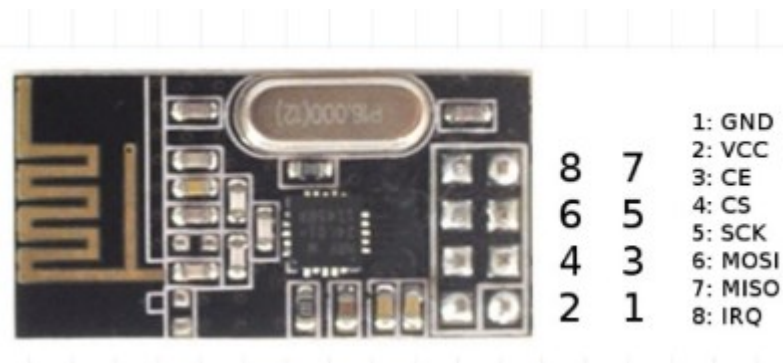
7.5 Arduino WiFi modul nRF24L01

Pro komunikaci mezi hlavní jednotkou a jednotlivými měřícími jednotkami byl zvolen bezdrátový Arduino WiFi modul nRF24L01. Tento modul využívá protokol Enhanced ShockBurst.

Arduino WiFi modul nRF24L01 je modul, který umožňuje bezdrátovou komunikaci mezi Arduino deskami. WiFi v názvu modulu nRF24L01 značí pracovní frekvenci 2,4 GHz. Frekvence 2,4 GHz se běžně používá pro propojení počítačů nebo telefonů s bezdrátovými routery. Pomocí modulu nRF24L01 se ale nedá připojit k domácí síti Wifi nebo na internet. Modul vyžaduje napájení o velikosti 3,3 V. Datové piny modulu jsou ale schopné pracovat s 5 V logikou Arduino desky, proto není potřeba používat žádné převody napájecích úrovní. Modulu nRF24L01 má čtyři vysílací úrovně a to MIN, LOW, HIGH a MAX. Pro úrovně HIGH a MAX se doporučuje použít externí 3,3 V zdroj napětí, protože pro tyto úrovně už není dostatečný proud, který dokáže poskytnout stabilizátor na Arduino deskách. Proudový odběr v režimu Power down jen 1 μ A, ale při příjmu a při odesílání dat může modul krátkodobě odebírat i stovky mA. Proto je vhodné použít stabilizovaný zdroj napětí (Drátek návody, nedatováno).

Modul nRF24L01 používá pásmo 2,4 GHz a dokáže pracovat s přenosovými rychlostmi od 250 kbps do 2 Mbps. Při použití v otevřeném prostoru může jeho dosah dosáhnout až 100 metrů. Pro propojení dvou desek Arduino se musí použít dva moduly nRF24L01. Oba tyto

moduly mohou pracovat jako přijímač i jako vysílač. Pro správnou funkci modulů se nejprve musí stáhnout a nainstalovat knihovna RF24. Existuje několik variant modulů nRF24L01. Nejoblíbenější je ten s integrovanou anténou. Velikost modulu je 2,8 x 1,5 x 1,3 cm (How to Mechatronics, nedatováno). Verze s integrovanou anténou byla použita i pro komunikaci mezi hlavní a jednotlivými měřicími jednotkami.

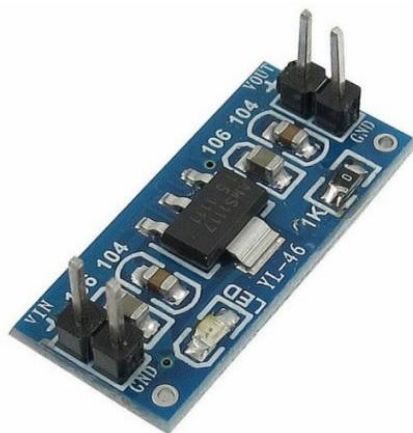


Obr. 25 – Arduino WiFi modul nRF24L01 (Drátek návody, nedatováno)

7.6 Stabilizátor napětí ze 4,5V - 7V na 3,3V

Pro správnou funkci WiFi modulů nRF24L01 je potřeba krátkodobě proud i stovky mA. Arduinino Pro Micro nemá možnost poskytnout přímo 3,3 V, kterými je napájen modul nRF24L01, tak z tohoto důvodu byl ke každému použitému modulu nRF24L01 přidán stabilizátor napětí, který zaručoval správné napájecí napětí i dostatečný proud.

K tomuto účelu byl použit stabilizátor napětí ze 4,5V – 7V na 3,3V. To je modul, který obsahuje čip AMS1117 - 3,3V a filtrační kondenzátory. Parametry tohoto stabilizátoru napětí jsou vstupní stejnosměrné napětí o velikosti 4,5 V až 7 V. Výstupní napětí je 3,3 V a maximální proud je 800 mA. Rozměry jsou 2,5 x 1,1 cm (Drátek, nedatováno).



Obr. 26 – Stabilizátor napětí ze 4,5V – 7V na 3,3V (Drátek, nedatováno)

7.7 Senzor přerušení infračerveného paprsku – LED 5 mm - 0-50 cm

Jako senzor pro optickou bránu byl vybrán senzor přerušení infračerveného paprsku – LED 5 mm - 0-50 cm. Senzor se skládá ze dvou částí, a to z vysílače a přijímače. Vysílač je vybaven 5mm IR LED, která má vyzařovací úhel 20 °. Přijímač informuje o přerušení infračerveného paprsku, který je vysílán z IR led diody (botlant, nedatováno).

Z důvodu, že optickou bránou je měřeno i zrychlení, tak byli použity tři tyto senzory, pro měření rychlosti by stačily dva senzory. Ke každému vysílači neboli k IR LED diodě byl přidán odpor o velikosti 220 Ω z důvodu omezení proudu, který IR LED diodou prochází. Maximální přípustný proud je přibližně mezi 20 mA a 50 mA. Při použití odporu 220 Ω bude proud cca 20 mA.

7.8 Váhový senzor 3 Kg YZC-131

Pro měření hmotnosti byl zvolen váhový senzor YZC-131. Tento váhový senzor je vhodný například pro použití v kuchyňské váze. Senzor je určený pro vážení do 3 kg. Doporučené pracovní napětí je 5 V DC, senzor lze napájet napětím až 10 V DC. Měřicí rozsah je 0 až 30 N. Senzor je složen ze čtyř tenzometrů, které jsou zapojeny do Wheatstoneova můstku. Rozměry senzoru jsou 75 x 12,7 x 12,7 mm. Pro správnou funkci tohoto senzoru je nutné použít vhodný AD převodník například HX711 (eses, 2022).

7.9 AD převodník modul 24-bit 2 kanály HX711

Váhový senzor YZC-131 pro správnou funkci vyžaduje AD převodník, byl použit AD převodník modul 24-bit 2 kanály HX711. Modul je určen pro přesné měření analogového signálu. Pracovní napětí tohoto modulu je 2,6 V až 5,5 V DC. Rozměry jsou 34 x 21 mm. Tento modul je také kompatibilní se všemi vývojovými kity Arduino a Genuino (ECLIPSE, 2016).

Modul AD převodník 24-bit 2 kanály HX711, používá integrovaný obvod společnosti AVIA Semiconductor. Základem tohoto modulu je integrovaný až 24bitový analogově-číslicový převodník. Modul je přímo určený pro odporové senzory v můstkových zapojeních. Zajišťuje přesné napájení můstku. Pro vyhodnocení má dva kanály s různým zesílením (Hruška, 2025).

7.10 Voděodolný teploměr pro jednodeskové počítače DS18B20

Jedná se o teplotní sondu s teplotním čidlem DS18B20, která je vhodná pro připojení k Arduino. Napájecí napětí je 3 až 5,5 V. Rozsah měření je -55 °C až +125 °C. Přesnost

měření v rozsahu od $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$ je $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Rozlišení měření je 9 až 12 bitů (eses, nedatováno).

7.11 I²C OLED displej 1,3" - Bílý, 128 x 64

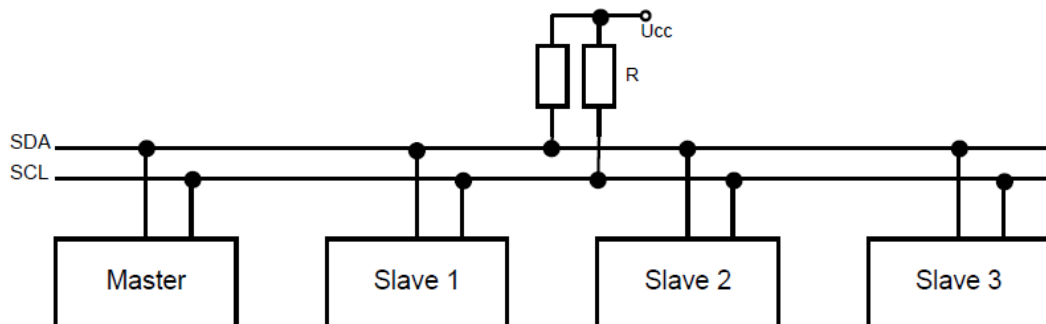
OLED displej má v porovnání s LCD displeji mnoho výhod. Mezi výhody patří například vyšší rozlišení v tomto případě 128x64 bodů nebo nižší spotřeba. Nižší spotřeba je dosaženo tím, že u OLED displeje svítí pouze ty body, které jsou aktivovány. Úhlopříčka displeje je 1,3", rozlišení je 128x64. Rozměry displeje jsou 29,42 x 14,7 mm. Napájecí napětí je 3,3 - 5 V. Rozhraní displeje je I²C sběrnice (Drátek, nedatováno).

7.12 LCD displeje 20x4 a 16x2

LCD displej 20x4 je displej o velikosti 20 znaků a 4 řádky a LCD displej 16x2 má velikost 16 znaků a 2 řádky. Tyto displeje jsou dobře použitelné pro různé arduino projekty, obsahují řadič typu HD44780, pro který existuje celá řada knihoven. Displeje se vyrábí v různých barevných variantách. K připojení k dalším obvodů má LCD displej 16 pájecích plošek. Napájecí napětí tohoto displeje je 5 V (Malý, 2017). Pro modul pro měření hmotnosti a teploty byl využit displej 16x2. Pro měření rychlosti a zrychlení byl využit displej 20x4. Pro jednodušší připojení displejů k arduinům byli využity I²C převodníky určené pro tyto typy displejů.

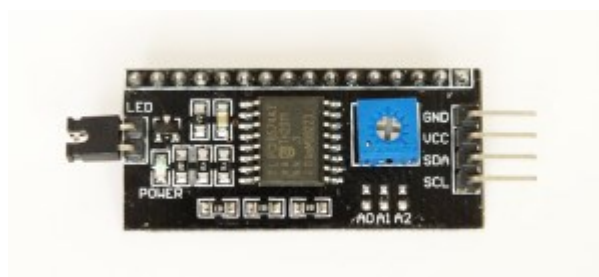
7.13 I²C převodník pro LCD 20x4 a 16x2

I²C je interní datová sběrnice pro přenos dat. Sběrnice je obousměrná, ale v jeden okamžik může vysílat pouze jedno zařízení, je to tedy poloduplexní přenos. Zařízení na sběrnici může vystupovat, buď jako master, ten zahajuje a ukončuje komunikaci a generuje hodinový signál, nebo jako slave. Slave je zařízení, které je adresované masterem (Redakce HW serveru, 2000).



Obr. 27 – I²C sběrnice (Zavavov, 2014)

Hlavní výhodou I²C sběrnice je, že umožňuje propojení až 128 zařízení pouze po dvou vodičích. Těmito dvěma vodiči jsou vodič SCL tedy serial clock pro hodinový signál a vodič SDA tedy serial data pro data. To u mikrorokontroléru zmenšuje nároky na vstupně/výstupní piny a celkově to zjednodušuje zapojení, proto byl použit tento modul pro připojení displejů 20x4 a 16x2. Na připojení displeje k mikrokontroléru tak stačí pouze čtyři vodiče z toho jsou dva vodiče napájecí, a to vodiče 5 V a GND. Další dva vodiče jsou již zmíněné SCL a SDA. Modul se stará o řízení datových a řídicích signálů. Modul obsahuje také trimr, který slouží pro nastavení jasu zobrazovaných znaků. Displej funguje jako kterákoliv jiná periférie na sběrnici. Pro správné fungování této varianty připojení displeje k Arduino je určena knihovna LiquidCrystal_I2C (Malý, 2017).



Obr. 28 – I²C adaptér pro LCD displej (Černý, 2015)

7.14 Tlačítka

Vybraná tlačítka jsou jednopólové OFF-ON. Jmenovité napětí 250 V a jmenovitý proud 1 A. Tlačítka byla vybrána především kvůli jednoduché montáži, jelikož mají vhodný závit, díky kterému je lze snadno namontovat na konstrukci. Pro ovládání byla vybrána žlutá tlačítka a na funkci reset červené tlačítko. Tlačítka byla popsána štítky vytištěnými na štítkovači DYMO LabelManager 210D.

8 Firmware

Pro Multifunkční laboratorní měřicí jednotku bylo napsáno pět programů. Z toho čtyři programy jsou určeny pro mikrokontroléry Arduino a pátý program je formulářová aplikace operačního systému Windows. Programy pro mikrokontroléry Arduino byly napsány v jazyce Wiring, který je frameworkem jazyka C++. Program pro formulářovou aplikaci byl napsán v jazyce C# v prostředí Visual Studio 2019.

8.1 Arduino IDE

Arduino IDE je vývojové prostředí pro mikrokontroléry Arduino. Zkratka IDE je z anglického integrated development environment, což znamená integrované vývojové prostředí. Arduino IDE je napsané v jazyce Java, proto je dostupné na všech platformách, kde je Java dostupná. Z toho vyplývá, že Arduino IDE je dostupné jak na Windows, Linux tak i macOS (Kozina, 2015).

Pro Windows je možné stáhnout buď instalátor, nebo komprimovaný ZIP soubor, ze kterého poté lze vybrat instalační soubor. Z něj se pak instaluje samotné vývojové prostředí. Pro Linux a macOS se také stáhne komprimovaný ZIP soubor (Arduino, nedatováno).

Syntaxe jazyka pro programování mikrokontrolérů Arduino je obdobná jako u jazyka C++. Velká výhoda vývojového prostředí Arduino IDE je vysoká dostupnost již hotových knihoven, které mohou usnadnit tvorbu aplikací (Chiptron, 2021). K vytvoření nového projektu stačí zapnout Arduino IDE a hned je vidět náhled prostředí. Ve vývojovém prostředí se zobrazí dvě hlavní části a to `setup()` a `loop()`. Tyto části jsou stěžejní pro správné vytvoření programu. V části `setup()` se definuje například, chování jednotlivých pinů, zapnutí přenosu pro sériovou linku, nebo inicializace vstupních a výstupních periférií. V části `loop()` je definována činnost programu. Programy pro mikrokontroléry Arduino použité v této práci byly napsány ve verzi vývojového prostředí Arduino IDE 1.8.16.

8.2 Visual Studio

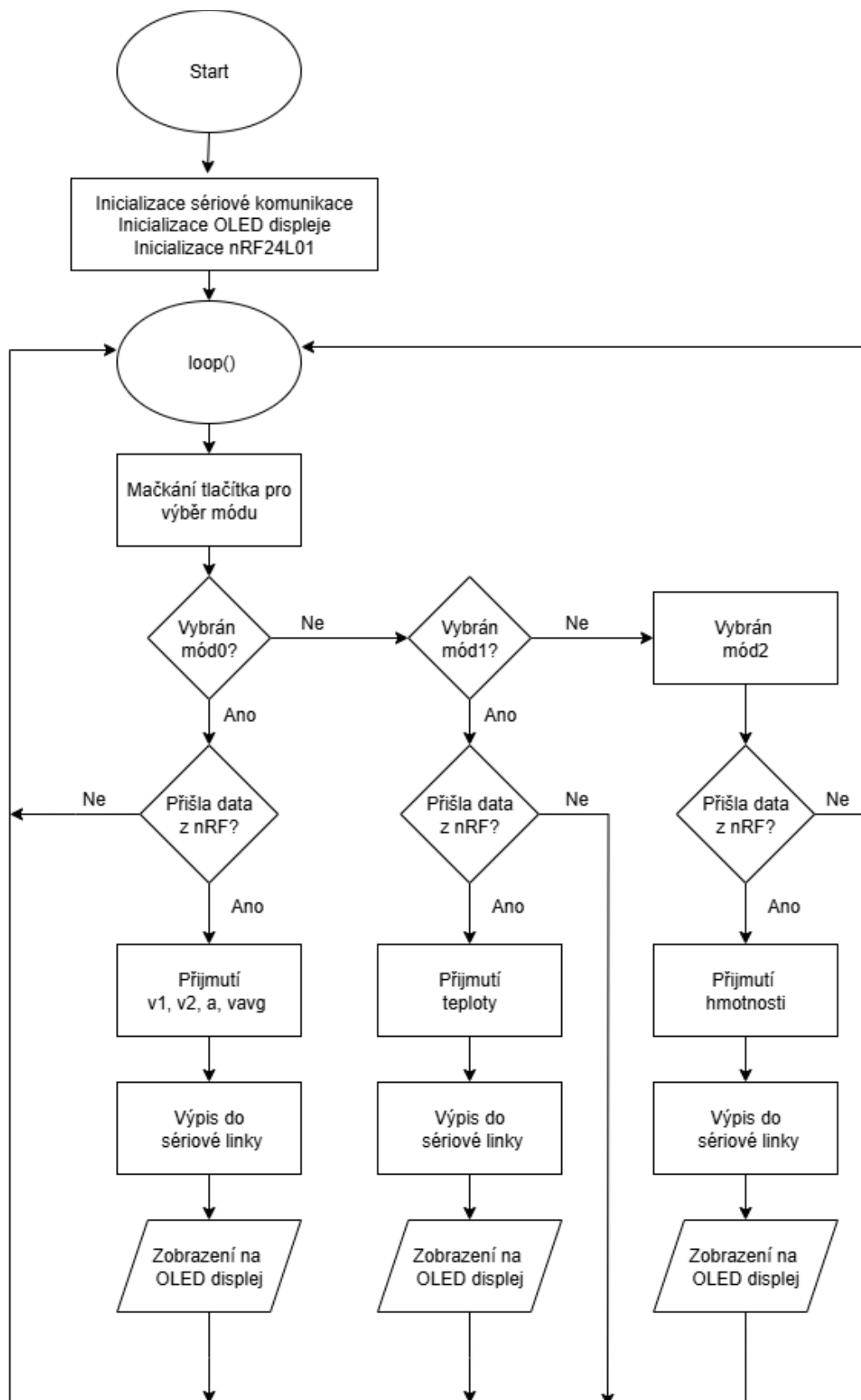
Visual Studio je robustní integrované vývojové prostředí vyvinuté společností Microsoft. Je plné nástrojů pro vytváření aplikací na různých platformách, včetně Windows, Androidu a webu. Podporuje více programovacích jazyků, jako jsou C#, C++, Python a JavaScript, a zároveň zvyšuje produktivitu prostřednictvím funkcí, jako je doplňování kódu IntelliSense a pokročilé možnosti ladění (Stando, nedatováno).

Ve vývojovém prostředí Visual Studio byla vytvořena aplikace Windows Form pomocí jazyka C#. Tato aplikace byla vytvořena vybráním šablony aplikace Windows Forms .NET Framework. Tím bylo vytvořeno grafické uživatelské rozhraní neboli GUI. GUI je prostředek pomocí, kterého komunikuje uživatel s programem pomocí grafických prvků, jako jsou například tlačítka, textová pole nebo panely.

8.3 Vývojové diagramy

Vývojový diagram slouží ke grafickému znázornění jednotlivých kroků algoritmu nebo obecného procesu. Je to grafické znázornění logické struktury řešeného úkolu. Pro multifunkční laboratorní měřicí jednotku bylo nutné vytvořit celkem pět programů, z tohoto důvodu bylo vytvořeno i pět vývojových diagramů. Tedy každý program má svůj vývojový diagram. Vývojové diagramy softwaru multifunkční laboratorní měřicí jednotky byly vytvořeny v online aplikaci diagram.drawio.

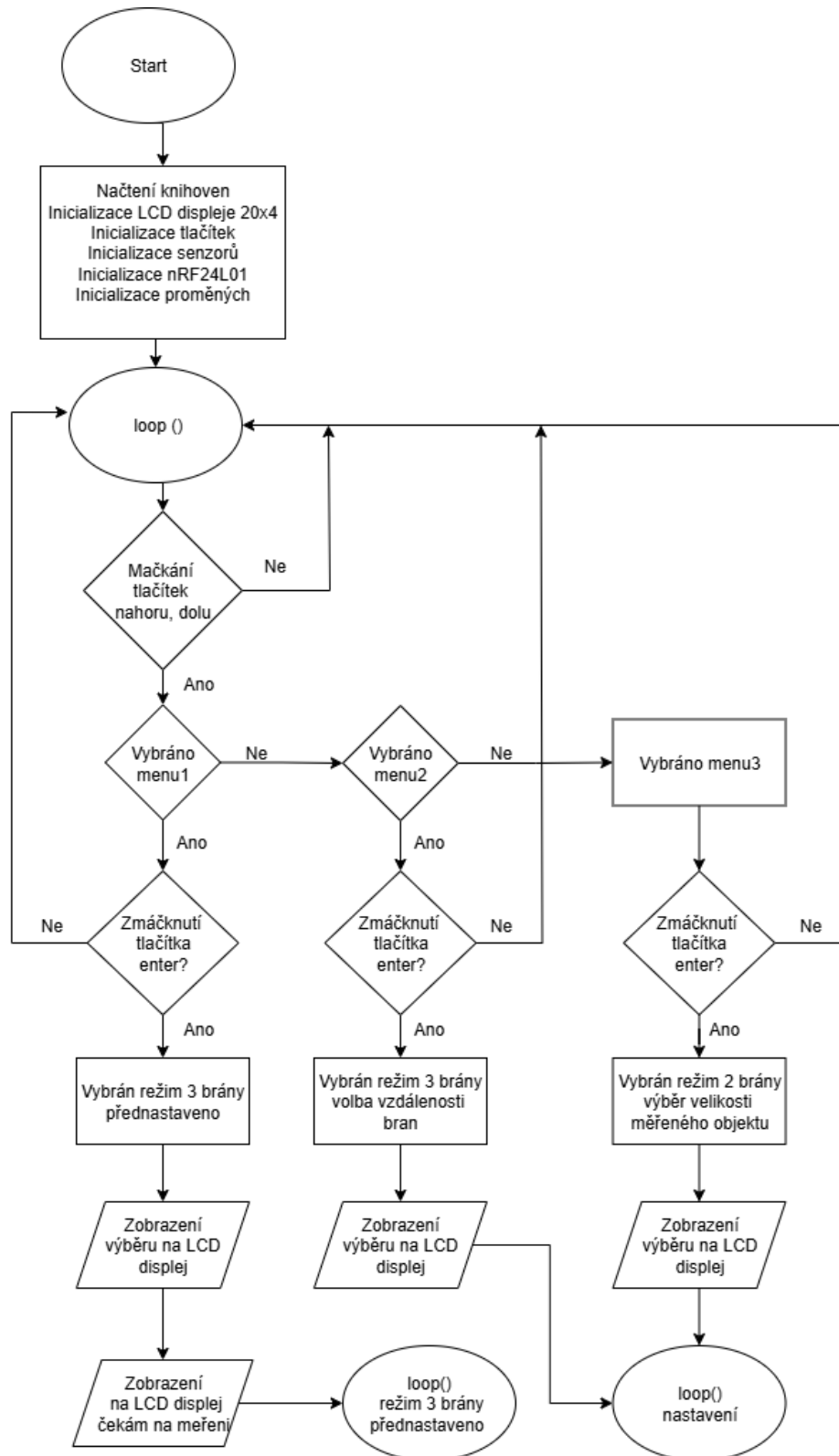
8.3.1 Vývojový diagram jednotky pro příjem naměřených dat



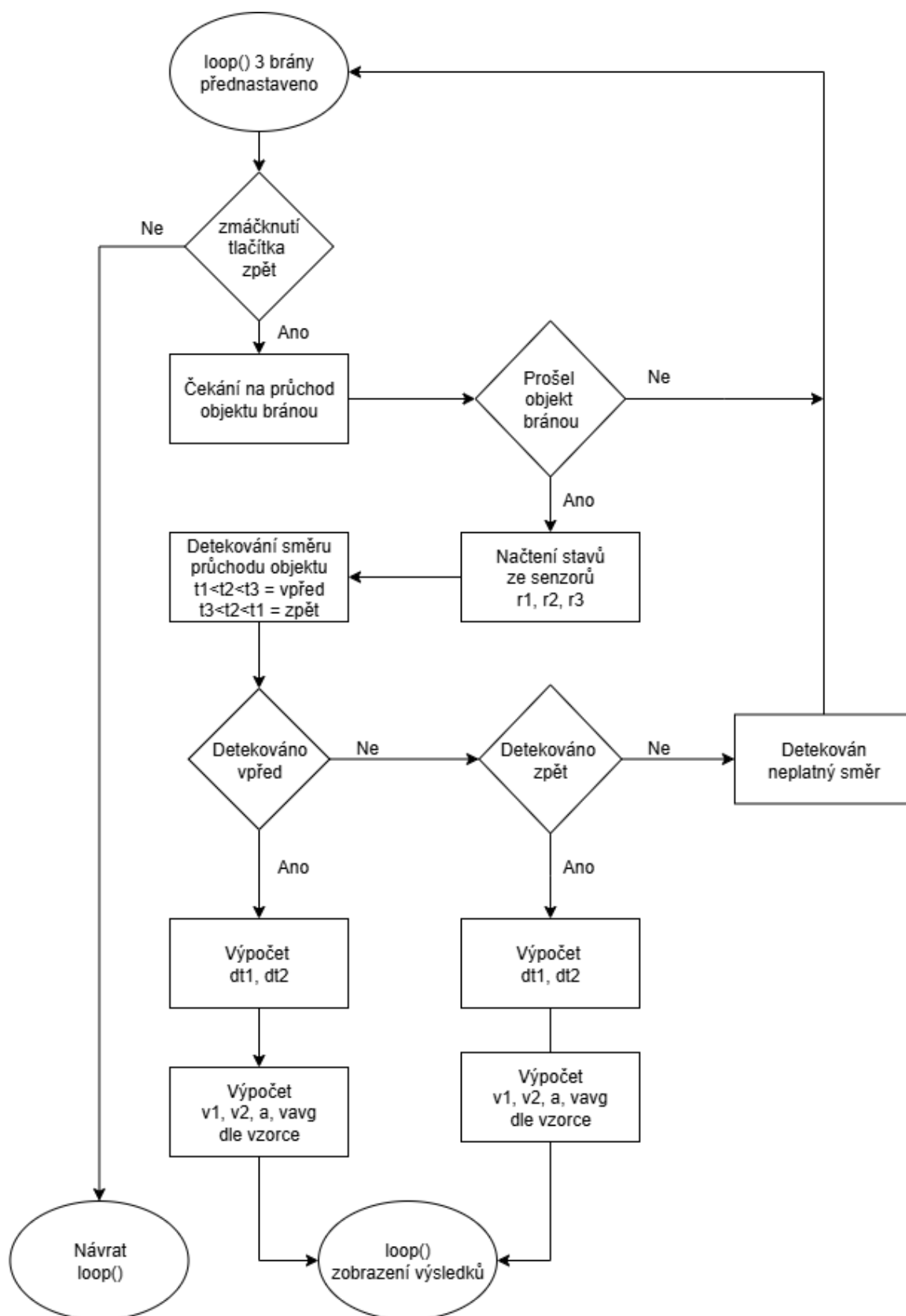
Obr. 29 – Vývojový diagram jednotky pro příjem naměřených dat

8.3.2 Vývojový diagram měření rychlosti a zrychlení optickou bránou

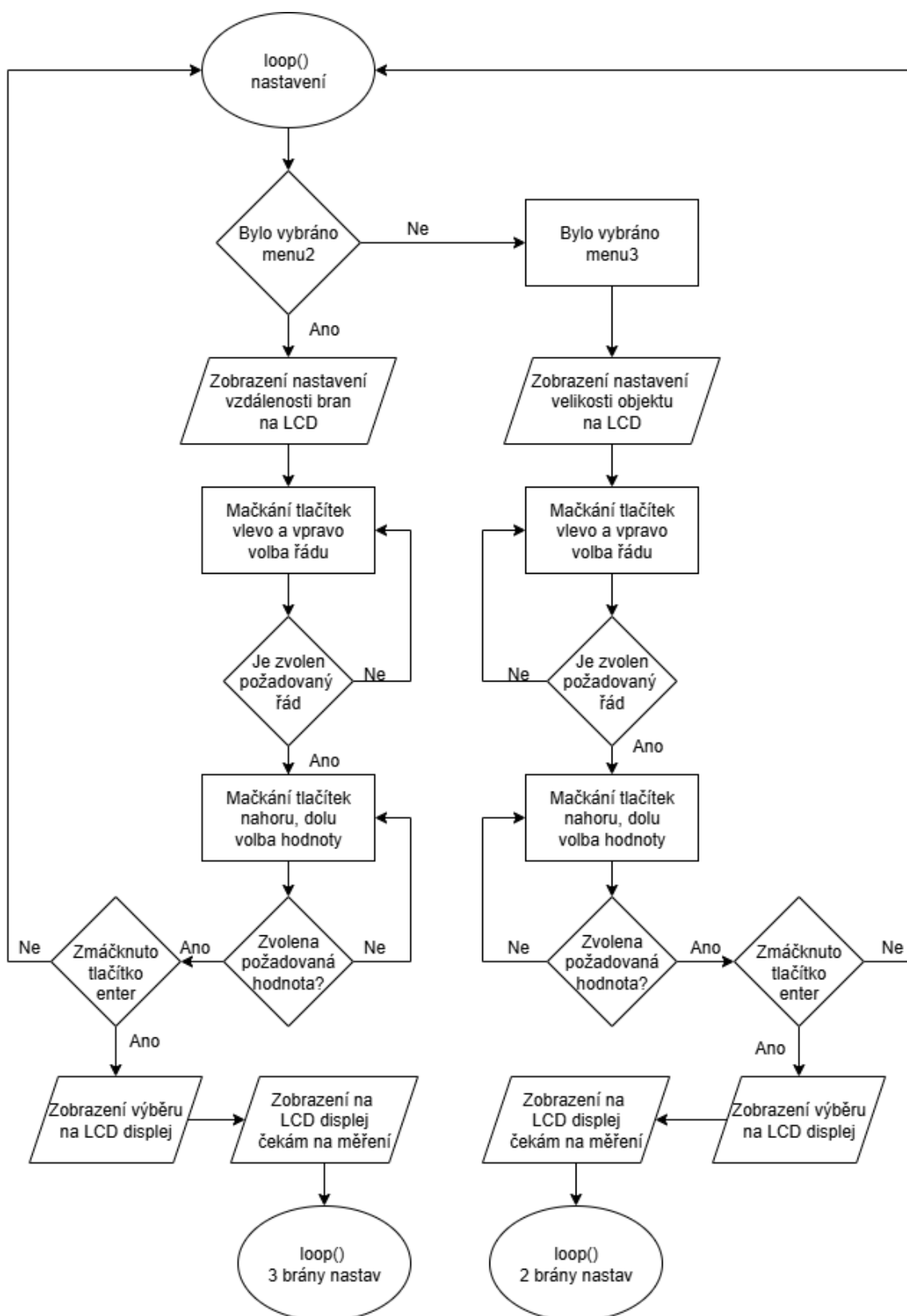
Z důvodu velikosti musel být vývojový diagram měření rychlosti a zrychlení optickou bránou rozdělen na více částí.



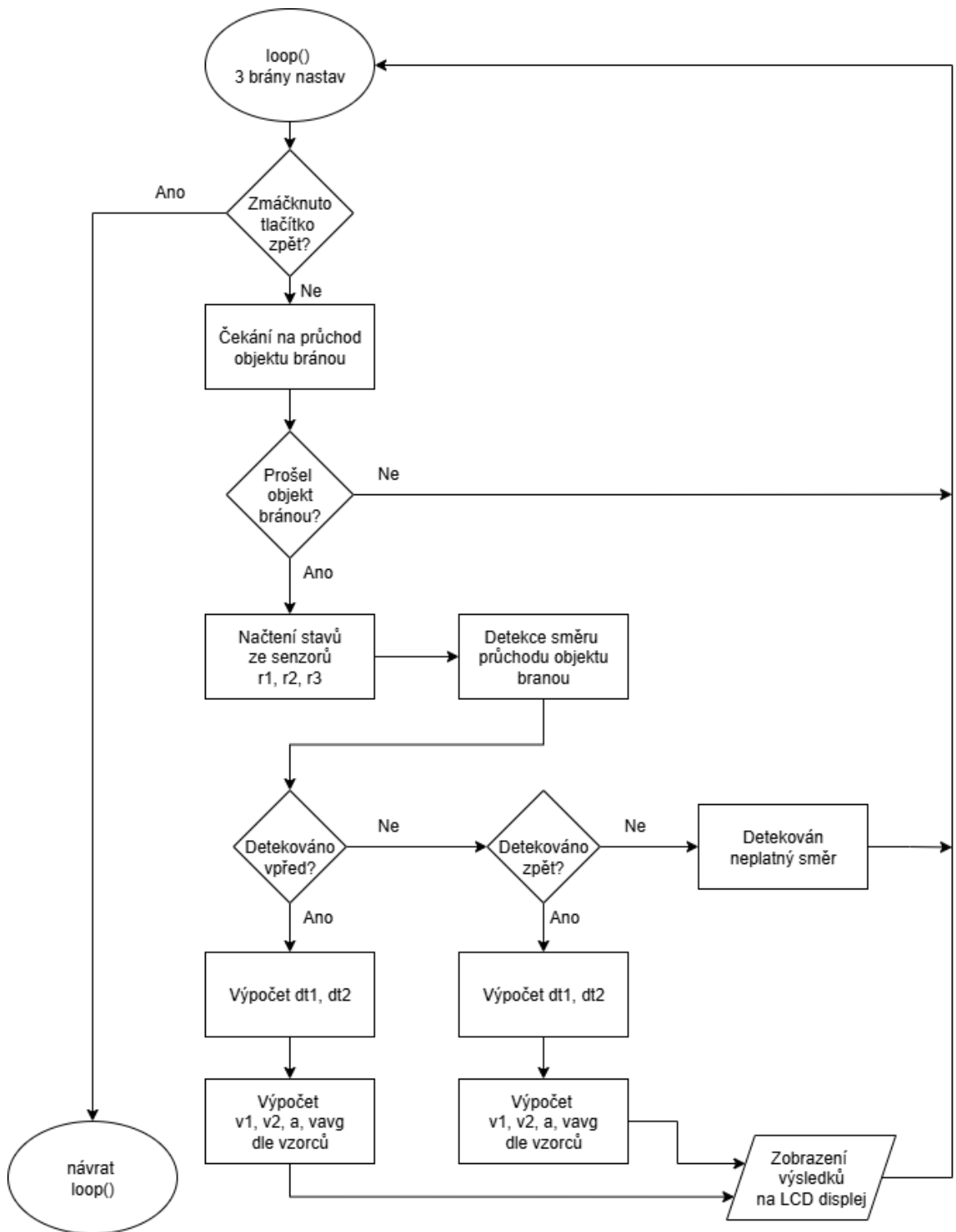
Obr. 30 – Vývojový diagram měření rychlosti a zrychlení optickou bránou loop()



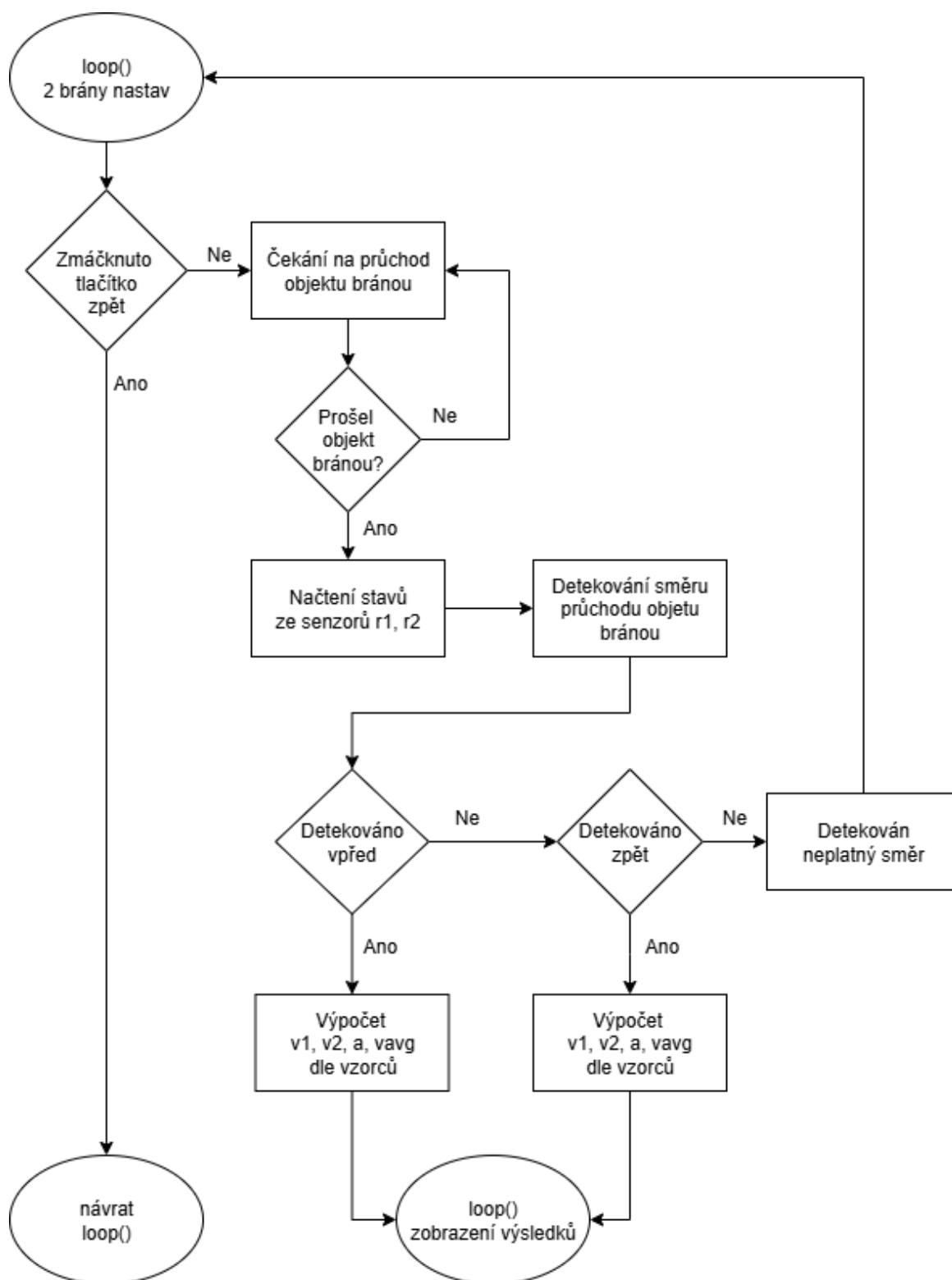
Obr. 31 – Vývojový diagram měření rychlosti a zrychlení optickou bránou loop() 3 brány přednastaveno



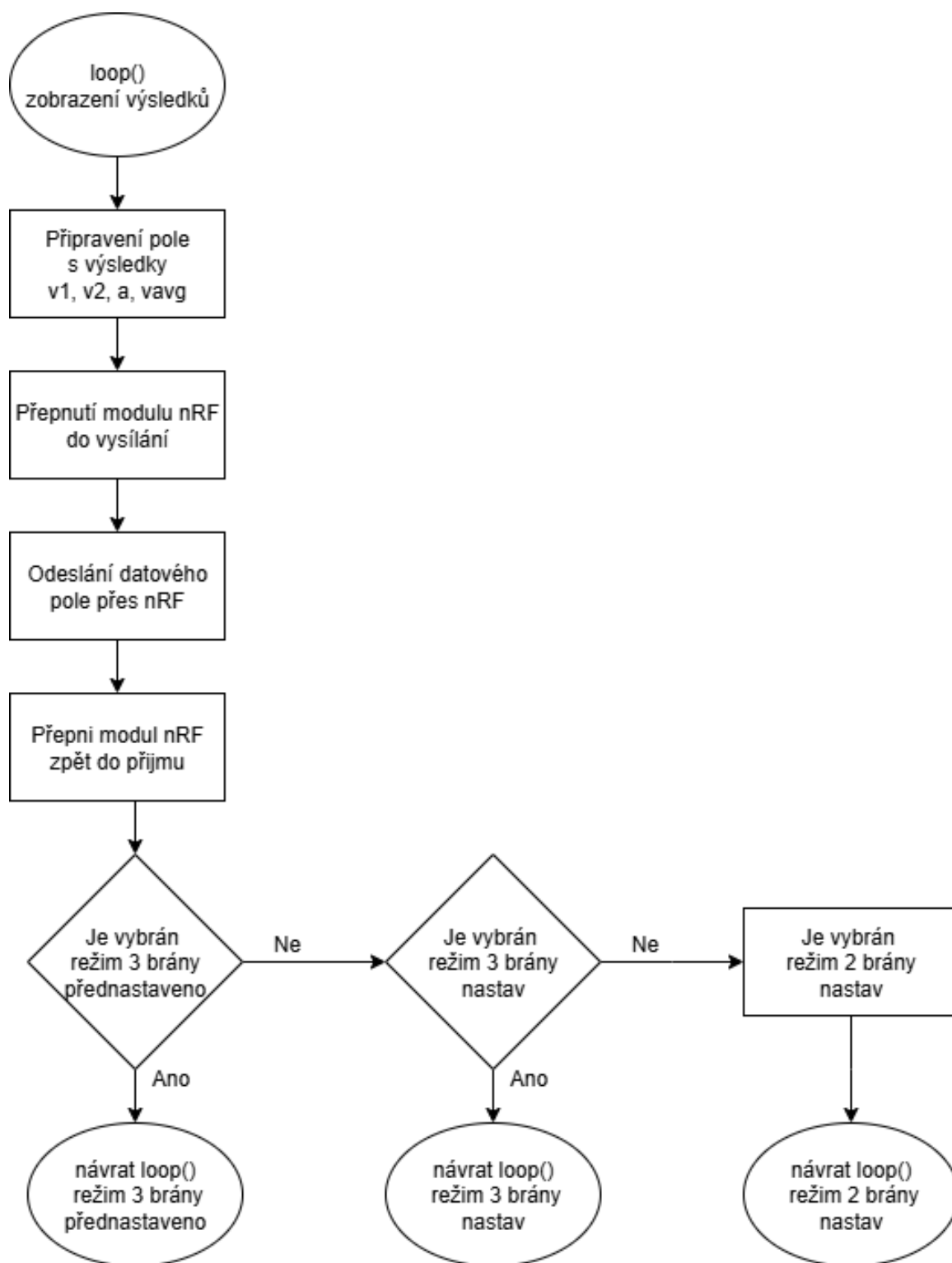
Obr. 32 – Vývojový diagram měření rychlosti a zrychlení optickou bránou loop() nastavení



Obr. 33 – Vývojový diagram měření rychlosti a zrychlení optickou bránou loop() 3 brány nastav

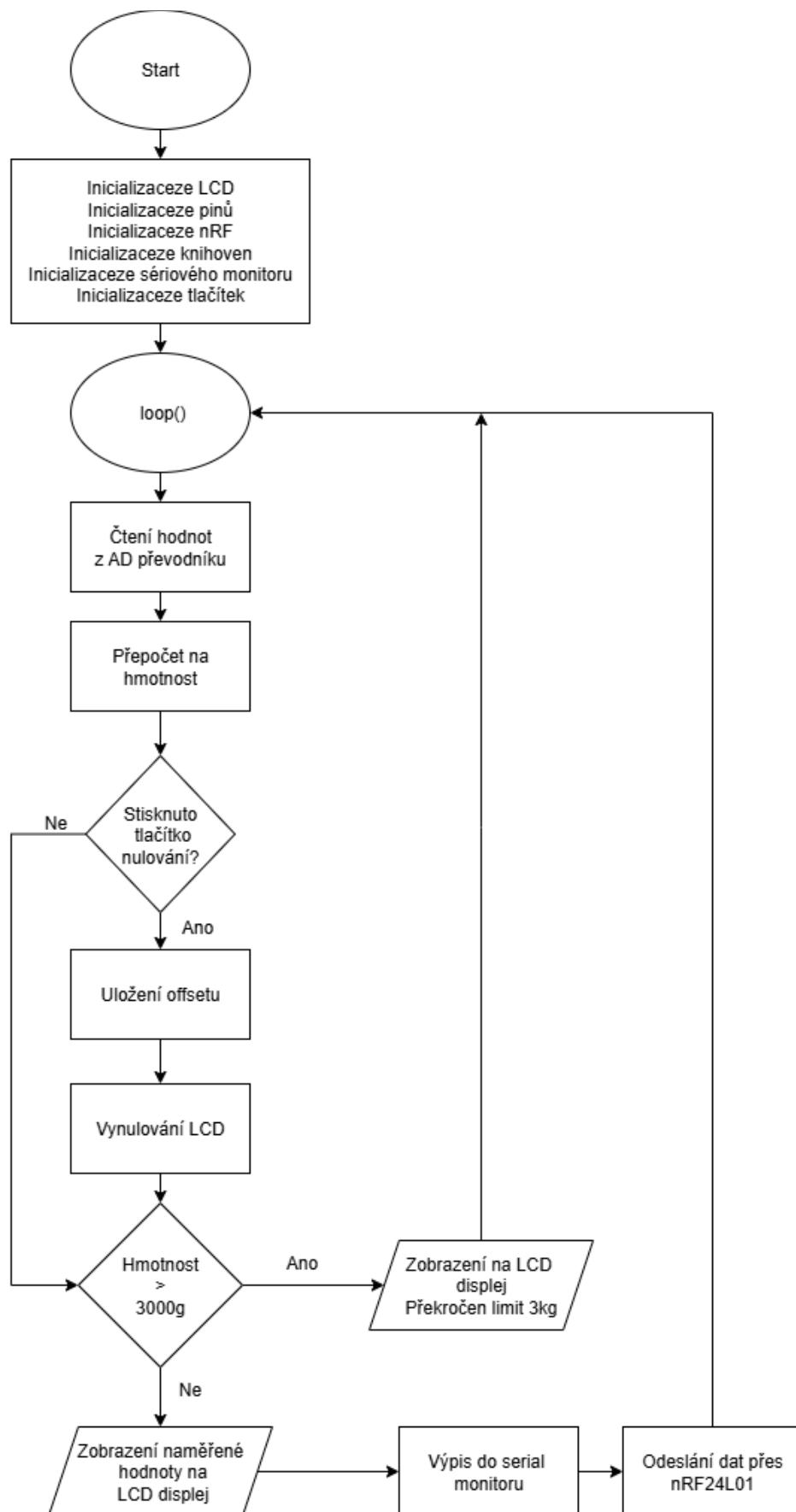


Obr. 34 – Vývojový diagram měření rychlosti a zrychlení optickou bránou loop() 2 brány nastav



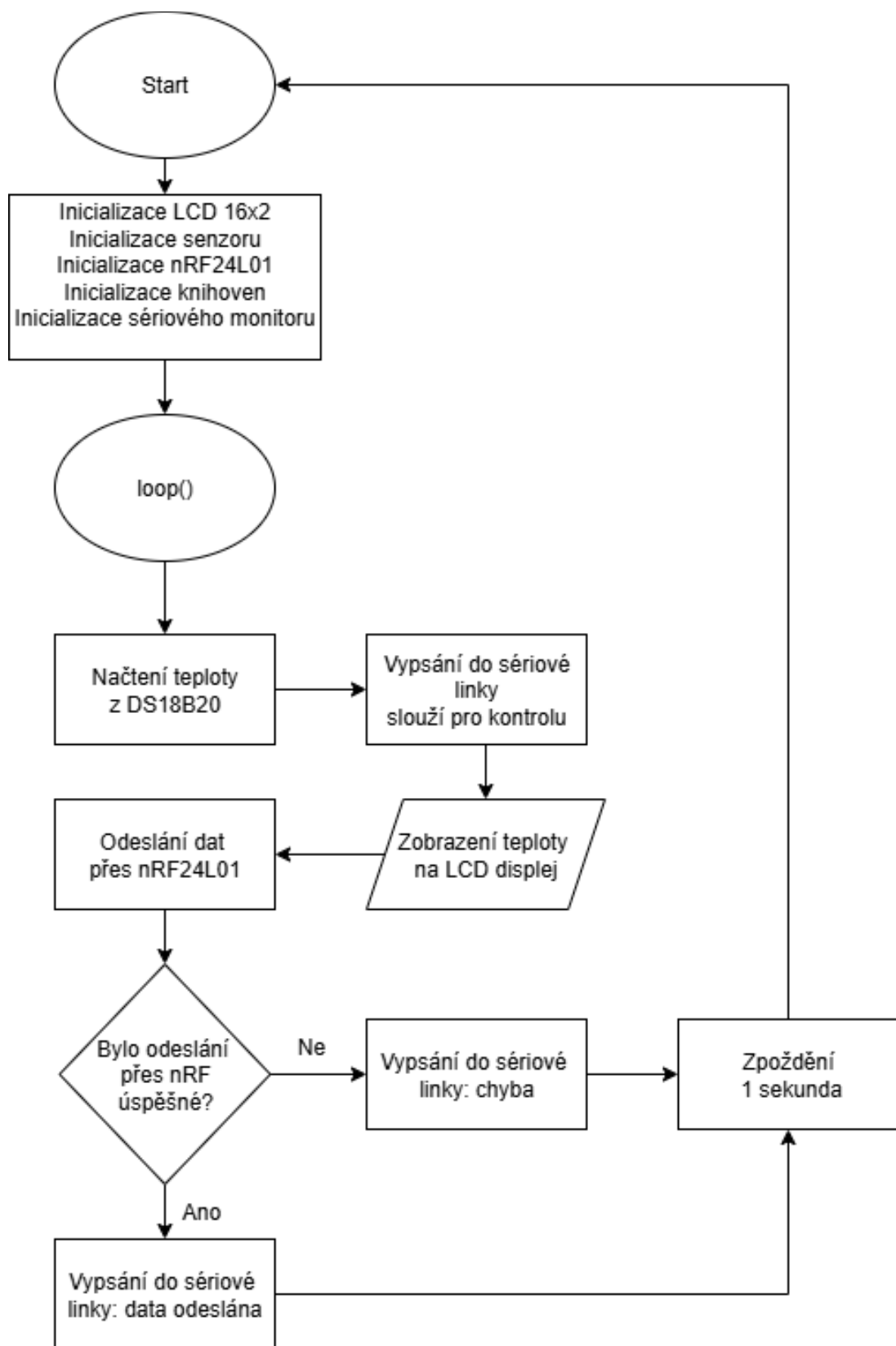
Obr. 35 – Vývojový diagram měření rychlosti a zrychlení optickou bránou loop() zobrazení výsledků

8.3.3 Vývojový diagram měření hmotnosti



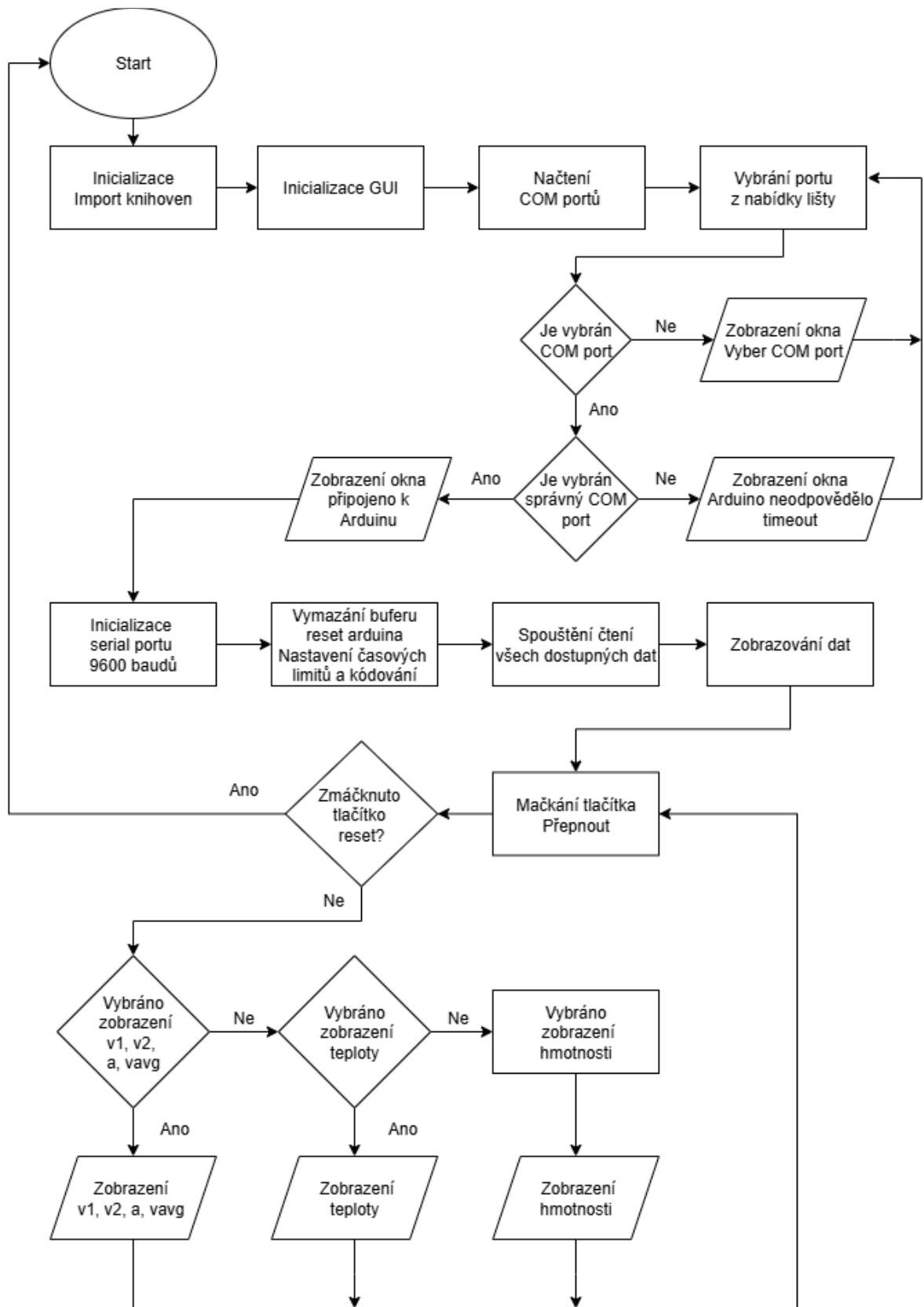
Obr. 36 – Vývojový diagram měření hmotnosti

8.3.4 Vývojový diagram měření teploty



Obr. 37 – Vývojový diagram měření teploty

8.3.5 Vývojový diagram formulářové aplikace



Obr. 38 – Vývojový diagram formulářové aplikace

8.4 Popis programů

8.4.1 Program jednotky pro příjem naměřených dat

Tento program je určen pro mikrokontrolér Arduino, který funguje jako bezdrátový přijímač dat z jednoho ze tří různých vysílačů. Přijímá data pomocí modulu nRF24L01, zpracovává je a zobrazuje na OLED displeji. Uživatel může přepínat mezi třemi režimy zobrazení pomocí tlačítka. Zároveň jsou přijatá data odesílána do počítače přes sériovou linku. Před částmi setup() a loop() se definují jména pinů, které se budou využívat. Jsou načteny použité externí knihovny. Také lze definovat proměnné, které se budou vztahovat na celý program.

Na začátku programu byly načteny tři externí knihovny. Byly to knihovny SPI.h, RF24.h a U8glib.h. SPI.h, které přidají podporu SPI do programu. Ta je potřeba z důvodu, že modul nRF24L01 používá SPI k přenosu dat s Arduinem. Knihovna RF24.h se stará o komunikaci s bezdrátovým modulem nRF24L01. Tato knihovna obsahuje funkce pro inicializaci rádia, nastavení kanálu, adres, výkonu, čtení a zápisu dat. Knihovna U8glib.h umožňuje ovládat OLED displej a vykreslovat na něj text. Také jsou na začátku definovány I/O piny jak pro tlačítko tak i pro nRF24L01, kde pin CE aktivuje vysílání a příjem dat a pin CS určuje, kdy SPI komunikuje s modulem nRF24L01. Tlačítko je jednoduchá ale problematická součástka, protože nestačí přivést na pin hodnotu jen při stisku tlačítka, je potřeba, aby byla neustále definována hodnota buď logická 1, nebo 0 na pinu, kde je tlačítko připojeno. Tyto dvě možnosti se nazývají INPUT (pull down) a INPUT_PULLUP (pull up). Při použití režimu INPUT (pull down) je nutné připojit externí rezistor mezi vybraný pin a GND s hodnotou v řádech kΩ. Tento pin je pak permanentně připojen k zemi přes velký odpor a je na něm logická 0. Použití režimu INPUT_PULLUP (pull up) je jednodušší. Tlačítko se připojí jen mezi pin Arduina a GND a uvnitř procesoru Arduina se připojí k pinu interní pull-up rezistor, který na pin přivádí přes velký odpor logickou 1 (Doškář, nedatováno).

V této práci byl využit režim INPUT_PULLUP (pull up). Při stisknutí tlačítka nedochází jen k jednorázovému sepnutí kontaktu, ale dochází k několikanásobnému sepnutí a rozepnutí. Dochází tedy k mechanickému kmitání. Výsledek je takový, jako by bylo tlačítko stisknuto několikrát za sebou. Tento problém lze vyřešit buď řešit úpravou zapojení, nebo úpravou programu. V tomto případě byl použit princip programového řešení. Funguje to tak, že program po změně hodnoty signálu po určitou dobu na další změny nereaguje. Tento čas se musí zvolit delší, než je přechodový děj tlačítka tedy doba zákmitu. Doba zákmitu je závislá

na mechanickém provedení tlačítka a nejjednodušeji jde určit experimentálně (Locker, 2014). Čas, po který nebude program reagovat na další stisk tlačítka, byl zvolen na 300 milisekund.

Na začátku programu jsou definovány adresy pro tři různé vysílače, které budou komunikovat s přijímačem přes nRF24L01. "RYCH1 " pro vysílač, který posílá rychlosti a zrychlení. "TEMP1 " pro vysílač, který posílá teplotu. "HMOT1" pro vysílač, který posílá hmotnost. Dále jsou vytvářeny proměnné pro uložení přijatých měřených dat z různých vysílačů.

```
#include <SPI.h>
#include "RF24.h"
#include <U8glib.h>

// OLED displej
U8GLIB_SSD1306_128X64 mujOled(U8G_I2C_OPT_NONE);

// nRF24L01
#define CE 7
#define CS 8
RF24 radio(CE, CS);

// Adresy tří vysílačů
byte adresaRychlosti[] = "RYCH1";
byte adresaTeplota[] = "TEMP1";
byte adresaHmotnost[] = "HMOT1";

// Tlačítko
#define BUTTON_PIN 2
volatile int mode = 0;
unsigned long lastPress = 0;
const unsigned long debounce = 300;

// Data
float v1 = 0, v2 = 0, a = 0, v_avg = 0;
float T = 0;
float m = 0;
```

Obr. 39 – začátek programu pro příjem dat – načtení knihoven, definice pinů, nastavení tlačítka, vytvoření proměnných

Funkce setup() je přípravná a provádí se jen jednou na začátku programu. Ve funkci setup dochází k inicializaci sériové komunikace s rychlostí 9600 Bd, nastavení vstupu pro tlačítko a aktivaci přerušování na jeho stisk, spuštění nRF24L01, nastavení přijímací adresy

podle aktuálního režimu a vypsání textu „READY“ přes sériovou linku, což může sloužit k synchronizaci s PC.

```
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(BUTTON_PIN, INPUT_PULLUP);
  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(BUTTON_PIN), zmenMod, FALLING);

  radio.begin();
  radio.setPALevel(RF24_PA_LOW);
  radio.setChannel(76);

  nastavPrijem();
  radio.startListening();

  Serial.println("READY");
}
```

Obr. 40 – setup programu pro příjem dat

Další část programu je funkce loop(), ta obsahuje programový kód, který se opakovaně provádí v nekonečné smyčce. V hlavní smyčce loop() se sledují příchozí data z USB serial tedy z počítače a reaguje se na příkaz pro přepnutí režimu. Serial.available() zjišťuje, jestli ve vstupním bufferu sériového portu jsou nějaká data a vrací počet znaků, které čekají na přečtení.

Serial.read() přečte první znak z bufferu a uloží ho do proměnné. Pokud je přijatý znak 'M', zavolá funkci zmenMod(), která přepne režim zobrazení a příjmu. Program se přepne na další režim, úplně stejně jako kdyby bylo stisknuto tlačítko. To je výhodné pro dálkové ovládání programu z PC.

```
void loop() {
  if (Serial.available()) {
    char prikaz = Serial.read();
    if (prikaz == 'M') {
      zmenMod();
    }
  }
}
```

Obr. 41 – loop() programu pro příjem dat – změna režimu

Další část funkce loop() se spustí jen tehdy, když má modul nRF24L01 připravený přijatý paket. Pokud ne, tato část se přeskočí. Pokud je paket dostupný tak v režimu 0 se přijmou 4 hodnoty, a to dvě rychlosti, zrychlení a průměrná rychlost. V režimu 1 se přijme teplota a v režimu 2 se přijme hmotnost. Data jsou uložena do proměnných a zároveň odeslána přes

sériový port do PC. Na obrázku 42 je režim 0 pro příjem naměřené rychlosti a zrychlení, režimy pro přijetí hmotnosti a teploty vypadají obdobně.

```
if (radio.available()) {
  if (mode == 0) {
    float prijataData[4];
    radio.read(&prijataData, sizeof(prijataData));
    v1 = prijataData[0];
    v2 = prijataData[1];
    a = prijataData[2];
    v_avg = prijataData[3];

    Serial.print("v:");
    Serial.print(v1, 2); Serial.print(",");
    Serial.print(v2, 2); Serial.print(",");
    Serial.print(a, 2); Serial.print(",");
    Serial.println(v_avg, 2);
  }
}
```

Obr. 42 – loop() programu pro příjem dat – režimu 0

V další části je funkce pro přepínání režimu pomocí tlačítka s jednoduchým odrušením. Porovnává čas od posledního stisku s nastavenou prodlevou. Zabrání vícenásobnému přepnutí při jednom stisku z důvodu chvění kontaktů. Také se přeladí rádiová komunikace nastavPrijem() zavolá funkci, která přepne adresu nRF24L01 podle nového režimu.

```
void zmenMod() {
  unsigned long aktualniCas = millis();
  if (aktualniCas - lastPress > debounce) {
    mode = (mode + 1) % 3;
    nastavPrijem();
    lastPress = aktualniCas;
  }
}
```

Obr. 43 – loop() programu pro příjem dat – volba režimu tlačítkem

V další části je funkce, která nastavuje přijímací adresu modulu nRF24L01 podle aktuálního režimu, aby přijímač poslouchal správný vysílač. Radio.stopListening() přepne rádiový přijímač do nepřijímacího režimu to je potřeba, protože změna nastavení nejde provést, když modul přijímá data.

```

void nastavPrijem() {
    radio.stopListening();
    if (mode == 0) {
        radio.openReadingPipe(1, adresaRychlosti);
    } else if (mode == 1) {
        radio.openReadingPipe(1, adresaTeplota);
    } else if (mode == 2) {
        radio.openReadingPipe(1, adresaHmotnost);
    }
    radio.startListening();
}

```

Obr. 44 – loop() programu pro příjem dat – nastavení přijímací adresy

V poslední části je funkce, která vykresluje na OLED aktuální naměřené hodnoty podle toho, v jakém je přijímač režimu. Knihovna U8glib využívá tzv. stránkový režim, takže vykreslování probíhá cyklicky. Na obrázku 45 je část programu pro vykreslení teploty, části programu pro vykreslení rychlosti, zrychlení jsou obdobné.

```

} else if (mode == 1) {
    mujOled.setPrintPos(0, 30);
    mujOled.print("Teplota: "); mujOled.print(T, 2); mujOled.print(" C");
}

```

Obr. 45 – loop() programu pro příjem dat – vykreslení teploty na OLED

8.4.2 Program pro měření rychlosti a zrychlení optickou bránou

Tento program je aplikace pro měření rychlosti a zrychlení pomocí optických bran tedy pomocí IR senzorů, zobrazení výsledků na LCD displeji 20×4 a současné odesílání dat přes nRF24L01 do jiného zařízení. Je navržen jako měřicí systém s menu a třemi režimy měření, ovládaný šesti tlačítky.

Na začátku tohoto programu jsou také načteny externí knihovny. Oproti minulému programu je rozdíl v tom, že místo knihovny pro OLED displej jsou použity knihovny LiquidCrystal_I2C.h pro ovládání LCD displejů přes I²C rozhraní a knihovna Wire.h pro I²C sběrnici. Dále je definováno celkem šest pinů pro tlačítka, která slouží pro ovládání menu a nastavování hodnot. Také jsou definovány tři piny pro IR senzory, které slouží jako snímače optické brány. Dále se definují položky hlavního menu, které se budou zobrazovat na LCD, a mezi kterými se přepíná tlačítky. Položky hlavního menu jsou režim "3 brany 10cm", který měří s pevnou roztečí 10 cm mezi všemi třemi branami, režim "3 brany nastav", kde uživatel zadá vlastní vzdálenost mezi branami a režim "2 brany nastav", kde se měří se dvěma branami

a uživatel zadá délku měřeného objektu. V menu se podle proměnné menuIndex vybere řádek, který se má na LCD zobrazit jako aktuálně vybraný se znakem > před ním. Dále se v programu určuje aktuálně vybraná položka menu. Na začátku je 0, což znamená první položka "3 brány 10cm".

```
int menuIndex = 0;
const int menuSize = sizeof(options) / sizeof(options[0]);
int currentMode = 0;
bool inSelection = false;
```

Obr. 46 – Určení aktuálně vybrané položky menu

Program řeší detekci stisku tlačítka tak, aby zareagoval jen jednou na jedno fyzické stisknutí, i když je tlačítko podržené. Výhodou je, že není třeba složitě odstraňovat zámkity v kódu. Tato přechodová logika to z velké části řeší, hlavně při rozumném zpoždění ve smyčce.

```
// Stav tlačítek
bool upLast = HIGH, downLast = HIGH, leftLast = HIGH, rightLast = HIGH, enterLast = HIGH, backLast = HIGH;
bool wasPressed(bool current, bool &last) {
    bool pressed = (current == LOW && last == HIGH);
    last = current;
    return pressed;
}
```

Obr. 47 – Stav tlačítek

Dále je nastaven float parameter, který slouží jako univerzální proměnná pro zadávaný parametr měření. Závisí na zvoleném režimu. V režimech 3 brány určuje vzdálenost mezi branami a v režimu 2 brány délku měřeného objektu v metrech. Bool rezim1_initialized = false a bool rezim2_initialized = false určují, zda uživatel zadáním parametrů dokončil inicializaci režimu. Při prvním vstupu do režimu jsou false a spustí se editor parametrů. Po zadání hodnoty se nastaví na true, aby se editor znovu neotevíral při každém cyklu smyčky. Po návratu zpět do menu se nastaví zpět na false.

```
// Globální parametry
float parameter = 0.1;
bool rezim1_initialized = false;
bool rezim2_initialized = false;
```

Obr. 48 – Globální parametry

Ve funkci setup() se provádí jednorázová inicializace celého měřicího systému. Je spuštěna I²C komunikace a nastaven LCD displej do výchozího stavu. Všechna tlačítka jsou definována jako vstupy s aktivovaným vnitřním pull-up rezistorem. Nastavení pinů pro senzory využívá stejný princip jako u tlačítek tedy vstup s pull-up rezistorem. Je inicializován modul nRF24L01.

```

pinMode (SENSOR1_PIN, INPUT_PULLUP);
pinMode (SENSOR2_PIN, INPUT_PULLUP);
pinMode (SENSOR3_PIN, INPUT_PULLUP);

nRF.begin();
nRF.setPALevel (RF24_PA_HIGH);
nRF.openWritingPipe (adresaVysilac);
nRF.openReadingPipe (1, adresaPrijimac);
nRF.startListening();

```

Obr. 49 – Nastavení pinů a inicializace nRF24L01

Na LCD je vykresleno hlavní menu se seznamem režimů. Funkce displayMenu() zobrazuje na LCD displeji seznam dostupných režimů měření. Aktuálně vybraná položka je označena znakem „>“ na začátku řádku. Procházení a výběr položek zajišťují tlačítka.

```

void displayMenu() {
  lcd.clear();
  for (int i = 0; i < menuSize; i++) {
    lcd.setCursor(0, i);
    lcd.print(i == menuIndex ? "> " : " ");
    lcd.print(options[i]);
  }
}

```

Obr. 50 – Výběr v hlavním menu

Ve funkci loop() jsou načteny stavy všech tlačítek a jsou řešeny dva stavy aplikace, a to pohyb v menu a volání zvoleného režimu měření. V pohybu v menu UP posune výběr o řádek nahoru, DOWN posune výběr o řádek dolů. ENTER přepne z menu do režimu měření a u režimů 1 a 2, které mají nastavení parametrů, vynuluje proměnné rezim1_initialized/rezim2_initialized, aby se po vstupu otevřel editor hodnot.

```

if (!inSelection) {
    if (wasPressed(up, upLast) && menuIndex > 0) {
        menuIndex--; displayMenu();
    }
    if (wasPressed(down, downLast) && menuIndex < menuSize - 1) {
        menuIndex++; displayMenu();
    }
    if (wasPressed(enter, enterLast)) {
        inSelection = true;
        currentMode = menuIndex;
        lcd.clear(); lcd.setCursor(0, 0);
        lcd.print("Mod: "); lcd.print(options[currentMode]);
        delay(800); lcd.clear();

        // Reset příznaků režimů
        if (currentMode == 1) rezim1_initialized = false;
        if (currentMode == 2) rezim2_initialized = false;
    }
}

```

Obr. 51 – Výběr v menu

Ve volání zvoleného režimu měření se volá vždy jedna z funkcí, a to `rezim_3_brany_10cm()`, `rezim_3_brany_nastav()`, nebo `rezim_2_brany_nastav()`. Tlačítko ZPĚT kdykoli ukončí režim a vrátí menu.

```

} else {
    switch (currentMode) {
        case 0: rezim_3_brany_10cm(); break;
        case 1: rezim_3_brany_nastav(); break;
        case 2: rezim_2_brany_nastav(); break;
    }

    if (wasPressed(back, backLast)) {
        inSelection = false;
        lcd.clear(); lcd.setCursor(0, 0); lcd.print("Zpet do menu...");
        delay(800); displayMenu();
    }
}

```

Obr. 52 – Volené režimy

Další částí programu je funkce pro režim 3 brány s pevnou roztečí. Režim „3 brány 10 cm“ detekuje první náběžnou hranu na každé z bran a uloží její čas t_1 , t_2 a t_3 . Po zachycení všech tří bran určí směr pohybu podle pořadí časů. Rychlosti mezi sousedními bránami se vypočítají jako $v = d/\Delta t$ pro pevnou roztečí $d = 0.10$ m a zrychlení jako $a = (v_2 - v_1)/\Delta T$, kde ΔT je čas mezi první a poslední bránou. Na začátku této části jsou připraveny stavové proměnné t_1 , t_2 a t_3 uchovávají čas (v μs) prvního dotyku objektu s každou bránou. S_1 , s_2 a s_3 říkají,

že už byla daná brána přerušena. Také je zobrazen na LCD nápis „Cekam na mereni...“. Nápis se zobrazí jen jednou po vstupu do režimu.

```
void rezim_3_brany_10cm() {
    static unsigned long t1, t2, t3;
    static bool s1, s2, s3;
    static bool resultShown = false;
    static bool displayed = false;

    if (!displayed) {
        lcd.clear();
        lcd.setCursor(0, 1); lcd.print("Cekam na mereni...");
        displayed = true;
    }
}
```

Obr. 53 – Začátek části programu režimu 3 brány s pevnou roztečí a vypsání na LCD displej

Následuje čtení vstupů bran. HIGH je volno a LOW je přerušeno. Při průchodu se vezme první okamžik zakrytí hrana z HIGH na LOW.

```
int r1 = digitalRead(SENSOR1_PIN);
int r2 = digitalRead(SENSOR2_PIN);
int r3 = digitalRead(SENSOR3_PIN);

if (!s1 && r1 == LOW) { t1 = micros(); s1 = true; resultShown = false; }
if (!s2 && r2 == LOW) { t2 = micros(); s2 = true; }
if (!s3 && r3 == LOW) { t3 = micros(); s3 = true; }
```

Obr. 54 – Načtení stavů ze senzorů

Jakmile jsou všechny tři zachycené a je nastavena pevná vzdálenost $d = 0.10$ m, tak se určí směr průchodu tělesa podle pořadí časů podle $t1 < t2 < t3$. Poté je vypočítána rychlost a zrychlení dle vzorců.

```
if (t1 < t2 && t2 < t3) {
    // Směr: S1 → S2 → S3 (vpřed)
    float dt1 = (t2 - t1) / 1e6;
    float dt2 = (t3 - t2) / 1e6;
    v1 = d / dt1;
    v2 = d / dt2;
    a = (v2 - v1) / ((t3 - t1) / 1e6);
}
```

Obr. 55 – Určení směru průchodu a výpočet rychlosti a zrychlení

Pro směr průchodu směrem zpět je program obdobný. Výpočet probíhá stejně, jen rychlosti dostanou záporné znaménko. Ještě je možné detekovat neplatný směr, když je

například přeskočeno přerušení prostřední brány. Poté už jsou jen odeslány výsledky do zobrazVysledky(v1, v2, a) a resetuje se s1, s2 a s3 pro další měření.

Režim „3 brány nastav“ je funkčně stejný jako „3 brány 10 cm“, ale vzdálenost d mezi branami se zadává samostatně v editoru. Při prvním vstupu se otevře editor, kde se nastaví rozteč bran ve formátu 000,0 cm.

Režim „2 brány nastavit“ měří dvěma branami a předtím musí být v editoru zadána délka objektu. Rychlosti se pak počítají z doby, po kterou je každá brána zakrytá tedy délka/čas. Program je také obdobný s předchozími možnostmi měření. Nejprve je určen směr průchodu bránou a pak vypočítána rychlost a zrychlení. Na obr. 56 je ukázka pro jeden směr pro druhý směr bude kód obdobný jen se zápornými znamínky.

```
// Směr S1 → S2
if (state == 0) {
    if (s1 == LOW) { t_start1 = micros(); state = 1; }
    else if (s2 == LOW) { t_start2 = micros(); state = 4; } // opačný směr
}

if (state == 1 && s1 == HIGH) { t_end1 = micros(); state = 2; }
if (state == 2 && s2 == LOW) { t_start2 = micros(); state = 3; }
if (state == 3 && s2 == HIGH) {
    t_end2 = micros(); state = 0;

    float v1 = parameter / ((t_end1 - t_start1) / 1e6);
    float v2 = parameter / ((t_end2 - t_start2) / 1e6);
    float deltaT = (t_start2 - t_start1) / 1e6;
    float a = (v2 - v1) / deltaT;

    zobrazVysledky(v1, v2, a);
}
```

Obr. 56 – Režim měření dvěma branami

Další částí programu je číselný editor pro zadání parametru rozteče bran nebo délky objektu.

Char buffer[] = "010,0" je interní textová hodnota v cm s pevnou maskou 000,0. Int cursor = 0 je index aktivní číslice pozice 0 až 4. Pozice 3 je čárka. Na řádek 1 LCD displeje se vytiskne hodnota s kurzorem, každý znak z buffer se obalí mezerou, a na aktuálně vybrané pozici se místo mezer tisknou hranaté závorky. Vybraná hodnota je buď potvrzena nebo je možné se vrátit zpět do menu. Jako první je vykresleno uživatelského rozhraní editoru.

```

void editParameter(const char* title, float* param) {
    char buffer[] = "010,0"; // výchozí hodnota v cm
    int cursor = 0;
    while (true) {
        lcd.clear();
        lcd.setCursor(0, 0); lcd.print(title);
        lcd.setCursor(0, 1);
        for (int i = 0; i < 5; i++) {
            lcd.print(i == cursor ? '[' : ' ');
            lcd.print(buffer[i]);
            lcd.print(i == cursor ? ']' : ' ');
        }
    }
}

```

Obr. 57 – Vykreslení uživatelského rozhraní

Další část kódu zajišťuje pohyb editačního kurzoru v poli bufferu doleva a doprava. S přeskočným desetinné čárky.

```

if (wasPressed(left, leftLast)) {
    if (cursor > 0) {
        cursor--;
        if (cursor == 3) cursor--; // přeskoč čárku
    }
}

if (wasPressed(right, rightLast)) {
    if (cursor < 4) {
        cursor++;
        if (cursor == 3) cursor++; // přeskoč čárku
    }
}

```

Obr. 58 – Část kódu pro pohyb editačního kurzoru v poli bufferu doleva a doprava

Další úsek kódu řeší změnu číslice na aktuální pozici kurzoru, a to dvěma směry nahoru a dolů.

```

if (wasPressed(up, upLast)) {
    if (buffer[cursor] >= '0' && buffer[cursor] <= '9')
        buffer[cursor] = (buffer[cursor] == '9') ? '0' : buffer[cursor] + 1;
}

if (wasPressed(down, downLast)) {
    if (buffer[cursor] >= '0' && buffer[cursor] <= '9')
        buffer[cursor] = (buffer[cursor] == '0') ? '9' : buffer[cursor] - 1;
}

```

Obr. 59 – Změna číslice na aktuální pozici kurzoru směrem nahoru a dolů

Další část programu je stisknutí tlačítka ENTER, které slouží k potvrzení nastavené hodnoty a zobrazení zadaných parametrů na LCD displej.

```
if (wasPressed(enter, enterLast)) {  
    for (int i = 0; i < 5; i++) if (buffer[i] == ',') buffer[i] = '.';  
    *param = atof(buffer) / 100.0;  
    lcd.clear(); lcd.setCursor(0, 0); lcd.print("Zadano: ");  
    lcd.print(*param * 100, 1); lcd.print(" cm");  
}
```

Obr. 60 – Potvrzení nastavení a zobrazení na LCD displej

V poslední části editoru vstupní hodnoty je návrat do hlavního menu a aktualizace stavu tlačítek.

```
if (wasPressed(back, backLast))  
    inSelection = false;  
    rezim1_initialized = false;  
    rezim2_initialized = false;  
    displayMenu();  
    break;
```

Obr. 61 – Návrat do hlavního menu a aktualizace stavu tlačítek

V poslední části tohoto programu je výpočet průměrné rychlosti, zobrazení výsledků na LCD a odeslání dat přes nRF24L01. Naměřená data se uloží do pole čtyř hodnot typu float. StopListening() přepne modul nRF do režimu vysílání, write() odešle všechna čtyři čísla v jednom paketu a startListening() vrátí modul zpět do režimu příjmu.

```
void zobrazVysledky(float v1, float v2, float a) {  
    float v_avg = (v1 + v2) / 2.0;  
  
    lcd.clear();  
    lcd.setCursor(0, 0); lcd.print("v1: "); lcd.print(v1, 2); lcd.print(" m/s");  
    lcd.setCursor(0, 1); lcd.print("v2: "); lcd.print(v2, 2); lcd.print(" m/s");  
    lcd.setCursor(0, 2); lcd.print("a : "); lcd.print(a, 2); lcd.print(" m/s2");  
    lcd.setCursor(0, 3); lcd.print("vavg: "); lcd.print(v_avg, 2); lcd.print(" m/s");  
  
    // Nové 4-float pole  
    float data[4] = {v1, v2, a, v_avg};  
    nRF.stopListening();  
    nRF.write(&data, sizeof(data));  
    nRF.startListening();  
}
```

Obr. 62 – Zobrazení výsledků a odeslání dat přes nRF24L01

8.4.3 Program pro měření hmotnosti

Tento program je určen pro Arduino a zajišťuje měření hmotnosti pomocí převodníku pro váhový senzor HX711. Výsledek zobrazuje na I2C LCD displeji a odesílá data bezdrátově přes RF24L01. Obsahuje také nulovací tlačítko a ochranu proti překročení maximální hmotnosti. Na začátku programu jsou definovány stejné knihovny jako v předchozím programu. Také byly definovány piny pro tlačítko, pro převodník HX711 a nRF24L01. Rovněž byl definován kanál A se zesílením 128.

```
#define KANAL_A_ZESIL_128
```

Obr. 63 – Definování kanálu A

Dále byla definována kalibrační konstanta. Pro vypočítání kalibrační konstanty byl napsán další program.

```
//--- Kalibrace ---  
float K = 0.00227487f; // g na count (~ 1 / 0.00227487 ≈ 439.45 count/g)
```

Obr. 64 – Kalibrační konstanta

V části setup() je inicializován LCD displej, tlačítko v režimu s interním pull-up rezistorem, nRF24L01, sériová komunikace, která sloužila pro kontrolu, a převodník HX711.

```
pinMode(pSCK, OUTPUT);  
pinMode(pDT , INPUT);  
digitalWrite(pSCK, LOW);  
(void)ctiHX(KANAL_A_ZESIL_128); // nastavit kanal
```

Obr. 65 – Inicializace pinů převodníku

V části loop() jsou načtena data z HX711. Funkce avgRaw(4) načte 4 po sobě jdoucí hodnoty z HX711 a zprůměruje je. Tím se odstraní část náhodného šumu.

```
void loop() {  
  // průměr 4 vzorky  
  long raw = avgRaw(4);
```

Obr. 66 – Průměr ze čtyř hodnot

V další části se z dat z převodníku vypočítá finální hmotnost v gramech. Také obsahuje filtr, aby váha byla klidná, ale přitom rychle reagovala na skutečné změny.

```

long upr = raw - offset;

// Dynamické EMA: hranice = skok cca 5 g (v countech podle K)
float stepThreshold = 5.0f / K; // ~ 5 g v countech
float alpha = (fabs((float)upr - upr_f) > stepThreshold) ? 0.8f : 0.25f;
upr_f = ema(upr_f, (float)upr, alpha);

float h_g = upr_f * K;

```

Obr. 67 – Vypočet finální hmotnosti

Další část kódu je ochrana proti přetížení váhy, hmotnost pro ochranu proti přetížení se spočítá z aktuálního měření bez odečtení uživatelského offsetu. Poté je v kódu provedeno nulování tlačítkem a tím udělán offset a také je proveden výpočet s nulovacím offsetem, zobrazení výsledků na LCD displej, odeslání naměřených dat přes nRF24L01 a výpis přes sériový port. V poslední části je bezknižovní čtení dat z převodníku HX711. Smyčka bude postupně ukládat načtených 24 bitů z HX711. Smyčka na obrázku 68 vystaví 24× hodinový impuls na pSCK. Při každém impulsu se na datovém pinu objeví jeden bit měření. Bit se přečte a připojí k dosavadní hodnotě posunem doleva a logickým OR. Po 24 opakováních je načteno celé 24bitové číslo z převodníku.

```

// --- čtení HX711 (24bit + kanál), ---
long ctiHX(byte mod) {
  while (digitalRead(pDT) == HIGH) {} // data-ready (DT LOW)
  long v = 0;
  for (byte i=0;i<24;i++){
    digitalWrite(pSCK, HIGH);
    v = (v<<1) | digitalRead(pDT);
    digitalWrite(pSCK, LOW);
  }
}

```

Obr. 68 – Smyčka pro impulsy na datovém pinu a bity měření

Poté už je jen 24bitové číslo z HX711 doplněno horními bity, aby vzniklo správné 32bitové číslo se znaménkem. HX711 posílá 24bitové číslo, kde nejvyšší bit je znaménkový bit, přičemž 0 je hodnota je kladná a 1 hodnota je záporná. Arduino (long) má ale 32 bitů, takže pokud by bylo uloženo jenom 24 bitů, záporné číslo by se zobrazilo jako kladná hodnota, protože horních 8 bitů zůstane nulových. Nakonec už je jen vrácena výsledná hodnota.

```

}
for (byte i=0;i<mod;i++){ digitalWrite(pSCK,HIGH); digitalWrite(pSCK,LOW); }
if (v & 0x800000L) v |= 0xFF000000L; // sign-extend
return v;

```

Obr. 69 – Doplnění o horní bity

8.4.4 Program pro měření teploty

Tento program měří teplotu pomocí čidla DS18B20, zobrazuje ji na I²C LCD displeji a zároveň ji odesílá bezdrátově pomocí modulu nRF24L01. Nejprve jsou načteny knihovny oproti předchozím programům přibýly knihovny OneWire a DallasTemperature. Knihovna OneWire je potřebná pro komunikaci s čidlem DS18B20, protože používá OneWire protokol. Knihovna DallasTemperature usnadňuje čtení teploty z DS18B20. Poté jsou definovány piny pro DS18B20 a nRF24L01. V části setup() je inicializován displej, nRF24L01 a sériová linka, také je spuštěno čidlo DS18B20. V části loop() je načtena teplota, výpis do sériového monitoru, vypsaní teploty na LCD displej a odeslání přes hodnotu typu float nRF24L01 na Arduino s přijímačem.

```

// Načtení teploty
sensors.requestTemperatures();
float teplota = sensors.getTempCByIndex(0);

```

Obr. 70 – Načtení teploty ze senzoru

8.4.5 Program pro formulářovou aplikaci

Tento program je napsaný v jazyce C#. Je to Windows Forms aplikace, která slouží jako PC rozhraní pro komunikaci s Arduinem přes sériový port. Program umožňuje vybrat a připojit COM port, číst a zpracovávat data z Arduina v reálném čase, přepínat mezi režimy měření a zobrazovat data na obrazovce. Nejprve je definována třída Form1 a deklarována základní pole pro sériovou komunikaci a stav aplikace.

```

Počet odkazů: 3
public partial class Form1 : Form
{
    SerialPort serialPort;
    Thread readThread;
    volatile bool listening;
    volatile bool readyReceived;
    StringBuilder receivedBuffer = new StringBuilder();
    int currentMode = 0;
}

```

Obr. 71 – Struktura a hlavní proměnné

Program obsahuje řadu funkcí. RefreshPorts() je funkce programu, která načte seznam dostupných COM portů a naplní jimi comboBox pro výběr portu. ButtonConnect_Click() je funkce, která vytváří připojení k vybranému COM portu, pokud je port už otevřený, zavře ho a vypne čtecí vlákno, inicializuje nový SerialPort, ovládá DTR signál pro reset Arduina, spustí čtecí vlákno (ReadFromSerial). Po připojení čeká až 3 sekundy na zprávu "READY" od Arduina a pokud Arduino odpoví, tak zobrazí potvrzení, pokud neodpoví, port se zavře a zobrazí chybové hlášení. Další funkce je ReadFromSerial(), ta běží v samostatném vlákně. Tato funkce každých 50 ms čte příchozí data pomocí serialPort.ReadExisting() a ukládá je do receivedBuffer. Pokud ještě nebyla přijata zpráva "READY", kontroluje její přítomnost a pokud "READY" už bylo přijato, zavolá ParseAndDisplay() pro zobrazení dat a poté buffer vymaže.

Další je ParseAndDisplay(string data), ta určí režim měření a vypíše data do labelů. Funkce buttonSwitchMode_Click() pošle přes sériový port znak, který přepne režim měření. Funkce buttonReset_Click() přes DTR signál restartuje Arduino a vymaže zobrazené hodnoty v GUI. Poslední je Form1_FormClosing(), která při zavření aplikace zastaví vlákno čtení a uzavře sériový port.



Obr. 72 – okno Form1 WinForms aplikace – návrhový náhled z Designeru.

9 Uživatelský manuál

Multifunkční laboratorní měřicí jednotka se skládá ze 4 jednotek, a to z jednotky pro příjem naměřených dat, jednotky pro měření rychlosti a zrychlení, jednotky pro měření hmotnosti a jednotky pro měření teploty.

9.1 Uživatelský manuál jednotky pro příjem naměřených dat

K obsluze této jednotky slouží dvě tlačítka, a to tlačítka MENU a RESET. Jednotka je napájena pomocí 9V baterie, kterou lze vyměnit po odšroubování víka.



Obr. 73 – Tlačítka jednotky pro příjem naměřených dat

K zapnutí jednotky slouží přepínač. Po zapnutí jednotky se na displeji objeví $v1$, $v2$, a , $vavg$. Při použití třech optických bran je $v1$ je rychlost mezi prvním a druhým IR snímačem, $v2$ je rychlost mezi druhým a třetím IR snímačem. Na třetím řádku displeje je písmeno a , které značí zrychlení mezi rychlostí $v1$ a $v2$. Na posledním řádku je $vavg$, což je průměrná rychlost. U použití dvou optických bran je to stejné jenom $v1$ je rychlost na prvním snímači, která je vypočítaná z doby, po kterou procházející objekt senzor zakrýval. U rychlosti $v2$ je to obdobné akorát na druhém snímači.



Obr. 74 – Zobrazení naměřených hodnot rychlosti a zrychlení na displeji jednotky pro příjem naměřených dat

Po zmáčknutí tlačítka MENU se na displeji objeví teplota.



Obr. 75 – Zobrazení teploty na displeji jednotky pro příjem naměřených dat

Po dalším zmáčknutí se na displeji objeví hmotnost a po dalším opět rychlosti a zrychlení a takto se to pořád opakuje ve smyčce.



Obr. 76 – Zobrazení hmotnosti na displeji jednotky pro příjem naměřených dat

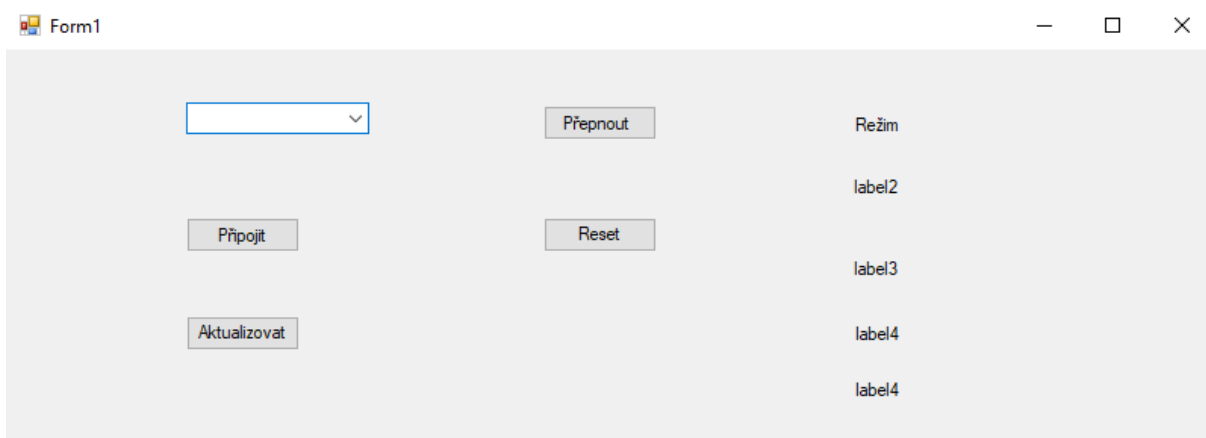
Aby se na displeji zobrazily naměřené hodnoty, je potřeba, aby tyto veličiny byly naměřeny na ostatních jednotkách. Hodnoty jsou pak bezdrátově posílány do jednotky pro příjem naměřených dat. Bezdrátová komunikace probíhá vždy, pokud je jednotka pro příjem dat a jednotka pro měření kterékoliv veličiny také zapnutá. Tlačítko RESET slouží pro restartování jednotky.

Jednotka pro příjem dat slouží také k připojení k PC pomocí USB. USB je na jednotce umístěno z boku. Rovněž je zde umístěn souosý konektor, který může být použit pro napájení jednotky.



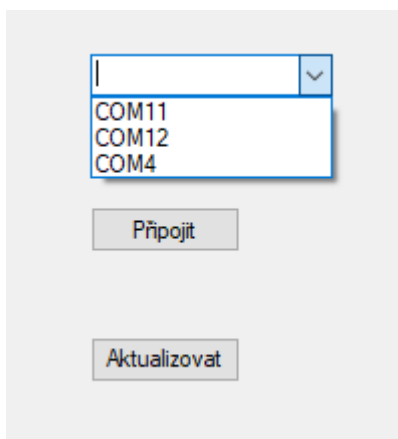
Obr. 77 – Bok jednotky pro příjem naměřených dat – souosí a USB konektor

V PC se musí otevřít formulářové aplikace. Poté je třeba vybrat správný USB port, ke kterému je jednotka pro příjem dat připojena.



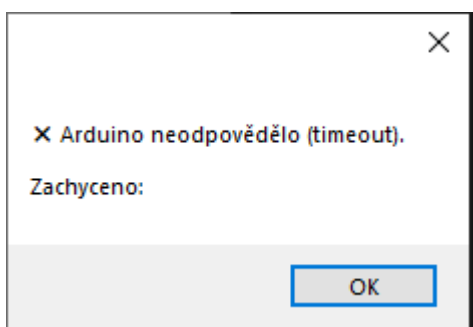
Obr. 78 – Formulářová aplikace

Výběr portu se provádí pomocí lišty, která je v levém horním rohu aplikace. Po otevření výběru se v liště objeví dostupné COM porty. Pokud by se neobjevili všechny porty, je možné použít tlačítko aktualizovat. Po kliknutí na toto tlačítko by se tento problém měl odstranit.



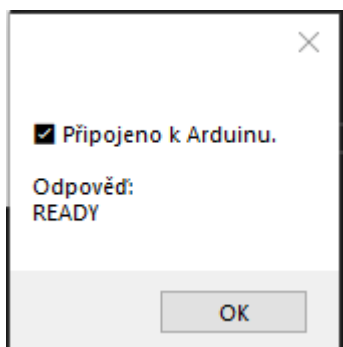
Obr. 79 – Výběr portu ve formulářové aplikaci

Po vybrání portu a kliknutí na tlačítko Připojit se objeví tabulka, která oznámí, že se buď podařilo připojit k Arduino nebo nikoliv. Pokud byl vybrán port, ke kterému Arduino není připojeno nebo se k Arduino nepodařilo připojit ve stanoveném čase, a tak se objeví hláška Arduino neodpovědělo.



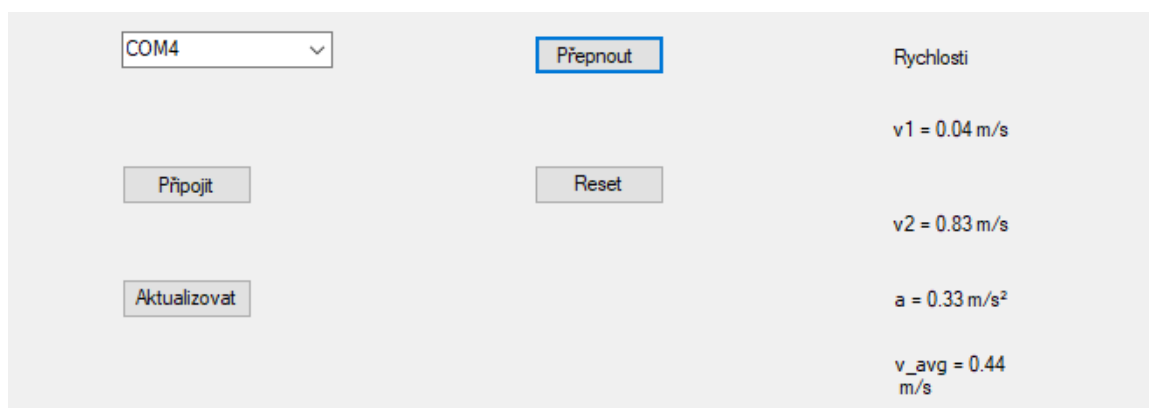
Obr. 80 – Nevydařené připojení k Arduino

Pokud byl vybrán port, ke kterému je Arduino připojeno, tak se objeví hláška: Připojeno k Arduino.



Obr. 81 – Zdařilé připojení k Arduino

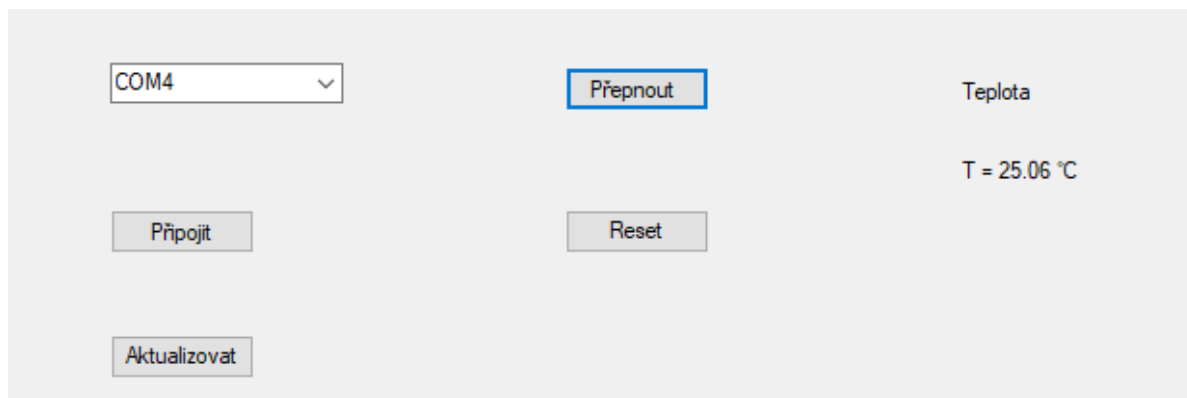
Po připojení k Arduino se v pravé části aplikace objeví naměřené hodnoty, pokud tedy tyto hodnoty byly naměřeny na jednotkách, které jsou pro měření určené. Jako první se objeví rychlosti v_1 , v_2 , zrychlení a a průměrná rychlost v_{avg} .



The screenshot shows a web application interface with a light gray background. On the left side, there is a dropdown menu with 'COM4' selected, a 'Připojit' button, and an 'Aktualizovat' button. In the center, there is a 'Přepnout' button (highlighted with a blue border) and a 'Reset' button. On the right side, the text 'Rychlosti' is displayed, followed by four lines of data: 'v1 = 0.04 m/s', 'v2 = 0.83 m/s', 'a = 0.33 m/s²', and 'v_avg = 0.44 m/s'.

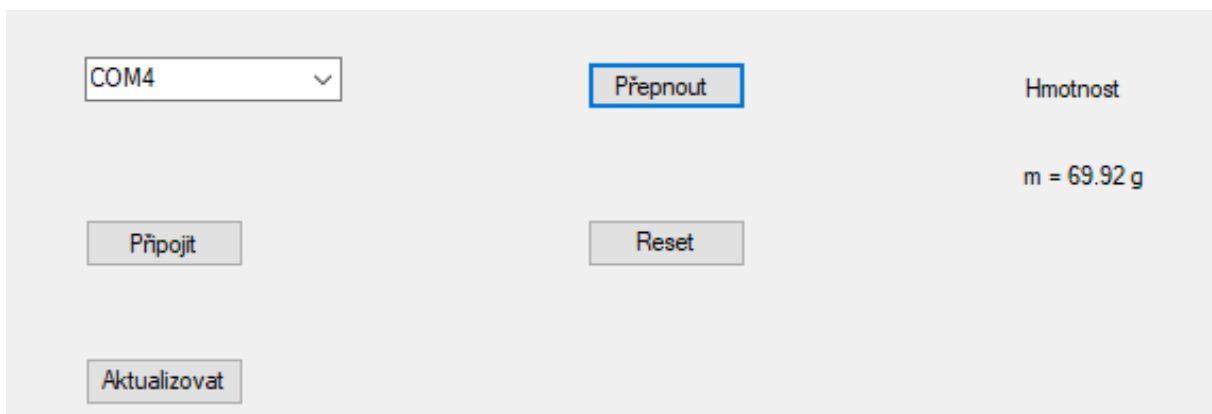
Obr. 82 – Zobrazení rychlosti a zrychlení ve formulářové aplikaci

Po kliknutí na tlačítko Přepnout se objeví naměření teplota a po dalším kliknutí se objeví naměřená hmotnost, po dalším opět naměřené rychlosti a zrychlení a takto pořád dokola. Tlačítko Reset slouží pro restartování celé aplikace.



The screenshot shows the same web application interface as in the previous image. The 'Přepnout' button is still highlighted with a blue border. On the right side, the text 'Teplota' is displayed, followed by a single line of data: 'T = 25.06 °C'.

Obr. 83 – Zobrazení teploty ve formulářové aplikaci



Obr. 84 – Zobrazení teploty ve formulářové aplikaci

9.2 Uživatelský manuál jednotky pro měření rychlosti a zrychlení

K obsluze této jednotky slouží celkem sedm tlačítek, a to tlačítka ENTER, ZPĚT, VLEVO, VPRAVO, NAHORU, DOLU a RESET. K napájení je použita 9V baterie.



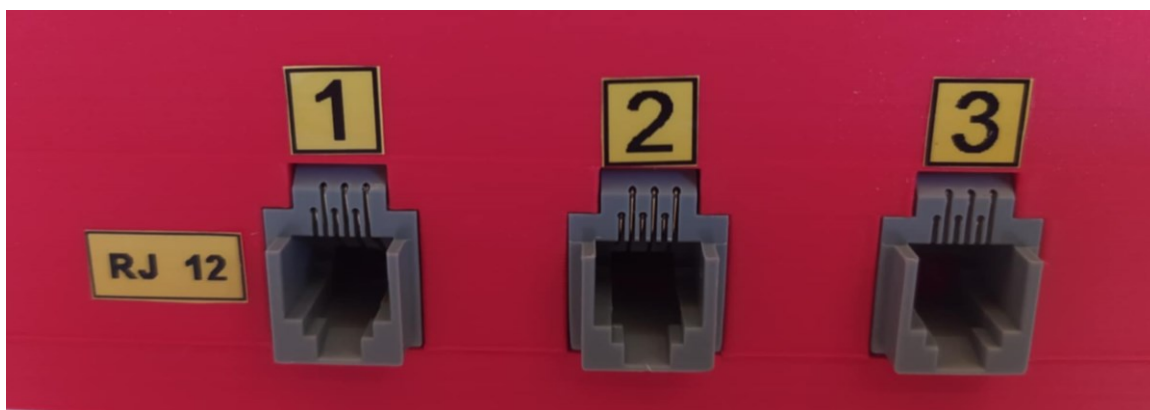
Obr. 85 – Ovládání jednotky pro měření rychlosti a zrychlení

Prvních šest tlačítek je umístěno na vrchní části jednotky. Tlačítko RESET, které slouží k resetování této jednotky, je umístěno z boku společně s přepínačem pro zapnutí a vypnutí jednotky a s otvorem pro USB.



Obr. 86 – Bok jednotky pro měření rychlosti a zrychlení – RESET, USB port a vypínač

Na druhém boku jsou umístěny tři konektory RJ12. Pomocí kterých se mohou připojovat optické brány.



Obr. 87 – Další bok jednotky pro měření rychlosti a zrychlení – zdířky pro konektory RJ12

Optická brána se připojuje k měřicí jednotce pomocí kabelu RJ12. K připojení na měřicí jednotce slouží zdířka konektoru RJ12 číslo 1. Zbylé dva konektory na jednotce jsou zde připraveny pro případ, že by byli použity brány, kde by každý senzor měl svůj vlastní konektor. Například z důvodu, že by bylo potřeba dát optické brány do vzdálenosti, kterou neumožňuje děrovaná podložka, ke které jsou optické brány přišroubovány.

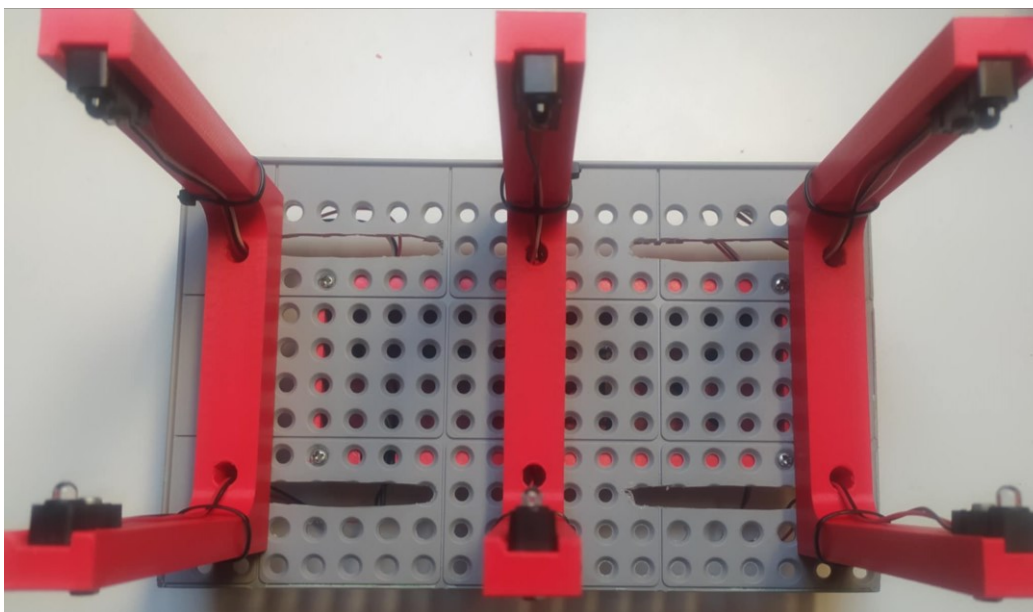


Obr. 88 – Optická brána



Obr. 89 – Optická brána připojená k jednotce pro měření rychlosti a zrychlení

Děrovaná podložka umožňuje připojit brány od sebe ve vzdálenosti od 3 do 10 cm. To platí, jak pro měření při použití třech, tak i dvou optických bran. Pro změnu vzdálenosti optických bran je třeba na spodní straně děrované desky vyšroubovat šrouby kterými jsou optické brány připevněny, brány posunout na požadovanou pozici a šrouby zašroubovat.

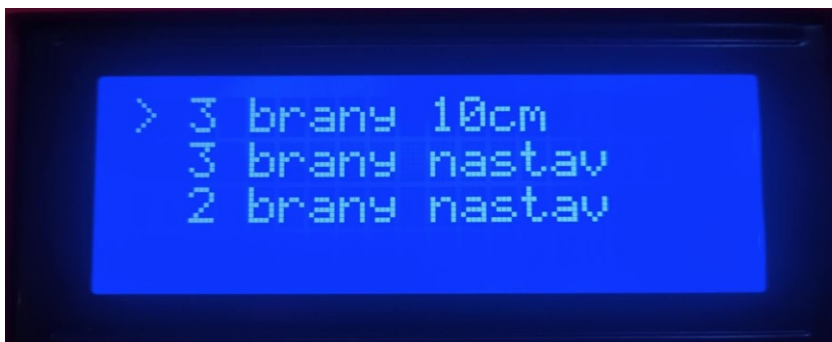


Obr. 90 – Děrovaná deska, ke které jsou připevněny optické závory



Obr. 91 – Šrouby, kterými jsou optické brány připevněny

Po zapnutí jednotky přepínačem a připojení jednotky k optické bráně je nejprve nutné vybrat z menu typ měření, který bude použit. Hned po zapnutí se na displeji objeví tři možnosti výběru.



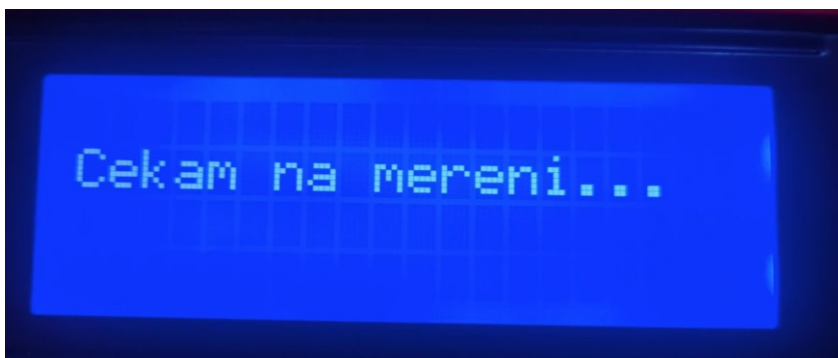
Obr. 92 – Displej jednotky pro měření rychlosti a zrychlení – výběr možnosti měření v menu

Mezi možnostmi se vybírá tlačítky NAHORU a DOLU. Zvolenou možnost ukazuje šipka na levé straně displeje.



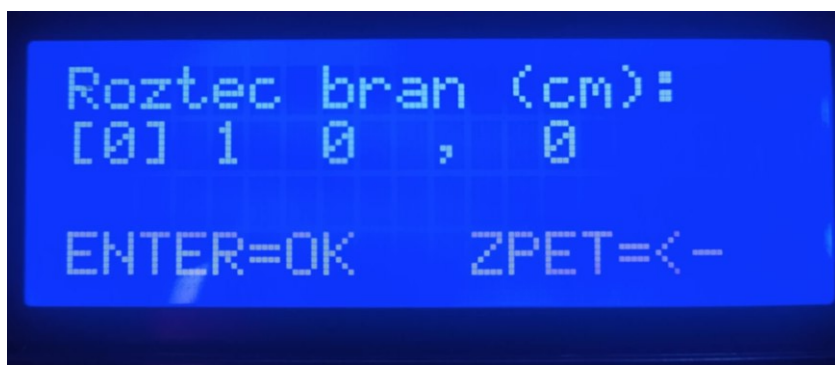
Obr. 93 – výběr možnosti měření v menu – posunutí šipky

Pro vybrání zvolené možnosti slouží tlačítko ENTER. Při vybrání první možnosti „3 brany 10 cm“ je zvoleno měření s použitím třech bran, které jsou od sebe vzdáleny 10 cm. Tato možnost byla nejčastěji používána, proto byla do menu přidána, aby nemuseli být zadávány rozteče bran. Po zmáčknutí tlačítka ENTER se na displeji objeví: Čekam na mereni..., v tuto chvíli je jednotka připravená měřit. Čeká tedy na průchod objektu optickou bránou. Tlačítko ZPĚT slouží k návratu do menu.



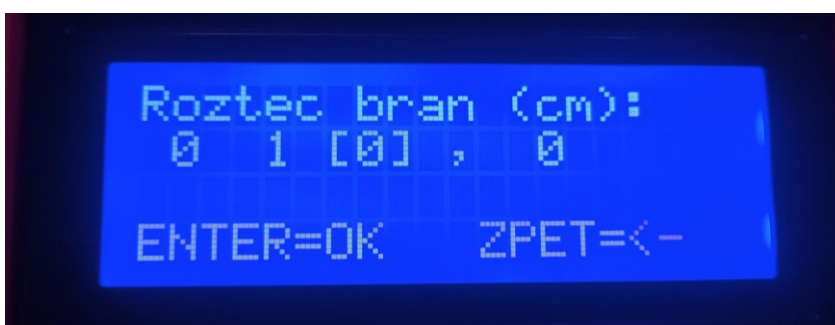
Obr. 94 – Čekání na měření po volbě první možnosti 3 brany 10 cm

Při vybrání v menu možnosti „3 brany nastav“ je zvoleno měření pomocí třech bran s nastavitelnou vzdáleností od sebe. Na displeji se objeví nastavení vzdálenosti v centimetrech.

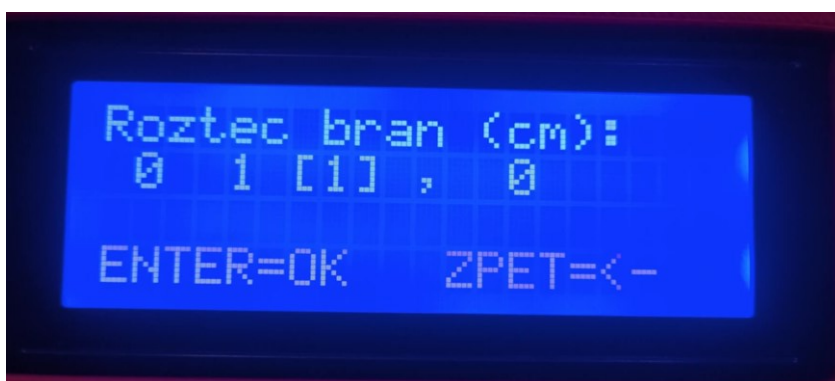


Obr. 95 – Nastavení vzdálenosti

Mezi řády se přepíná tlačítky VLEVO a VPRAVO. Vybraný řád je označen hranatými závorkami. Pokud je hranatou závorkou vybrán řád, který je potřeba změnit, tak se jeho velikost změní tlačítky NAHORU a DOLU.

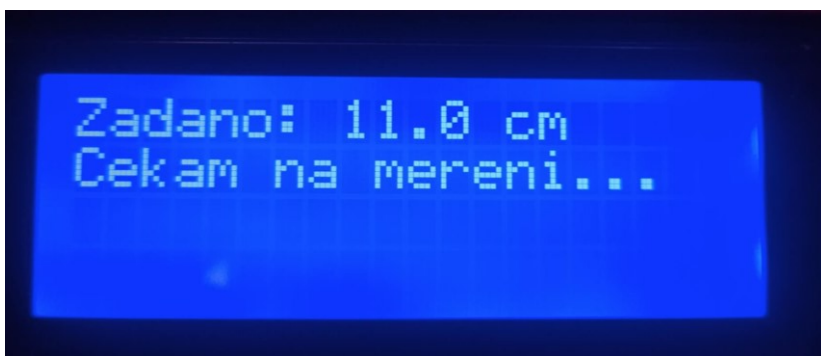


Obr. 96 – Nastavení vzdálenosti – posunutí hranaté závorky pro výběr řádu



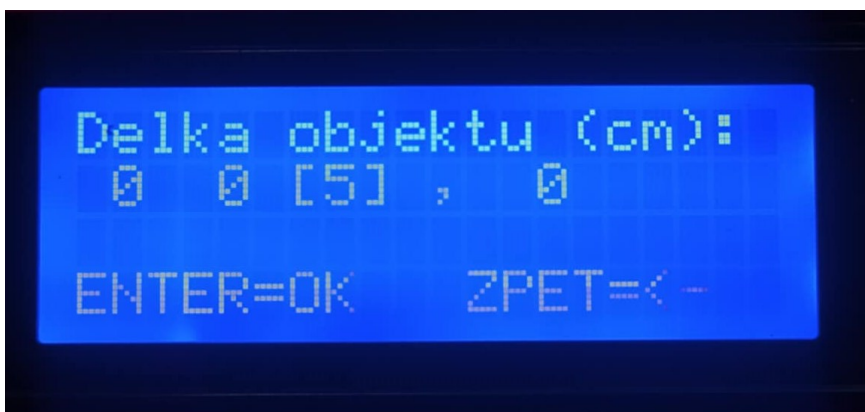
Obr. 97 – Nastavení vzdálenosti – vybírání hodnoty

Vybrání požadované velikosti rozteče bran se musí potvrdit tlačítkem ENTER. Po zmáčknutí tlačítka ENTER se na displeji objeví zvolená rozteč a text Cekam na mereni..., v tuto chvíli se čeká na měření neboli na průchod objektu optickou bránou. Tlačítko ZPĚT slouží pro návrat do menu.

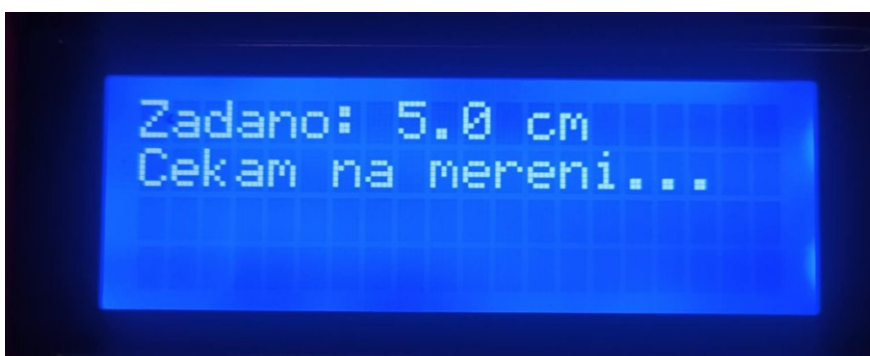


Obr. 98 – Zobrazení zvolené hodnoty čekání na měření po volbě možnosti 3 brany nastav

Při vybrání v menu možnosti „2 brany nastav“ je zvoleno měření pomocí dvou bran a známé délky objektu, který bránou prochází. Na displeji se objeví nastavení velikosti objektu v centimetrech, který bude bránou procházet. Nastavování velikosti objektu je obdobné jako nastavování vzdálenosti bran slouží k tomu tlačítka VLEVO, VPRAVO, NAHORU a DOLU. Po vybrání požadované velikosti a potvrzení tlačítkem ENTER se na displeji objeví zadaná velikost objektu a Cekam na mereni....

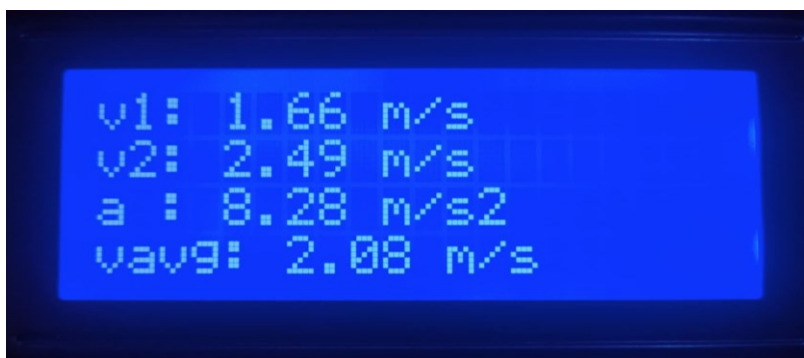


Obr. 99 – Nastavení velikosti měřeného objektu



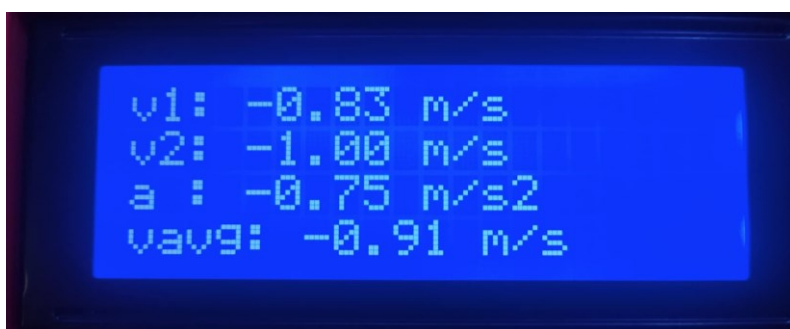
Obr. 100 – Zobrazení zvolené hodnoty čekání na měření po volbě možnosti 2 brany nastav

Když na displeji je text *Cekam na mereni...*, tak je jednotka připravená na měření. Po průchodu objektu optickou bránou se na displeji objeví naměřené rychlosti a zrychlení. Pokud objekt projde bránou z levé do pravé z pohledu, když se na optickou bránu díváme ze strany, kde je připojovací konektor RJ12, tak se na displeji objeví kladné hodnoty v_1 , v_2 a v_{avg} . U použití třech optických bran je hodnota v_1 je rychlost mezi první a druhou bránou. Hodnota v_2 je rychlost mezi druhou a třetí bránou. Hodnota a je zrychlení, to může být kladné i záporné. Pokud hodnota a je záporná znamená to, že objekt při průchodu bránou zpomaluje. Při použití dvou bran je v_1 vypočítané z velikosti objektu, která byla zadána a času, který objekt senzor zakrývá. Hodnota v_2 je vypočítána obdobně. Výhoda je, že při použití dvou bran nezáleží na jejich vzdálenosti od sebe. Hodnota a je zrychlení mezi branami 1 a 2. Hodnota v_{avg} je průměrná rychlost stejně jako u použití třech bran.



Obr. 101 – Naměřené hodnoty

Při průchodu objektu zprava do leva se hodnoty objeví záporné z důvodu rozlišení směru, kterým objekt bránou projde. Pokud je zrychlení v tomto případě kladné tak to značí zpomalení. Po dalším průchodu objektu bránou se naměřené hodnoty na displeji přepíší na aktuálně naměřené. Všechny naměřené hodnoty jsou bezdrátově odesílány do jednotky pro příjem naměřených dat. Zmáčknutím tlačítka ZPĚT se vrátíme do menu pro výběr typu měření.



Obr. 102 – Naměřené hodnoty při průchodu objektu v opačném směru

9.3 Uživatelský manuál jednotky pro měření hmotnosti

K obsluze této jednotky slouží dvě tlačítka, a to tlačítko NULOVÁNÍ a tlačítko RESET. K zapnutí a vypnutí slouží přepínač. Jednotka je napájena z 9V baterie.



Obr. 103 – Ovládání jednotky pro měření hmotnosti



Obr. 104 – Jednotka pro měření hmotnosti

Po zapnutí jednotky je možné ihned vážit. K tomu slouží bílá plocha. Položením předmětu na bílou vážící plochu bude předmět zvážen.



Obr. 105 – Jednotka pro měření hmotnosti – Vážení

Po zmáčknutí tlačítka NULO VÁNÍ se váha vynuluje a displeji se zobrazí hodnota 0 g. Po odebrání předmětu z váhy se na displeji objeví záporná hodnota. Ta se dá opět odstranit tlačítkem NULO VÁNÍ.



Obr. 106 – Jednotka pro měření hmotnosti – Nulování



Obr. 107 – Jednotka pro měření hmotnosti – odebrání závaží



Obr. 108 – Jednotka pro měření hmotnosti – opětovné vynulování

Jednotka pro měření hmotnosti je určena pro vážení do 3 kg. Po překročení této hodnoty se na displeji objeví text: PREKROCENO! Limit: 3.00 kg.



Obr. 109 – Překročení limitu

Naměřené hodnoty jsou bezdrátově posílány do jednotky pro příjem naměřených dat. Tlačítko RESET slouží pro restartování této jednotky.

9.4 Uživatelský manuál jednotky pro měření teploty

Pro zapnutí a vypnutí této jednotky slouží přepínač. Po zapnutí se na displeji ihned objeví naměřená teplota. Jednotka je napájena z 9 V baterie. Jednotka pro měření teploty má jen jedno tlačítko, a to tlačítko RESET, které slouží pro restartování této jednotky. Naměřené hodnoty se odesílají bezdrátově do jednotky pro příjem naměřených dat. Rozsah jednotky pro měření teploty je -55 až +125 °C.

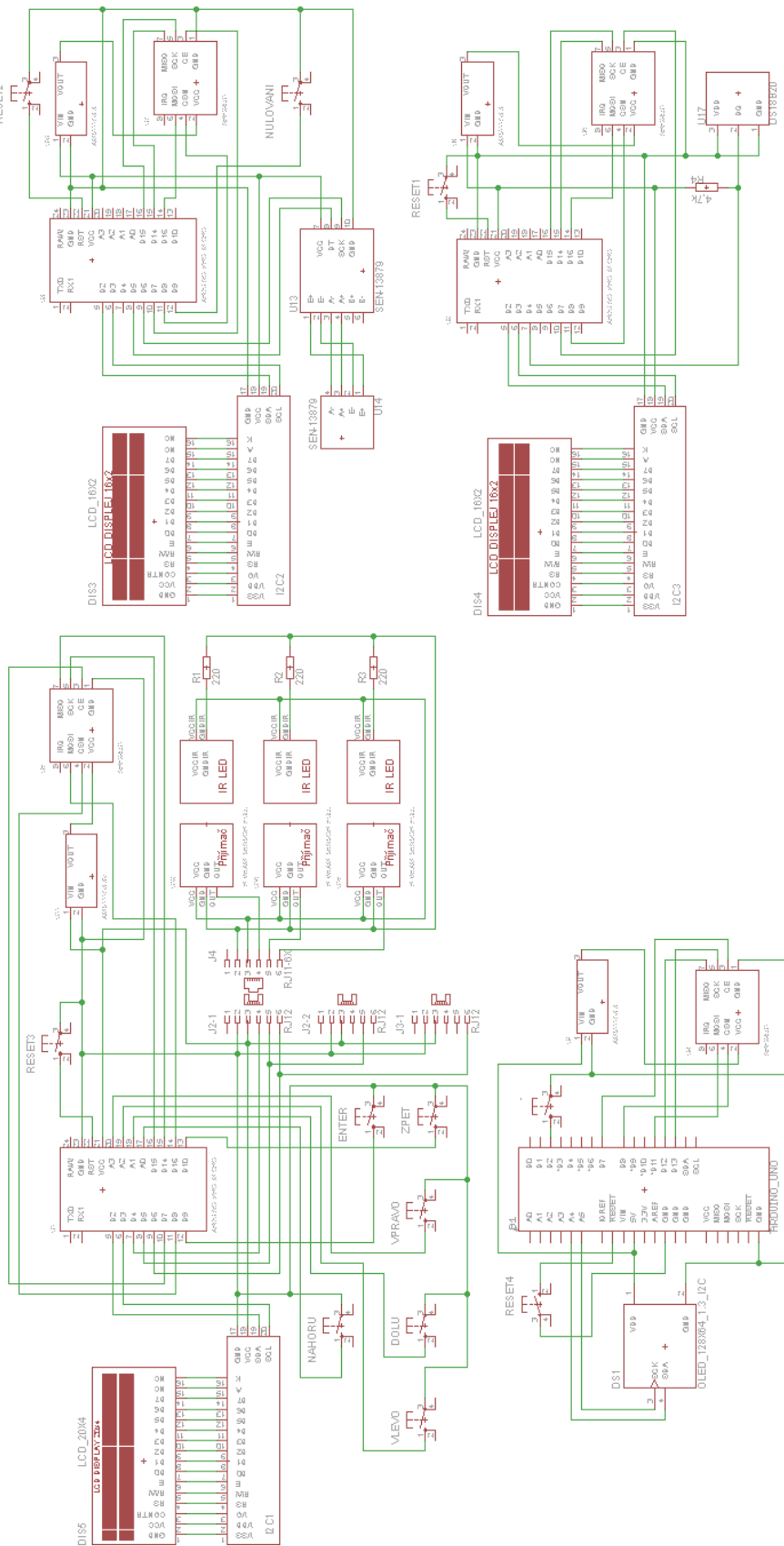


Obr. 110 – Jednotka pro měření teploty

10 Konstrukce

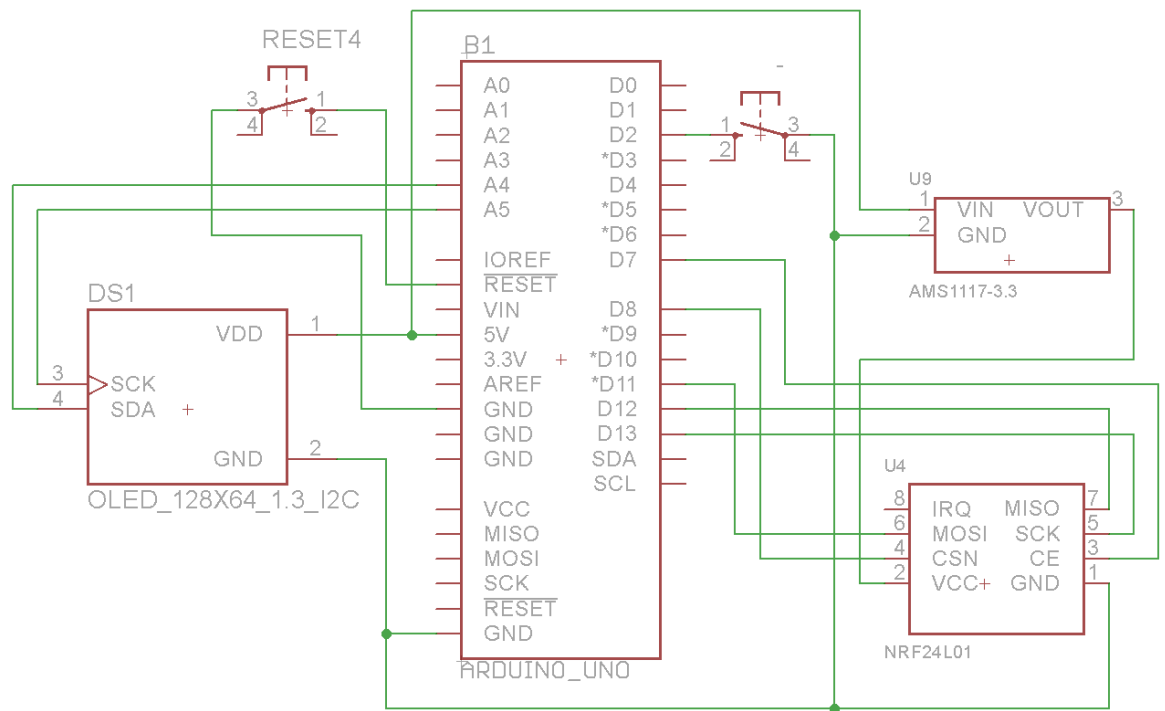
Celkem byly zkonstruovány čtyři měřicí jednotky, a to jednotka pro příjem naměřených dat, jednotka pro měření rychlosti a zrychlení, ke které patří i optická brána, jednotka pro měření hmotnosti a jednotka pro měření teploty. Naprostá většina dílů pro všechny jednotky byla vytištěna na 3D tiskárně. Výjimkou je dno jednotky pro měření hmotnosti a děrovaná plastová deska, ke které jsou připevněny optické brány. Tyto komponenty byly vyříznuty z děrovaného plastu. Vážicí plocha jednotky pro měření hmotnosti, která byla vyrobena ohýbáním nahřátého plastu horkovzdušnou pistolí. Všechny jednotky jsou napájeny z 9V baterie, a proto byl do každé jednotky umístěn bateriový box.

10.1 Celkové schéma zapojení multifunkční laboratorní měřící jednotky



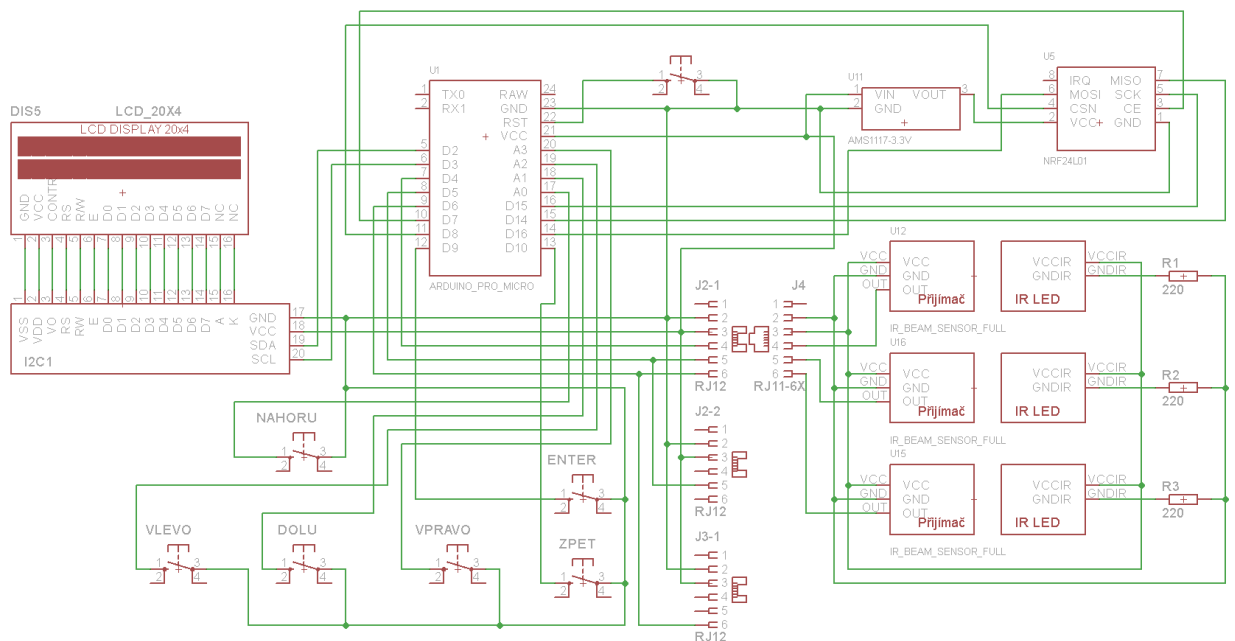
Obr. 111 – Celkové schéma zapojení multifunkční měřící jednotky

10.1.1 Schéma zapojení jednotky pro příjem naměřených dat



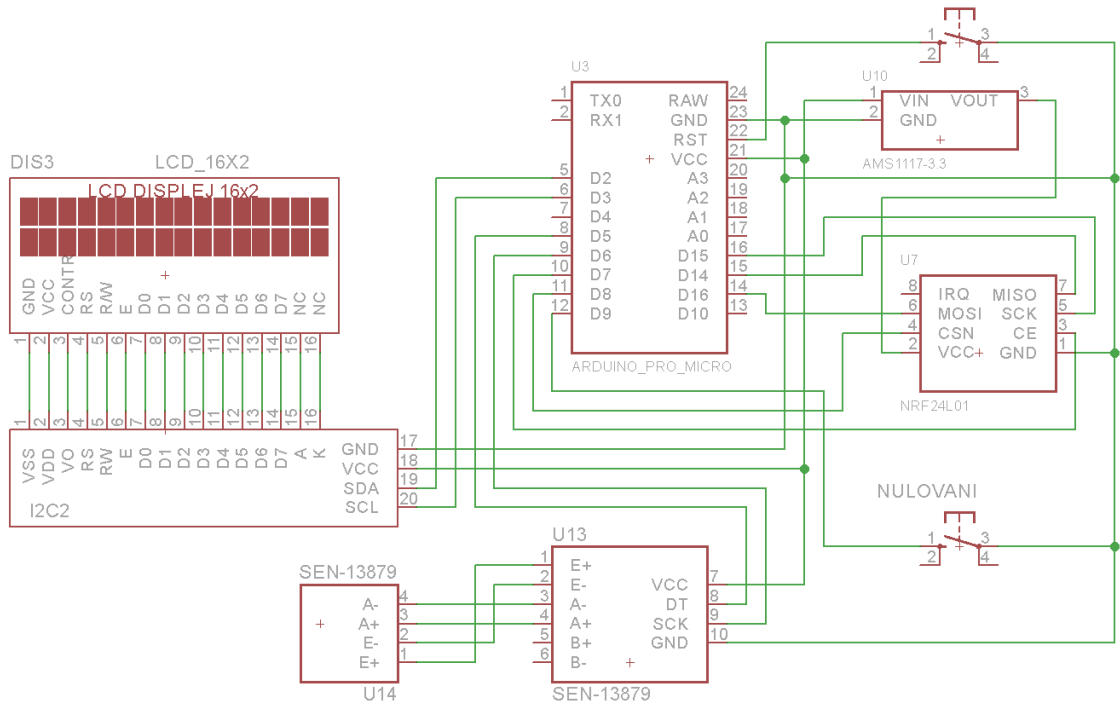
Obr. 112 – Schéma zapojení jednotky pro příjem naměřených dat

10.1.2 Schéma zapojení jednotky pro měření rychlosti a zrychlení



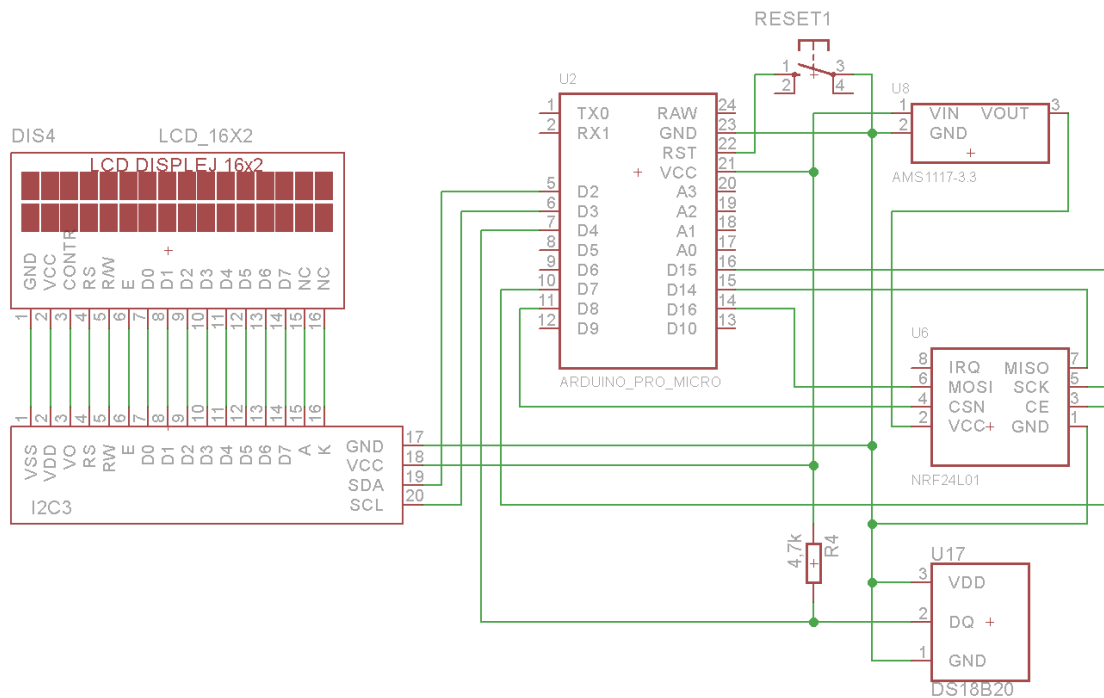
Obr. 113 – Schéma zapojení jednotky pro měření rychlosti a zrychlení

10.1.3 Schéma zapojení jednotky pro měření hmotnosti



Obr. 114 – Schéma zapojení jednotky pro měření hmotnosti

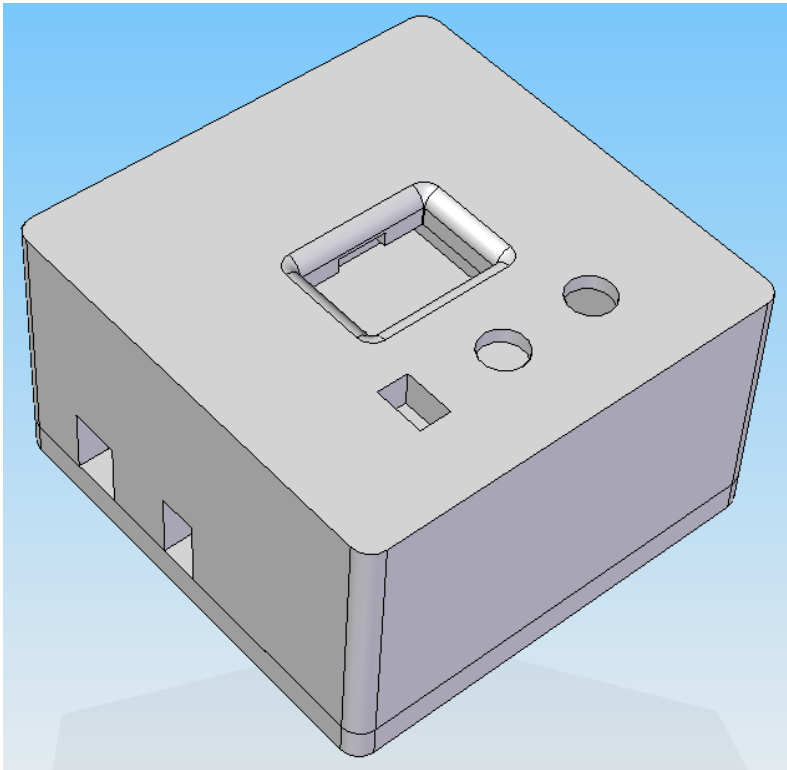
10.1.4 Schéma zapojení jednotky pro měření teploty



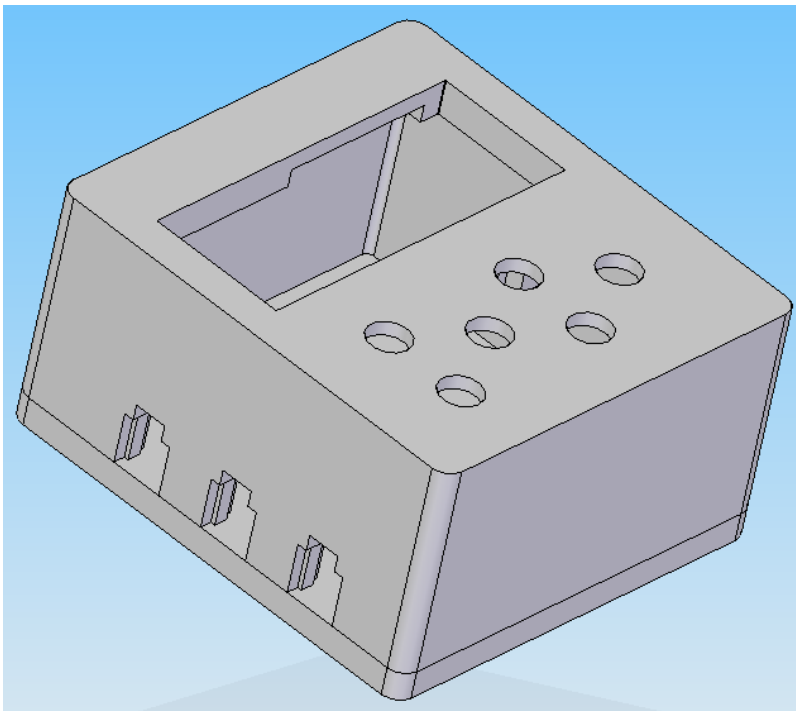
Obr. 115 – Schéma zapojení jednotky pro měření hmotnosti

10.2 3D modely

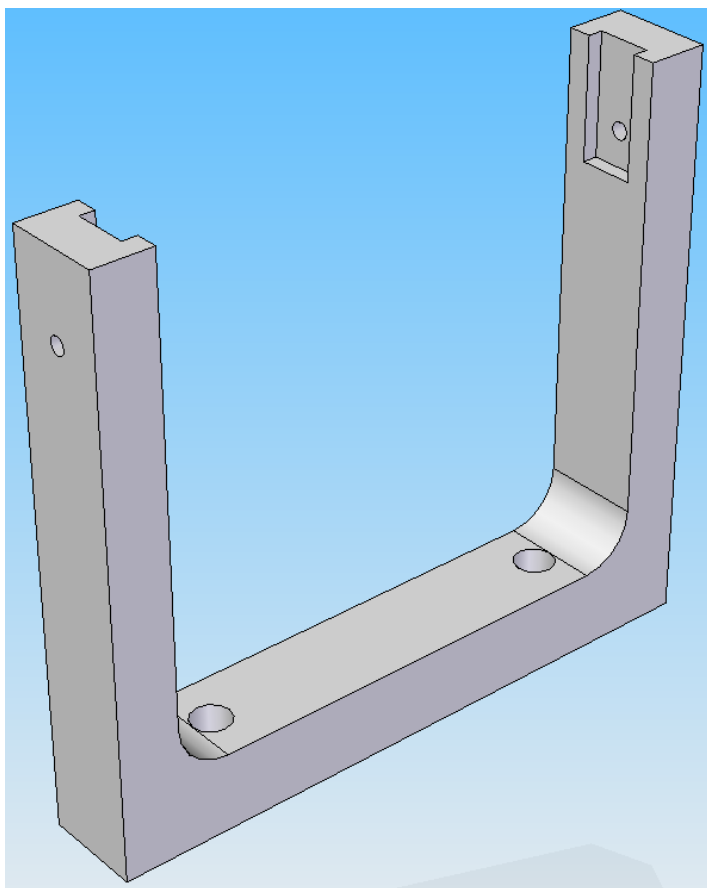
Tyto 3D modely měřících jednotek byly vytvořeny v programu Solid Edge a poté použity pro tisk na 3D tiskárně.



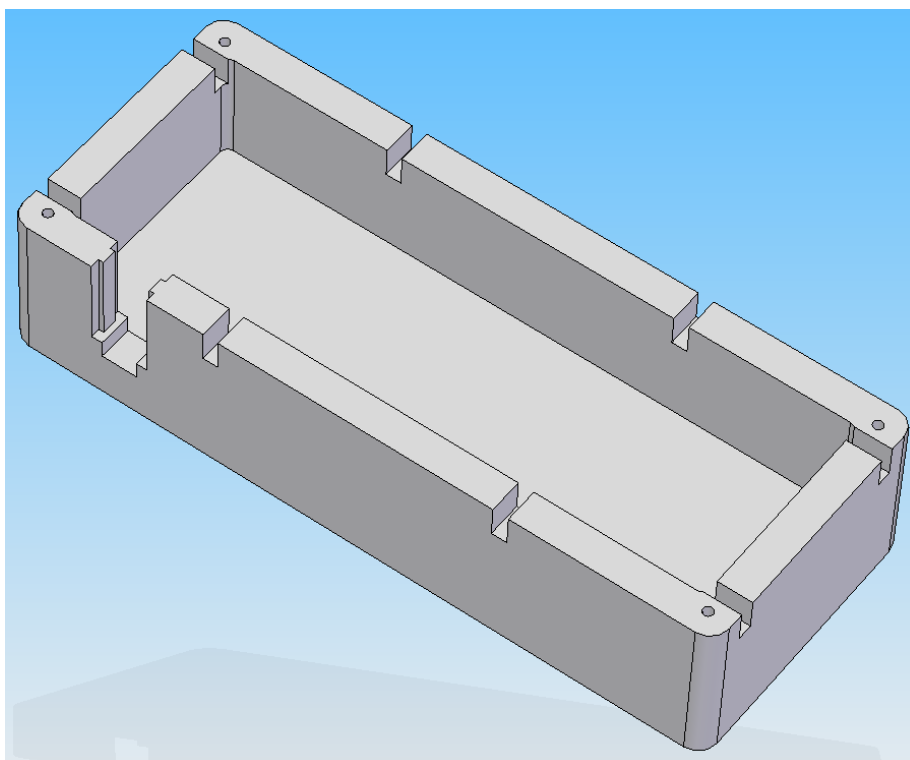
Obr. 116 – 3D model jednotky pro příjem naměřených dat



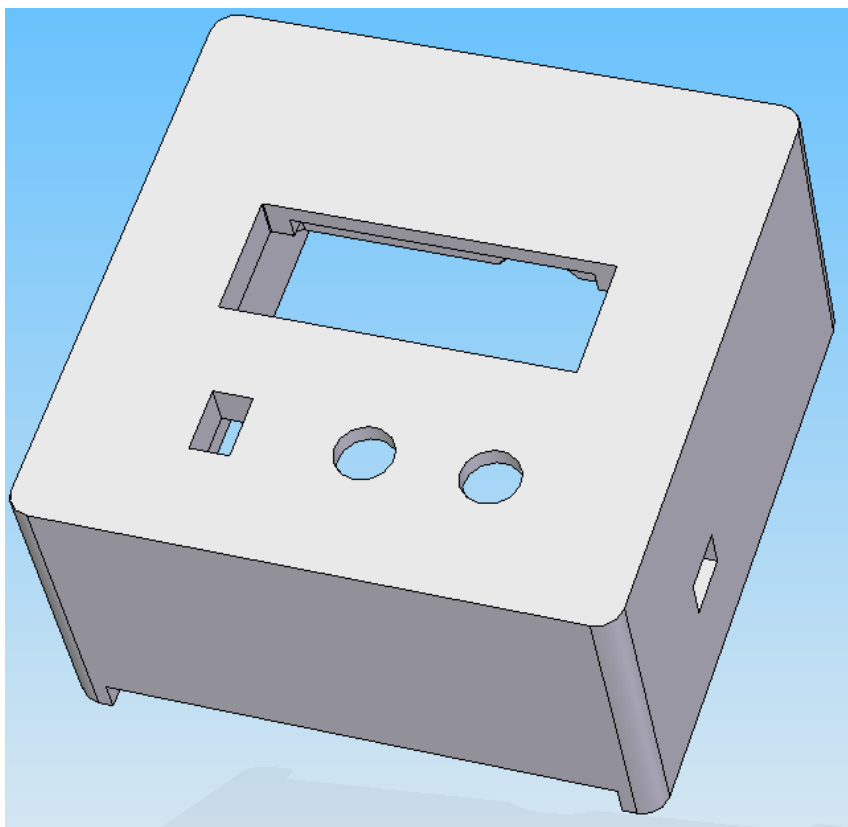
Obr. 117 – 3D model jednotky pro měření rychlosti a zrychlení



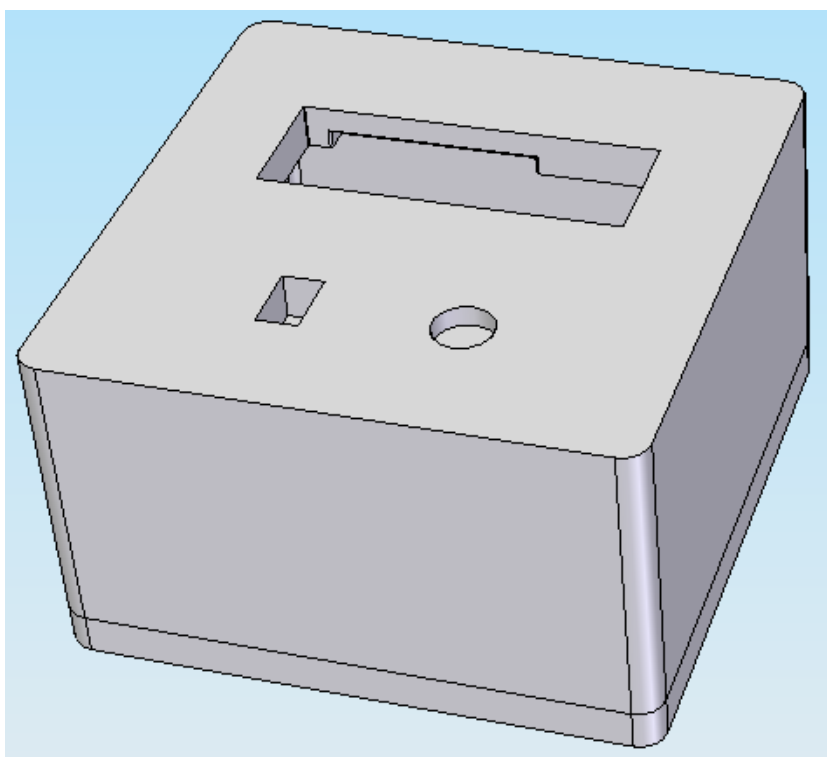
Obr. 118 – 3D model optické brány



Obr. 119 – 3D model krabičky k optické bráně

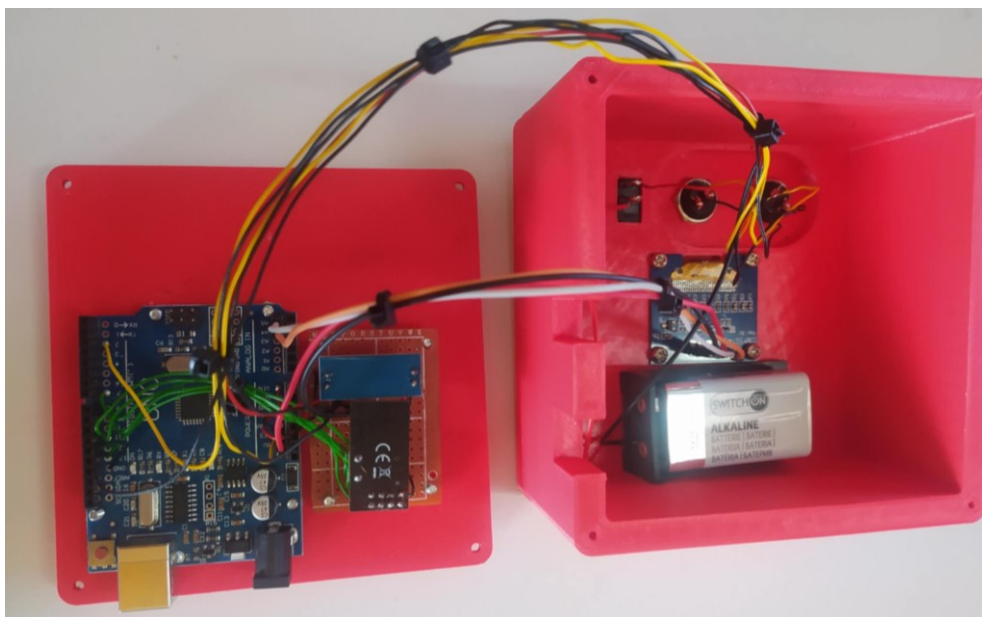


Obr. 120 – 3D model jednotky pro měření hmotnosti

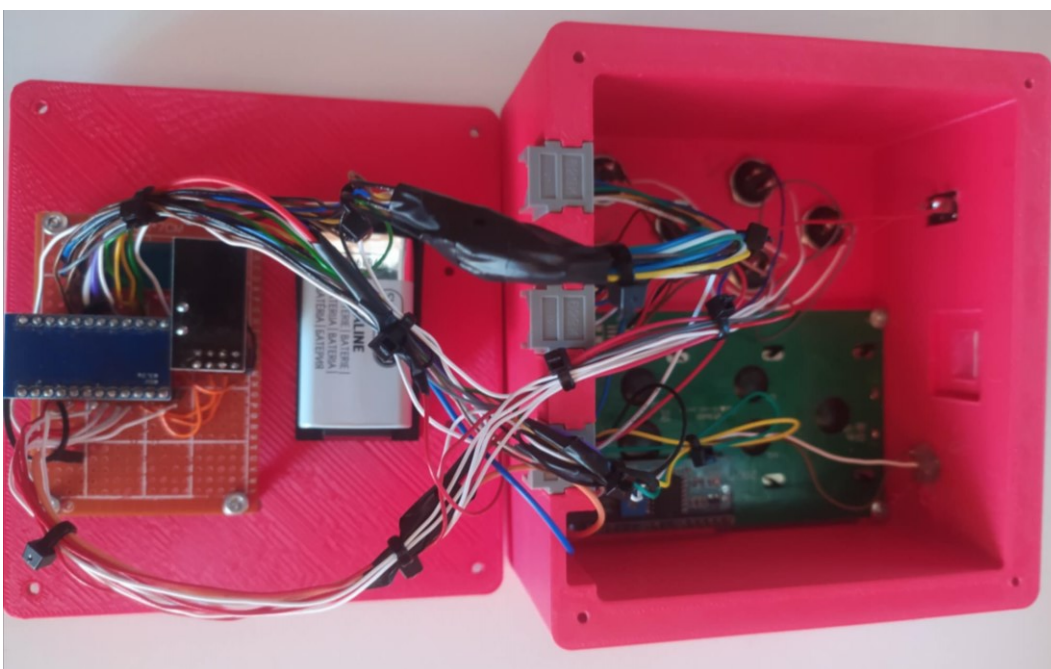


Obr. 121 – 3D model jednotky pro měření teploty

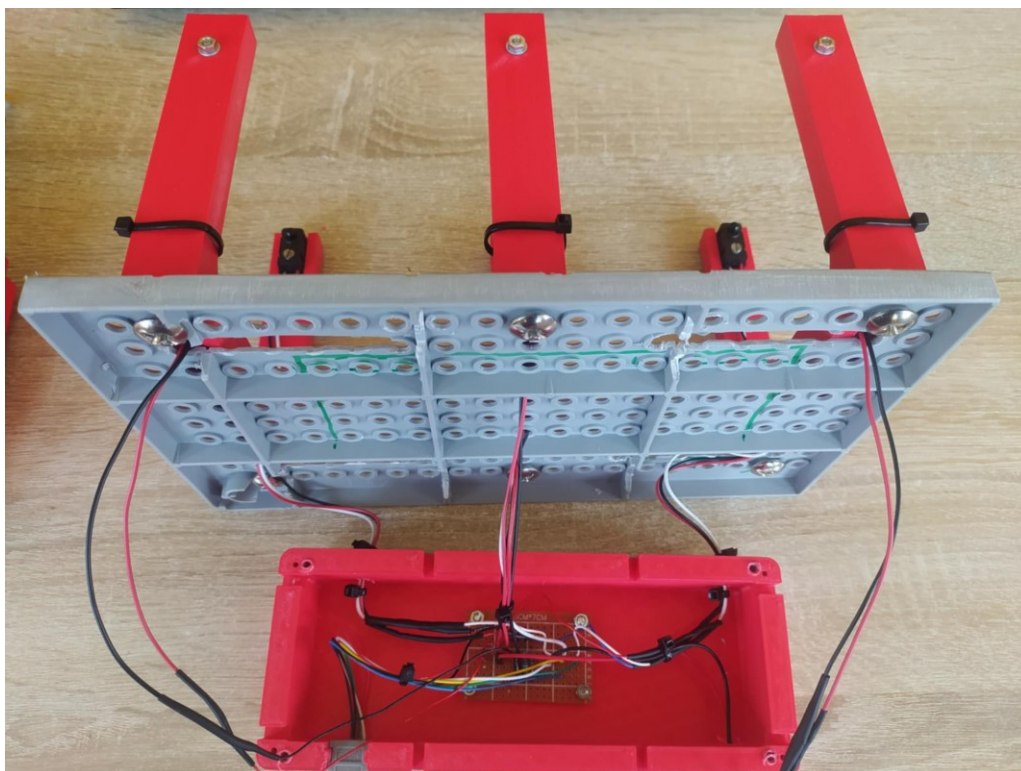
10.3 Vnitřní zapojení měřících jednotek



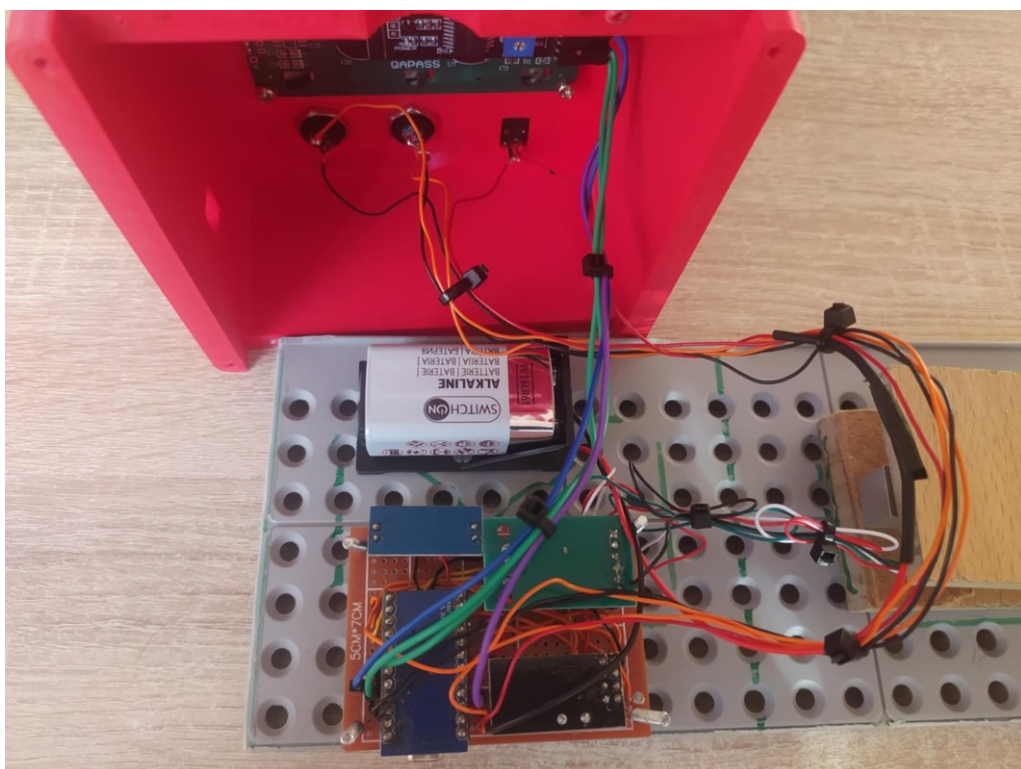
Obr. 122 – Vnitřní zapojení jednotky pro příjem naměřených dat



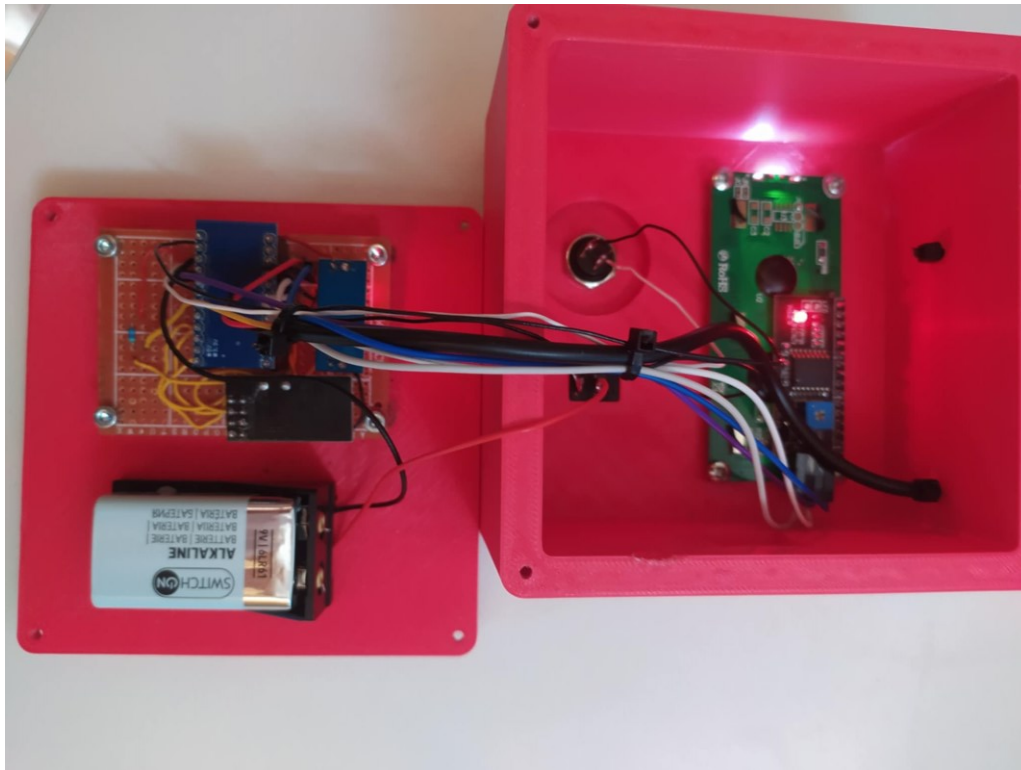
Obr. 123 – Vnitřní zapojení jednotky pro měření rychlosti a zrychlení



Obr. 124 – Vnitřní zapojení optické brány



Obr. 125 – Vnitřní zapojení jednotky pro měření hmotnosti



Obr. 126 – Vnitřní zapojení jednotky pro měření teploty

10.4 Finální vzhled multifunkční laboratorní měřicí jednotky



Obr. 127 – Vzhled multifunkční laboratorní měřicí jednotky

10.4.1 Vzhled jednotky pro příjem naměřených dat

Jednotka se skládá z víka a dna. Oba díly byly vytištěny na 3D tiskárně. Celková velikost této jednotky je 11,5 x 11,5 x 6,5 cm.



Obr. 128 – Vzhled jednotky pro příjem naměřených dat, pohled z vrchu



Obr. 129 – Vzhled jednotky pro příjem naměřených dat, levý bok se souosým a USB konektorem

10.4.2 Vzhled jednotky pro měření rychlosti a zrychlení

Jednotka se skládá z víka a dna. Oba díly byly vytištěny na 3D tiskárně. Celková velikost této jednotky je 12 x 13 x 6,7 cm.



Obr. 130 – Vzhled jednotky pro měření rychlosti a zrychlení, pohled z vrchu

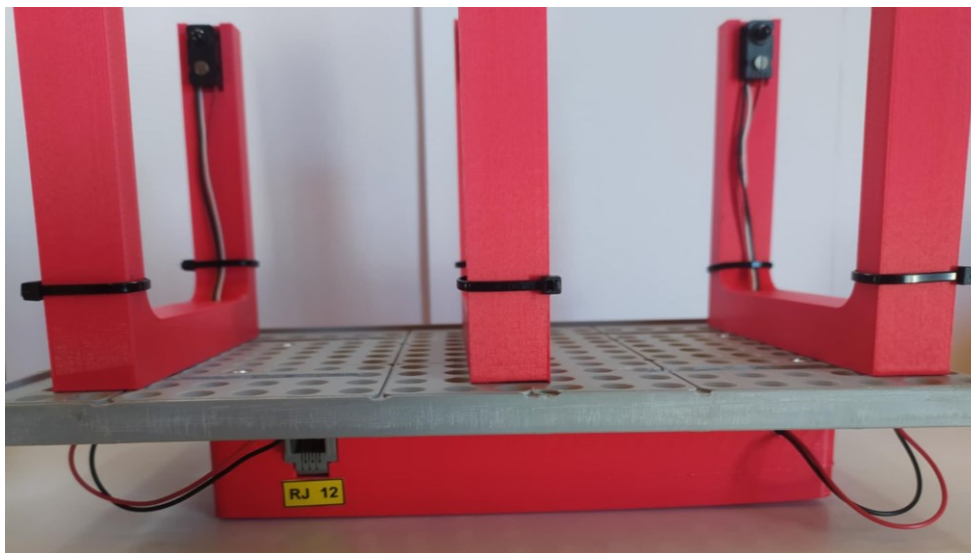


Obr. 131 – Vzhled jednotky pro měření rychlosti a zrychlení, pohled na levý bok

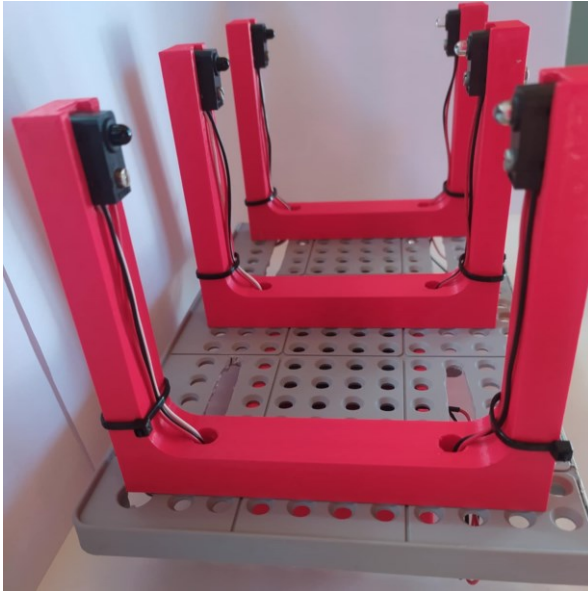


Obr. 132 – Vzhled jednotky pro měření rychlosti a zrychlení, pohled na pravý bok

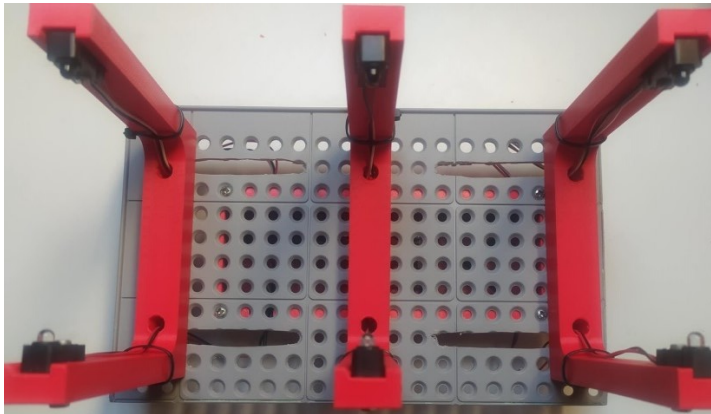
K jednotce pro měření rychlosti a zrychlení je nutné připojit optickou bránu. K uchycení optických senzorů byly na 3D tiskárně vytištěny profily ve tvaru písmene U. Tento profil má délku 12,5 cm, výšku 11,5 cm a šířku 2 cm. Vnitřní rozměr je 10,5 x 10 cm. Vzdálenost senzorů od sebe je 8 cm. Takovéto profily byly vytvořeny celkem tři a všechny jsou uchyceny k podložce o rozměrech 25x15 cm vyříznuté z děrovaného plastu. K této podložce je uchycena i krabička, ve které je umístěn plošný spoj k optickým branám. Tato krabička má rozměry 18,5 x 7 x 4 cm a byla vytištěna na 3D tiskárně.



Obr. 133 – Optická brána, pohled z boku



Obr. 134 – Optická brána, pohled z čela



Obr. 135 – Optická brána, pohled z vrchu

10.4.3 Vzhled jednotky pro měření hmotnosti

Tato jednotka se skládá ze třech dílů, a to z krabičky o rozměrech 12 x 12 x 6,3 cm, která byla vytištěna na 3D tiskárně, v ní je umístěna elektronika. Další díl je vážicí plocha o rozměrech 12 x 11,5 x 4,5 cm. Tento díl byl vyroben ohýbáním plastové desky pomocí horkovzdušné pistole. Oba tyto díly jsou připevněny k děrovanému plastu o rozměrech 25 x 10 cm, který slouží jako dno. Vážicí plocha je přidělaná ke dnu přes tenzometr.



Obr. 136 – Jednotka pro měření hmotnosti, pohled z vrchu



Obr. 137 – Jednotka pro měření hmotnosti, pohled z boku

10.4.4 Vzhled jednotky pro měření teploty

Jednotka má dva díly. Skládá se z víka a dna. Oba díly byly vytištěny na 3D tiskárně. Celková velikost této jednotky je 11,5 x 11,5 x 6,5 cm.



Obr. 138 – Jednotka pro měření teploty, pohled z vrchu



Obr. 139 – Jednotka pro měření teploty, pohled z boku

11 Funkční testování multifunkční laboratorní měřicí jednotky

11.1 Testování jednotky pro měření rychlosti a zrychlení

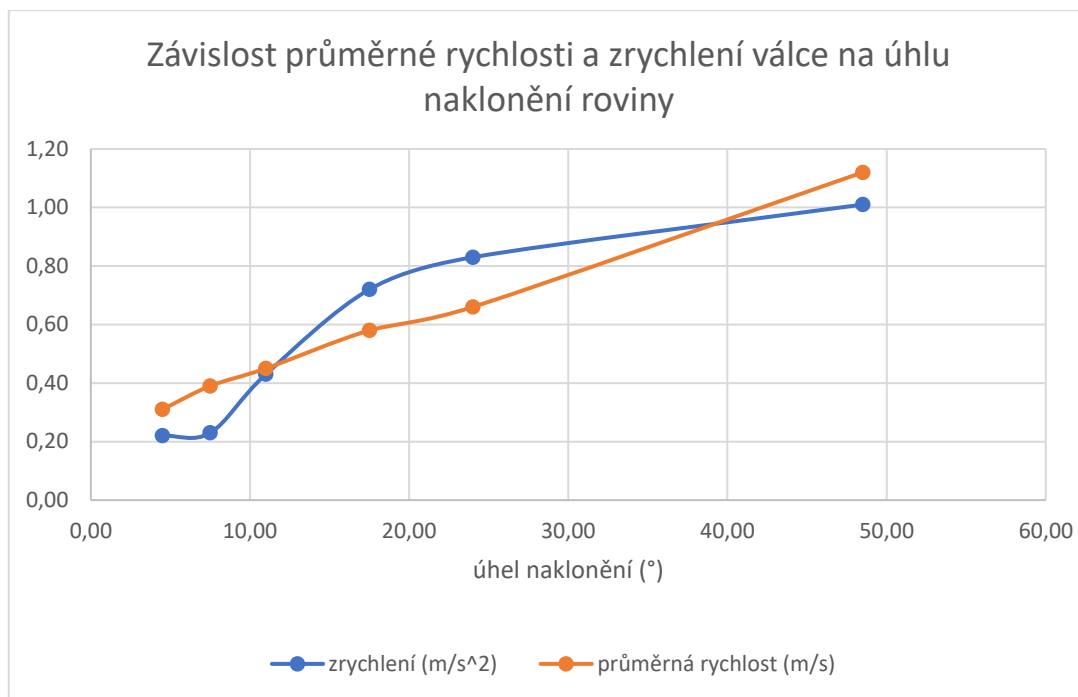
Testování jednotky proběhlo pomocí nakloněné roviny a plastového válečku. Testování probíhalo tak, že váleček byl umístěn na nakloněnou rovinu a puštěn. Úhel naklonění roviny byl vypočítán z pomocného trojúhelníku pomocí funkce arcsin. Výsledky odpovídají předpokladu, že s větším úhlem naklonění roviny poroste rychlost i zrychlení.



Obr. 140 – Testování jednotky pro měření rychlosti a zrychlení

Tab. 2 – Testování jednotky pro měření rychlosti a zrychlení

úhel naklonění (°)	4,50	7,50	11,00	17,50	24,00	48,50
V1 (m/s)	0,28	0,33	0,36	0,45	0,50	1,01
V2 (m/s)	0,38	0,45	0,55	0,71	0,83	1,25
zrychlení (m/s ²)	0,22	0,23	0,43	0,72	0,83	1,01
průměrná rychlost (m/s)	0,31	0,39	0,45	0,58	0,66	1,12



Obr. 141 – Graf závislosti průměrné rychlosti a zrychlení válce na úhlu naklonění roviny

11.2 Testování jednotky pro měření hmotnosti

Hodnoty naměřené měřicí jednotkou hmotnosti byly porovnány s hodnotami z kuchyňské váhy od výrobce Owin GmbH. Rozdíl naměřených hodnot se pohyboval v rozmezí 0,11g až 0,88g.



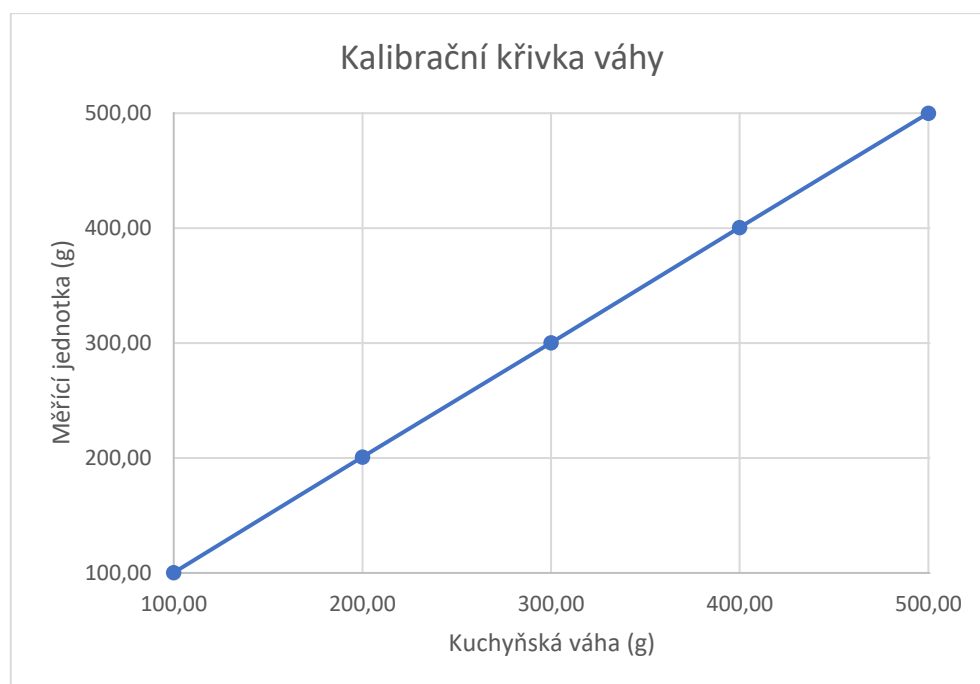
Obr. 142 – Testování jednotky pro měření hmotnosti – závaží na kuchyňské váze



Obr. 143 – Testování jednotky pro měření hmotnosti – závaží na jednotce

Tab. 3– Testování jednotky pro měření hmotnosti

Kuchyňská váha (g)	100,00	200,00	300,00	400,00	500,00
Měřicí jednotka (g)	100,31	200,88	300,28	400,66	500,11
Rozdíl (g)	0,31	0,88	0,28	0,66	0,11



Obr. 144 – Graf kalibrační křivky

11.3 Testování jednotky pro měření teploty

Teplota na měřící jednotce teploty byla porovnána s teplotou venkovního čidla připojeného k prostorovému termostatu Bosch REG 73 a s teplotou okenního lihového teploměru TFA 14.6007.

Tab. 4 – Testování jednotky pro měření teploty

čas měření(hod)	6:00	9:00	12:00	15:00	18:00
prostorový termostat (°C)	12,50	22,50	23,00	24,50	24,50
okenní teploměr (°C)	12,00	20,50	23,00	25,00	22,00
měřící jednotka (°C)	12,56	20,50	23,62	24,00	23,50

Závěr

Cílem této diplomové práce byl návrh a realizace multifunkční laboratorní měřicí jednotky, která umožňuje měřit vybrané fyzikální veličiny, jimiž jsou rychlost, zrychlení, hmotnost a teplotu. Na základě provedené analýzy dostupných senzorů, měřících metod a možností bezdrátového přenosu dat byl navržen modulární systém kombinující různé typy čidel a mikrokontroléry Arduino s komunikačním modulem nRF24L01.

V teoretické části práce byly popsány principy činnosti použitých senzorů. Také byla rozebrána problematika bezdrátového přenosu dat pomocí nRF24L01. V praktické části byla navržena a realizována multifunkční laboratorní měřicí jednotka, která umožňuje měření rychlosti a zrychlení pomocí optických bran, měření hmotnosti s využitím tenzometrického senzoru HX711, měření teploty čidlem DS18B20, bezdrátový přenos naměřených hodnot a zobrazení naměřených hodnot v grafickém uživatelském rozhraní.

Cíle diplomové práce byly splněny. Byla vytvořena plně funkční měřicí jednotka, jejíž funkce byly řádně otestovány. Tato jednotka umožňuje snadné rozšíření o další senzory.

Technické parametry multifunkční laboratorní měřicí jednotky: Napájení každého modulu jednotky je z 9V baterie. Vytvořená optická brána umožňuje nastavení senzorů ve vzdálenosti 3 až 10 cm, byla vyzkoušena i vzdálenost 2 m. Šířka brány je 8 cm. Arduino by mělo zvládat bez problémů i rychlost 50 m/s, ale takto vysoká rychlost nebyla odzkoušena. U jednotky pro měření hmotnosti je maximální nosnost 3 kg. Rozsah jednotky pro měření teploty je -55 až +125 °C. Bezdrátová komunikace byla otestována do vzdálenosti 20 m a na tuto vzdálenost funguje bez problémů.

Literatura

- AHLBORN. *Bezdrátový datalogger ALMEMO 470-1*. Online. 2025. Dostupné z: <https://www.ahlborn.cz/pristroje/bezdratovy-datalogger-almemo-470-1/>. [cit. 2025-07-10].
- ALL ABOUT CIRCUITS. *Strain Gauges*. Online. Dostupné z: <https://www.allaboutcircuits.com/textbook/direct-current/chpt-9/strain-gauges/>. [cit. 2025-07-03].
- ARDUINO. *Bring Your Projects to Life with Arduino Software*. Online. Dostupné z: <https://www.arduino.cc/en/software/>. [cit. 2025-08-06].
- ARAR, Steve. *Introduction to Bandgap Voltage References*. Online. 2019. Dostupné z: <https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/introduction-to-bandgap-voltage-references/>. [cit. 2025-07-06].
- AZO SENSORS. *An Introduction to Silicon Bandgap Temperature Sensors*. Online. 2014. Dostupné z: <https://www.azosensors.com/article.aspx?ArticleID=369>. [cit. 2025-07-06].
- BARROZO, Jharwin. *Introduction for Novices*. Online. 2023. Dostupné z: <https://www.flux.ai/p/blog/what-is-arduino-pro-micro-a-comprehensive-introduction-for-novices>. [cit. 2025-06-13].
- BC ROBOTICS INC. *Weight*. Online. 2025. Dostupné z: https://bc-robotics.com/product-category/sensors/weight/?srsltid=AfmBOopn9GPwJBEhGw82yZIEKoUE8j88Y82r9n8D4q1_zZpCgQG6WYFa&utm. [cit. 2025-07-02].
- BOTLAND. *Senzor přerušeni infračerveného paprsku - LED 5 mm - 0-50 cm*. Online. Dostupné z: <https://botland.cz/pohybove-senzory/18690-senzor-preruseni-infracerveneho-paprsku-led-5-mm-0-50-cm-5904422366483.html>. [cit. 2025-06-15].
- ČERNÝ, Michal. *I2C adaptér pro LCD displej – Arduino*. Online. 2015. Dostupné z: <https://robodoupe.cz/2015/i2c-adapter-pro-lcd-displej/>. [cit. 2025-07-16].
- DOŠKÁŘ, Václav. *Lekce 6 - Arduino - Pokročilá práce s tlačítky*. Online. Dostupné z: <https://www.itnetwork.cz/hardware-pc/arduino/hardware/arduino-a-prace-s-tlacitky/>. [cit. 2023-04-17].
- DRÁTEK. *Stabilizátor napětí ze 4,5V - 7V na 3,3V*. Online. Dostupné z: https://dratek.cz/arduino/1178-stabilizator-napeti-ze-4.5v-7v-na-3-3v.html?gad_source=1&gbraid=0AAAAACVG_WdiJEFHkVFOg1GJQUT7zqkGX&gclid=CjwKCAjwwe2_BhBEEiwAM1I7sYUBGdg-YsYbKi2WGbiIVYu_tKd-XNIWhH39u2RS31ACIPmJ_rKGMxoCbUYQAvD_BwE. [cit. 2025-06-14].

- DRÁTEK. *IIC I2C OLED displej 1,3" - Bílý, 128 x 64*. Online. Dostupné z: <https://dratek.cz/arduino/3181-iic-i2c-oled-1-3-displej-128x64-bily.html>. [cit. 2025-07-16].
- DRÁTEK NÁVODY. Arduino WiFi modul NRF24L01. Online. Dostupné z: <https://navody.dratek.cz/navody-k-produktum/arduino-wifi-modul-nrf24l01.html>. [cit. 2025-06-14].
- DVORSKÝ, Richard a FOUKAL, Jaroslav. *Fyzikální měření*. 2007. ISBN 978-80-248-1321-9.
- ECLIPSE. *AD převodník 24-bit 2 kanály HX711*. Online. 2016. Dostupné z: <https://dratek.cz/docs/produkty/0/31/1427807780.pdf>. [cit. 2025-06-17].
- ESES. *Eses vodotěsný teploměr pro jednodeskové počítače*. Online. Dostupné z: <https://dratek.cz/docs/produkty/0/758/eses1500635996.pdf>. [cit. 2025-08-06].
- ESES. *Váhový senzor 3 Kg YZC-131*. Online. 2022. Dostupné z: <https://dratek.cz/docs/produkty/1/1544/1516086269.pdf>. [cit. 2025-06-17].
- EVERITHING RF. *What is GFSK Modulation?* Online. 2022. Dostupné z: <https://www.everythingrf.com/community/what-is-gfsk-modulation>. [cit. 2025-06-30].
- HOMEL.VSB. *Odporové tenzometry*. Online. Dostupné z: <https://homel.vsb.cz/~jur286/mast/tenzometry.htm>. [cit. 2025-07-02].
- HOW TO MECHATRONICS. *NRF24L01 – How It Works, Arduino Interface, Circuits, Codes*. Online. Dostupné z: <https://howtomechatronics.com/tutorials/arduino/arduino-wireless-communication-nrf24l01-tutorial/>. [cit. 2025-06-14].
- HRUŠKA, František. *Aplikace modulu HX711*. Online. 2025. Dostupné z: <https://blog.laskakit.cz/aplikace-modulu-hx711/>. [cit. 2025-06-17].
- HRUŠKA, František. *Technické prostředky integrované automatizace*. 2017. ISBN 978-80-7454-700-3.
- CHIPTRON. *Arduino, čili mikrokontroléry pro každého*. Online. 2021 [cit. 2025-08]. Dostupné z: https://chiptron.cz/articles.php?article_id=275. [cit. 2025-08-06].
- KOZINA, Jakub. *2. díl o Arduinu – typy desek*. Online. 2015. Dostupné z: https://phgame.cz/PHGame_seriale/serialy/zaciname-s-arduinem/2-dil-o-arduinu-typy-desek/. [cit. 2025-07-14].
- KOZINA, Jakub. *4. díl o Arduinu – Shieldy*. Online. 2015. Dostupné z: https://phgame.cz/PHGame_seriale/serialy/zaciname-s-arduinem/4-dil-o-arduinu-shieldy/. [cit. 2025-07-14].

- KOZINA, Jakub. *5. díl o Arduinu – Seznamujeme se s deskou UNO* Online. 2015. Dostupné z: https://phgame.cz/PHGame_serialy/serialy/zaciname-s-arduinem/5-dil-o-arduinu-seznamujeme-se-s-deskou-uno/. [cit. 2025-07-14]
- KOZINA, Jakub. *6. díl o Arduinu – Připojujeme Arduino k PC a instalujeme IDE*. Online. 2015. Dostupné z: https://phgame.cz/PHGame_serialy/serialy/zaciname-s-arduinem/6-dil-o-arduinu-pripojujeme-arduino-k-pc-a-instalujeme-ide/. [cit. 2025-07-14].
- LASKAKIT. *Arduino Pro Micro ATmega32U4 5V 16MHz*. Online. Dostupné z: <https://www.laskakit.cz/arduino-leonardo-pro-micro/#relatedFiles>. [cit. 2025-06-14].
- LEVIDO, Andrew. *Bandgap Voltage Reference*. Online. 2021. Dostupné z: <https://circuitcellar.com/resources/quickbits/bandgap-voltage-reference/>. [cit. 2025-07-06].
- LINDBLUM, Jim. *Pro Micro & Fio V3 Hookup Guide*. Online. Dostupné z: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/pro-micro--fio-v3-hookup-guide/hardware-overview-pro-micro>. [cit. 2025-06-14].
- MALÝ, Martin. *Hradla, volty, jednočipy: Úvod do bastlení*. Praha, 2017, 513 s. ISBN 978-80-88168-26-3.
- MAXIM INTEGRATED. *Comparison of the DS18B20 and DS18S20 1-Wire® Digital Thermometers*. Online. 2009. Dostupné z: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/design-notes/1wire-protocol-pdf-of-ds18s20-vs-ds18b20-digital-thermometers--maxim-integrated.pdf>. [cit. 2025-07-06].
- MRS PHYSICS. *Measuring Acceleration*. Online. Dostupné z: <https://www.mrsphysics.co.uk/bge/wp-content/uploads/2022/03/Measuring-Acceleration-final.pdf?utm>. [cit. 2025-07-09].
- NORDIC SEMICONDUCTOR. *Enhanced ShockBurst (ESB)*. Online. 2025. Dostupné z: <https://docs.nordicsemi.com/bundle/ncs-latest/page/nrf/protocols/esb/index.html>. [cit. 2025-06-29].
- NORDIC SEMICONDUCTOR. *NRF24L01 Single Chip 2.4GHz Transceiver*. Online. 2007. Dostupné z: https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Wireless/Nordic/nRF24L01_Product_Specification_v2_0.pdf. [cit. 2025-06-29].
- PASCO. *Photogates, Fences, and Timers*. Online. Dostupné z: <https://www.pasco.com/products/guides/photogates?srsId=AfmBOops5hQsRpspQsqnf3m1RvQVpk6Fx3s4Z2eanh9YNudyAd9O1UW&utm>. [cit. 2025-07-09].

- PASCO. *Wireless Smart Gate PS-3225*. Online. Dostupné z: <https://www.pasco.com/products/sensors/wireless/ps-3225#desc-panel>. [cit. 2025-07-11].
- PINNEY, Charles P. a BAKER, William E. *Velocity Measurement*. Online. 1999. Dostupné z: <https://dsp-book.narod.ru/MISH/CH16.PDF>. [cit. 2025-07-10].
- REDAKCE HW SERVERU. *Stručný popis sběrnice I2C a její praktické využití k připojení externí eeprom 24LC256 k mikrokontroléru PIC16F877*. Online. Dostupné z: <https://vyvoj.hw.cz/navrh-obvodu/strucny-popis-sbornice-i2c-a-jeji-prakticke-vyuziti-k-pripojeni-externi-eeeprom-24lc256>. [cit. 2025-07-16].
- SENCOR. *SENCOR SWS 9500 Uživatelská příručka*. Online. Dostupné z: <https://mc-static.fast.eu/manual/52/52000908/52000908-im-cz.pdf>. [cit. 2025-07-10].
- SENCOR. *SWS 9500 Profesionální WBGT meteorologická stanice s bezdrátovým snímačem 8v1*. Online. Dostupné z: <https://www.sencor.cz/meteorologicka-stanice/sws-9500>. [cit. 2025-07-10].
- SPINA TRADE. *Bezdrátová váha TCS do 100 kg/10 g 35x45 cm*. Online. Dostupné z: <https://www.st-shop.cz/bezdratova-vaha-tcs-do-100-kg-10-g-35x45-cm/>. [cit. 2025-07-11].
- STANDO, Monika. *What is Visual Studio?* Online. Dostupné z: https://hiconsoftware.com/blog/what-is-visual-studio/?utm_source. [cit. 2025-08-06].
- STORE.ARDUINO. *Arduino Uno Rev3*. Online. Dostupné z: <https://store.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3>. [cit. 2025-07-14].
- SVOBODA, Aleš. *Vše o napájení Arduina*. Online. Dostupné z: https://navody.drtek.cz/technikuv-blog/napajeni-arduina.html?gclid=Cj0KCQjw06OTBhC_ARIsAAU1yOWLfBcwG3Q402Lm0Ija4BTy9W1h8k--OCqZzDZng34oF9ulQ4HTD0aAozMEALw_wcB. [cit. 2025-07-14].
- THESTUDENTROOM. *Acceleration using light gates*. Online. 2010. Dostupné z: https://www.thestudentroom.co.uk/showthread.php?t=1464903&utm_source. [cit. 2025-07-09].
- TME. *TFS5/120-P*. Online. Dostupné z: https://www.tme.eu/cz/details/ten-tfs5_120-p/dotyková-cidla/tenmex/tfs5-120-p/?__cf_chl_tk=PH0_frEWT4KK7eccOqXoTUei0Hywm7S2sP0txdr4dpc-1751500632-1.0.1.1-ZpLY_7ldeZBJgJ1w5lrccy9t8Rczl5YVS0Fd_opQZU. [cit. 2025-07-03].
- UPRT.VSCHT. *Měření tlaku*. Online. Dostupné z: <https://uprt.vscht.cz/ucebnice/mrt/F4/F4k42-tlak.htm#k42>. [cit. 2025-07-02].

- VERNIER. *Go Direct® Photogate*. Online. Dostupné z: <https://www.vernier.com/product/go-direct-photogate/>. [cit. 2025-07-10].
- VERNIER. *Go Direct® Photogate User Manual*. Online. Dostupné z: <https://www.vernier.com/manuals/gdx-vpg/>. [cit. 2025-07-10].
- VODA, Zbyšek. *Průvodce světem Arduina*. 2015, 240 s. ISBN 978-80-87106-90-7.
- VOJÁČEK, Antonín. *Fóliové tenzometry - princip, provedení, použití, historie*. Online. 2005. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/clanek/2005111201>. [cit. 2025-07-02].
- VOJÁČEK, Antonín. *Odporové tenzometry - princip, provedení, použití, historie*. Online. 2017. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/foliove-odporove-tenzometry-princip-provedeni-pouziti-historie.html>. [cit. 2025-07-02].
- VOJÁČEK, Antonín. *Polovodičové tenzometry - princip, provedení, použití, historie*. Online. 2006. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/clanek/2006111601>. [cit. 2025-07-04].
- ZAVAVOV. *I2C (TWI) – sériová komunikace po dvou vodičích s adresací*. Online. Dostupné z: <https://www.zavavov.cz/cz/elektrotechnika/komunikacni-sbornice/68-i2c-twi-seriova-komunikace-po-dvou-vodicich-s-adresaci/>. [cit. 2025-07-16]

