



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV MIKROELEKTRONIKY

DEPARTMENT OF MICROELECTRONICS

ÚLOVÁ VÁHA

BEEHIVE SCALE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Martin Žilka

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Lukáš Novák

BRNO 2020



Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Mikroelektronika a technologie**

Ústav mikroelektroniky

Student: Martin Žilka

ID: 203430

Ročník: 3

Akademický rok: 2019/20

NÁZEV TÉMATU:

Úlová váha

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhněte systém automatického vážení včelího úlu. Vytvořte zařízení na výše zmíněné téma. Do práce zpracujte vhodný postup vážení a porovnání několika způsobů automatického vážení úlů. Dále navrhněte možnost propojení jednotlivých úlů a jejich identifikace mezi více úly. Systém směřujte do nízkovýkonových zařízení pro síť Internetu věcí.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle pokynů vedoucího práce.

Termín zadání: 3.2.2020

Termín odevzdání: 8.6.2020

Vedoucí práce: Ing. Lukáš Novák

doc. Ing. Jiří Háze, Ph.D.
předseda rady studijního programu

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Abstrakt

Cílem této bakalářské práce je provedení rešerše o možnostech řešení návrhu úlové váhy pro venkovní použití s možností odesílání dat na dálku a reálná konstrukce prototypu. V úvodní části jsou popsány parametry osmi na trhu dostupných úlových vah. Dále jsou blíže popsány principy, výhody a nevýhody některých snímačů hmotnosti používaných komerčně. Následuje popis komunikačních rozhraní používaných v IoT aplikacích. Na základě popisů jsou pak vybrány technologie nejvhodnější pro aplikaci při dálkovém odečtu hmotnosti včelího úlu. Nakonec je popsána praktická konstrukce úlové váhy.

Klíčová slova

Úlová váha, registrační vážení, tenzometr, Sigfox, LoRa WAN, IoT, RS-485, váhový článek, RN2483, MSP430I2041, PIC18LF46K22

Abstract

The focus of this bachelor's thesis is to retrieve available information about possibilities of solution design of a beehive scale, which should be used in the countryside and has the option of remote data sending. The next step is to build a prototype of that scale. The introductory part contains a parameter description of eight types of commercial beehive scales. The next part is focused on principles, positives and negatives of some commercial weight sensors. The following section deals with communication interfaces used in the IoT. In conclusion is made a selection of the most appropriate technologies for remote weighing beehives, based on the previous research. The last part is devoted to the description of prototype construction.

Keywords

Beehive scale, registration weighing, tensometer, Sigfox, LoRa WAN, IoT, RS-485, load cell, RN2483, MSP430I2041, PIC18LF46K22

Bibliografická citace:

ŽILKA, Martin. Úlová váha. Brno, 2020. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/127068>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav mikroelektroniky. Vedoucí práce Lukáš Novák.

Prohlášení

„Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Úlová váha jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: **8. června 2020**

.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Lukáši Novákovi za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne: **8. června 2020**

.....
podpis autora

Obsah

1.	Úvod.....	1
2.	Komerčně dostupné úlové váhy.....	2
2.1	Srovnání elektronických úlových vah dostupných na trhu.....	2
2.1.1	Úlová váha GSM.....	2
2.1.2	Úlová váha PAYA.....	2
2.1.3	Medováha.....	3
2.1.4	Úlová váha BeeSpy.....	3
2.1.5	Úlové váhy výrobce LESAK s.r.o.....	4
2.1.6	Úlová váha SMS-Bienenstockwaage.....	4
2.1.7	HoneyPi.....	4
2.1.8	Úlová váha XLOG.....	5
3.	Návrh konstrukce úlové váhy.....	7
3.1	Srovnání hmotnostních senzorů.....	7
3.1.1	Indukční měřič dráhy.....	7
3.1.2	Piezelektrický snímač síly.....	9
3.1.3	Kapacitní snímač síly.....	9
3.1.4	Odporový tenzometrický snímač.....	11
3.1.5	Volba měřícího senzoru.....	15
3.2	Zpracování výstupních dat senzoru.....	15
3.3	Srovnání prostředků k přenosu dat.....	16
3.3.1	GSM, UMTS, LTE a NarrowBand IoT.....	16
3.3.2	Lo-Ra WAN.....	17
3.3.3	Sigfox.....	18
3.3.4	Bluetooth, Wi-Fi.....	19
3.3.5	Kabelové sběrnice.....	20
3.3.6	Průmyslové síť.....	21
3.4	Propojení více vah na stanovišti a přenos dat.....	21
3.4.1	Výběr rozhraní.....	22
3.5	Návrh mechanické konstrukce.....	23
3.5.1	Rozměry nástavků používané v Evropě a ČR.....	23
3.5.2	Schéma vážení úlů na stanovišti.....	23

4.	Realizace úlové váhy.....	25
4.1	Mechanická část	25
4.2	Návrh blokového schématu úlové váhy	27
4.3	Návrh blokového schématu řídicí jednotky	28
4.4	Volba použitých součástí a detailní návrh komunikace	29
4.4.1	Výběr tenzometrických snímačů	29
4.4.2	Zpracování dat z výstupu senzorů	30
4.4.3	Volba A/D převodníku, mikrokontroléru a budiče sběrnice úlové váhy ..	32
4.4.4	Možnosti napájení úlové váhy	33
4.4.5	Komunikace vah s řídicí jednotkou	34
4.4.6	Dálkové odesílání dat a návrh řídicí jednotky	34
4.4.7	Napájení obvodů řídicí jednotky.....	36
4.4.8	Ovládání a USB komunikace.....	39
4.5	Obvodové schéma a layout DPS	40
4.6	Programování úlové váhy	41
4.7	Programování řídicí jednotky.....	42
4.8	Skript pro zpracování dat na The Things Network	46
4.9	Sestavení váhy.....	47
4.10	Testování časové stability a měření spotřeby	48
4.11	Výrobní a provozní náklady	50
5.	Závěr	52

Seznam symbolů a zkratek

Zkratky:

VUT	...	Vysoké učení technické v Brně
LoRa WAN	...	Low range wireless area network
GSM	...	Global system for mobile communication
UMTS	...	Mobile telecommunications system
LTE	...	Long-term evolution
IoT	...	Internet of Things
NB IoT	...	NarrowBand IoT
CSS	...	Chirp spread spectrum
FEC	...	Forward error correction
CAN	...	Controller area network
VN	...	Vysoké napětí
ČR	...	Česká republika
Wi-Fi	...	Wireless fidelity
BLE	...	Bluetooth low energy
PC	...	Osobní počítač
MAC	...	Media access control
IP	...	Internet protocol
DPS	...	Deska plošných spojů
IC	...	Integrated circuit
USB	...	Universal serial bus (komunikační rozhraní)
LED	...	Light emitting diode (svítivá dioda)
TTN	...	The Things Network (webový server)
ADC	...	Analog to digital converter (A/D převodník)
Firmware	...	Program pro mikrokontrolér

Symboly:

U	...	elektrické napětí	[V]
I	...	elektrický proud	[A]
R	...	elektrický odpor	[Ω]
μ_0	...	permeabilita vakua	[Hm ⁻¹]
μ_r	...	relativní permeabilita	[-]
μ_e	...	efektivní permeabilita	[Hm ⁻¹]
N	...	počet závitů cívky	[-]
S	...	plocha	[m ²]
l	...	délka	[m]
ϵ_0	...	permitivita vakua	[Fm ⁻¹]
ϵ_r	...	relativní permitivita	[-]
ϵ	...	relativní prodloužení	[-]
K	...	konstanta tenzometru	[-]
L	...	indukčnost	[H]
C	...	kapacita kondenzátoru	[F]
d	...	vzdálenost desek kondenzátoru	[m]
ρ	...	měrný elektrický odpor	[Ωm]
T	...	teplota	[K]
α	...	teplotní koeficient elektrického odporu	[K ⁻¹]
Q	...	elektrický náboj	[C]

Seznam obrázků

Obr. 1 - Úlová váha GSM [1]	6
Obr. 2 - Medováha [5]	6
Obr. 3 - PAYA[3]	6
Obr. 4 - BeeSpy [2].....	6
Obr. 5 - Schématický nákres měření pomocí proměnné vzduchové mezery [25]	8
Obr. 6 - Schématický nákres piezoelektrického snímače síly [23].....	9
Obr. 7 - Charakteristiky kapacitních snímačů síly s pevnou plochou překrytí desek [28].....	10
Obr. 8 - Nákres kapacitních snímačů s proměnnou plochou překrytí desek [28].....	10
Obr. 9 - Kovový fóliový tenzometr [20].....	11
Obr. 10 - Schéma zapojení Wheatstoneova můstku s jedním tenzometrem.....	12
Obr. 11 - Schéma zapojení můstku se dvěma tenzometry	13
Obr. 12 - Schéma zapojení plného můstku	13
Obr. 13 - Závislost rozsahu tenzometru na počtu deformačních cyklů (převzato z [30]).....	14
Obr. 14 - Mapa pokrytí ČR signálem LTE M1 (14. 11. 2019) [37]	17
Obr. 15 - Pokrytí signálem LoRa WAN v ČR (říjen 2018) [41]	18
Obr. 16 - Mapa pokrytí signálem Sigfox v ČR (říjen 2018) [41]	19
Obr. 17 - Topologie sběrnice RS-485	20
Obr. 18 - Topologie sběrnice RS-422	21
Obr. 19 - Schéma zapojení a umístění vah na stanovišti	24
Obr. 20 - Simulace Von Mises napětí v materiálu profilu 20 x 30 x 2 mm.....	26
Obr. 21 - Simulace prohnutí profilu 20 x 30 x 2 mm	27
Obr. 22 - Blokové schéma elektroniky úlové váhy.....	27
Obr. 23 - Blokové schéma elektroniky řídicí jednotky.....	28
Obr. 24 - Senzor 1516084661 [60]	30
Obr. 25 - Senzor FX1901 [61]	30
Obr. 26 - Blokové schéma Σ - Δ A/D převodníku	30
Obr. 27 - Obvodové schéma regulátorů.....	34
Obr. 28 - Schéma zapojení měniče pro napájení RN2483.....	37

Obr. 29 - Schéma zapojení měniče napájecího sběrnici	38
Obr. 30 - Schéma zapojení USB převodníku.....	40
Obr. 31 - Vnitřní blokové schéma obvodu MSP430I2041 [69]	41
Obr. 32 - Vývojový diagram firmware úlové váhy.....	42
Obr. 33 - Vnitřní blokové schéma PIC18LF46K22 [91].....	43
Obr. 34 - Vývojový diagram programu inicializace a obsluhy komunikace	44
Obr. 35 - Vývojový diagram obsluhy uživatelského rozhraní.....	45
Obr. 36 - Ukázka zpracovaných přijatých dat	46
Obr. 37 - Schéma zapojení polomůstkových článků do plného můstku [60].....	47
Obr. 38 - Závislost hmotnosti na čase při použití tenzometrů FX1901	48
Obr. 39 - Závislost hmotnosti na čase s použitím tenzometrů 1516084661	49

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Klíčové parametry zkoumaných úlových vah	5
Tabulka 2 - Srovnání klíčových parametrů profilů použitelných ke konstrukci rámu	25
Tabulka 3 - Parametry vybraných snímačů	29
Tabulka 4 - Porovnání klíčových parametrů vybraných budičů sběrnice	33
Tabulka 5 - Rozpis komponentů úlové váhy	50
Tabulka 6 - Rozpis komponentů řídicí jednotky	50

1. ÚVOD

Během včelařské sezóny se medníky rychle zaplňují, je potřebná tedy jejich častá kontrola a včasné stáčení medu. V případě zanedbání této nutnosti může dojít k rojení včel a jejich následnému odletu za hledáním nového domova, což zapříčiní oslabení včelstva a značnou ztrátu zásob medu, pylu atd. Úlová váha má pomoci včelařům obsah přesněji, případně na dálku, kontrolovat (registrační vážení).

V případě osobní kontroly stavu úlu je někdy nezbytné nahlédnout dovnitř, což tamějším včelám neprospívá. Osobní kontrole se zcela vyhnout nelze, pomocí váhy nelze včas odhalit například přítomnost parazitů, či zmizení nebo trubcokladnost matky.

Při použití více vah lze vyhodnotit i vhodnost umístění úlu či vhodnost daného včelstva pro šlechtění nebo k dosažení větší produkce medu.

V zimním období je váha nápomocna sledování množství zásob, zbývajících včelstvu pro přezimování. Nevýhodou dálkového elektronického vážení v zimě je vliv povětrnostních podmínek, protože se k hmotnosti úlu může přidat napadaný sníh. Další nevýhodou je poměrně vysoká cena elektronických vah na trhu. Velké množství včelařů se neomezuje pouze na jedno stanoviště, nýbrž může mít včelstev i několik stovek. S počtem úlů a stanovišť vzrůstá i potřeba většího počtu úlových vah. Jejich celková cena se může stát neúnosnou. Při nákupu včelařského vybavení je možno dle nařízení vlády č. 197/2005 Sb. žádat o částečnou náhradu ve formě dotace, ale pro její nárokování je třeba splnit přesné požadavky a navíc jsou vypláceny dodatečně, tedy až po nákupu vybavení.

Cílem této bakalářské práce je konstrukce úlové váhy pro registrační vážení, a to z hlediska mechanického i elektrického. Váha by měla umožňovat propojení s ostatními vahami na stanovišti včetně identifikace konkrétního kusu mezi ostatními a disponovat funkcí odesílání dat na vzdálený server. Konstrukce by měla být založena na provedeném průzkumu dostupných způsobů a možností registračního vážení a nabídky trhu. Posledním cílem práce je otestování sestaveného vážního systému.

2. KOMERČNĚ DOSTUPNÉ ÚLOVÉ VÁHY

Komerčně vyráběné úlové váhy jsou k sehnání jak na mechanickém, tak elektronickém principu.

Váha založená na mechanickém principu má jednu zásadní nevýhodu oproti elektronické, a to nutnost obsluhy. V sezóně to znamená každodenní kontrolu stanovišť, protože hmotnost úlu může ze dne na den vzrůst i o 5 kg. V případě rozmístění včelstva na více stanovištích (úly jsou od sebe vzdáleny několik kilometrů) je tento způsob nevhodný a finančně a časově nákladný.

Elektronické váhy mají obvykle možnost odesílání dat, případně i jejich zpracování, odpadá tedy nutná obsluha. Je třeba mít však včelstva rozmístěna v dosahu kabelů nebo příslušných bezdrátových komunikačních linek a rovněž elektronická váha musí mít zdroj elektrické energie. Některé váhy umožňují i měření teploty či modulární propojování do sestav pro snadné přidávání a odebírání úlů.

2.1 Srovnání elektronických úlových vah dostupných na trhu

2.1.1 Úlová váha GSM

Tato váha [1] je poměrně jednoduché konstrukce, sestává ze dvou ocelových rámu proložených tenzometry. Disponuje měřením hmotnosti do 150 kg s rozlišením a tolerancí ± 10 g. Funguje samostatně, nelze tedy propojit více vah na jednom stanovišti. Odesílání dat probíhá 1x denně přes GSM síť. Váha je schopna detekovat a okamžitě nahlásit náhlý pokles hmotnosti, k němuž dojde při převrácení úlu či jeho krádeži. Váha je voděodolná. Napájení zajišťují 6x AA 1,5 V články, s nimiž váha vydrží 3 - 4 měsíce nepřetržitého provozu. Cena se pohybuje okolo 9990 Kč.

2.1.2 Úlová váha PAYA

Další váha [3] [11] o rozměrech 400 x 350 x 45 mm (pouze rám bez roznášecích latí) je určena pro všechny běžné typy úlů. Obsahuje 4 senzory hmotnosti. Maximální hmotnost úlu je 200 kg, tolerance ± 50 g a rozlišení 0,1 kg. Hmotnost samotné váhy je 4 kg. Váha umožňuje monitorovat kromě hmotnosti úlu i teplotu okolí. Odesílání dat je možné pomocí GSM sítě s nastavitelným intervalem odesílání, nebo pomocí kabelu (až 500 m dlouhého [3]) přímo do PC. Systém je modulární, váhy lze tedy propojit do sestav. K řídicí elektronice je možno připojit více vah (až 31), jež lze v dané lokalitě libovolně odpojovat a připojovat bez nutnosti velkých zásahů do systému. Propojení je realizováno USB kabely. Všechny moduly jsou voděodolné, stupně krytí IP65. Výdrž v provozu je dle výrobce 10 let, napájení zajišťuje lithiová primární baterie (cena asi 360 Kč). Cena váhy s řídicí jednotkou je až 13000 Kč, další váha bez řídicí jednotky je na trhu asi za polovinu. K produktu je dodáván též vyhodnocovací software.

2.1.3 Medováha

Medováha [5] má poněkud širší nabídku možností, než předchozí systémy. Tato váha nemá rám, sestává pouze ze čtyř senzorů hmotnosti, které jsou umístovány pod rohy úlu. Sensory hmotnosti jsou obsluhovány elektronickou jednotkou s výstupem na sběrnici RS485. Sběrnice je průchozí skrz jednotku (připojení pomocí svorkovnice) a je možno na ni připojit až 31 vah. Každá váha umí měřit pomocí sondy teplotu v úlu i v okolí. První zařízení na sběrnici je vyhodnocovací modul (založen na Raspberry Pi), který zajišťuje též napájení. To může být ve včelíně realizováno adaptérem, v terénu běžnou power bankou. Ty mohou být připojeny nanejvýš dvě. Výdrž v trvalém provozu při dvou připojených (nových) powerbankách (po 5600 mAh) je 2 - 3 měsíce. Všechny moduly určené do terénu jsou voděodolné. Data je možno odesílat buď přímo z vyhodnocovacího modulu pomocí kabelu (až 200 m dlouhého) či Wi-Fi. Modul je možno doplnit o GSM vysílač. Data lze přijímat na mobil pomocí SMS i internetu (aplikace třetí strany), viz návod k instalaci [6]. Pro PC je dodáván software umožňující příjem a vyhodnocení dat. Tento program není nutný, jelikož ve vyhodnocovacím modulu je provozován server s nastavením i vyhodnocením. Naměřená data mohou být v rámci modulu ukládána na USB flash disk pro offline stahování.

Váha je použitelná maximálně do 200 kg s rozlišením 0,1 kg a přesností ± 1 kg.

Vyhodnocovací modul s jednou vahou vyjde koncového zákazníka minimálně na asi 9000 Kč. Každá další váha potom na zhruba 3600 Kč.

2.1.4 Úlová váha BeeSpy

Další značně propracované řešení problematiky vážení úlů přináší kromě elektronického systému i služby [2]. Narozdíl od předchozích výrobce totiž poskytuje i zajištění poměrně levného (150 Kč/měsíc) GSM provozu v síti T-Mobile. Systém je rovněž modulární. Samotná váha sestává z tenzometrického můstku v robustní kovové konstrukci o rozměru 500 x 500 x 90 mm. Jedna z vah na stanovišti má zabudovanou komunikační jednotku, jež odesílá data prostřednictvím Wi-Fi případně GSM. Další váhy jsou již bez komunikační jednotky a lze je libovolně připojovat a odpojovat (max. 20 vah připojených). Váha BeeSpy navíc umožňuje měřit teplotu v úlu i v okolí a venkovní vlhkost vzduchu. Volitelně lze zabudovat i bezpečnostní spínač a čítání průchodu včel česnem. Řídící jednotka každé váhy je vybavena displejem pro sledování stavu v offline režimu. Jinak jsou naměřená data dostupná pouze na placeném serveru (130 Kč/měsíc) [8], odkud je možný export. Zmíněný server disponuje i grafickým zpracováním naměřených dat.

Váhu lze použít maximálně do 200 kg, leč krátkodobě, dlouhodobě zvládá max. 150 kg, a to s přesností ± 50 g.

Napájení je realizováno adaptérem či libovolným akumulátorem daných parametrů dle [7]. Výrobce doporučuje a prodává olověný akumulátor doplněný solárním panelem pro provoz v terénu. Výdrž v terénu je asi 1 měsíc pro jednu váhu.

Hmotnost samotné váhy je 19,5 kg, váha je voděodolná (IP54).

Cena váhy s komunikační jednotkou je minimálně asi 8000 Kč, stejně tak přídatných vah. Další příslušenství je již volitelné.

2.1.5 Úlové váhy výrobce LESAK s.r.o.

Brněnská firma LESAK s.r.o. se zabývá výrobou průmyslových vah [9], nabízí i několik úlových. Všechny úlové váhy v nabídce mají totožnou řídicí jednotku (odpojitelnou), liší se provedením rámu s tenzometrickým můstkem, maximální hmotností a přesností. Pro porovnání byla zvolena váha LESAK 1T6060LN-RWP [10]. Vážní plocha má velikost 600 x 600 x 120 mm. Maximální hmotnost je 300 kg při přesnosti ± 50 g. Váha je voděodolná.

Napájení je realizováno nabíjecími Ni-MH články, výdrž na jedno nabití je 40 hodin v zapnutém stavu. Váhy nelze propojovat, a nejsou určeny pro trvalý provoz. Výstup dat je možný pouze skrze sběrnici RS232 do PC. Tato váha je narušena od předchozích certifikována i pro obchodní vážení. Cena podobných vah od tohoto výrobce se pohybuje v intervalu 7800 - 13400 Kč [9].

2.1.6 Úlová váha SMS-Bienenstockwaage

Tato rakouská úlová váha [12] rozměrech 450 x 350 x 90 mm (pro úly typu Langstroth) je použitelná do 100 kg s tolerancí ± 25 g, nebo do 200 kg s tolerancí ± 50 g a rozlišením 0,1 kg. Váha disponuje i měřením teploty a vlhkosti vzduchu v okolí. Je schopna též zaznamenávat polohu pomocí GPS. Váhy nelze propojovat. Odesílání dat probíhá skrze SMS nebo Bluetooth pomocí aplikace pro Android OS. Napájení realizuje olověný akumulátor 12 V/7 Ah (výdrž 3 - 4 měsíce), který je možno doplnit solárním panelem. Cena váhy je 430 € [13], v přepočtu asi 10500 Kč.

2.1.7 HoneyPi

Úlová váha německé výroby HoneyPi [14] je založena na Raspberry Pi Zero a několika dalších modulech (BME680, DS18B20+, HX711) a lze ji objednat již sestavenou, nebo nakoupit díly na stránkách výrobce či kdekoli jinde a váhu si doma sestavit dle dostupného návodu. Výrobce poskytuje i firmware pro Raspberry Pi. Data jsou odesílány prostřednictvím Bluetooth, Wi-Fi nebo GSM. Zpracování dat probíhá pomocí aplikace pro Android a iOS či na serveru ThingSpeak. Váha umožňuje měřit teplotu, vlhkost, tlak vzduchu v okolí, teplotu uvnitř úlu. Je rozšiřitelná o senzor proti krádeži a je schopna rozpoznat i rojení včel. K váze lze připojit i kameru. Je napájena autobaterií 12 V/70 Ah s možností přidání solárního panelu 12 V/25 W. Výdrž jedné váhy na baterii je zhruba 1 měsíc. Váhy nelze propojovat do sestav, leč systém je open source, další rozšíření lze s trochou šikovnosti a vzdělání doplnit. Maximální limit hmotnosti je až 200 kg s tolerancí ± 50 g dle použitých tenzometrů. Rozlišení váhy je 0,1 kg.

Cena elektroniky vyjde zhruba na 133 €, v přepočtu 3400 Kč. Rám si musí zákazník opatřit vlastní. Konstrukce není voděodolná.

2.1.8 Úlová váha XLOG

Váha je opět založena na tenzometrickém můstku nerezové konstrukce o rozměrech 360 x 410 x 80 mm [15][16]. Je možno na ní vážit až do 200 kg s rozlišením a přesností ± 10 g. Řídící váha má zabudovaný GSM vysílač. Lze připojit i rozšiřující radič pro až 3 další váhy (již bez vysílače). Ke všem vahám je možné připojit i senzor teploty v úlu, senzor teploty, tlaku a vlhkosti v okolí, srážkoměr, měřič rychlosti a směru větru a bezpečnostní kontakt proti krádeži. Moduly jsou stupně krytí IP67. Data lze zpracovat pomocí mobilního telefonu či PC. Váha je napájena lithiovou primární baterií, výdrž řídící váhy je až 10 let provozu.

Cena řídící váhy je 895 €, což odpovídá asi 23000 Kč. Další váha stojí 444 € (11000 Kč) a rozšiřující radič 145 € (3700 Kč). Sensory jsou volitelné, každý se vejde cenou do 100 €.

Tabulka 1 - Klíčové parametry zkoumaných úlových vah

	Úlová váha GSM	PAYA	Medováha	BeeSpy
Cena řídící váhy [Kč]	9990	13000	9000	8000
Cena přídatné váhy [Kč]	N/A	6000	3600	8000
Max. Počet v sestavě	0	31	31	20
Max. hmotnost (trvale) [kg]	150	200	200	150
Tolerance [\pm g]	10	50	1000	50
Rozlišení [kg]	0,01	0,1	0,1	0,1
Výdrž baterie	3 - 4 měsíce	10 let	2 – 3 měsíce	1 měsíc

Tabulka 1a - Klíčové parametry zkoumaných úlových vah - pokračování

	LESAK 1T6060LN-RWP	SMS-Bienenstockwaage	HoneyPi	XLOG
Cena řídící váhy [Kč]	13400	10500	3400	23000
Cena přídatné váhy [Kč]	N/A	N/A	N/A	14700
Max. Počet v sestavě	0	0	0	4
Max. hmotnost (trvale) [kg]	300	200	200	200
Tolerance [\pm g]	50	50	50	10
Rozlišení [kg]	0,1	0,1	0,1	0,01
Výdrž baterie	40 h	3 - 4 měsíce	1 měsíc	10 let



Obr. 1 - Úlová váha GSM [1]



Obr. 2 - Medováha [5]



Obr. 3 - PAYA[3]



Obr. 4 - BeeSpy [2]

Obr. 1 – Obr. 3 názorně ukazují některé možné konstrukce úlových vah. Rámy jsou většinou bytelné kovové či dřevo-kovové konstrukce, výjimkou je Medováha, která žádný rám nepotřebuje.

3. NÁVRH KONSTRUKCE ÚLOVÉ VÁHY

Úlová váha by měla sloužit k dálkovému monitorování včelstev v terénu, měla by tedy být především odolná proti vlivům prostředí, tedy proti působení vody a vlhkosti, mrazu, zvýšené teploty v důsledku slunečního svitu a prachu. Tato odolnost se netýká jen koroze, ale i deformace materiálu periodickými změnami klimatických podmínek při působení tlaku, jako například zkroucení a prohýbání navlhlého dřeva. Další podmínkou pro spolehlivý provoz je dlouhotrvající vlastní napájení. Váha by se zřejmě nestala u včelařů oblíbenou, pokud by museli často měnit baterie. V ideálním případě by váha měla vydržet minimálně 1 rok bez údržby, protože koncem sezóny (srpen, září) se odebírá medník, v důsledku čehož je nutné tedy úl částečně rozebrat. Při té příležitosti je vhodné i kontrolovat váhu. V květnu až červnu se sice medník opět nasazuje, ale čím častěji bude úl rozebírán, tím hůře pro včelstvo i jeho majitele. Navíc výdrž baterie pouze po dobu snášky medu by znamenala nutnou výměnu uprostřed zimy. Dalším klíčovým parametrem váhy je maximální hmotnost. Úl může v sezóně dosáhnout hmotnosti i 130 kg, váha by měla být schopna s rezervou přesně snímat i takovou hmotnost. Co se týče přesnosti, pro daný účel postačuje nižší, než u jiných typů vah, např. kuchyňských či průmyslových. Rozlišení by mělo stačit 0,1 kg. Váhy na jednom stanovišti by bylo vhodné propojovat mezi sebou (jako např. Medováha (viz kapitola 2.3.7), neboť tím lze snížit náklady na provoz. Připojení a odpojení váhy by mělo být realizováno jako rychlé a jednoduché. Data z váhy by se měla dostat k majiteli na libovolnou vzdálenost nejlépe beze ztrát informací. Měření dalších parametrů mimo hmotnost by bylo výhodou, minimálně pro konkurenceschopnost na trhu. Odečítání hmotnosti a případných dalších parametrů bude pro statistické účely (předpověď zaplnění medníku) postačovat nejvýše 1x za 10 minut. Čím častěji jsou data odečítána a odesílána, tím větší je průměrná spotřeba zařízení. Rozměr váhy by měl pro co nejširší použití odpovídat velikosti často používaných typů nástavků.

3.1 Srovnání hmotnostních senzorů

Měření hmotnosti lze provádět přímou i nepřímou metodou. Přímé metody jsou mechanické (pomocí průtoku, přenosu tepla, fyzického kyvadla atd.), elektronicky lze měřit hmotnost pouze nepřímo, a to nejsnáze pomocí síly a deformačního napětí. Srovnání se týká pouze průmyslově využitelných způsobů.

3.1.1 Indukční měřič dráhy

Indukční měřič dráhy sestává z cívky a posuvného jádra [18] [19]. Pro měření síly je jádro opatřeno pružinou, jež působí proti měřené síle. Měřič lze sestavit několika způsoby, a to jádrem zasouvaným do vzduchové cívky, změnou velikosti mezery v magnetickém obvodu jádra (Obr. 5) nebo vzájemným posuvem příček v jádře, např. typu EI, jehož následkem je změna plochy jádra.

Pro vlastní indukčnost cívky s jádrem platí vztah [35]:

$$L = \mu_0 \mu_r \cdot \frac{N^2 \cdot S}{l_c} \quad (1)$$

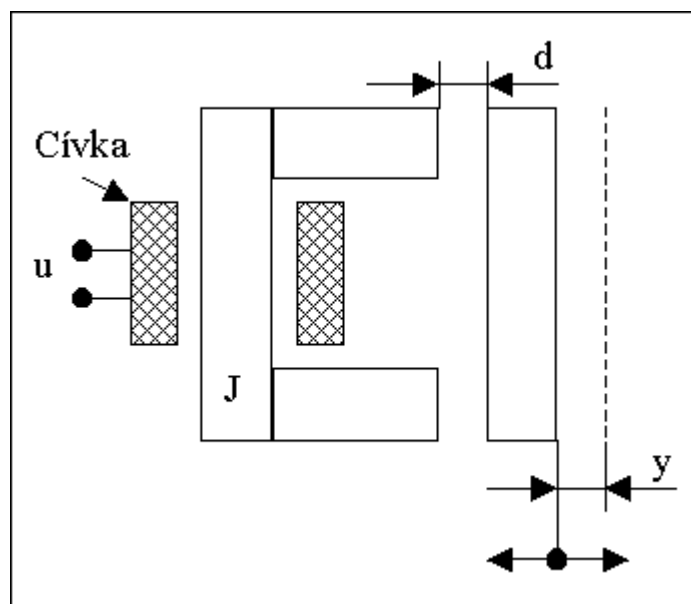
kde μ_0 je permeabilita vakua, μ_r je relativní permeabilita jádra, N je počet závitů cívky, S je průřez jádra a l_c je délka vinutí.

V případě obvodu s magnetickou mezerou se namísto relativní permeability zavádí efektivní permeabilita, pro niž platí:

$$\mu_e = \mu_r \cdot \frac{l_e}{l_e + l_v \cdot (\mu_r - 1)} \quad (2)$$

kde l_e je celková délka jádra, a l_v je délka mezer. Pro indukčnost cívky na Obr. 5 pak platí:

$$L = \mu_0 \mu_e \cdot \frac{N^2 \cdot S}{l_c} \quad (3)$$



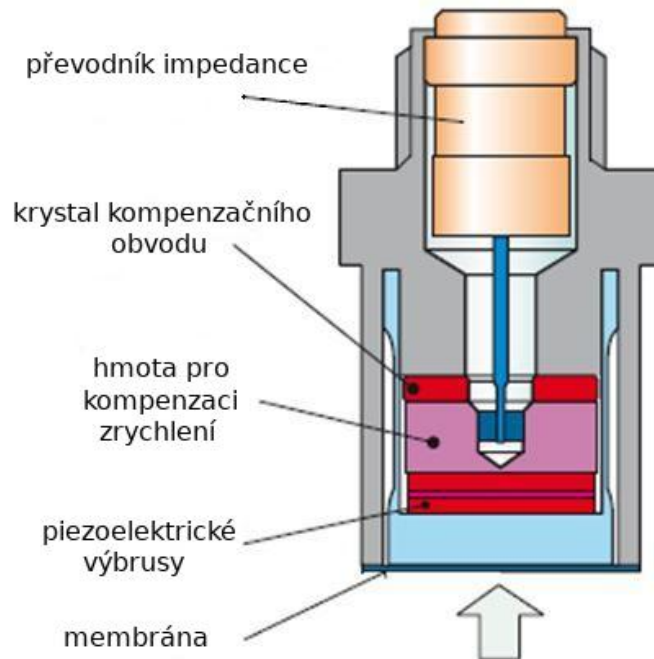
Obr. 5 - Schématický nákres měření pomocí proměnné vzduchové mezer [25]

Tyto způsoby měření vyžadují přesný oscilátor, jehož součástí je měřicí cívka, a rovněž složité vyhodnocení změn kmitočtu (PLL závěs, čítač, RLC můstek).

Limity měřicího rozsahu nejsou teoreticky omezeny. Senzory jsou finančně nákladné, obzvláště pokud mají být odolné proti povětrnosti [26], ale velmi přesné. Indukční senzory jsou ovlivnitelné vnějším magnetickým polem a jsou teplotně závislé, což není vhodné pro venkovní provoz.

3.1.2 Piezoelektrický snímač síly

Snímač využívá tzv. přímého piezoelektrického jevu [19] v izolantech a polovodičích. Dochází při něm k nabití materiálu, přičemž velikost náboje závisí na vnější deformační síle. Rozsah použitelnosti je v rozmezí působících sil $10^{-1} - 10^9$ N. Používá se zejména pro dynamické měření sil. Pořizovací cena takovýchto snímačů je vysoká. Obr. 6 ukazuje vnitřní uspořádání senzoru. Šipka označuje směr působící měřené síly. Převodník impedance má vývodku na kabel, je zde kvůli přizpůsobení vysokoimpedančního krystalu běžně používaným nízkoimpedančním kabelům.



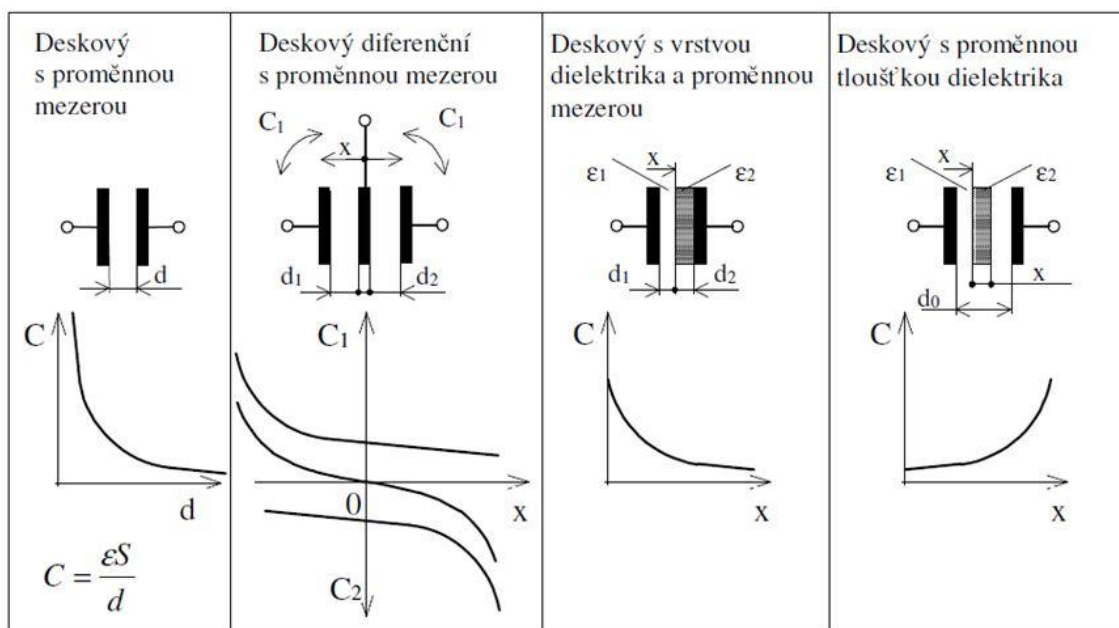
Obr. 6 - Schématický náčrt piezoelektrického snímače síly [23]

3.1.3 Kapacitní snímač síly

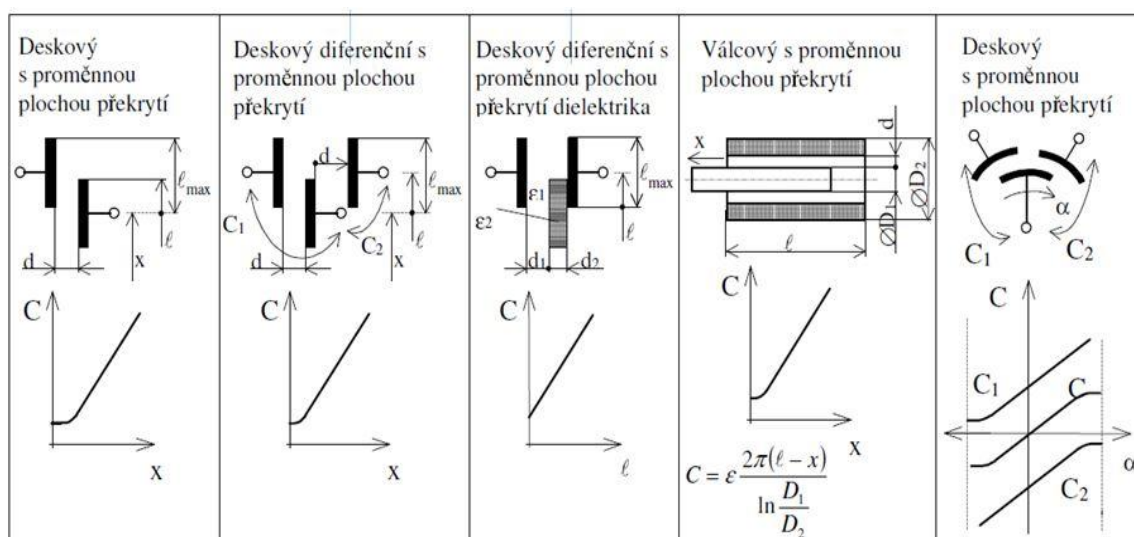
Tento typ snímačů pracuje na principu změny kapacity v důsledku působící síly [19], a to zmenšením mezery mezi dvěma nabitými deskami, změnou tloušťky dielektrika, nebo opět jejich vzájemným posuvem, potažmo změnou plochy překrytí desek. Meze rozsahu jsou libovolné. Kapacita snímače podléhá vztahu:

$$C = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{S}{d} \quad (4)$$

kde S je plocha překrytí desek, d je vzdálenost desek, ε_0 je permitivita vakua a ε_r je relativní permitivita dielektrika.



Obr. 7 - Charakteristiky kapacitních snímačů síly s pevnou plochou překrytí desek [28]



Obr. 8 - Nákres kapacitních snímačů s proměnnou plochou překrytí desek [28]

Z charakteristik na Obr. 7 a 8 je patrné, že kapacita je přímo úměrná ploše překrytí desek a nepřímo úměrná jejich vzdálenosti. Závislost kapacity na tloušťce dielektrika je již nelineární. Z toho plyne, že snímač s proměnnou šířkou mezery mezi deskami, pokud dielektrikem není vakuum, trpí i změnou tloušťky dielektrika, čímž se zhoršuje jeho linearita. Výhodou některých kapacitních senzorů (s proměnným překrytím desek) je jejich linearita, nevýhodou je menší stabilita oproti indukčnímu měřiči dráhy, vysoká cena a nutnost zpracování signálu složitými měřicími obvody.

3.1.4 Odporový tenzometrický snímač

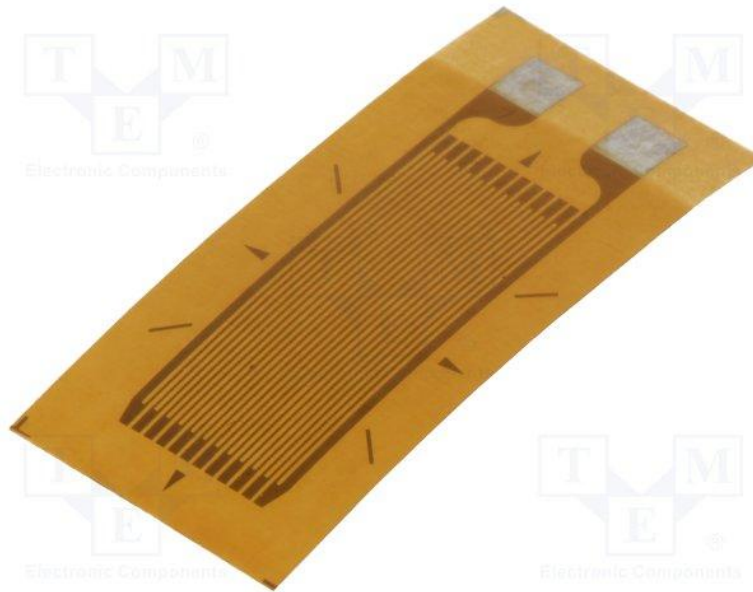
Odporové tenzometrické snímače [17] [19] využívají změnu odporu kovu či polovodiče při působící deformační síle dle vztahu:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S} \quad (5)$$

kde ρ je měrný odpor. Poměrná změna odporu je u kovu přímo úměrná poměrnému stlačení. Kovový tenzometrický snímač je tedy lineární. Platí:

$$\frac{R}{R_0} = K \cdot \frac{l}{l_0} = K \cdot \varepsilon \quad (6)$$

kde K je součinitel deformační citlivosti, l a R jsou délka a el. odpor po deformaci a l_0 a R_0 délka a odpor před deformací. Poměr délek lze vyjádřit i jako relativní prodloužení ε . K tomuto jevu dochází ve všech kovech, pro účely měření jsou využívány nejčastěji fóliové tenzometry, jež jsou tvořeny fólií s napařeným kovovým motivem.



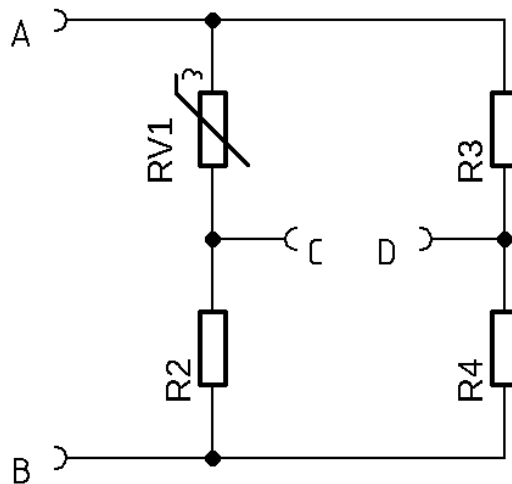
Obr. 9 - Kovový fóliový tenzometr [20]

Využitelné jsou též polovodičové tenzometry, které se vyznačují asi 60x vyšším součinitelem deformační citlivosti [17], leč menší přesností, velkou teplotní závislostí, horší linearitou. Odpor polovodičového tenzometru je popsán vztahem:

$$\frac{R}{R_0} = C_1 \cdot \varepsilon + C_2 \cdot \varepsilon^2 \quad (7)$$

kde C_1 a C_2 jsou konstanty tenzometru, ovlivněné přidáním příměsí do základního polovodiče. Polovodičový tenzometr již tedy linearitu postrádá, ale daný průběh lze snadno aproximovat. Typické hodnoty: C_1 řádově stovky, C_2 až tisíce [36].

Jelikož odpor kovů je za běžných podmínek velmi malý (záleží na rozměrech a materiálu vrstvy), používá se k jeho měření můstkové zapojení pro měření malých odporů. V případě polovodičových tenzometrů lze použít libovolný kompenzační můstek, například Wheatstoneův. Tento můstek pracuje se čtyřmi tenzometry, zapojení je velmi rozšířené. Tenzometry jsou standardně vyráběny v řadách 120, 150, 300, 150, 600 a 1000 Ω naprázdno [22].

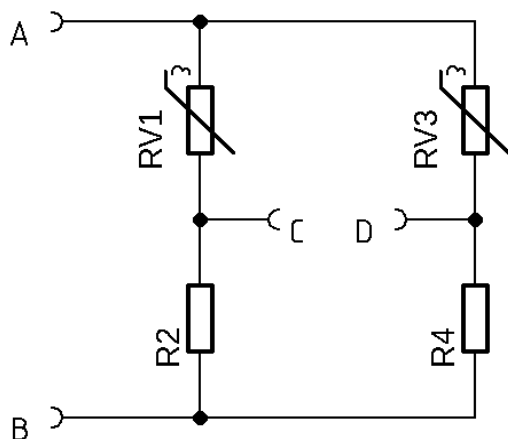


Obr. 10 - Schéma zapojení Wheatstoneova můstku s jedním tenzometrem

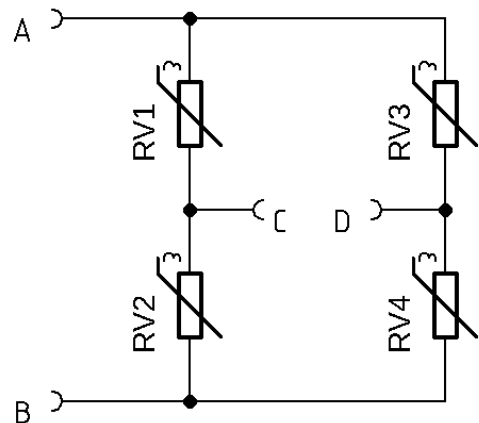
Pro můstek na Obr. 10 za předpokladu $R1 = R2 = R3 = R$ a $RV1 = R + \Delta R$ z Ohmova zákona plyne vztah:

$$U_{CD} = U_{AB} \frac{R}{2R + \Delta R} - \frac{U_{AB}}{2} \quad (8)$$

Princip činnosti můstku je následující. V případě nezatíženého tenzometru se jeho odpor rovná R a můstek je vyvážen ($U_{CD} = 0$ V). Při zatížení tenzometru tento změni odpor o ΔR a tím dojde k porušení rovnováhy. To má za následek změnu napětí U_{CD} . Můstek s jedním tenzometrem má nevýhodu malé citlivosti a není tepelně kompenzovaný. Můstek na Obr. 11 řeší problém nízké citlivosti i tepelné kompenzace. Pokud jsou prvky umístěny v malých vzájemných vzdálenostech, mají velmi podobnou teplotu a souhlasný vliv teplotního driftu odporu obou tenzometrů se vyruší. Tenzometry musí být však umístěny tak, aby jejich změny odporu vlivem působící síly byly opačné.



Obr. 11 - Schéma zapojení můstku se dvěma tenzometry



Obr. 12 - Schéma zapojení plného můstku

Plný můstek (Obr. 12) přináší ještě vyšší citlivost než poloviční. Pro U_{CD} platí vztah:

$$U_{CD} = U_{AB} \frac{RV1 \cdot RV2 - RV2 \cdot RV4}{(RV1 + RV2) \cdot (RV3 + RV4)} \quad (9)$$

Měření fóliovým tenzometrem ovlivňuje zejména jeho teplotní závislost, únava materiálu tenzometru, tečení materiálu, termoelektrické napětí, hystereze, vnější magnetické a elektrické pole [24]. Vlivu většiny těchto jevů lze předejít vhodnou konstrukcí zařízení. Kovové tenzometry bývají vyrobeny ze slitin, které zmíněným jevům zabraňují.

Pro teplotní délkovou roztažnost kovu platí vztah:

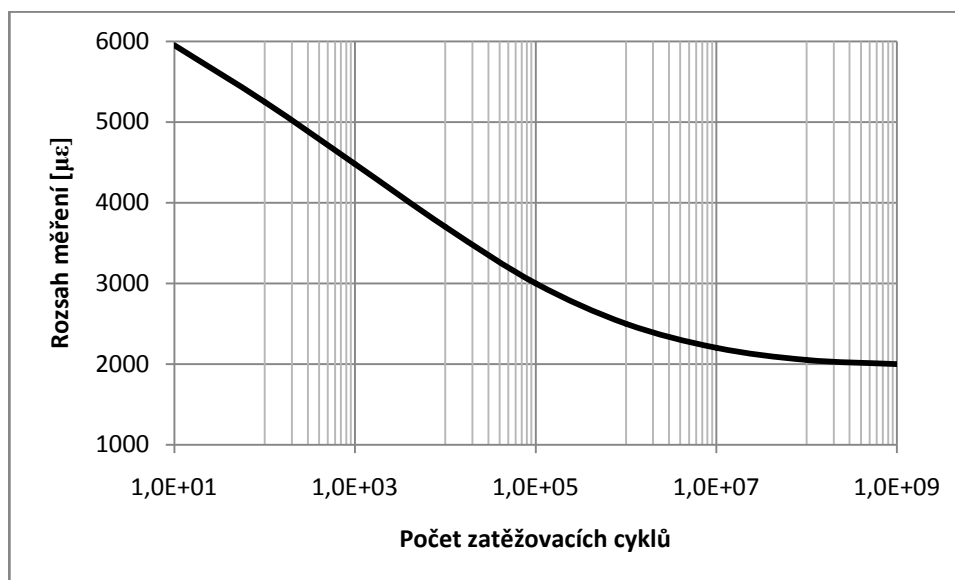
$$l = l_0(1 + \alpha \Delta T) \quad (10)$$

kde l a l_0 jsou délka materiálu po a před změnou délky, ΔT je změna teploty materiálu a α součinitel teplotní délkové roztažnosti. Obdobný vztah platí i pro změnu odporu kovu:

$$R = R_0(1 + \alpha_R \Delta T) \quad (11)$$

Například konstantan (složení: 54 % Cu, 45 % Ni, 1 % Mn [34]) má poměrně nízký koeficient teplotní změny odporu ($\alpha_R = 0,05$) i koeficient teplotní délkové roztažnosti ($\alpha = 0,04 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$) [31], spolu s manganinem asi 100x nižší než čisté kovy [32]. Termoelektrické napětí manganinu a konstantanu je záporné, při kontaktu s kovem je tedy změna napětí s teplotou velmi nízká. Vliv teploty na výstup tenzometru je označován jako zdánlivá deformace. Vyrábí se i teplotně samokompensované tenzometry [33]. Při můstkovém zapojení tenzometrů se vlivy působící na všechny

senzory současně odečtou. To platí i o vlivu vnějšího elektrického a magnetického pole (způsobuje indukci rušení a magnetostrikční deformaci tělesa tenzometru), jehož efekt lze eliminovat i zkroucením přívodních vodičů. Stárnutí kovových tenzometrů nelze zabránit, je třeba s ním při návrhu zařízení počítat. Obr. 13 ukazuje velikost rozsahu měření kovového tenzometru na počtu deformačních cyklů. Hodnota se ustálí zhruba po deseti milionech cyklů.



Obr. 13 - Závislost rozsahu tenzometru na počtu deformačních cyklů (převzato z [30])

Hystereze tenzometru je závislá zejména na kvalitě jeho upevnění [33], při dobrém nalepení fólie je to maximálně 0,5 %. Tečení materiálu se významně projevuje pouze při skokové deformaci.

U polovodičových tenzometrů se hystereze v širokém rozmezí teplot neprojevuje vůbec. Jejich stárnutí je též minimální, proto nacházejí využití např. při únavových testech materiálů. Oproti kovovým mají velký odpor a citlivost, jak již bylo zmíněno. Nevýhodou je malá teplotní stabilita, jelikož termoelektrické napětí a teplotní součinitel odporu křemíku jsou poměrně vysoké, až 1000x vyšší, než konstatanu či manganinu [32] [33]. Teplotní drift lze vykompenzovat vhodným zapojením.

Velkou předností tenzometrů je nízká cena, velmi snadné zpracování výstupního údaje a dobrá stabilita při zapojení v polovičním nebo plném můstku.

3.1.5 Volba měřícího senzoru

Při výběru senzoru pro úlovou váhu je třeba sledovat požadavky kladené na začátku kapitoly 3. Vzhledem k tomu, že hmotnost úlu se během roku mění ve velkém rozsahu (20 - 130 kg), požadujeme maximální vážitelnou hmotnost nejméně 150 kg, aby nemohlo dojít k překročení limitní hmotnosti. Čím vyšší je maximální přípustné zatížení senzoru, tím obvykle klesá jeho přesnost. Je nutno tedy hledat kompromis. Jelikož váha je určena pro kontrolu včelstva a statistické zpracování údajů, rozlišení váhy postačí 0,1 kg při přesnosti samozřejmě nižší. Pro celoroční provoz v terénu je zásadní časová a teplotní stabilita měření a rovněž odolnost proti rušení zvenčí, např. od silových vedení či RF zařízení. Výhodou je i nízká cena.

Indukční měřič dráhy byl zavrhnut z důvodu obtížného zpracování dat, malé odolnosti vůči povětrnosti a vysoké ceně.

V úvahu připadá kapacitní senzor s pevnou i proměnnou plochou překrytí desek, ale jeho nevýhodou je vysoká cena a složité zpracování signálu.

Lze použít i kovový tenzometr, který je levnější než kapacitní snímač, ale vzhledem k jeho malému odporu jsou nutné velmi přesné měřicí obvody a má nižší citlivost než polovodičový tenzometr.

Formulovaným požadavkům nejlépe vyhovuje právě polovodičový tenzometrický snímač. Je levný, jeho přesnost a citlivost jsou zcela dostatečné, disponuje maximálním zatížením až 100 kg na jeden snímač. Při kombinaci více snímačů se úměrně zvyšuje i celkové přípustné zatížení. Teplotní závislost je kompenzovatelná, rušení rovněž. Časová stabilita je obdobná jako u ostatních popsanych senzorů, závisí na kvalitě použitých materiálů. Navíc je jeho využití ve váhách různého účelu použití velmi rozšířené.

3.2 Zpracování výstupních dat senzoru

Ke konstrukci byl vybrán polovodičový tenzometr. Jak bylo popsáno výše, mění se jeho odpor v závislosti na deformační síle. Vhodné je můstkové zapojení senzorů, a to kvůli kompenzaci souhlasných vlivů prostředí. Pro přesné měření je vhodné použít šestivodičovou metodu, aby došlo ke kompenzaci úbytku napětí na přívodech. Měření rozdílového napětí můstku je možné realizovat pomocí AD převodníku s vyváženým vstupem o dostatečném rozlišení. K dosažení maximální kompenzace a rozlišení se jeví jako nejvhodnější plný můstek. Dle [36] pro rozdílové výstupní napětí plného tenzometrického můstku (značení se vztahuje k Obr. 12) platí vztah:

$$U_{CD} = \frac{1}{4} \cdot U_{AB} \cdot \left(\frac{R_1}{R_{01}} - \frac{R_2}{R_{02}} + \frac{R_3}{R_{03}} - \frac{R_4}{R_{04}} \right) \quad (14)$$

Vztah (14) platí pouze při malých změnách poměrného odporu, protože pouze tehdy je tenzometr lineární. Dosazením vztahu (7) do vztahu (14) vznikne:

$$U_{CD} = \frac{1}{4} \cdot U_{AB} \cdot (C_1(\varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon_4) + C_2(\varepsilon_1^2 - \varepsilon_2^2 + \varepsilon_3^2 - \varepsilon_4^2)) \quad (15)$$

Ze vztahu (15) je patrné, že pro zvýšení citlivosti je možné zvýšit U_{AB} nebo použít tenzometry s vyššími konstantami.

3.3 Srovnání prostředků k přenosu dat

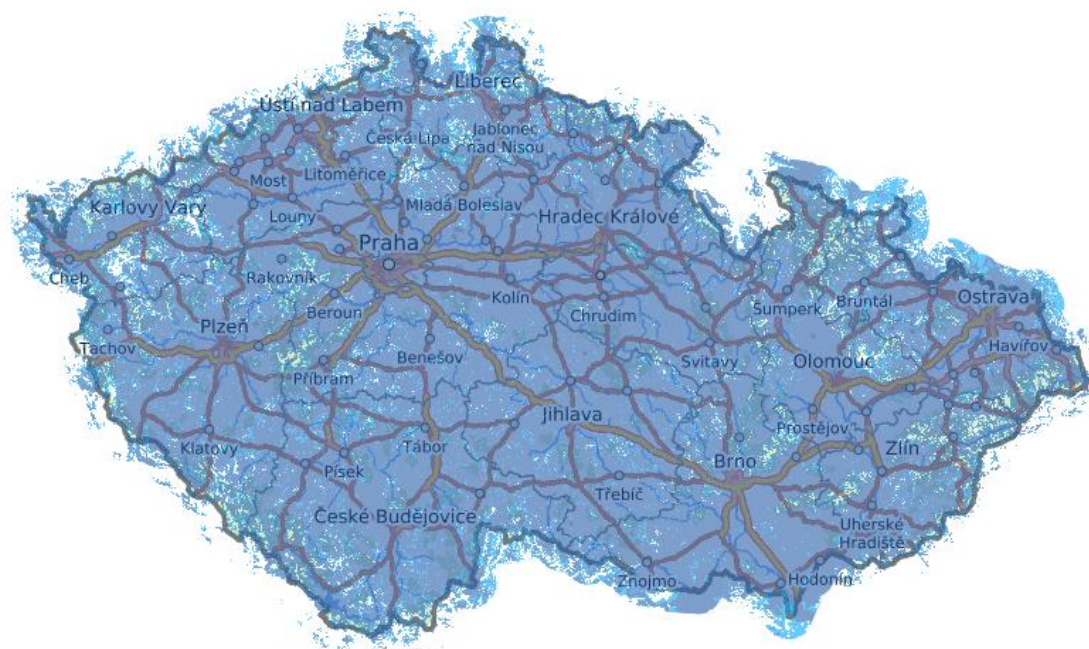
Na základě stanovených požadavků na počátku kapitoly 3 lze říci, že způsob přenosu dat mezi vahami a majitelem závisí pouze na jejich umístění. Vhodnost jednotlivých dále zmíněných komunikačních rozhraní se odvíjí od specifických podmínek provozu váhy (rušení, vzdálenost atd.). Vzhledem k četnosti odesílaných dat není rychlost přenosu limitující. Následující srovnání se týká pásem používaných v ČR, proudový odběr je stanoven při napájecím napětí 3,3 V. Všechny popsané bezdrátové sítě jsou šifrované.

3.3.1 GSM, UMTS, LTE a NarrowBand IoT

GSM (*Global System for Mobile communication*) síť je dnes velmi rozšířená a má pokrytí téměř všude v ČR. Pracuje na kmitočtech 900 a 1800 MHz, každé z těchto pásem obsahuje několik stovek komunikačních kanálů. Síť sestává z jednotlivých buněk (vysílačů/přijímačů), se kterými dotyčné zařízení komunikuje. To je identifikováno pomocí SIM modulu. Zjednodušeně lze říci, že pomocí GSM sítě lze přenášet data jednoduše oběma směry pomocí služeb (zejména SMS, telefonie, Bearer service), a to rychlostí maximálně 21,4 kbit/s. Dosah standardních vysílačů (výkon 4 - 33 dBm dle vzdálenosti) je maximálně zhruba 15 km ve volném terénu. Zařízení má vždy otevřený komunikační kanál s nejbližší buňkou, pokud zrovna není přetížená).

Síť UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*) je velmi podobná topologií, pracuje na kmitočtu 2100 MHz. Oproti GSM má menší pokrytí, menší dosah, ale rychlejší přenos dat. Rovněž umožňuje připojení více zařízení k jedné buňce, jelikož komunikační kanál je otevřen jen po dobu nezbytnou pro přenos dat. Dochází tedy k multiplexování komunikace mezi více zařízeními a buňkou.

V současnosti stále se rozšiřující síť LTE (*Long-Term Evolution*) přináší výhodu ještě vyšší přenosové rychlosti a efektivity komunikace (vysílací modul zařízení je možno udržovat vypnutý a pomocí časovače jej probouzet pro potvrzení připojení (až 12 denní interval) [40]. LTE využívá 5 pásem od 800 až po 2100 MHz. Pokrytí je také téměř po celé ČR od všech hlavních operátorů (O2, T-Mobile, Vodafone), stejně jako v případě GSM. V síti LTE je počítáno s IoT zařízeními, pro něž existuje verze LTE Cat M1 (rychlost přenosu v poloduplexním režimu dosahuje až 375 kbit/s), která je navržena pro šetření energie připojených zařízení. Výkon vysílačů je pouze 23 dBm [39] a použitím nižších nosných kmitočtů je dosaženo stejné maximální vzdálenosti v terénu jako u GSM a větší průchodnosti signálu skrz překážky.



Obr. 14 - Mapa pokrytí ČR signálem LTE M1 (14. 11. 2019) [37]

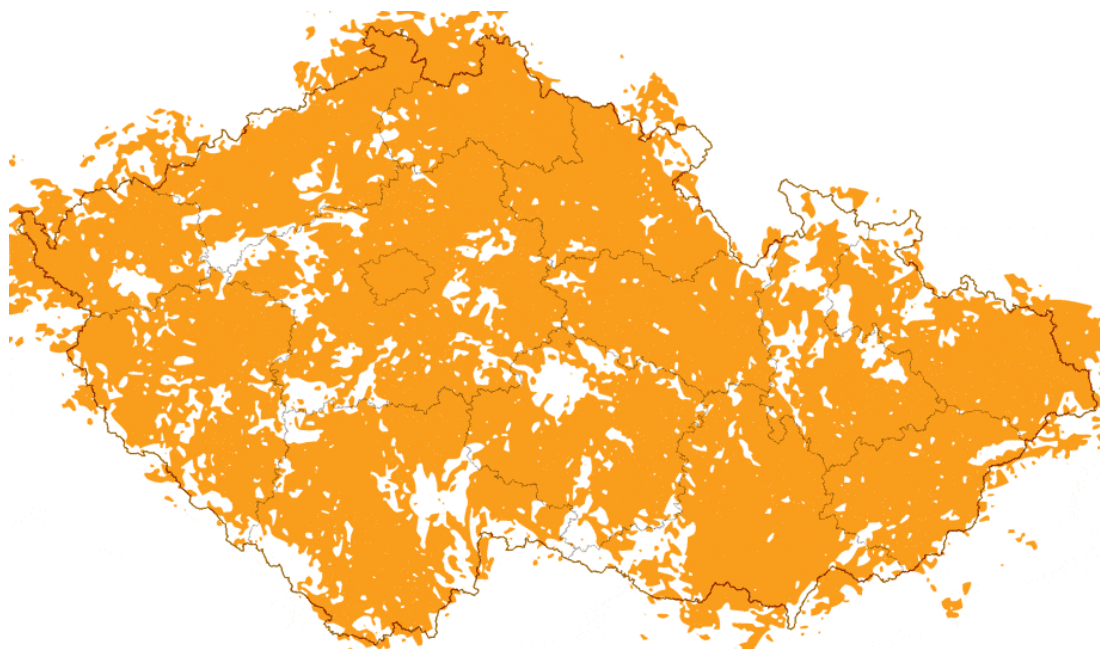
NarrowBand IoT (dále jen NB IoT) je technologie sítě postavená na zmíněných mobilních komunikačních sítích. Umožňuje šifrovaný a spolehlivý přenos dat (i upgrade firmware na dálku) mezi dvěma zařízeními s využitím jiného komunikačního protokolu než v běžné síti. Cílem je snížit spotřebu IoT zařízení, je určena pro nepříliš náročnou komunikaci. Typicky je využívána pro dálkové odečty vodoměrů, elektroměrů, pro kontrolu chytrých odpadkových košů a podobně. Vodafone pokrývá touto sítí celou ČR [41].

Nevýhodou mobilních technologií je nutnost udržování komunikačního kanálu. Z toho plyne, že při slabém signálu či při pohybu zařízení, kdy je transmise dat častější, je provoz zařízení značně energeticky náročný. Maximální proud v napájení modulů GSM může být ve špičce i přes 2 A, zatímco LTE Cat M1 moduly potřebují do 800 mA [42]. Komunikace v mobilních sítích je placená a probíhá pouze mezi dvěma zařízeními.

3.3.2 Lo-Ra WAN

LoRa WAN (*Long Range Wireless Area Network*) je síť určená přímo pro IoT. Pracuje na „volných“ vysílacích kmitočtech 868 a 915 MHz při výkonu pouhých 14 dBm [38]. Používaný komunikační standard je celosvětový, pokrytí v ČR může konkurovat LTE, zejména díky velkému dosahu (40 km v terénu) a velmi dobré průchodnosti signálu překážkami. LoRa přijímače a vysílače používají kódování signálu podobné CSS. K tomu se přidává technologie FEC, díky níž je možné získat užitečný signál i v případě, že se nachází pod úrovní šumu. Tyto faktory způsobují, že provoz v LoRa síti je pro koncová zařízení energeticky nenáročný. Špičkový proudový odběr vysílačů rovněž nepřesahuje 100 mA. Topologie sítě je podobná mobilním sítím. Koncové zařízení odesílá data, která jsou zachycena některou z bran (*gateway*). Ty mezi sebou na

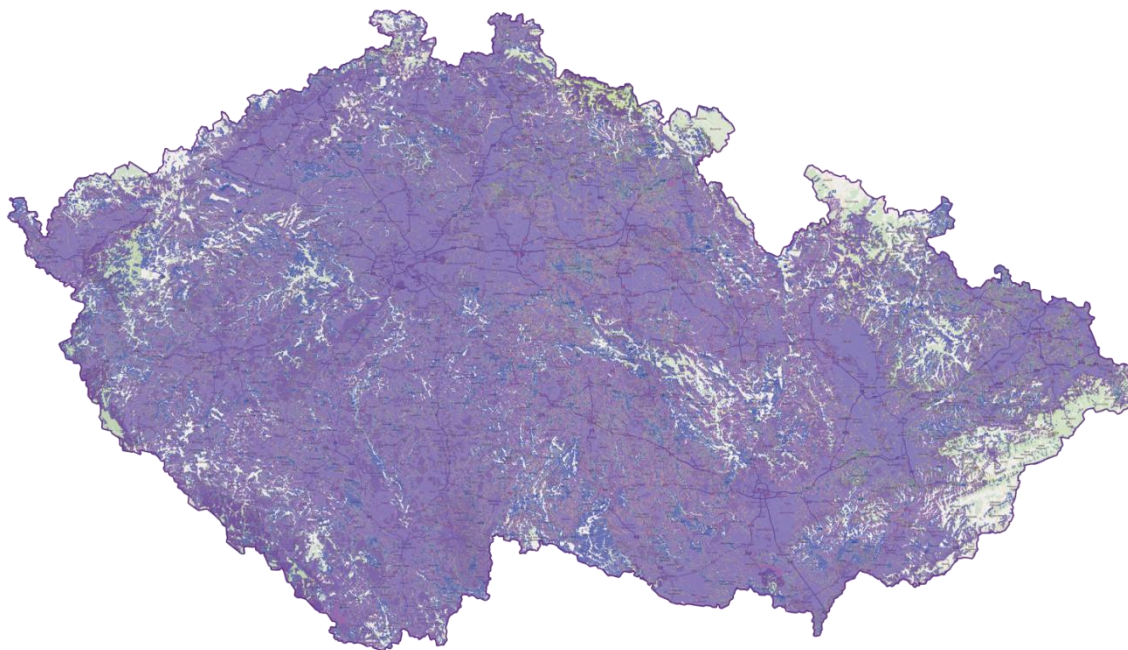
základě síly signálu a vytíženosti rozhodnou, se kterou z nich bude otevřen komunikační kanál. Když se tak stane a je přijat poslední datový rámeček (velikost zprávy je 256 B, přenosová rychlost 250 bit/s až 50 kbit/s [38]), může následovat potvrzení brány o přijetí, nebo nemusí. Komunikace je převážně jednosměrná. Poté dojde k odeslání dat skrz ethernet na vzdálený server. Odesílání dat je sice pomalé a při volbě jednosměrné komunikace může být nespolehlivé, ale pro účely IoT typu meteorologické stanice to postačuje. Nespolehlivost je řešena několikanásobným odesláním stejných dat v libovolném časovém intervalu. Koncové zařízení je nutno nejprve do sítě zaregistrovat pomocí unikátního klíče. Pomocí něj je rozpoznáno bránou i vzdáleným serverem. Díky řídkému odesílání dat a absenci udržovaného komunikačního kanálu je možno k jedné bráně připojit velmi mnoho zařízení. Na server s příchozími daty dojdou i informace z několika bran o síle signálu z daného zařízení, je možné jej tedy přibližně (řádově ± 100 m) lokalizovat [39]. Síť LoRa WAN umožňuje i dálkové ovládání koncových zařízení. Provoz je převážně zdarma.



Obr. 15 - Pokrytí signálem LoRa WAN v ČR (říjen 2018) [41]

3.3.3 Sigfox

Sigfox funguje velmi podobně jako LoRa WAN. Na rozdíl od ní má však omezen počet zpráv za den na 144 (LoRa má neomezený počet) [44], velikost zprávy je stejná, rychlost přenosu je také stejná. Počet zpráv odeslaných za den do koncového zařízení je omezen na 4. Topologie sítě je identická s LoRa WAN. Dosah by měl být však až 50 km v terénu. Zatím tato síť není ve světě příliš rozšířena, naopak v ČR má ale pokrytí srovnatelné s LoRa. Proud odebíraný vysílačem by měl být při výkonu 14 dBm maximálně 45 mA [44], díky použití jiného typu modulace a šířky pásma.



Obr. 16 - Mapa pokrytí signálem Sigfox v ČR (říjen 2018) [41]

3.3.4 Bluetooth, Wi-Fi

Tato dvě rozhraní jsou určena pro lokální přenos signálu. Dosah je zhruba 50 metrů ve volném prostoru. Po stránce proudového odběru jsou jejich vysílače poměrně náročné, při párování odebírají proud okolo 170 mA při vysílacím výkonu 17 dBm [44]. Pracují na kmitočtech 2400 – 2495 MHz (Wi-Fi 802.11 b,g a Bluetooth) nebo u Wi-Fi standardu 802.11a,h,n,ac 5000 – 5875 MHz dle kanálu. Signál takto vysoké frekvence se již obtížně šíří do větší vzdálenosti, dobře však proniká skrz překážky. Topologie obou rozhraní je podobná, koncové zařízení se připojuje k přístupovému bodu, s nímž trvale v intervalu několika sekund udržuje spojení. Zařízení je identifikováno pomocí unikátní MAC adresy a v případě Wi-Fi i dočasně přidělené IP adresy. Komunikaci je vyhrazen kanál nejčastěji o šířkách 20 nebo 40 MHz. Na jeden přístupový bod je možno připojit poměrně malý počet zařízení.

Pro IoT využití byly zavedeny standardy Bluetooth Low Energy (BLE) [45] a Wi-Fi HaLow (802.11ah) [46]. BLE je již povětšinou podporován mobilními telefony a PC. Tyto technologie jsou určeny pro pokrytí velmi malého prostoru (například sběr dat ze senzorů v rámci jedné místnosti), vysílače mají malý výkon a odběr proudu maximálně 15 mA [45]. Wi-Fi HaLow má být přímou konkurencí pro BLE s mírně vyšším dosahem [46]. Wi-Fi HaLow pracuje na 900 MHz kvůli menší úrovni rušení na tomto pásmu a lepšímu šíření signálu do prostoru. Zatím není příliš rozšířena, standard je poměrně nový. Přístupový bod sítě musí být trvale v provozu.

Dle [47] [48] a jiných zdrojů může mít záření z Wi-Fi routerů a Bluetooth zařízení vliv na živé organismy, který již byl několika studiemi na bakteriích či pohlavních buňkách prokázán. Mobilní sítě pracují sice také v kritickém pásmu, ale energie jejich záření je nižší než právě u mikrovlnných spotřebičů.

3.3.5 Kabelové sběrnice

Další možností dálkového přenosu dat je použití kabelové sítě Ethernet [49]. Pro účel vážení úlů v terénu je toto rozhraní nepoužitelné, protože je omezeno minimální rychlostí přenosu a při posílání krátkých zpráv je velmi neefektivní. Příkon řídicích prvků pro ethernet je neúměrně velký.

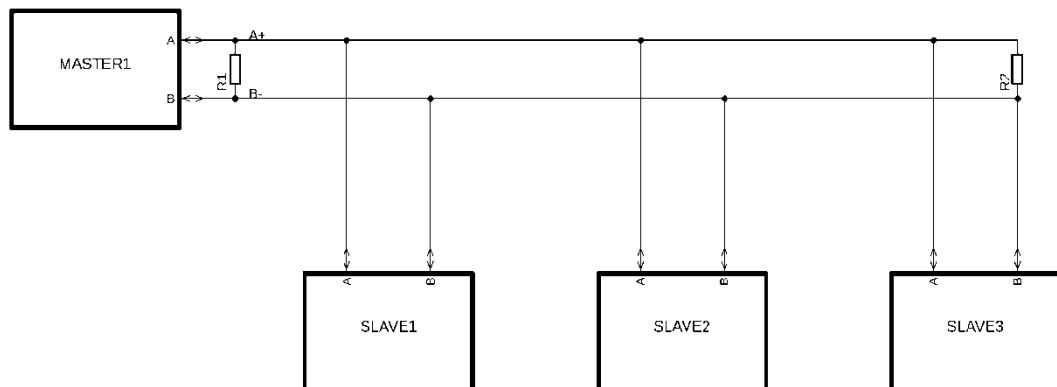
Nevýhody Ethernetu v tomto případě řeší sběrnice typu CAN, RS-422 a RS-485. Jsou určeny pro průmyslové využití, jejich standardy počítají s rušením z okolního prostředí. V případě málo zarušeného prostředí je možné zvýšením impedance kabelu snížit spotřebu zařízení.

Sběrnice CAN [50] sestává z kroucené (rušení se indukují do obou vodičů současně a v přijímači se odečte) dvoulinky (a společného bodu), na niž je připojeno několik zařízení. Jejich počet závisí na parametrech sběrnice jako budicí proud (typicky 75 mA), typ použitého protokolu a přenosová rychlost. Délka kabelu sběrnice se taktéž odvíjí od těchto parametrů. Čím menší je rychlost a vyšší budicí proud, tím více zařízení může být připojeno a sběrnice může být delší. CAN funguje jako multi-master, nepoužívá tedy centrální řadič. Protokol sestává z následujících částí:

- zahájení komunikace (start bit)
- identifikace zařízení a priorita zprávy (11 bitů)
- samotná zpráva
- zpráva o chybách/přetížení sběrnice
- kontrolní součet
- ukončení zprávy (stop bit)

Napěťová úroveň na sběrnici je 5 V. Sběrnice CAN bývá poloduplexní.

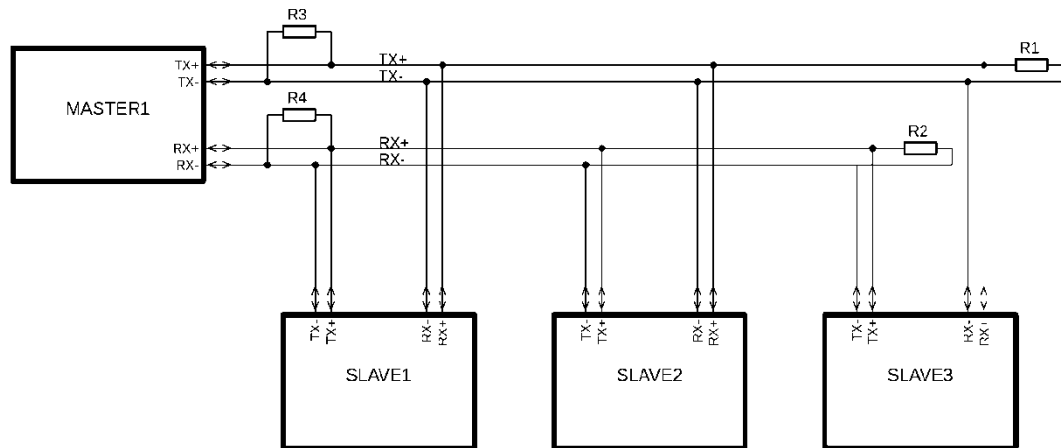
Sběrnice RS-485 [51] má topologii velmi podobnou CAN. Jedná se opět o dvouvodičovou většinou poloduplexní sběrnici pracující s 5 V nebo 3,3 V úrovní. Největší rozdíl je v použitém protokolu. RS-485 má řadič (Master), který řídí provoz dat. Na sběrnici je pak připojeno až 31 zařízení typu Slave. S použitím opakováčů lze jejich počet zvýšit i na 255. Platí stejná pravidla pro délku sběrnice, rychlost přenosu a počet zařízení jako u CAN. RS-485 a RS-422 bývá zpravidla provozována při délce kabelu menší než 1200 m.



Obr. 17 - Topologie sběrnice RS-485

Sběrnice RS-422 [51] je již plně duplexní, umožňuje připojit běžně 10 zařízení až do vzdálenosti 1200 m. Napěťové úrovně mohou dosahovat až 9 V, někdy bývají komunikátory od linky odděleny transformátory. Sběrnice nabízí vyšší rychlost přenosu než poloduplexní RS-485.

Zmíněné tři sběrnice nemají normou pevně definované konektory a jejich zapojení, často se používá 9 pinový D-Sub. Identifikace zařízení na nich probíhá pomocí adresy.



Obr. 18 - Topologie sběrnice RS-422

Na Obr. 17 a 18 jsou topologie zmíněných sítí. Rezistory na koncích vedení jsou tzv. zakončovací rezistory, které odpovídají hodnotou impedanci kabelu a zamezují odrazům signálu na vedení.

3.3.6 Průmyslové sítě

Standardy průmyslových sítí typu PROFIBUS, INTERBUS, CANopen apod. [52] vymezují komunikační protokoly založené na sběrnících CAN, RS-485 a RS-422. Dále upravují použité konektory, délky kabelů, počet zařízení, přenosovou rychlost a jiné parametry pro univerzální použití. Nacházejí využití v automatizaci a průmyslu.

3.4 Propojení více vah na stanovišti a přenos dat

Propojit váhy na stanovišti je výhodné proto, že není nutná přítomnost dálkového vysílače v každé z vah. To redukuje možné zdroje rušení komunikace a snižuje spotřebu celé soustavy.

Od komunikace mezi vahami na jednom stanovišti je požadována především malá energetická náročnost. Vhodná je také odolnost proti případnému rušení, které při provozu v terénu může vzniknout, například je-li v blízkosti vysílač či VN vedení. Odolnost proti rušení ovlivňuje spolehlivost přenosu dat, který by měl být nejlépe beztrátový. Data mezi vahami jsou transportována na vzdálenosti řádově v metrech, ale měla by se nakonec dostat k uživateli v libovolné vzdálenosti. Frekvence odesílání dat bude pravděpodobně nízká, vzhledem k účelu použití postačí nejvýše 1x za hodinu. Délka zprávy se odvíjí od množství informací, potřebných pro odeslání údaje o hmotnosti úlu (třímístné číslo s jedním desetinným místem, tedy velikost bez kódování maximálně 16 bitů). Ještě navíc je třeba identifikovat váhu mezi ostatními.

3.4.1 Výběr rozhraní

Pro vzájemné propojení vah vzhledem k požadavkům nejlépe vyhovují BLE, Wi-Fi HaLow či kabelové sběrnice. Jsou určeny pro místní použití a jsou energeticky nenáročné. Oproti kabelovým sběrnici mají bezdrátové technologie některé přednosti:

- snadná konfigurace, pružnost
- nepotřebují k provozu kabeláž
- pevně dané standardy, je tedy i snadná identifikace mezi ostatními

Mají ale také nevýhody:

- vyšší pořizovací cena
- generují rušení
- pravděpodobně vyšší spotřeba
- menší odolnost vůči rušení z blízkých vysílačů
- možný vliv na živé organismy
- nutnost trvalého provozu přístupového bodu v případě Wi-Fi (není limitující, některá z vah stejně musí být řídicí)
- nemožnost sdílení napájení

Některé nevýhody bezdrátových technologií jsou v rozporu s kladenými požadavky, proto by bylo vhodnější zvolit kabelové propojení. Zejménak kvůli odolnosti a spotřebě. Kabelové propojení přináší i výhodu možnosti napájení všech vah z jednoho zdroje energie, což je pohodlnější při výměně. Plně duplexní sběrnice není nutná, přenášených dat nebude mnoho. Přenosy by měly plánovaně probíhat v krátkých sekvencích s dlouhými intervaly čekání. Jedna z vah na stanovišti bude vždy řídicí a bude odesílat data, tudíž bude vyhovující i Master – Slave sběrnice, tedy RS-485.

Pro dálkové odesílání dat je již kabelové propojení nevhodné. Použití v předchozích odstavcích zmíněných způsobů sice nic nebrání, pokud je například stanoviště v těsné blízkosti obydlí majitele. Povětšinou tomu tak ale není, načež se vhodnějším než kabelový přenos zdají být mobilní sítě, LoRa WAN nebo Sigfox.

Mobilní sítě mají výhodu v poměrně spolehlivém přenosu i při slabém signálu. Jsou stavěné pro obousměrný provoz, mají pokrytí téměř všude v ČR. Zásadní nevýhodou je spotřeba vysílačů a také placená komunikace. Navíc k vysílačům musí být i přijímač, kterýžto například u LoRa WAN není potřeba. Právě LoRa WAN se zdá být pro tento účel velmi dobrá volba. Energetická nenáročnost je velkou předností, počet zpráv za den není limitován, malá délka jedné zprávy není překážkou. Nevýhodou je nižší spolehlivost oproti mobilním sítím, které lze čelit několikerým odesláním stejných dat a spoléhat na to, že alespoň jeden datagram najde svůj cíl. Sigfox má rozdíl od LoRa WAN limitován počet zpráv, což by na stanovišti s velkým množstvím vah mohlo již způsobovat potíže. Z těchto důvodů se jeví nejvhodnějším rozhraním LoRa WAN.

3.5 Návrh mechanické konstrukce

Úlová váha by měla být rozměrově kompatibilní s většinou běžně používaných nástavků. Materiál rámu váhy musí být odolný vůči povětrnosti a mechanickému namáhání, zároveň však nesmí promrzat a včely jeho přítomnost v úlu musí dobře snášet.

3.5.1 Rozměry nástavků používané v Evropě a ČR

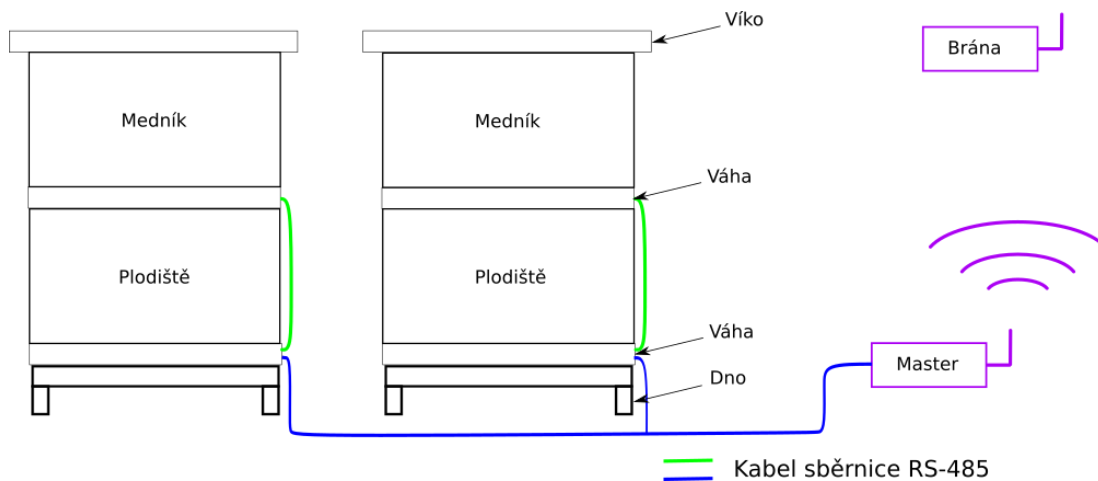
V Evropě je nejrozšířenějším typem jednoduchého úlu systém Langstroth [53]. Nástavky mají vnitřní rozměr (nejdůležitější, vždy definovaný) 465 x 375 mm, tloušťka stěny bývá 20 – 25 mm. Nástavky tohoto typu nemají připojovací zářezy, což umožňuje jednoduché nasazování nástavků. Výška nástavku se pohybuje v rozmezí 146 - 295 mm.

Naproti tomu v ČR jsou na úkor typu Langstroth v hojně míře rozšířeny i jiné rozměrové standardy jako OPTIMAL, ADAMEC a TACHOV. Rozměry nástavků těchto typů se odvíjí od počtu rámků, rozměr rámků je pevně dán. V případě míry ADAMEC je to (šířka x výška) 390 x 150 - 360 mm (často 390 x 240 mm), vnitřní šířka nástavku je tedy 390 mm. Hloubka se odvíjí od počtu rámků, potažmo od výrobce nástavku. Rámky typu TACHOV mají též rozměr 390 x 240 mm, v nástavku jich bývá 9 a nástavky mají půdorys obdélníku. Hloubka nástavku je shodná s typem Langstroth. Poslední typ OPTIMAL je více využíván na Slovensku, než v ČR [54] [55]. Rámky mají rozměr 420 x 275 mm, nebo 420 x 170 mm. Nástavek je pak vnitřního rozměru 420 x 380 mm. Nelze vyrobit úlovou váhu tak, aby se hodila ke všem rozměrům nástavků, rám je nutné měnit. Elektronika váhy ale zůstává stejná.

3.5.2 Schéma vážení úlů na stanovišti

Na Obr. 19 je nakresleno principiální schéma zapojení a umístění vah na stanovišti (pouze o dvou úlech, může jich být ale mnohem více). Jedna z vah je umístěna mezi dnem a spodním nástavkem (dolní váha). Ta snímá hmotnost celého úlu (včetně víka a další váhy). Druhá váha je umístěna mezi medníkem a plodištěm (horní váha). Ta snímá pouze hmotnost medníku a víka. Hmotnost samotného prázdného úlu je známá, snímá ji spodní váha. Odečtením hmotnosti prázdného úlu od údaje spodní váhy získáme hmotnost obsahu. Při odečtení hmotnosti prázdného medníku a víka od údaje horní váhy získáme hmotnost obsahu medníku (vosku a medu). Rozdíl údajů obou vah (s kompenzací prázdného úlu) je váha obsahu plodiště (larev a včel, případně mimo sezónu i zásob).

Tento způsob vážení tedy umožňuje odděleně kontrolovat hmotnost včelích produktů. A takovou funkcí žádá z komerčně dostupných úlových vah nedisponuje.



Obr. 19 - Schéma zapojení a umístění vah na stanovišti

Váhy vyobrazené na schématu názorného stanoviště jsou vzájemně propojeny kabelem RS-485, pomocí něž jsou data shromažďována řídicí jednotkou (Master, čili řadič sběrnice). Následně odesílány pomocí rozhraní LoRa WAN k nejbližší bráně. Poté jsou data již k dispozici uživateli.

4. REALIZACE ÚLOVÉ VÁHY

Při návrhu konstrukčního řešení úlové váhy jsou zohledněny požadavky formulované v předchozích kapitolách. Váha je určena k zabudování do zapůjčeného dvounástavkového úlu typu ADAMEC pro rámy o rozměrech 39 x 24 cm. V příloze je výkres nástavku.

Vyrobená úlová váha bude pouze prototypem, jenž bude určen prvotně pro testování.

Elektronickou část lze rozdělit na samostatnou váhu a řídicí jednotku. Od váhy je vyžadováno, aby zjistila údaj o hmotnosti úlu a odeslala ho do řídicí jednotky. Kvůli minimalizaci spotřeby by samotná váha neměla být vůbec v provozu vyjma chvíle nezbytné pro změření hmotnosti a odeslání dat po sběrnici do řídicí jednotky. Řídicí jednotka zajišťuje odeslání dat k uživateli, místní nastavení lze provádět buď spínači a indikačními LED nebo připojením k PC pomocí USB a použitím terminálu.

Následující kapitoly této části jsou vzájemně úzce propojeny, což znamená, že nelze navrhovat například blokové schéma zařízení, aniž by byla již jasná představa o použitých klíčových součástkách.

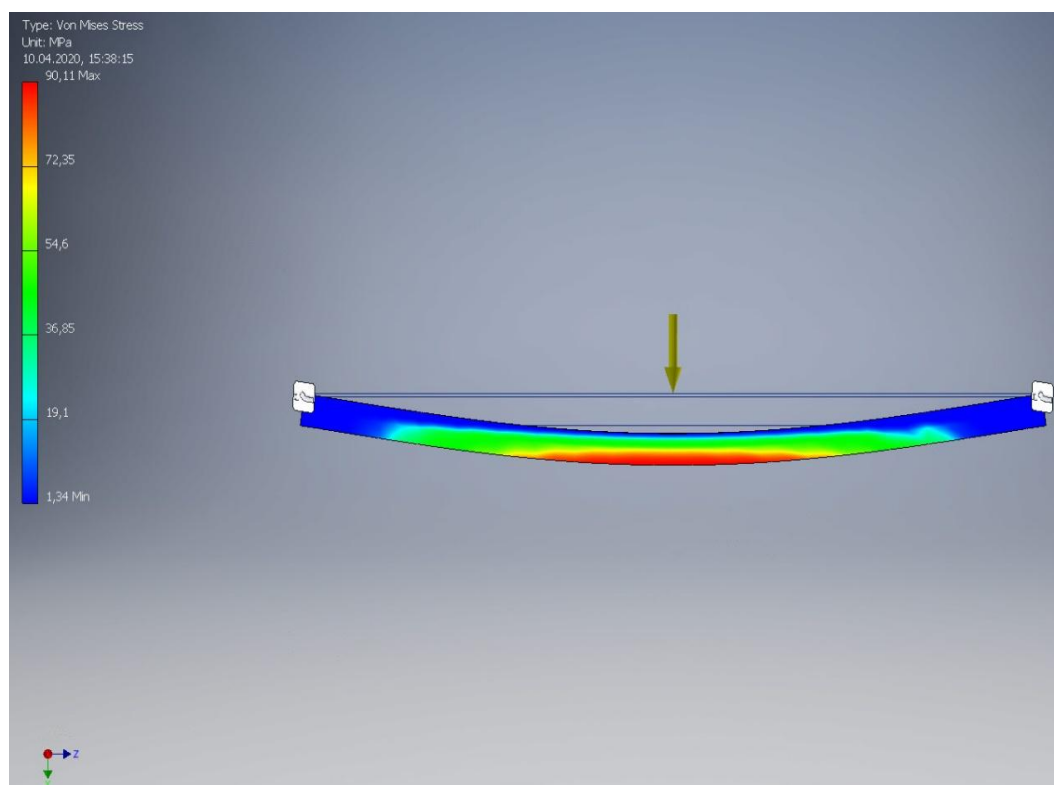
4.1 Mechanická část

Váha musí být umístěna mezi dvěma nástavky, případně mezi dnem a nástavkem, proto její uspořádání musí odpovídat horní a spodní straně samotného nástavku. Vzhledem ke hmotnosti samotného úlu, která může dosahovat až 200 kg, a nepřesností zejména při domácí výrobě úlů by měl rám váhy při tlaku uprostřed (nejhorší případ) vydržet zatížení 60 kg (s rezervou). Váha by zároveň měla být lehká a korozivzdorná. Jako nejvhodnější z běžně dostupných materiálů se jeví ocel, hliník či jeho slitina. Ocelový rám má oproti hliníkovému výhodu v tom, že může být nižší díky větší pevnosti oceli v ohybu. Jeho hmotnost je však zhruba dvojnásobná, neodolává korozi a materiál se obtížněji opracovává. Běžně dostupná mechanicky odolná slitina hliníku je například typ 6060 (AlMgSi) či 6061 (AlMgSiCu) s obchodním názvem dural. Nejvhodnějším tvarem profilu je U neboli otevřený jákl, jelikož jej lze snadno uchytit na rámeček nástavku a je dostatečně pevný. V Tabulce 2 se nachází srovnání U profilů z oceli a duralu 6060. Jak vidno, nemá význam používat profily s tlustší stěnou, vzhledem k prohnutí jsou vhodné pouze dural 20 x 30 x 2 mm, případně ocel 15 x 30 x 2 mm. Z výše zmíněných důvodů byl zvolen duralový profil [56]. Mez kluzu neboli mez pružné deformace slitiny dle normy EN-AW6060 stavu T5 a T6 je minimálně 195 MPa [57], což je více než dvojnásobek maximální simulované hodnoty.

Tabulka 2 - Srovnání klíčových parametrů profilů použitelných ke konstrukci rámu

simulace v Autodesk Inventor 2019	rozměr U profilu					
	15 x 30 x 2		15 x 30 x 3		20 x 30 x 2	
	ocel	dural	ocel	dural	ocel	dural
maximální napětí [MPa]	165,4	165	120,7	120,6	90,1	90
hmotnost 1 metru [kg]	0,83	N/A	1,3	N/A	0,99	0,36
prohnutí [mm]	1,32	5	1,3	4	0,66	2

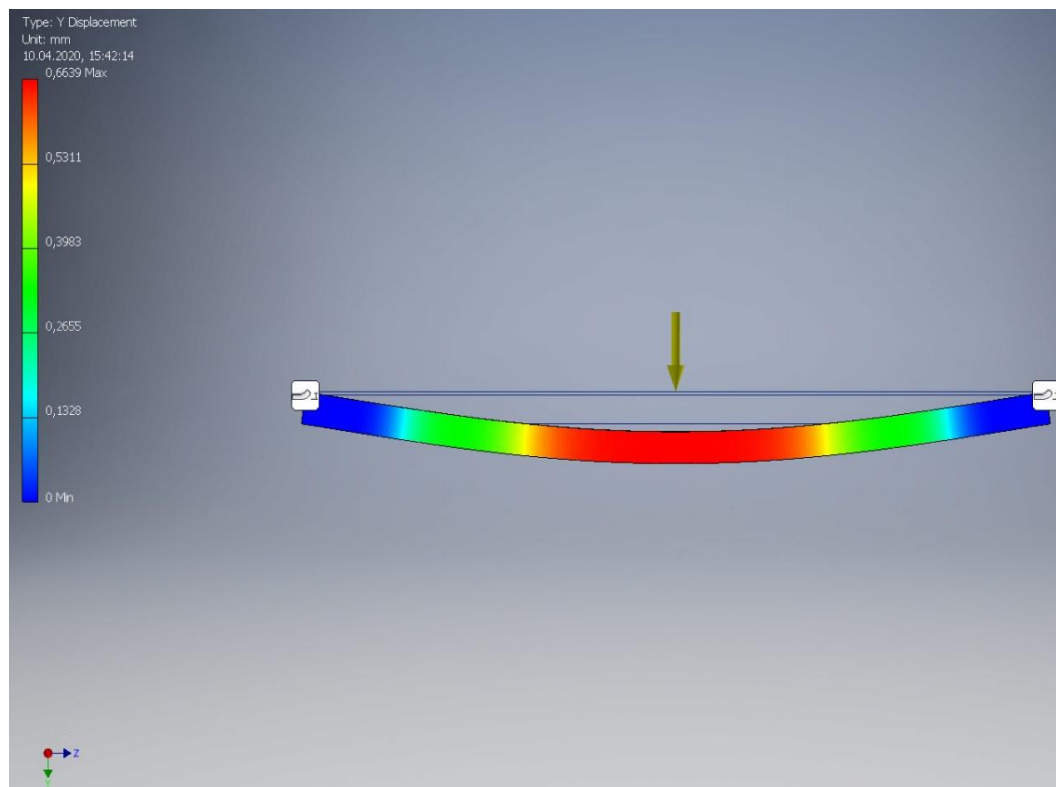
Na Obr. 20 se nachází výsledek simulace napětí v materiálu 6060 dle metody Von Mises-Hencky, která dobře charakterizuje právě tečení materiálu [58], na U profilu slitiny EN-AW6060 o délce 500 mm. Obr. 21 ukazuje prohnutí profilu ve svislém směru při zátěži 60 kg uprostřed (šipka).



Obr. 20 - Simulace Von Mises napětí v materiálu profilu 20 x 30 x 2 mm

Profily je možné spojit dohromady svařováním, a to po celé délce styčné plochy, tedy ve dvou vnitřních rozích (rohové sváry) a na jedné rovné ploše (plošný svár typu V).

Horní rám lze vytvořit také z profilů, ale tím by vzrostla celková výška váhy. Druhou, přijatelnější možností je vyrobení rámu ze dřeva tak, aby měl možnost se lehce deformovat a přizpůsobit se tak nepřesnostem nástavků. Veškerá hmotnost bude následně spočívat pouze na rozích s tenzometry a ne na spojovacích tyčích. Konstrukce je lépe znázorněna na výkresu v příloze E. Horní rám je spojen šrouby M3 se zapuštěnou hlavou v místech otvorů.

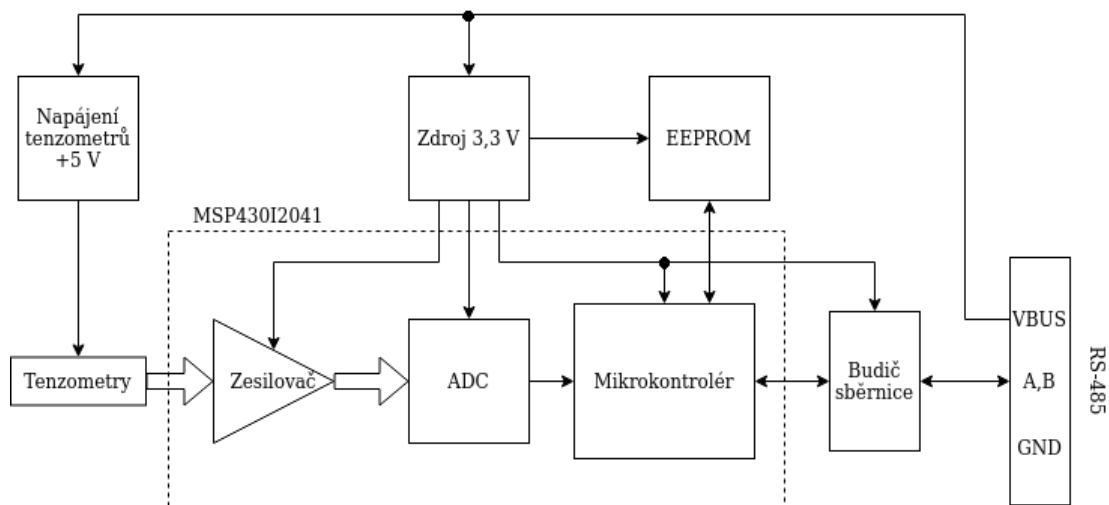


Obr. 21 - Simulace prohnutí profilu 20 x 30 x 2 mm

Rám je třeba zevnitř zakrýt dřevěnými lištami ve vzdálenosti asi 1 mm od nástavků. Mezeru včely za provozu zalepí propolisem, což je měkký materiál, který by snímání hmotnosti neměl významně ovlivnit. Zvenku není nezbytné váhu zakrývat, ale zakrytá neupoutá tak snadno pozornost případných zájemců.

4.2 Návrh blokového schématu úlové váhy

Blokové schéma úlové váhy je sestaveno na základě kritérií kladených v předchozích kapitolách a je k vidění na Obr. 22:

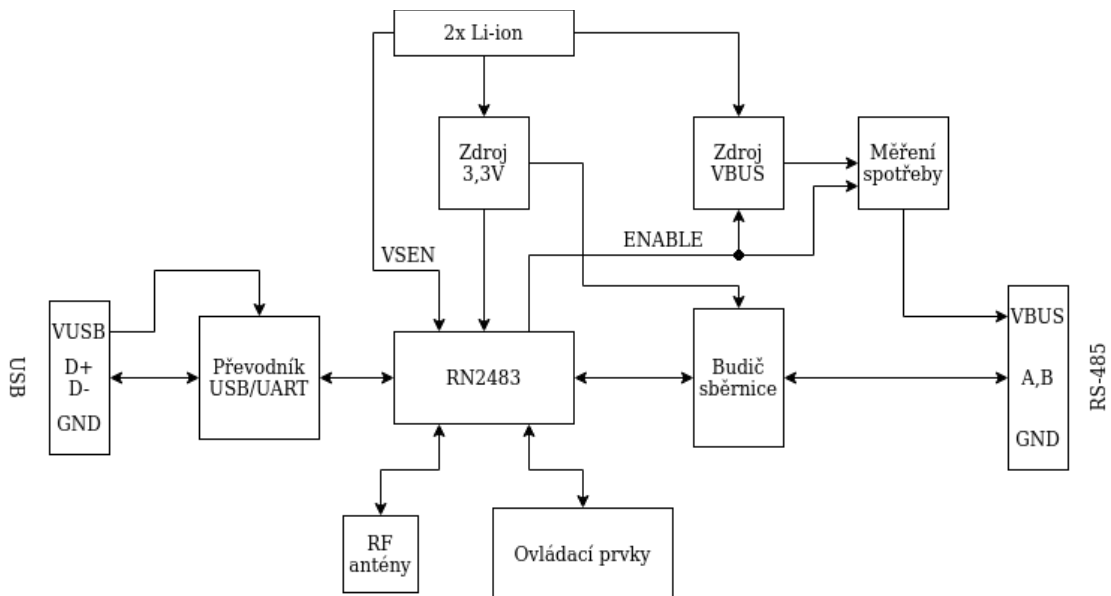


Obr. 22 - Blokové schéma elektroniky úlové váhy

Tenzometrické články jsou napájeny 5 V stabilizátorem, jelikož je pro ně toto napětí výrobcem doporučeno, viz kap. 4.4.1. Výstupní diferenční napětí všech čtyř článků je zesíleno předzesilovačem a následně konvertováno A/D převodníkem s vnitřní referencí na digitální hodnotu. Ta je pak zpracována mikrokontrolérem a skrz budič sběrnice odeslána. K mikrokontroléru je připojena také paměť EEPROM, aby nedocházelo ke ztrátě dat při odpojení napájení. Zvolený mikrokontrolér nedisponuje integrovanou EEPROM, viz dále. Data uložená v této paměti může být například adresa váhy na sběrnici, případně kalibrace údaje. Všechny ostatní bloky jsou pak napájeny stabilizátorem s výstupním napětím 3,3 V. Analogové části by měly mít napájení odděleno filtrem proti pronikání rušení z digitálních obvodů.

4.3 Návrh blokového schématu řídicí jednotky

Blokové schéma řídicí jednotky se nachází na Obr. 23. Jádrem je LoRa modul RN2483. Ten zpracovává podněty z ovládacích prvků, kterými jsou LED a mikrotlačítka. Zajišťuje veškeré operace s daty, ať přijdou po sběrnici RS-485, nebo z PC, či jsou přijaty z LoRa brány.



Obr. 23 - Blokové schéma elektroniky řídicí jednotky

Převodník USB/UART je využit pouze tehdy, je-li připojen USB kabel k počítači. Proto je napájen výhradně z USB. RN2483 a budič sběrnice jsou napájeny vlastním regulátorem z li-ion akumulátorů, jelikož jsou v provozu pořád. Zároveň akumulátory napájí také zvyšující měnič, který vytváří napětí VBUS pro sběrnici. Měřič spotřeby pak snímá velikost napájecího proudu sběrnice.

4.4 Volba použitých součástek a detailní návrh komunikace

V této kapitole jsou podrobně rozebrána bloková schémata váhy i řídicí jednotky a dále jsou zde popsány principy výběru jednotlivých součástek obvodového schématu (viz příloha E). Souběžně je zde popsán i způsob odesílání dat z vah do řídicí jednotky a poté na internet. Tyto aspekty návrhu spolu úzce souvisí.

4.4.1 Výběr tenzometrických snímačů

Při volbě použitých tenzometrických snímačů hraje velkou roli pořizovací cena a rozměr, vyplývající z rozměrů rámu. Na přesnost úlové váhy však nejsou kladeny velké nároky, proto byly na základě nízké ceny a malých výškových rozměrů vybrány dva typy snímačů. Jejich nejdůležitější parametry jsou uvedeny v Tabulce 3. Jsou to typy TE Connectivity FX1901-0001-0100-L s analogovým výstupem [60] a tenzometry č. 1516084661 distributora ECLIPSE s.r.o, vyrobené na Dálném východě [60]. Tenzometry TE Connectivity série FX1901 jsou k dispozici i ve variantě se zabudovaným předzesilovačem nebo A/D převodníkem.

Tabulka 3 - Parametry vybraných snímačů

Parametr	FX1901	1516084661	Podmínky
Rozměry v x š x d [mm]	8 x 29,5 x 25	8 x 34 x 34	
Rozsah FS [kg]	46	50	
Přetížení [% FS]	250	150	
Kombinovaná chyba [% FS]	N/A	0,2	
Nelinearita [% FS]	1	0,2	
Opakovatelnost měření [% FS]	0,8	0,1	
Hystereze [% FS]	0,8	0,2	
Tečení materiálu [% FS]	0,5	0,1	t = 3 min
Změna vyvážení [% FS]	N/A	0,1	t = 1 min
Teplotní posuv nuly [% FS/°C]	0,05	0,02	
Orientační cena [Kč]	680	70	
Teplotní rozsah [°C]	0 - 50	0 - 50	
Doporučené napájecí napětí [V]	5	5 - 10	
Výstupní citlivost [mV/V]	36	1	typická
Počet tenzometrických článků	4	2	

Úlová váha bude trvale umístěna mezi nástavky, je tedy důležitá nízká hodnota tečení a pravidelná kalibrace váhy. Naopak hystereze či opakovatelnost nejsou pro výběr nejdůležitější. Rozsah vážení je při použití čtyř snímačů 186, či 200 kg, při maximálním bezpečném krátkodobém přetížení 465, nebo 300 kg. Při přetížení nejsou garantovány parametry v Tabulce 3. Hodnoty v tabulce jsou platné pro teplotu okolí 25 °C. Vzhledem k velmi nízké ceně tenzometrických článků 1516084661 by bylo žádoucí ověřit parametry z katalogového listu [60]. Fotografie vybraných senzorů se nachází na Obr. 24 a 25.



Obr. 24 - Senzor 1516084661 [60]



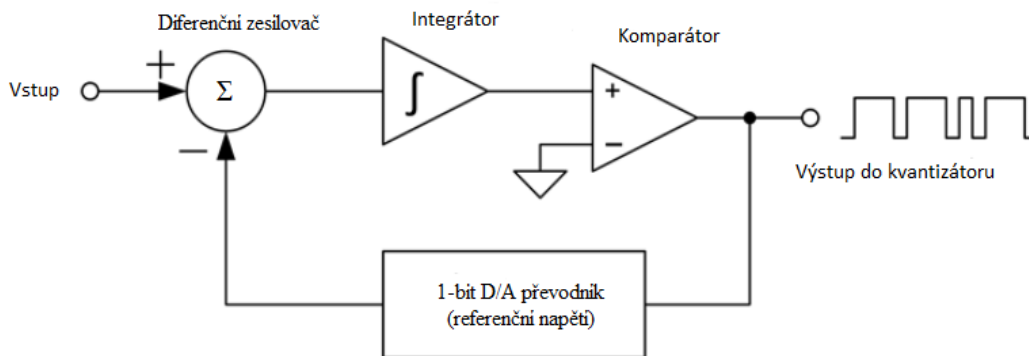
Obr. 25 - Senzor FX1901 [61]

4.4.2 Zpracování dat z výstupu senzorů

Použité snímače obsahují buď dva, nebo 4 tenzometrické články. Zapojení je realizováno polovičním, nebo plným můstkem. Obě varianty jsou vhodné pro kompenzaci parazitních vlastností senzorů, plnomůstková varianta se čtyřmi snímači je vhodnější pro větší citlivost. Polomůstkové snímače je možno zapojit tak, aby vytvořily plný můstek, ovšem za cenu toho, že nebudeme znát výstupní veličinu každého z nich. V takovém případě může dojít k nepředpokládanému a neodhalitelnému přetížení některého ze snímačů, pokud by byl úl nakloněn ke straně.

Výstupem senzorů zapojených v můstku je napětí, jenž při nulovém zatížení ideálně odpovídá polovině budícího napětí. K tomuto napětí se pak přičítá změna způsobená rozvážením můstku při zatížení snímače. Tato změna je násobena dvěma, jelikož se na jednom výstupu projeví pozitivně a na druhém negativně. Tento celkový rozdíl však bývá řádově v milivoltech.

Vzhledem k eliminaci šumu je třeba rozdíl napětí zesílit nízkošumovým zesilovačem, ideálně s vyváženým vstupem. K tomuto účelu se nabízí přístrojový operační zesilovač. Poté by měla již následovat digitalizace signálu, aby nedocházelo k jeho znehodnocování rušením z prostředí a napájení. Nejsou zde kladeny žádné nároky na rychlost převodu, důležitá je linearita, vysoké rozlišení a nízká spotřeba. Těmto kritériím vyhovuje například Σ - Δ převodník (převodník s postupnou aproximací) [61]. Princip převodníku je znázorněn na Obr. 26.



Obr. 26 - Blokové schéma Σ - Δ A/D převodníku

Vstupní napětí je soustavně porovnáváno s referenčním napětím, které je přiváděno z 1bitového D/A převodníku (hodnota $+V_{REF}$ a $-V_{REF}$). Výsledek porovnání (rozdíl obou napětí) je veden do integrátoru, napětí z výstupu integrátoru je komparátorem porovnáváno s referenčním napětím. Cyklus se uzavírá jednobitovým D/A převodníkem. Výstupem celého procesu je v podstatě kmitočtově modulovaný signál, jehož hloubka modulace závisí na vstupním napětí. Tento signál je pak veden do kvantizátoru, zjednodušeně čítače s pevným hodinovým kmitočtem. Principem tohoto převodníku je postupné vzájemné přibližování napětí na vstupech komparátoru, tedy výstupního napětí integrátoru a referenčního napětí.

Příkladem takového převodníku je čtyřkanálový 24bitový ADS131M04 [63]. Obsahuje i integrovaný zesilovač o zisku až 128 a vyvážené nezávislé vstupy. Nevýhodou je jeho cena okolo 130 Kč.

Výpočet výstupního napětí tenzometru vychází z potřebného rozlišení hmotnosti a deklarované výstupní citlivosti senzoru, viz Tabulka 3. Pro senzor pak platí vztah:

$$U_{OUT} = k \cdot U_{nap} \quad (16)$$

kde U_{nap} je napájecí napětí senzoru a k je výstupní citlivost. Ta je udávána jako podíl změny výstupního napětí a napájecího napětí při plném zatížení. Podělením rovnice 16 poměrem plného zatížení m_{max} a potřebného rozlišení m_0 vznikne vztah pro výpočet převodní charakteristiky senzoru:

$$U_{OUT} = k \cdot U_{nap} \cdot \frac{m_0}{m_{max}} \quad (17)$$

Ze vztahu plyne, že tenzometrické snímače jsou již linearizované. Požadavek na rozlišení váhy je 0,1 kg. Dosazením do rovnice 17 získáme minimální výstupní diferenční napětí senzoru FX1901:

$$U_{OUT1} = 20 \cdot 5 \cdot \frac{0,1}{45} = 0,222 \text{ mV}$$

a pro druhý typ senzoru:

$$U_{OUT2} = 1 \cdot 5 \cdot \frac{0,1}{50} = 0,01 \text{ mV}$$

A/D převodník s rozlišením 24 bitů má kvantovací krok roven [61]:

$$q = \frac{U_{REF}}{2^{24}} \quad (18)$$

Není důvod volit zbytečně vysoké referenční napětí, vedlo by ke snížení citlivosti A/D převodníku. Případné snižování citlivosti za účelem eliminace šumu je možno provést i v softwaru. Referenční napětí musí být z logiky funkce A/D převodníku vyšší, než je maximální měřitelné vstupní napětí, samozřejmě s respektem k možnostem a odolnosti integrovaného obvodu. Při referenčním napětí $U_{REF} = 1,2 \text{ V}$ bude pak kvantizační krok:

$$q = \frac{1,2}{2^{24}} = 71,5 \text{ nV}$$

To je 140 krát méně, než je minimální rozdíl napětí výstupu tenzometru. Pro kvantizační krok max. 0,01 mV je třeba při dané referenci rozlišení nejméně 17 bitů. Z výstupu 24bitového ADC je tedy možné odstranit 7 řádů.

4.4.3 Volba A/D převodníku, mikrokontroléru a budiče

sběrnice úlové váhy

Vzhledem k potřebě odesílat naměřená data po sběrnici RS-485, musí být váha opatřena komunikačním rozhraním. To zajišťuje mikrokontrolér spolu s budičem sběrnice. Pro výběr mikrokontroléru je rozhodující jeho spotřeba a periférie. Ze známých rodin mikrokontrolérů se přímo nabízí řada MSP430 firmy Texas Instruments, jelikož většina těchto mikrokontrolérů je navržena pro aplikace vyžadující velmi nízkou spotřebu a navíc některé čipy mají integrován zmíněný 24bitový Σ - Δ A/D převodník i s vestavěným vysokoimpedančním zesilovačem. To umožňuje miniaturizaci elektroniky váhy a snížení ceny. V úvahu připadají pouze 4 typy IC, a to MSP430I2041 [68], MSP430F(G)4260 [71] a MSP430AFE253 [70]. Tyto IC jsou k dispozici ve více variantách, lišících se velikostí RAM a paměti programu. Záměrně byly pro účely vývoje vybrány ty s největšími pamětmi. Velikost paměti na jejich cenu téměř nemá vliv. Mikrokontrolérů rodiny MSP430 se zabudovaným Σ - Δ převodníkem je nepřeberné množství, ale všechny ostatní kromě jmenovaných mají velká pouzdra (TQFP100, LQFP144) a jejich vybavení by v této aplikaci zůstalo převážně nevyužito.

MSP430I2041 má následující parametry:

- velikost paměti: 32 kB FLASH, 2 kB RAM
- spotřeba v aktivním režimu: 4,5 mA
- periférie: 4x 24bit Σ - Δ ADC, UART, 2x SPI, I2C, WDT, 2x 16bit časovač
- počet I/O: 16
- pracovní kmitočet: 16,384 MHz pevný
- navíc obsahuje i hardwarově implementovanou 16bit násobičku

MSP430AFE253:

- velikost paměti: 16 kB FLASH, 512 B RAM
- spotřeba v aktivním režimu: 350 μ A @ 1 MHz
- periférie: 3x 24bit Σ - Δ ADC, UART, SPI, WDT, 16bit časovač
- počet I/O: 11
- pracovní kmitočet: 32,768 kHz – 12 MHz s vnějším krystalem a PLL
- ADC není vybaven vstupním měničem impedance ($R_{IN} = 300 \text{ k}\Omega$)

MSP430F4260 a MSP430FG4260:

- velikost paměti: 32 kB FLASH, 256 B RAM
- spotřeba v aktivním režimu: 400 μ A @ 1 MHz
- periférie: 5x 16bit Σ - Δ ADC, 12bit DAC, WDT, 2x 16bit časovač, LCD
- počet I/O: 29
- pracovní kmitočet: 32,768 kHz – 12 MHz s vnějším krystalem a PLL
- vstupní měnič impedance dle errata funguje v omezeném rozsahu (pouze u MSP430F4260)
- předzesilovač se zesílením 32

Uvedené mikrokontroléry disponují JTAG rozhraním pro ladění. MSP430AFE253 a MSP430I2041 mají předzesilovač o zesílení pouze 16. Vzhledem k potřebě čtyř kanálů vyloučíme MSP430AFE253. Spotřeba zařízení není příliš podstatná, když většinu času nebude vůbec napájeno, proto lze vybrat MSP430I2041. Oproti posledním má lepší rozlišení převodníku a komunikační periferie. Údaje o šumu na vstupu AD převodníků nejsou v katalogových listech uvedeny.

Budič sběrnice musí mít možnost napájení napětím 3,3 V, aby nebylo nutné jej napájet zvláštním zdrojem a zajišťovat převod hladin napětí k mikrokontroléru. Tabulka 4 obsahuje klíčové parametry budičů sběrnice RS-485, splňující kritérium napájecího napětí.

Tabulka 4 - Porovnání klíčových parametrů vybraných budičů sběrnice

Typ IC	Cena [Kč]	Rozsah napájecího napětí [V]	Spotřeba ve vypnutém stavu [μ A]	Spotřeba v zapnutém stavu [mA]	Přenosová rychlost
ST3485C [72]	44	3,0 - 3,6	max. 2	max. 2,2	12 Mbps
SN65HVD72 [74]	67	3,0 - 3,6	max. 2	0,95	10 Mbps
SP3485C [73]	54	3,0 - 6,0	1500	max. 2	10 Mbps
MAX3471E [74]	95	2,5 - 7,0	max. 2	0,06	64 kbps
LTC2850CS8 [75]	88	3,0 - 7,0	max. 5	1	20 Mbps

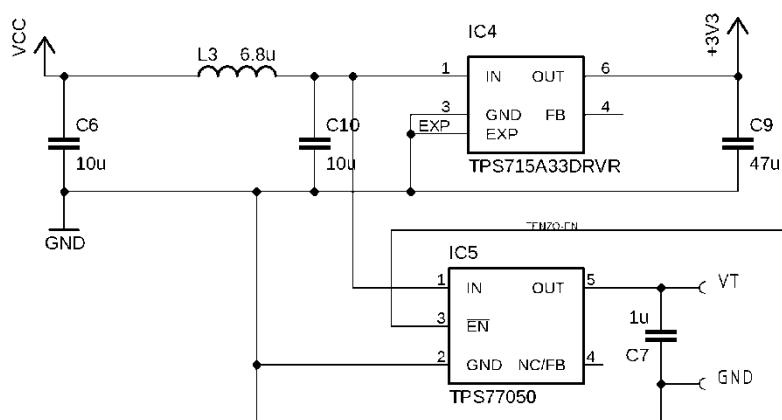
Pro úlovou váhu je nejdůležitějším parametrem cena. Tomu nejlépe vyhovuje budič ST3485C firmy ST Microelectronics. Naopak u řídicí jednotky, jež je na stanovišti pouze jedna, nehraje cena tak velkou roli. Důležitější je spotřeba, kterou má nejnižší MAX3471E. Zároveň je však omezujícím faktorem jeho přenosová rychlost. Na té závisí i doba provozu všech zařízení v aktivním režimu, která by měla být co nejkratší. Pro účely testování prototypu je vhodnější použít typ SN65HVD72.

4.4.4 Možnosti napájení úlové váhy

Podstatná otázka návrhu je napájení soustavy úlových vah. Samostatný zdroj energie v každé z vah je vyloučen kvůli obtížné údržbě a pravděpodobně i vyšší ceně. Praktičtější řešení je rozvádění napájení sběrnici z řídicí jednotky. Vzhledem k tomu, že od samotných vah se očekává pouze změření hmotnosti a odeslání údaje do řídicí jednotky, a to v časových intervalech okolo 10 min, je výhodné váhy napájet pouze v době samotné činnosti. Potřebná data budou uložena buď v řídicí jednotce nebo v nonvolatilní paměti EEPROM, osazené ve váze. Tenzometrické snímače mají doporučené buzení 5 V, ostatní části elektroniky vyžadují nižší napětí 3,3 V. Jelikož vah na sběrnici může být několik desítek, jejich špičkový odběr může dosahovat až 1 A. Z toho důvodu je lepší přenášet po sběrnici vyšší napětí, a poté jej ve váze snižovat, než naopak.

Tenzometrické snímače by měly být napájeny samostatným zdrojem s minimálním rušením na výstupu, proto není vhodné použít spínané měniče, nehledě k tomu, že jsou dražší a zaberou často více plochy na DPS než lineární. Pro jejich napájení byly vybrány dva typy regulátorů. Prvním je TPS77050 a druhým TC1014 [84]. Oba mají povolovací vstup a velmi nízkou vlastní spotřebu. TPS77050 odebírá v aktivním režimu

pouhých 17 μA , což je třikrát méně než TC1014, proto je použit ve schématu. Napájení zbylých bloků zajišťuje TPS715A33 [87], který má vlastní spotřebu dokonce jen 3,2 μA a je k dispozici v miniaturním pouzdře DFN.



Obr. 27 - Obvodové schéma regulátorů

Na Obr. 27 je schéma napájecích bloků úlové váhy. Vstupní filtr L3, C6 a výstupní kapacity C7, C9 byly voleny dle doporučení výrobce. Symbol VCC zde značí přívod ze sběrnice.

4.4.5 Komunikace vah s řídicí jednotkou

Komunikace probíhá, jak již bylo zmíněno, po sběrnici RS-485. Sběrnice RS-485 je centralizovaná, každé Slave zařízení musí být identifikováno vlastní unikátní adresou, jež musí být v zařízení uložena. Při zahájení komunikace ze strany řídicí jednotky je tedy nejprve třeba po zapnutí napájení odeslat adresu váhy. Ta po jejím přijetí může odpovědět změřeným údajem o hmotnosti. Až jej řídicí jednotka zpracuje, zahájí komunikaci stejným způsobem s dalším zařízením. Tímto způsobem pokračuje dále, dokud nedojde k poslednímu. Poté je možno vypnout napájení sběrnice a tím odstavit všechny váhy. Pro pohodlnější připojování a odpojování vah je účelné automatické nastavování adres. Smazání adresy musí probíhat manuálně. Připojení druhého zařízení s již použitou adresou by způsobilo kolizi dat, kterou nelze eliminovat.

K řízení příjmu a vysílání je třeba použít budič, impedance sběrnice bývá 60 Ω a mohou se na ní vyskytovat přechodové jevy, generující napěťové špičky. Proto není vhodné ji budit přímo výstupy mikrokontroléru. Budič sběrnice musí mít nízkou spotřebu a zároveň být schopen pracovat při napájení 3,3 V, aby nebylo nutné vkládat mezi něj a mikrokontrolér převodník hladin napětí.

4.4.6 Dálkové odesílání dat a návrh řídicí jednotky

Jak bylo již v kapitole 3.4 zmíněno, data jsou odesílána prostřednictvím sítě LoRa WAN. Většina běžně používaných komunikačních modulů (MultiTech xDot [64], Microchip RN2483 [64], Murata CMWX1ZZABZ [67], Würth Elektronik Tarvos-III [67], Laird RM186 [66]) je založena na některém z čipů výrobce Semtech řady SX12xx. Pro výběr LoRa modulu jsou klíčovými parametry jeho velikost, výstupní výkon

(a od něj závislý dosah), cena a univerzálnost. Všechny tyto moduly mají nastavitelný vysílací výkon. Následující parametry modulů jsou platné při okolní teplotě 25 °C.

Modul xDot má deklarovány tyto vlastnosti:

- pásmo: 863 - 870 MHz
- dosah/výkon: 15 km ve volném terénu @ 14dBm
- osazen čipem ST32L151CCU6 + SX1272
- pracovní teplota: -40 až +85 °C
- napájení: 3,3 V; 11,1 mA v akt. režimu; 2,1 µA ve spánku
- rozměr: 24 x 24 x 4,3 mm
- cena: okolo 600 Kč

Modul RN2483:

- pásmo: 863 - 870 MHz a 433,05 - 434,79 MHz
- dosah/výkon: 15 km ve volném terénu @ 14dBm
- osazen čipem PIC18LF46K22 + SX1276
- pracovní teplota: -40 až +85 °C
- max. proudový odběr při vysílání (14 dBm): 38,9 mA
- napájení: 3,3 V; 2,8 mA v akt. režimu; 1,6 µA ve spánku
- rozměr: 27 x 18 x 3,3 mm
- cena: okolo 300 Kč

Modul CMWX1ZZABZ:

- pásmo: 863 - 870 MHz + 915 MHz
- dosah/výkon: 20 km ve volném terénu @ 18,5dBm
- osazen čipem STM32L082 + SX1276
- pracovní teplota: -40 až +85 °C
- max. proudový odběr při vysílání (14 dBm): 47 mA
- napájení: 3,3 V; 6,7 mA v akt. režimu; 1,4 µA ve spánku
- rozměr: 27 x 18 x 3,3 mm
- cena: okolo 400 Kč
- nedostupné pro Evropu

Modul Tarvos-III:

- pásmo: 865 - 870 MHz
- dosah/výkon: 10 km ve volném terénu @ 14 dBm
- osazen čipem CC1310
- pracovní teplota: -40 až +85 °C
- max. proudový odběr při vysílání (14 dBm): 26 mA
- napájení: 3,3 V; 2,5 mA v akt. režimu; 0,2 µA ve spánku
- rozměr: 17 x 27 x 3,2 mm
- cena: okolo 650 Kč

Modul RM186:

- pásmo: 865 - 870 MHz + BLE
- dosah/výkon: 15 km ve volném terénu @ 14 dBm
- osazen čipem SX1272 + nRF51822
- pracovní teplota: -40 až +85 °C
- max. proudový odběr při vysílání (14 dBm): 32 mA
- napájení: 3,3 V; 6,7 mA v akt. režimu; 4,2 μ A ve spánku
- rozměr: 25,4 x 25,4 x 3,15 mm
- cena: okolo 430 Kč

Z popsaných modulů byl jako nejvhodnější zvolen RN2483 firmy Microchip. Má nízkou spotřebu při vysílání i v aktivním režimu, je nejlevnější, obsahuje programovatelný mikrokontrolér (není potřeba vnější čip pro komunikaci) a má vyvedeny I/O veškerých periférií. Důležité je i to, že je jako jediný schopen přepínat mezi dvěma evropskými pásmy. Pokrytí LoRa signálem je v ČR sice dostatečné, ale nejsou dostupné informace o použitém pásmu.

Kvůli spotřebě při vysílání by měla být komunikace s bránou omezena na minimální čas. Pro účely prototypu budou data k zobrazení na serveru The Things Network, který automaticky generuje klíče potřebné k připojení a identifikaci zařízení. Umožňuje také jednoduché zpracování příchozích dat a propojení například s Matlabem. Vhodnou možností způsobu odesílání nekomprimovaných dat je přiřazení každé váhy samostatný kanál. Těch je k dispozici 255, což je zcela dostatečné. Takto budou váhy vzájemně odlišeny. Zároveň to přináší nevýhodu, odesílání většího množství datagramů v krátkém sledu ne všechny brány umožňují, navíc se tak prodlužuje doba komunikace. Proto by bylo výhodnější použít jeden datagram s údaji ze všech vah. Pro testování s jednou, či dvěma vahami však postačí první způsob, dovolí-li jej brána. Odesílání dat probíhá po ukončení komunikace s vahami.

4.4.7 Napájení obvodů řídicí jednotky

Otázka napájení řídicí jednotky je i otázkou napájení celého systému. Řídicí jednotka obsahuje modul RN2483, jehož spotřeba při napájecím napětí 3,3 V je v nečinnosti 1,6 μ A, v aktivním režimu 2,8 mA a při vysílání s maximálním výkonem 38,9 mA. Dále je zde připojena sběrnice s dalšími 32 zařízeními (váhy pro 16 úlů), z nichž každé potřebuje maximálně 5 mA v nečinnosti a každé z nich při komunikaci dalších 35 mA (špičkový odběr), dle katalogového listu výrobce budiče [74]. Nejvyšší soudobý odběr ze sběrnice je tedy $32 \cdot 5 + 35 = 195$ mA.

Jako zdroj energie připadají v úvahu primární baterie i akumulátory. Výhoda primárních baterií je v jejich minimálním samovybití, nevýhodou pak je nutnost pravidelné výměny. Kapacita a charakteristiky primárních baterií jsou komplexní věda, velmi záleží na provozních podmínkách. Pro účely testování úlové váhy je lepší na primární baterie nahlížet z praktického hlediska. Máme-li zařízení napájeno dvěma primárními alkalickými bateriemi typu LR6 o kapacitě každé z nich 3000 mAh při vybití z 1,5 na 0,8 V [78] a ceně okolo 10 Kč, máme tedy celkovou kapacitu 6 Ah za cenu 20 Kč. Máme také li-ion akumulátor rozměru 18650 o kapacitě 3000 mAh s cenou 160 Kč [78], který však můžeme, narozdíl od primární baterie, bez významné ztráty kapacity 100x nabít. Z baterií v ceně 160 Kč získáme pouze $160/20 \cdot 3000 = 24$ Ah. Z akumulátoru lze za stejnou cenu získat více než 300 Ah elektrické energie

při zanedbání ceny za nabití. Tento argument ušetření nákladů podporuje volbu akumulátoru, nehledě na to, že jej lze v terénu dobít například pomocí solárního panelu.

Z akumulátorů připadá v úvahu například olovený. Jeho zásadní nevýhoda je v tom, že ho může zničit mráz, pokud není náležitě nabitý. Navíc je velký a těžký. Lepší variantou jsou nabíjecí články na bázi niklu (Ni-Cd a Ni-MH), ty mají zase paměťový efekt a rychle se samovybíjí. Nejvhodnějším řešením je li-ion akumulátor, protože není drahý, má velkou hustotu energie a prodává se velké množství jeho variant [79].

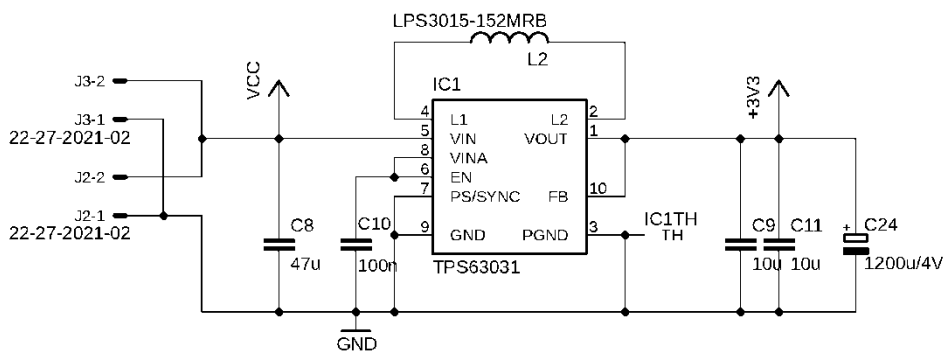
Pro výběr velikosti akumulátoru je důležité znát celkovou spotřebu napájené soustavy. Váhy tedy odebírají proud I_V o hodnotě cca 190 mA po dobu t_V asi 5 sekund, kvůli rezervě při pomalé komunikaci po sběrnici. Řídící jednotka tou dobou odebírá proud pro RN2483 v aktivním režimu a proud potřebný k buzení sběrnice. To je v součtu $I_{RJ1} = 37,8$ mA, také po dobu t_V . Poté jsou váhy odstaveny od napájení a začne zpracování údajů a odesílání dat. Odeslání tak dlouhého datagramu může trvat i $t_O = 10$ sekund, pokud je nutné jej opakovat. Přitom je odebírán proud I_{RJ2} o hodnotě maximálně 41 mA (vysílání + RN2483 v akt. režimu). Následně se řídící jednotka přepne do režimu nízké spotřeby, kdy odebírá proud $I_{IDLE} = 4$ μ A. Proces vážení a odesílání dat se děje každých 10 minut. Celkový náboj proteklý soustavou během 1 hodiny je tedy roven:

$$Q_1 = (I_V + I_{RJ1}) \cdot t_V + I_{RJ2} \cdot t_O + (600 - t_V - t_O) \cdot I_{IDLE} \quad (19)$$

Dosazením do rov. 19 získáme daný náboj:

$$Q_1 = (195 + 37,8) \cdot 5 + 41 \cdot 10 + (600 - 15) \cdot 0,004 = 1576,3 \text{ mAs}$$

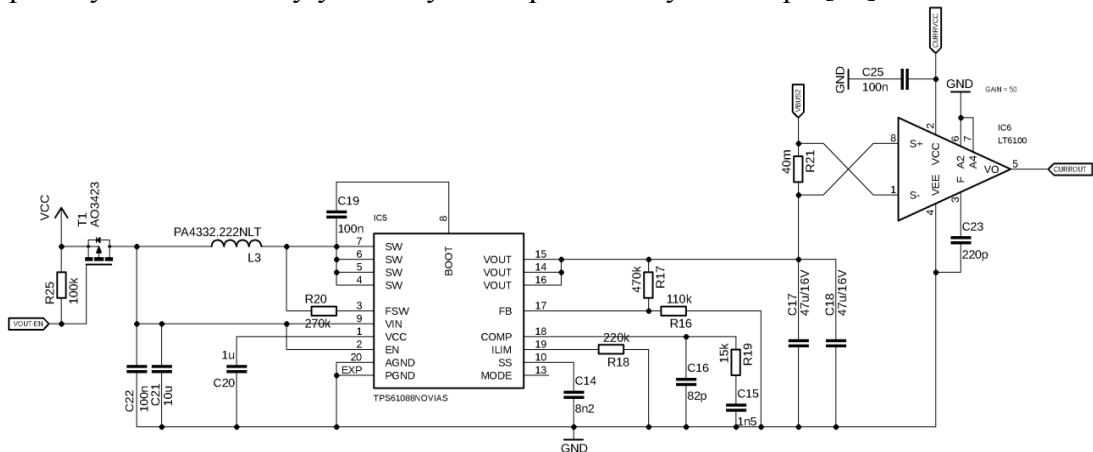
Převedením jednotek získáme náboj 0,438 mAh. Kvůli velikosti akumulátoru byl vybrán li-ion o velikosti 18650 a kapacitě 3000 mAh, umístěný v pouzdře na DPS, s možností připojení dalších. S ním tedy soustava 32 vah a řídící jednotky teoreticky vydrží v provozu minimálně 285 dní. Pokud použijeme dva akumulátory pro snadnější výměnu za nabitě, dosáhneme výdrže minimálně 570 dnů, což je i s rezervou více než 1,5 roku. Ve výpočtu není zahrnuta spotřeba měničů napětí, ta je však při použití dobrého měniče řádově v μ A při účinnosti přes 90 %. Údaje použité pro výpočet jsou však nadsazené.



Obr. 28 - Schéma zapojení měniče pro napájení RN2483

Na Obr. 28 je k vidění schéma zapojení měniče, který z napětí li-ion článků vytváří 3,3 V pro napájení RN2483 a budiče sběrnice. Prvky obvodu jsou voleny dle doporučení výrobce. Na výstup je připojen zálohovací kondenzátor C24, aby při výměně akumulátoru nedošlo k přerušení napájení a ztrátě dat. Výdrž RN2483 při napájení ze zálohovacího kondenzátoru je zhruba 20 sekund. Výběr samotného IC je značně omezen, musí mít malou vlastní spotřebu a musí být topologie buck-boost, protože výstupní napětí se nachází mezi mezními napětími li-ion akumulátoru, které jsou většinou 2,9 – 4,2 V. Firma Texas Instruments nabízí návrhový program WEBENCH [80], který na základě vstupních parametrů vyhodnotí vhodná řešení a automaticky dopočítá hodnoty součástek. Vyšly dva použitelné typy měničů. Prvním je LMZM23600 [81], což je integrovaný modul měniče. Jeho výhodou je velmi malá velikost, nevýhodou však vysoká cena. Naproti tomu TPS63031 [79] je sice na plochu větší, ale cena všech komponentů je zhruba poloviční, než je tomu v prvním případě. Proto byl vybrán tento. Spotřeba samotného měniče v aktivním režimu je menší než 50 μ A.

Měnič napájející sběrnici, viz Obr. 29, je topologie boost, tedy zvyšující. Požadavkem na něj je pokrytí špičkových odběrů vah na sběrnici, byl proto dimenzován na výstupní proud 500 mA. Pro testování byl doplněn o měřič spotřeby, který je realizován proudovým bočníkem R21 s měřícím zesilovačem IC6. Vhodný je použitý LT6100, protože je levný, má integrovaný zesilovač s proměnným ziskem a na měřících svorkách může být napětí až 37 V oproti kladnému napájecímu (3,3 V). Je cílen na aplikace s unipolárním napájením. RN2483 má integrovanou referenci 2,048 V pro 10bitový AD převodník, při měřeném proudu 1 A by mělo být výstupní napětí měřícího zesilovače blízké této hodnotě. Pro možnost použití bočníku s minimálním odporem byl zvolen 50násobný zisk zesilovače. Použitím bočníku o běžné hodnotě 40 m Ω získáme úbytek 40 mV, po zesílení činí pak 2 V. Hodnoty a typy použitých součástek byly zvoleny dle doporučení výrobce čipu [82].



Obr. 29 - Schéma zapojení měniče napájejícího sběrnici

Měnič má také povolovací vstup (tranzistor T1), který je ovládán prostřednictvím GPIO RN2483. Napájení je spínáno MOS tranzistorem s malým odporem kanálu, protože měnič, ač vypnutý, propouští napětí ze vstupu na výstup.

Snímání napětí akumulátoru probíhá pomocí děliče napětí. Při plném nabití požadujeme výstupní napětí U_{BAT} zdola blízké 2,048 V. Pro napěťový dělič platí:

$$\frac{U_{BAT}}{U_{AKU}} = \frac{R13}{R12+R13} \quad (20)$$

Značení součástek se vztahuje k obvodovému schématu v příloze. Dosazením do rovnice 20 a při použití standardizované řady rezistorů E24 byly vypočítány odpory $R13 = 820 \text{ k}\Omega$ a $R12 = 1 \text{ M}\Omega$.

Protékající proud je:

$$I = \frac{U_{MAX}}{R13+R12} = \frac{4,2}{1,82} = 2,3 \mu A$$

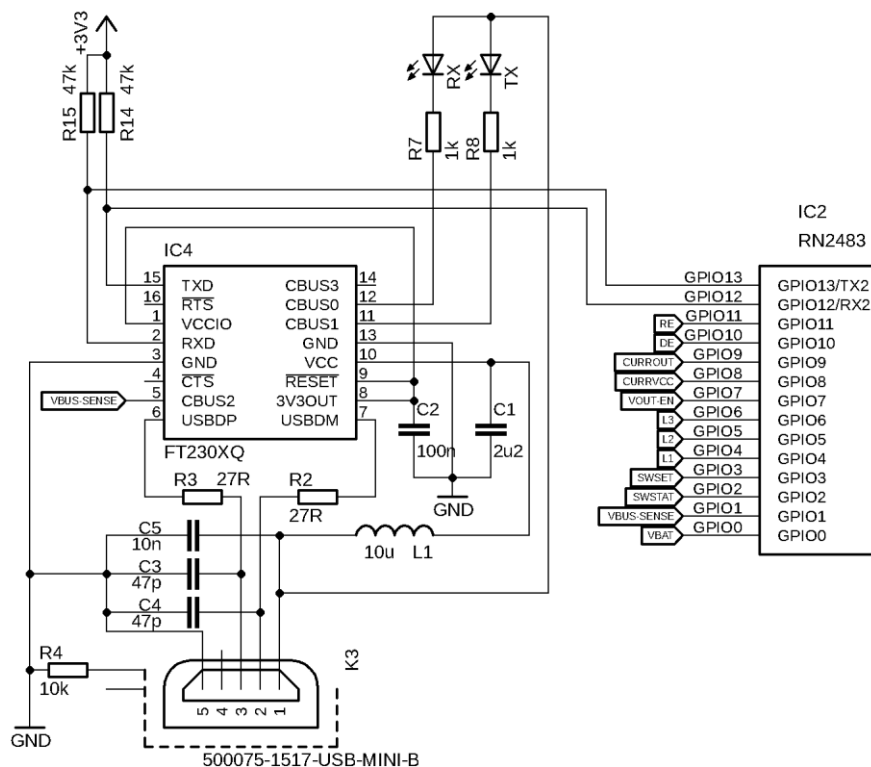
Při menším proudu by se značně projevoval vliv vstupního odporu RN2483.

4.4.8 Ovládání a USB komunikace

Jak váha, tak řídicí jednotka je vybavena tlačítky a indikačními LED. V případě úlové váhy je v terénu třeba provést reset adresy na sběrnici, pokud váhu přesouváme na jiné stanoviště. Zároveň je vhodné, aby indikační LED nesvítily trvale, ale pouze na vyžádání. K tomu účelu postačí jedno tlačítko, jež při krátkém stisku zobrazí stav a při dlouhém pak způsobí smazání adresy. Pomocí LED je vhodné signalizovat, zda je váha nakonfigurována.

U řídicí jednotky je situace podobná. Kromě konfigurace vah je dobré indikovat také připojení k LoRa bráně, případně pokud dojde k chybě i výzvu k připojení USB. Tlačítky je nutné ovládat napájení sběrnice (při konfiguraci vah), připojení a reset zařízení. Použité LED jsou vysoce svítivé, aby neměly velkou spotřebu.

USB komunikátor slouží k nastavení některých parametrů, které by bylo obtížné nastavovat pomocí tlačítek a malého počtu LED. RN2483 obsahuje USART jednotku, jež používá RS-232 protokol. Převodník je tedy zapojení, které vytvoří virtuální COM port pomocí USB připojení. Z důvodu zmenšení plochy na DPS byl vybrán převodník FT230X výrobce FTDI, jejichž IC jsou široce pro tyto účely používané a spolehlivě fungují se všemi operačními systémy. V úvahu připadá například i FT232HL, který má však výrazně větší pouzdro. Obr. 30 ukazuje schéma zapojení USB převodníku. Zapojení a hodnoty součástek jsou zvoleny dle katalogového listu [84]. Parametry převodníku (použití LED, popis zařízení) je možné změnit pomocí software FT_Prog. Dle schématu jsou využity GPIO CBUS0 a CBUS1 jako LED signalizace příjmu a vysílání a také CBUS2 k indikaci připojeného USB. Ovládání je možné libovolným emulátorem terminálu. Stínění Micro-USB konektoru je připojeno ke společné zemi rezistorem R4, aby se omezil proud protékající stíněním. Tlumivka L1 s kondenzátory C1, C2 a C5 tvoří filtr napájecího napětí, jež může obsahovat rušivé složky s původem v počítači.



Obr. 30 - Schéma zapojení USB převodníku

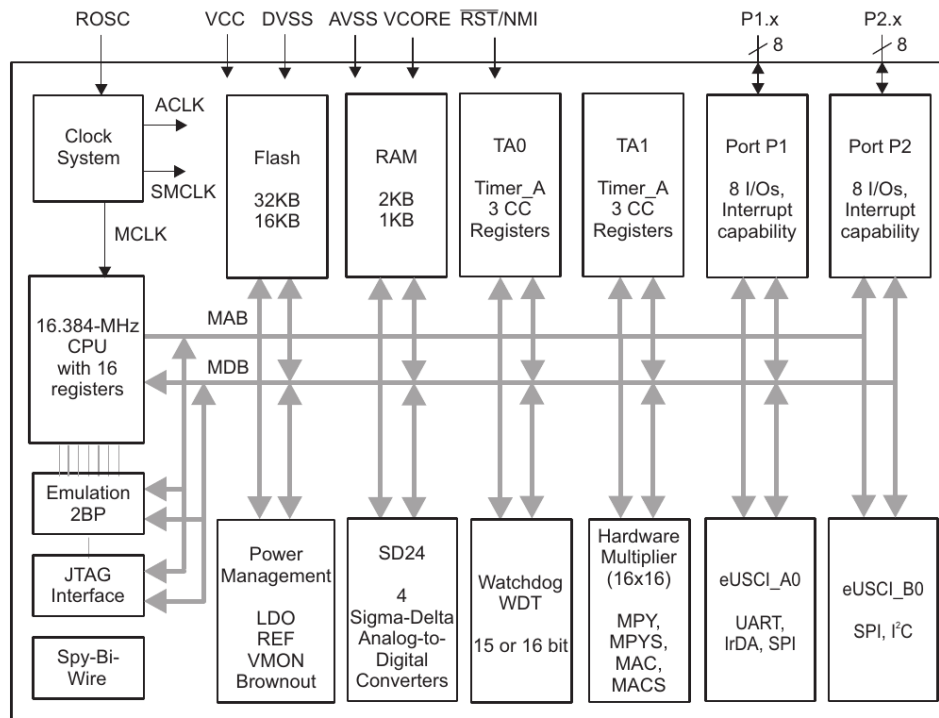
Převodník je napájen z připojeného PC, jelikož v jiných případech není k ničemu potřeba. Na výstupu CBUS2 je naprogramován signál připojeného USB (log. 1).

4.5 Obvodové schéma a layout DPS

Při sestavování obvodového schématu se vychází z blokového schématu (Obr. 22 a 23). Jednotlivé bloky jsou obvykle postaveny okolo nějakého IC, v jehož katalogovém listu jsou často i pravidla, hodnoty součástek a doporučení pro layout. Obvodová schémata jsou k nahlédnutí v příloze. Layout byl proveden tak, aby byly co nejvíce odděleny jednotlivé funkční bloky, ať už pro přehlednost, tak pro eliminaci parazitních vazeb vzájemnou indukčností či kapacitou. Šířky spoje byly voleny s ohledem na proudovou zatížitelnost, způsobující oteplení spoje [86], což však bylo třeba pouze u měničů, kde vzniká špičkový proud, procházející pracovní cívkou. Ostatní šířky podléhají kritériu výrobních možností firmy Gatema Holding s.r.o [88], kde byly desky vyrobeny. Způsob tažení plošných spojů se řídí buď katalogovým listem příslušného čipu, nebo obecnými pravidly pro kreslení spojů ve vysokofrekvenční technice. Výstupní impedance RF vývodů RN2483 je 50 Ω , proto i plošný spoj ke konektorům je tak široký, aby měl impedanci 50 Ω (spočítáno online kalkulačkou [89]). Zároveň je od něj společná zem více vzdálena kvůli parazitní kapacitě a indukčnosti. Schéma bylo nakresleno a layout vytvořen v programu Autodesk EAGLE, viz příloha A, B. Seznam použitých součástek jen pak v příloze E. Obě desky jsou vybaveny děrami pro přišroubování. Obě desky jsou oboustranné dvouvrstvé s plátováním o tloušťce 18 μm . Seznam použitých součástek je k vidění v příloze D.

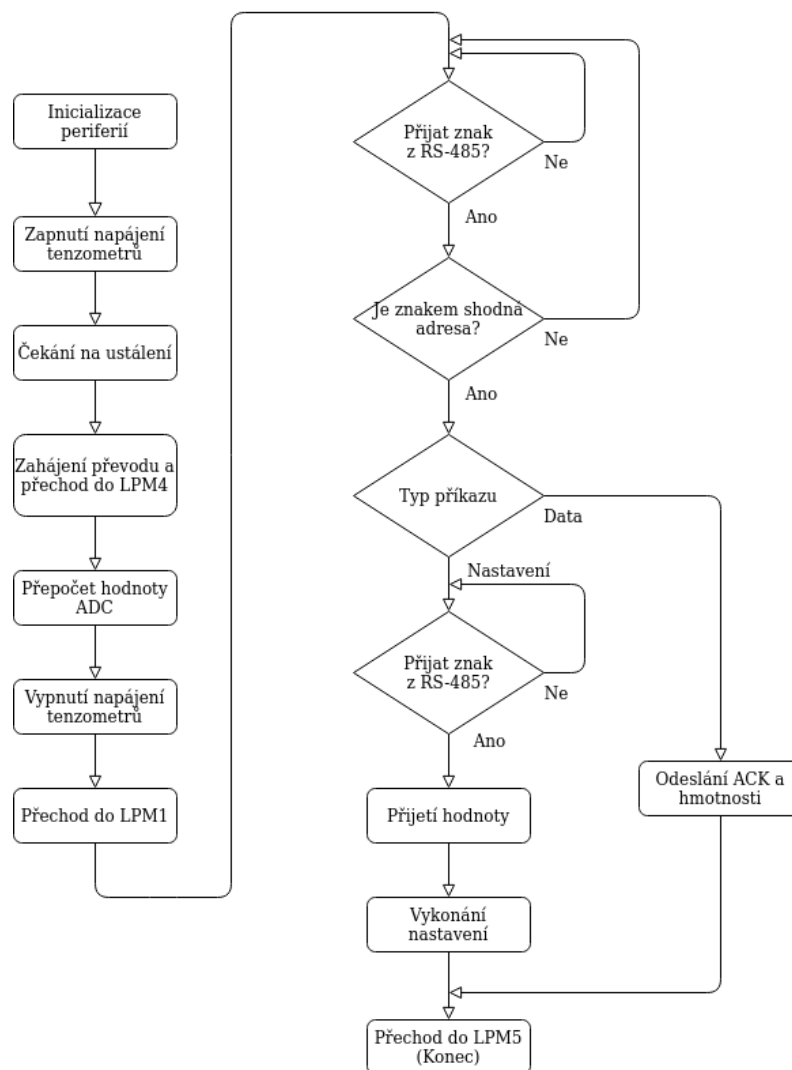
4.6 Programování úlové váhy

Pro účel vývoje firmware mikrokontroléru MSP430I2041 je doporučen software Code Composer Studio, nejnovější verze 9.3.0 s kompilátorem TI v18.12.4 LTS. K programování a ladění mikrokontroléru je použit programátor MSP430 FET. Celý program je třeba sestavit od fyzické vrstvy, protože rodina MSP430 není příliš mezi „bastlíři“ rozšířena (oproti STM, AVR, PIC), načež nejsou k dispozici ani knihovny pro ovládání periférií u všech typů mikrokontrolérů. Obr. 31 ukazuje vnitřní blokové schéma použitého mikrokontroléru. Na Obr. 32 je pak vývojový diagram programu.



Obr. 31 - Vnitřní blokové schéma obvodu MSP430I2041 [69]

Běh programu začíná resetem při zapnutí napájení sběrnice. Vnitřní oscilátor je kalibrován registrem na 16,0 MHz a je nutné počkat přibližně 10 ms, než se ustálí jeho kmitočet. Zároveň dojde i k ustálení napájecího napětí tenzometrů. Ihned po kalibraci oscilátoru jsou nastaveny I/O porty, konfigurován A/D převodník a modul eUSCI A0, který zajišťuje UART rozhraní. Přenosová rychlost je asi 9615 bps, 1 stop bit, žádná parita. Po inicializaci dochází k odečtení hmotnosti, přičemž je zastaveno jádro a hodinový signál do všech periférií vyjma ADC. Hodnota je vypočtena jako aritmetický průměr deseti za sebou jdoucích vzorků. Přejít do normálního stavu je vyvolán přerušením, které nastane při dokončení převodu. Následně je vypnuto napájení tenzometrů, protože již nejsou potřeba. Dochází k přechodu do LPM1, kdy je zastaven běh jádra. Do aktivního režimu se přechází při přerušení příchozím znakem z RS-485. Po přijetí znaku je testováno, zda-li je znakem adresa modulu. V případě že ne, čeká se na další znak. V tuto chvíli nemá smysl již uspat jádro, protože následná komunikace je nepřetržitá. Po obdržení shodné adresy je očekáván příkaz. Tím může být výzva k odeslání změřené hodnoty nebo nastavení parametrů (například změna adresy modulu váhy). Po vykonání příkazu přechází mikrokontrolér do režimu LPM5, kdy je zastaven i oscilátor, a lze jej probudit až opětovným resetem při zapnutí napájení.



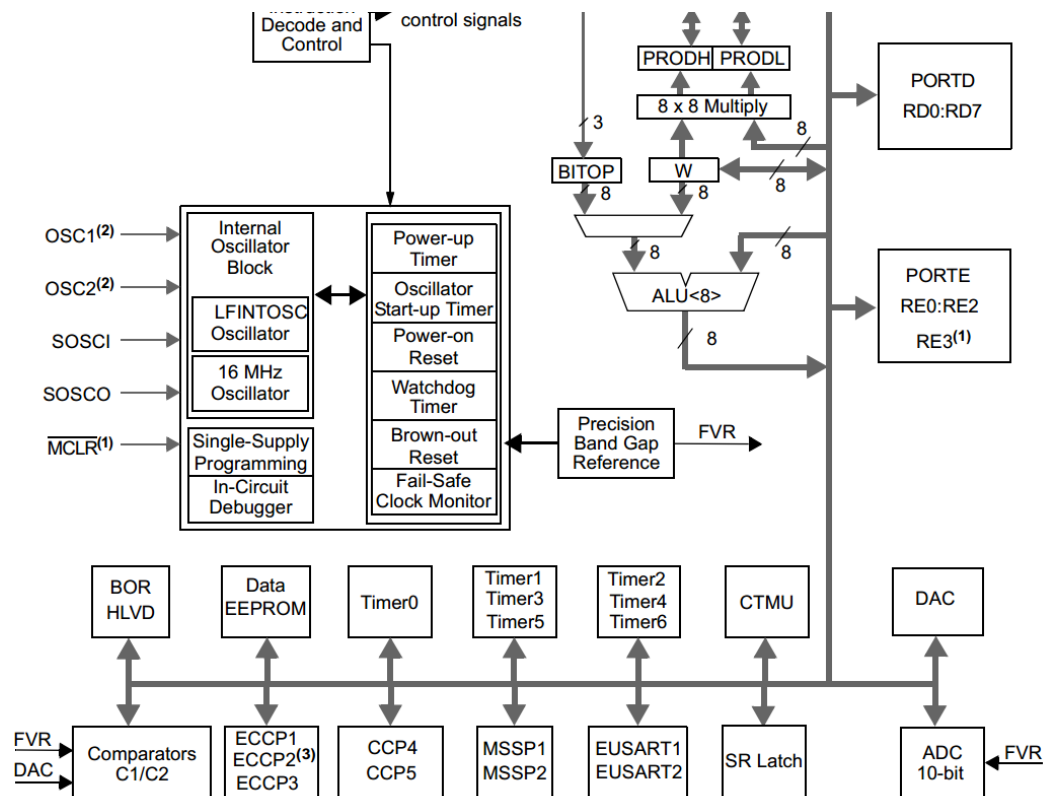
Obr. 32 - Vývojový diagram firmware úlové váhy

4.7 Programování řídicí jednotky

K sestavení programu pro řídicí jednotku byl použit software MPLAB X s kompilátorem XC8 verze 1.45 pro ANSI C. Modul RN2483 obsahuje mikrokontrolér PIC18LF46K22, pro nějž je k dispozici knihovna ke komunikaci s SX1276 a celým LoRa protokolem. Knihovna je však stará a s nejnovější verzí XC již nefunguje. Všechny funkce pro obsluhu LoRa jsou implementovány v této knihovně, je třeba doplnit jen zpracování dat.

Na Obr. 34 a Obr. 35 je vývojový diagram firmware řídicí jednotky. Firmware je jednoduchý, neobsahuje automatické řešení všech problémů, jež mohou vzniknout při chybách v komunikaci s LoRa bránou. Řešeno je pouze opakované odeslání se změnou kanálu. Ostatní nastavení je třeba provést ručně konfigurací přes USB port. Běh programu začíná inicializací periférií mikrokontroléru, tedy nastavením I/O portů, časovačů a jednotky EUSART. Knihovna LORAWAN využívá některé digitální I/O, modul MSSP2 a modul Timer 1, který je buzen kmitočtem 32768 Hz z SX1276. Na něm je nastaveno přerušení každé 2 sekundy. To je využito pro probouzení jádra

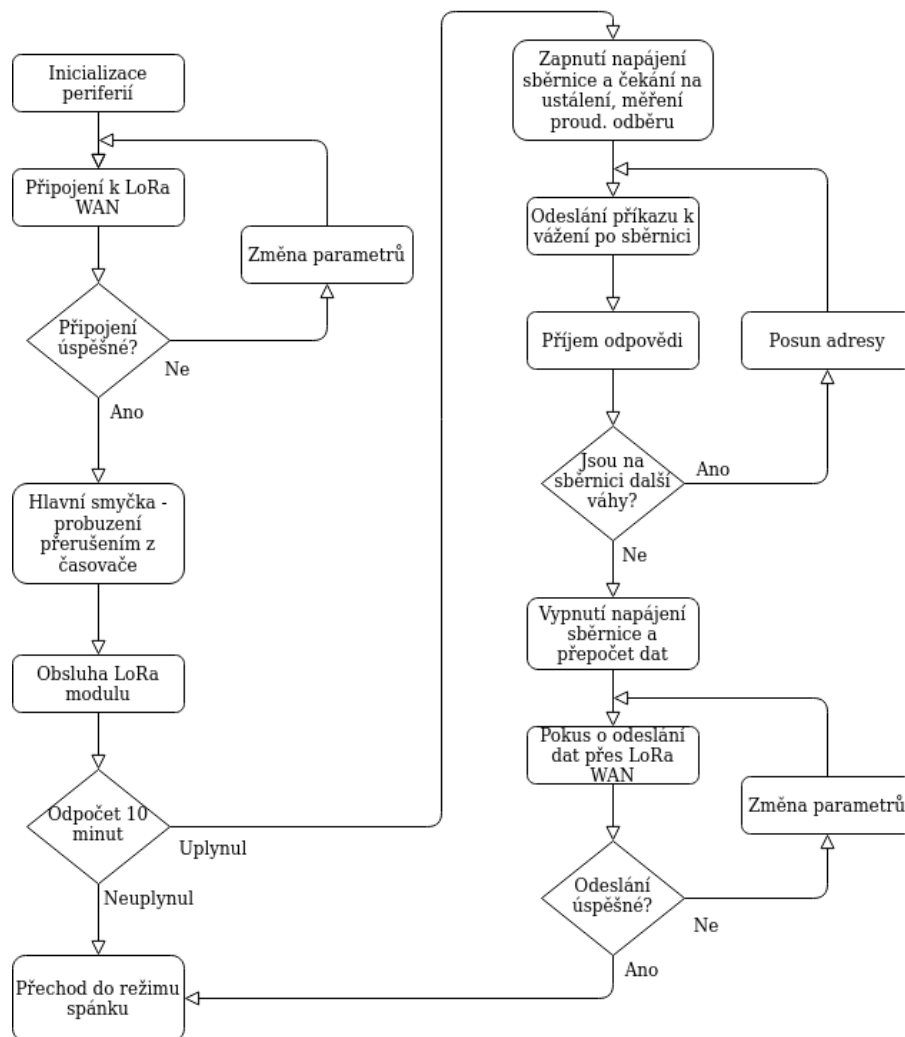
z režimu spánku a měření časového intervalu pro odečet hmotnosti. Modul EUSART 1 přijímá a vysílá zprávy po RS-485. Je konfigurován jako asynchronní UART o rychlosti 9600 bps, bez parity, 1 stop bit. Stejně tak i EUSART 2, jenž komunikuje s USB převodníkem. Hodnoty registrů pro výpočet rychlosti jsou při daném hodinovém kmitočtu 16 MHz uvedeny v katalogovém listu. Chyba přenosu na sběrnici je 0,16 %, jelikož reálná rychlost přenosu je 9615 bps. Ve výsledku však k žádné chybě na sběrnici tímto způsobem nedojde, protože kmitočet oscilátoru v úlové váze je taktéž 16 MHz a má velmi podobný dělicí poměr děliče, jeho reálná přenosová rychlost je tedy také 9615 bps.



Obr. 33 - Vnitřní blokové schéma PIC18LF46K22 [91]

Využit je také 10bitový ADC s vnitřní referencí pro měření spotřeby a stavu akumulátoru.

Po inicializaci je proveden pokus o připojení k LoRa WAN, pokud je neúspěšný, je proveden znovu se zvýšenou šířkou pásma a nižší komunikační rychlostí. Při dosažení úspěchu přechází běh programu do hlavní smyčky. Knihovna LORAWAN vyžaduje časovač TMR1, generující přerušení každé 2 sekundy, což je využito k probouzení mikrokontroléru z režimu spánku, zároveň slouží i k měření časového intervalu vážení. V případě že interval neuplynul, mikrokontrolér je opět uspán. Po uplynutí nastavené doby (10 minut) je zapnuto napájení sběrnice a po ustálení (20 ms) je změřen odběr proudu. Je odeslána adresa každé připojené váhy a následuje příkaz ke sdílení změřené hmotnosti. Poté je očekávána odpověď v podobě 2 byte, které jsou rozklíčovány a zpracovány. Když jsou údaje ze všech vah shromážděny, sběrnice je vypnuta. Po zpracování údajů je proveden pokus o odeslání, který je v případě neúspěchu opakován na jiném kanálu, nebo v opačném případě ukončen a mikrokontrolér je uspán.

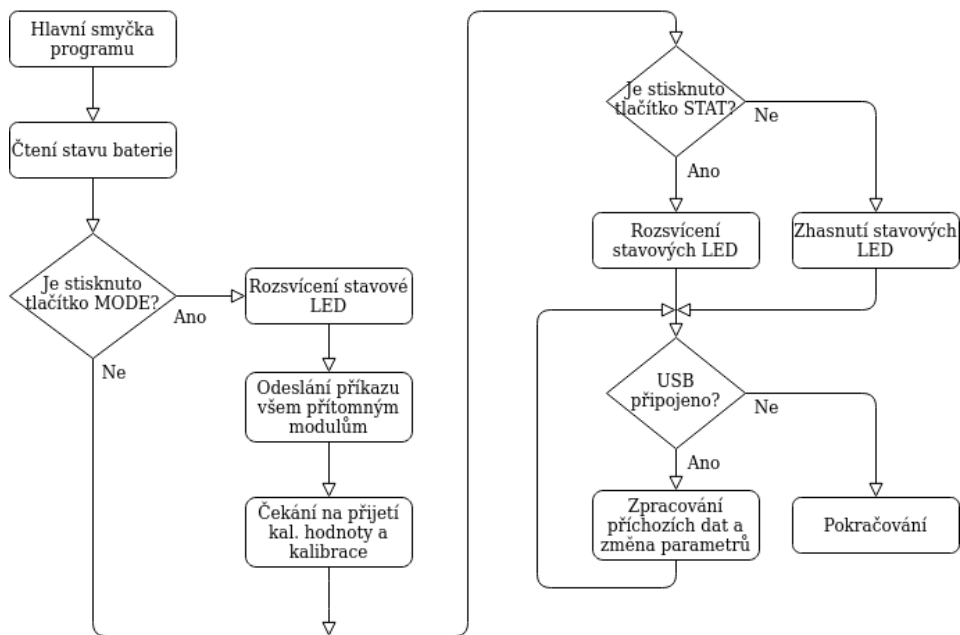


Obr. 34 - Vývojový diagram programu inicializace a obsluhy komunikace

Obr. 35 ukazuje uživatelskou část firmware, jež probíhá také v hlavní smyčce. Je možno ji tedy spustit každé 2 sekundy. Začíná přečtením napětí baterie, které je odesíláno zároveň s údaji o hmotnosti. Pak jsou zjištěny stavy tlačítek. Tlačítko označené MODE slouží ke kalibraci. Při jeho stisku je rozsvícena stavová LED (žlutá), je zapnuto napájení sběrnice a odeslán příkaz pro kalibraci. Každá z vah pak čeká na stisk jejich tlačítka. Pokud k němu dojde, je odeslána odpověď v podobě adresy váhy a údaje o hmotnosti. Ten je zaznamenán řídicí jednotkou a je upravena příslušná proměnná.

Při podržení tlačítka STAT jsou rozsvíceny stavové LED (indikace chyby odeslání, chyby připojení, zapnutí či vypnutí napájení a výzva k připojení USB).

Při zahájení komunikace přes USB mikrokontrolér nepřechází do spánku, dokud není USB odpojeno.



Obr. 35 - Vývojový diagram obsluhy uživatelského rozhraní

Datové přenosy musí být co nejkratší a minimálně zatěžovat jádro mikrokontroléru. Hmotnost je přenášena z váhy do řídicí jednotky i na internet ve formátu typu *unsigned int*, pro názornost je níže ukázka funkce, která zajistí odeslání 16ti bitové proměnné tohoto typu po RS-485.

```

void RS485_sendWeight(uint16_t weight)
{
    uint8_t lsb = weight & 0xFF;
    uint8_t msb = (weight >> 8) & 0xFF;
    RS485_sendChar(lsb);
    RS485_sendChar(msb);
}
  
```

Opačným způsobem pak dojde k převedení zpět. Bitový posuv v registru je velmi rychlá operace, maskování taktéž.

4.8 Skript pro zpracování dat na The Things Network

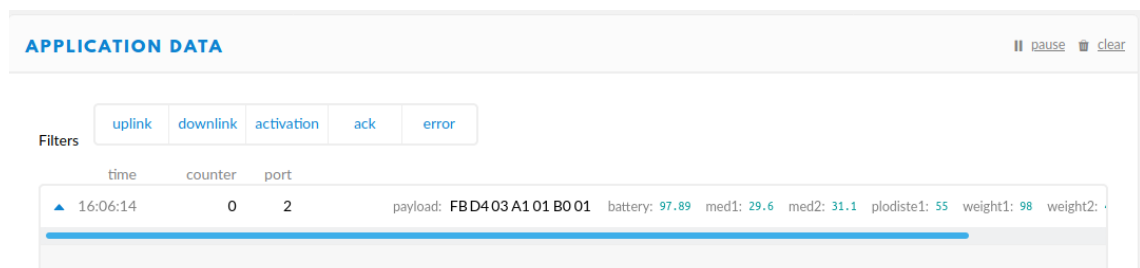
Data z řídicí jednotky přijdou ve formátu pole znaků s hexadecimálně zobrazenou hodnotou. The Things Network (TTN) umožňuje jejich základní zpracování, potažmo převedení do čitelné podoby. Údaj o hmotnosti každé váhy zabírá dvě místa v tomto poli. Údaj je získán zpětným postupem kódování názorně uvedeným v předchozí kapitole.

```
function Decoder(bytes, port) {  
  
    var decoded = {};  
    decoded.weight1 = ((bytes[2] << 8 ) + bytes[1]) / 10;  
    decoded.weight2 = ((bytes[4] << 8 ) + bytes[3]) / 10;  
    decoded.weight3 = ((bytes[6] << 8 ) + bytes[5]) / 10;  
    decoded.battery = bytes[0]*0.39;  
    return decoded;  
}
```

Tímto převedeme data na jednotlivé hmotnosti v kilogramech a stav baterie. Váha č. 1 se nachází pod plodištěm prvního úlu. Váha č. 2 pak pod medníkem téhož úlu. Váha č. 3 je pod medníkem druhého úlu. S těmito údaji je možné dopočítat jednotlivé složky pomocí další funkce.

```
function Converter(decoded, port) {  
  
    var converted = decoded;  
  
    var vahaVahy = 1.3;  
    var vahaNastavku = 12.1;  
  
    converted.plodiste1 = decoded.weight1 - decoded.weight2 - vahaVahy;  
    converted.med1 = decoded.weight2 - vahaNastavku  
    converted.med2 = decoded.weight3 - vahaNastavku;  
  
    return converted;  
}
```

Výstup při přijetí patřičných dat pak vypadá jako na Obr. 36. Data je možné při přijetí exportovat na server Thingspeak, kde je lze například vykreslovat do grafu.



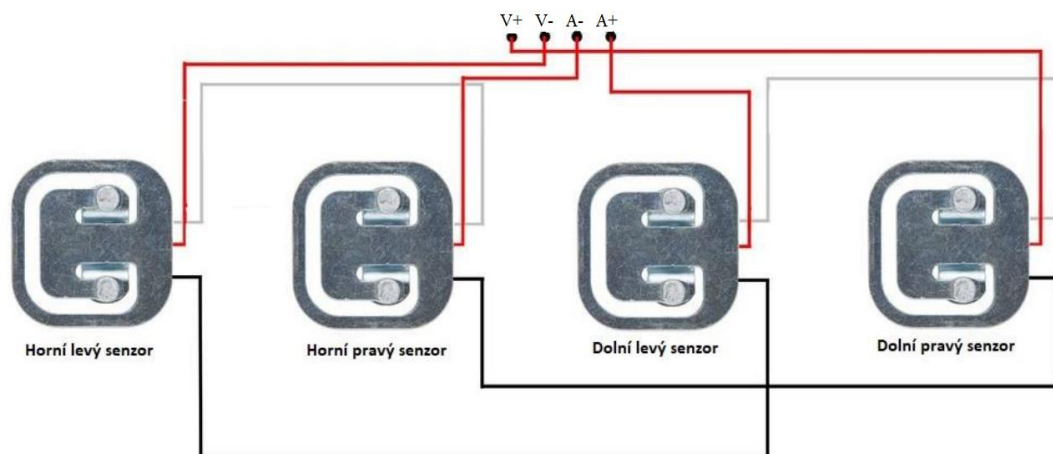
Obr. 36 - Ukázka zpracovaných přijatých dat

Server Thingspeak také disponuje funkcí upozornění e-mailem při překročení zadaného limitu proměnné, tedy například hmotnosti medu.

4.9 Sestavení váhy

Protože váha je prototyp, byly segmenty spodního rámu namísto svařováním pospojovány šrouby a bednovými rohy, jak vidno na obrázku v příloze C, aby bylo možné rám případně upravit. Výkresová dokumentace se týká strojní výroby rámu. Další obrázek pak zobrazuje pohled na úl s váhou mezi nástavky. Váha není obložena dřevem, protože bude ještě podléhat úpravám před testováním v reálném provozu.

Deska plošných spojů řídicí jednotky je k vidění také v příloze C. Navržené zapojení je v rámci jeho účelu plně funkční. Řídicí jednotka je umístěna v plastové venkovní instalační krabici s krytím IP67 s označením Z57J PS výrobce Kradex. Zvenku je přístup jen ke sběrníkovému konektoru. Při nastavování je nutné krabičku otevřít. Elektronika úlové váhy je také umístěna v krabičce. Ta je vytištěná 3D tiskárnou a voděodolná úprava bude provedena v dalším návrhu. Ovládací prvky váhy jsou přístupné zvenku. Obr. 37 ukazuje schéma zapojení čtyř polomůstkových tenzometrů do jednoho plného můstku.

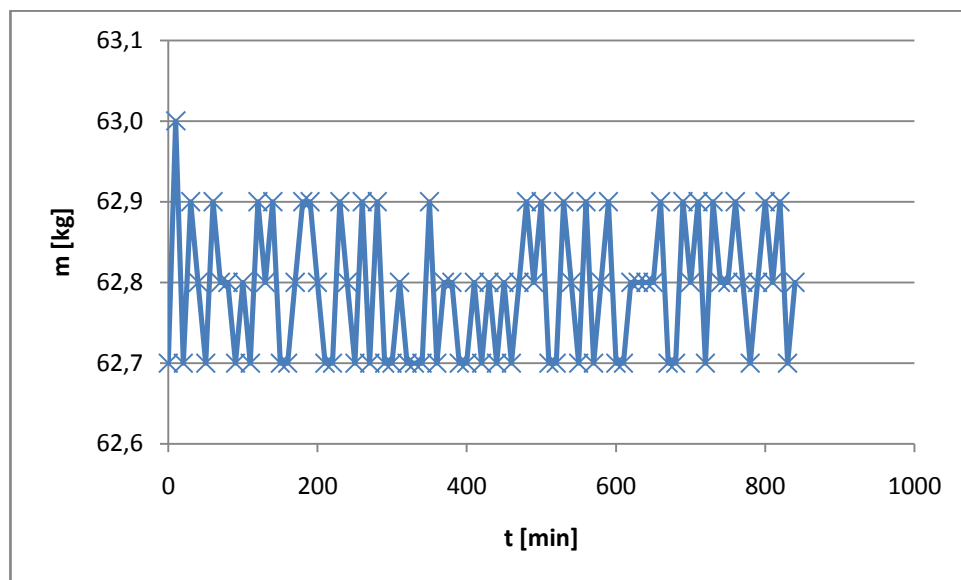


Obr. 37 - Schéma zapojení polomůstkových článků do plného můstku [60]

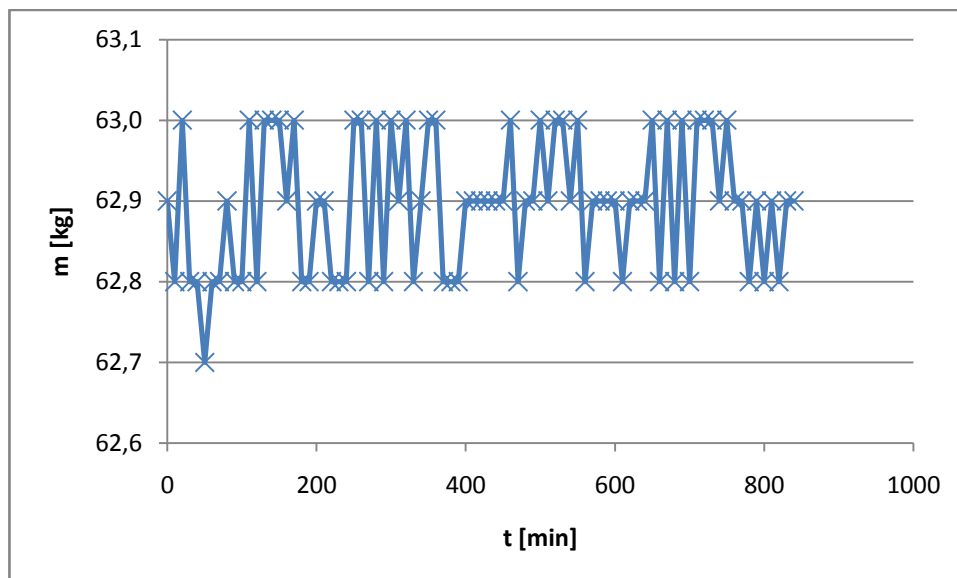
Propojovací kabely jsou čtyřžilové, z důvodu nízké ceny a dobré dostupnosti byl zvolen instalační kabel pro datové sběrnice typu SYKFY 2 x 2 x 0,5 mm. Jeho velkou předností jsou kroucené páry vodičů a dobrá ohebnost. Kabely jsou opatřeny samčími konektory s krytím IP68 typu Weipu SP1310/P4. Ty zapadají do samičích konektorů Weipu SP1312/S4. Každá váha je opatřena dvěma konektory (vstup a výstup sběrnice). Řídicí jednotka má pouze jeden. Fotografie konektorů a elektroniky v krabičce je v příloze C.

4.10 Testování časové stability a měření spotřeby

Hlavním cílem testování časové stability je zjištění vlivu tečení materiálu tenzometru při reálném zatížení. To je dle výrobce až 0,5 % FS během 3 minut, tedy 230 g. Testování probíhalo po dobu 840 minut s odečtem po 10ti minutách při zátěži 63 kg pro oba typy tenzometrických snímačů. Na každém spočívalo téměř 22 kg. Výsledky jsou zobrazeny v grafech na Obr. 38 a Obr. 39. Z grafů je patrná nepřesnost údaje, změřená hmotnost se odchyluje o 0,1 kg nahoru i dolů. Celkově však není patrný žádný pokles ani nárůst střední hodnoty v čase. Kmitání hodnoty hmotnosti se projevuje u obou typů snímačů. Měřením osciloskopem bylo zjištěno, že nepřesnost má se vší pravděpodobností původ v hodinovém signálu A/D převodníku, který skrz jeho vstupy proniká ven. Tento jev nezlepší ani přidání operačních zesilovačů jako vstupního bufferu. Řešením by mohlo být použití jiného (vnějšího) A/D převodníku, případně zvýšení referenčního napětí a zesílení signálu před vstupem do mikrokontroléru, což ale může přinést další odchylky. Bylo vyzkoušeno také aplikování mediánového filtru s oknem o velikosti 3 na vzorky z převodníku, leč s horším výsledkem, než použité prosté průměrování.



Obr. 38 - Závislost hmotnosti na čase při použití tenzometrů FX1901



Obr. 39 - Závislost hmotnosti na čase s použitím tenzometru 1516084661

Spotřeba byla změřena multimetrem UNI-T UT60D při plně nabitém akumulátoru (4,2 V). Se zapnutou sběrnicí odebírá celé zařízení z akumulátoru 15,8 mA. Z toho jen 7,56 mA jde do sběrnice (testováno s jednou váhou). Spotřeba řídicí jednotky v režimu spánku je 70 μ A, v aktivním režimu 1,85 mA, proud měničem pro sběrnicí, když je odpojena a měnič zapnut, je pak 280 μ A.

V tomto stavu by zařízení mělo dle rov. 19 výdrž následující:

$$Q_1 = (15,8 + 36,85) \cdot 5 + 40,2 \cdot 10 + (600 - 15) \cdot 0,07 = 0,196 \text{ mAh}$$

Přepočítáno na dny pomocí kapacity akumulátoru je to:

$$t = \frac{3000}{Q_1 \cdot 24} = \frac{3000}{4,704} = 637,7 \text{ dní}$$

Účinnost měniče napětí pro sběrnicí je s jednou zapojenou váhou nízká, nejvyšší účinnosti při daném vstupním a výstupním napětí dosahuje v rozmezí 0,1 – 1 A. Rozdíl oproti teoretické spotřebě řídicí jednotky spočívá v odběru měniče a odporových děličů. Spotřebu je možné ještě snížit použitím nízkopříkonového watchdog časovače, který by celé zařízení zapínal v 10minutových intervalech a po uplynutí nutného času opět vypnul. Všechna data by pak musela být uložena v nonvolatilní paměti.

4.11 Výrobní a provozní náklady

Tabulka 5 obsahuje seznam komponentů potřebných ke konstrukci úlové váhy s jejich orientační cenou. Předpokládá se výroba DPS v Číně, jelikož jejich cena je pak velmi nízká. Výroba v ČR by byla možná jen při sériové produkci. Cena krabičky není známa, jelikož je vyráběna 3D tiskárnou. Cena dolního rámu je uvedena včetně strojního opracování a svaření.

Tabulka 5 - Rozpis komponentů úlové váhy

Prvek	Množství [ks]	Orientační cena [Kč]
Svařený spodní rám	1	500
Horní rám	1	80
Bednění rámu	1	100
Snímače FX1901	4	2650
Snímače 1516084661	4	280
DPS úlové váhy	1	6
Součástky na DPS		130
Krabička	1	N/A
Konektory	2	220
Propojovací kabel	2 m	15
Konektory na kabel	2	200
Celkem s použitím FX1901		3901
Celkem s 1516084661		1531

Tabulka 6 obsahuje rozpisu dílů na řídicí jednotku. Cena součástek by se snížila, pokud by byly nakupovány ve větším množství a váhy byly vyráběny ve velkém množství. Uvedené ceny platí pro výrobu v řádu několika kusů. Řídicí jednotka však je na stanovišti pouze jedna, není tedy nezbytné příliš stlačovat výrobní náklady.

Tabulka 6 - Rozpis komponentů řídicí jednotky

Prvek	Množství [ks]	Orientační cena [Kč]
Krabička IP67	1	70
DPS řídicí jednotky	1	24
Součástky na DPS		800
Konektor	1	110
Akumulátor 3 Ah	2	400
Celkem		1404

Mezi provozní náklady lze počítat jen opotřebením materiálu a dobíjení akumulátorů. Při zpracovávání dat pomocí Thingspeak je účtován poplatek zhruba 15 tisíc Kč ročně, ale až od určité hranice počtu zpráv, nebo při komerčním používání. Data lze zpracovávat i jinými způsoby, lze je exportovat jako soubor spustitelný například v MS Excel.

5. ZÁVĚR

Předmětem této práce je návrh a fyzická realizace úlové váhy pro registrační vážení včel. Provedením průzkumu trhu bylo zjištěno, že dostupných vah pro tento účel je velké množství, ale mají některé nedostatky, které je možno vlastním návrhem odstranit. Zejména velká spotřeba zařízení, nákladný provoz a vysoká cena (viz Tabulka 1). Navíc žádná ze zkoumaných vah nedisponuje funkcí vážení obsahu jednotlivých nastavek zvlášť. Pro návrh váhy s lepšími parametry bylo třeba také zvolit vhodný způsob snímání hmotnosti a dálkového přenosu informace. To bylo vykonáno na základě zkoumání pro tento účel zdánlivě použitelných technologií, jež jsou všechny zmíněny v kapitole 3. Návrh byl cílen pro použití v České republice.

Návrh provázel jeden hlavní problém, a sice neúplnost informací o technickém vybavení výrobků na trhu dostupných. V několika případech nebyly u úlových vah uvedeny například údaje o spotřebě. Bylo nutno pro získání takových údajů kontaktovat výrobce. Katalogové listy tenzometrů ani některých použitých integrovaných obvodů neuvádějí všechny potřebné údaje.

Na základě zjištěných informací byly vybrány technologie pro přenos dat místně mezi vahami na stanovišti, a to kabelová sběrnice RS-485, a pro dálkový přenos technologie LoRa WAN mj. kvůli malému příkonu adaptérů a dobrému pokrytí území ČR. Pro snímání hmotnosti byl zvolen tenzometrický snímač, díky svým parametrům pro tento účel nejvhodnější.

Elektronika váhy je umístěna na rámu, který lze vkládat mezi nastavky. To umožňuje vážit každý nastavek zvlášť. Nevýhodou tohoto konceptu je nutnost montáže několika různých rozměrů rámu.

Úlová váha a řídicí jednotka byly fyzicky navrženy, vyrobeny a naprogramovány. Bylo provedeno měření časové stability údaje se dvěma typy tenzometrických snímačů. Navzdory předpokladu, soustavný pokles hmotnosti v čase, způsobený tečením materiálu tenzometru, se neprokázal. Tolerance hmotnosti je $\pm 0,1$ kg, což je způsobeno pravděpodobně šumem na vstupu integrovaného A/D převodníku. Ten nelze jednoduše odstranit. Možným řešením je použití kvalitnějšího převodníku, nebo předzesilovače s velkým ziskem, který však může do měření vnášet další chybu. Všechny ostatní prvky systému pracují dle očekávání.

Spotřeba řídicí jednotky při nabitém akumulátoru v režimu spánku je $70 \mu\text{A}$, v aktivním režimu bez sběrnice $1,85 \text{ mA}$. Se zapnutou sběrnici s jednou připojenou vahou je celková spotřeba $15,8 \text{ mA}$, měnič má při tak malém odběru nízkou účinnost.

Orientační výrobní cena váhy je s levnějšími tenzometry 1531 Kč , s dražšími pak 3901 Kč , viz Tabulka 6. Cena řídicí jednotky vychází na 1404 Kč (Tabulka 5).

Literatura

- [1] *Úlová váha GSM* [online]. Žďár nad Sázavou: iVcelarstvi.cz, 2019 [cit. 2019-10-21]. Dostupné z: <https://www.ivcelarstvi.cz/ulova-vaha-gsm-P21613/>
- [2] *BeeSpy - Systém pro monitorování včelstva* [online]. Prostějov: CUTTER Systems, 2019 [cit. 2019-10-21]. Dostupné z: <http://www.beespy.cz/>
- [3] *Úlová váha PAYA* [online]. Karlovy Vary: Apis Digital, 2019 [cit. 2019-10-21]. Dostupné z: <http://www.apisdigital.cz/content/9-ulova-vaha-paya>
- [4] *Včelstva: online* [online]. Karlovy Vary: Česká zemědělská univerzita Praha, 2019 [cit. 2019-10-21]. Dostupné z: <https://vcelstva.czu.cz/>
- [5] *Medováha* [online]. Praha: SEA, 2019 [cit. 2019-10-21]. Dostupné z: <http://www.medovaha.cz/>
- [6] *S-UL-STARTERKIT* [online]. 1. Praha: SEA, 2019 [cit. 2019-10-21]. Dostupné z: http://www.medovaha.cz/file/S-UL-STARTERKIT_User_Manual_CZ_v1-31.pdf
- [7] *Digitální úlová váha HK-200* [online]. 1. Prostějov: CUTTER Systems, 2019 [cit. 2019-10-21]. Dostupné z: http://www.beespy.cz/pdf/navod_k_obsluze_beespy.pdf
- [8] *Včely* [online]. Prostějov: CUTTER Systems, 2019 [cit. 2019-10-21]. Dostupné z: <http://app.beespy.cz/plot>
- [9] *Váhy úlové* [online]. Brno: LESAK, 2019 [cit. 2019-10-22]. Dostupné z: <https://www.profiuahy.cz/profi-uahy/eshop/28-1-Vahy-podle-provozu/299-2-Vahy-ulove>
- [10] *Váhy podle provozu: LESAK IT6060LN-RWP* [online]. Brno: LESAK, 2019 [cit. 2019-10-22]. Dostupné z: <https://www.profiuahy.cz/profi-uahy/eshop/28-1-Vahy-podle-provozu/299-2-Vahy-ulove/5/1732-LESAK-IT6060LN-RWP-300kg-50g-600mmx600mm-lak-nerez>
- [11] *Úlová váha na dálku PAYA-301D* [online]. Jevíčko: Včelí prodejna, 2019 [cit. 2019-10-22]. Dostupné z: <http://www.vceliprodejna.cz/d/ulova-vaha-na-dalku-paya-301d-1003492/>
- [12] *SMS Bienenstockwaage* [online]. Baumkirchen: BWS Bienenstockwaage, 2019 [cit. 2019-10-27]. Dostupné z: <http://www.sms-bienenstockwaage.at/index.html>
- [13] *SMS Bienenstockwaage* [online]. Helsinki: Holvi payment services, 2019 [cit. 2019-10-27]. Dostupné z: <https://holvi.com/shop/BSW-Honigvomberg/>
- [14] *HoneyPi - Bienenstockwaage* [online]. Karlsruhe: HoneyPi, 2019 [cit. 2019-10-27]. Dostupné z: <https://www.honey-pi.de/>
- [15] *BIENEN RUCK: Bienenstockwaagen* [online]. Wülfershausen: Bienen Ruck, 2019 [cit. 2019-10-27]. Dostupné z: <https://www.bienen-ruck.de/imkershop/werkzeuge/bienenstockwaagen/?p=1>
- [16] *XLOG bee Bienenstockwaage* [online]. Zagreb: Micro EL, 2019 [cit. 2019-10-27]. Dostupné z: <http://xlogbeewaage.de/>

- [17] *Odporové tenzometry* [online]. Kateřinky: HW server, 2019 [cit. 2019-11-03]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/foliove-odporove-tenzometry-princip-provedeni-pouziti-historie.html>
- [18] DIEDRICH, Kurt. *Elektronika tajemství zbařená: objevovat, experimentovat porozumět*. Ostrava: HEL, 2004. ISBN 80-86167-24-0.
- [19] BEJČEK, Ludvík, Miloslav ČEJKA, Jiří REZ, Eva GESCHEIDTOVÁ a Miloslav STEINBAUER. *Měření v elektrotechnice* [online]. Brno, 2003 [cit. 2019-10-22]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/priloha.php?dpid=19338. Skriptum. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií.
- [20] *TENMEX TFS10/350-P* [online]. Ostrava: TME Czech Republic, 2019 [cit. 2019-11-03]. Dostupné z: https://www.tme.eu/cz/details/ten-tfs10_350-p/dotykova-cidla/tenmex/tfs10-350-p/
- [21] *Váhy Robin: Důležitá upozornění* [online]. Moravské Knínice: VÁHY ROBIN, 2019 [cit. 2019-11-03]. Dostupné z: https://www.tenzometricke-snimace.cz/Dulezita-upozorneni-c7_0_1.htm
- [22] KUKLA, Jan. *Konstrukční řešení tenzometrické měřicí hlavy* [online]. Brno, 2016 [cit. 2019-11-10]. Dostupné z: https://is.mendelu.cz/lide/clovek.pl?zalozka=13;id=36998;studium=80804;zp=51354;download_prace=1. Diplomová práce. Mendelova univerzita v Brně.
- [23] *Snímače mechanického namáhání: piezoelektrický jev* [online]. Olomouc: Olomoucký kraj, 2019 [cit. 2019-11-09]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1590>
- [24] VOZDECKÝ, Martin. *Snímání hmotnosti včelích úlů s dlouhodobou stabilitou* [online]. Brno, 2016 [cit. 2019-11-10]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace?zp_id=93420. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [25] *Indukční senzory* [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, [cit. 2019-11-10]. Dostupné z: http://www.umel.feec.vutbr.cz/~adamek/uceb/DATA/s_5_3.htm
- [26] *Induktivní snímače LVDT* [online]. Praha: MEGATRON, 2019 [cit. 2019-11-10]. Dostupné z: <https://www.megatron.cz/kategorie/senzorika/linearni-snimace-polohy/induktivni-snimace-lvdt>
- [27] *Kapacitní senzory: obecné vlastnosti* [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, [cit. 2019-11-10]. Dostupné z: http://www.umel.feec.vutbr.cz/~adamek/uceb/DATA/s_4_1.htm
- [28] *Snímače polohy: kapacitní* [online]. Olomouc: Olomoucký kraj, 2019 [cit. 2019-11-10]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1579>
- [29] *Pracownia Tensometrii: TF-5/120* [online]. Łódź: TENMEX, 2019 [cit. 2019-11-10]. Dostupné z: <http://www.tenmex.pl/index.php?action=tensometr&numer=3>

- [30] *TechNotes, TechTips & Application Notes* [online]. Toronto: Intertechnology, 2019 [cit. 2019-11-11]. Dostupné z: https://intertechnology.com/Vishay/TechNotes_TechTips.html
- [31] *Termoelektrický článek* [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, [cit. 2019-11-10]. Dostupné z: http://www.umel.feec.vutbr.cz/~adamek/uceb/DATA/s_8_2.htm
- [32] *Teplotní závislost odporu* [online]. Olomouc: Olomoucký kraj, 2019 [cit. 2019-11-10]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/423>
- [33] VLK, Miloš, Lubomír HOUFEK, Pavel HLAVOŇ, Petr KREJČÍ, Vladimír KOTEK a Jiří KLEMENT. *Experimentální mechanika* [online]. Brno, 2003 [cit. 2017-11-17]. Dostupné z: http://ean2011.fme.vutbr.cz/img/fckeditor/file/opory/Experimentalni_mechanika.pdf. Skriptum. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství.
- [34] *Měrný odpor: tabulky měrného odporu* [online]. Holešov: Jiří Bureš, 2016 [cit. 2019-11-17]. Dostupné z: <http://www.converter.cz/tabulky/merny-odpor.htm>
- [35] FAKTOR, Zdeněk. *Transformátory a cívky*. 1. Praha: BEN - technická literatura, 1999. ISBN 80-860-5649-X.
- [36] ČERNOCKÝ, P. *Laboratorní úlohy využívající měřicí systém LabView*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2009. 57 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Ivan Rampl, CSc.
- [37] *Pokrytí: Veřejné širokopásmové mobilní sítě* [online]. Praha: Český telekomunikační úřad, 2019 [cit. 2019-11-23]. Dostupné z: <https://digi.ctu.cz/lte-pokryti/pokryti>
- [38] *LoRaWAN* [online]. IoT portál, 2018 [cit. 2019-11-23]. Dostupné z: <https://www.iot-portal.cz/2016/02/29/lorawan/>
- [39] *LoRa Network Protocol and Long Range Wireless IoT* [online]. Postscapes, 2019 [cit. 2019-11-23]. Dostupné z: <https://www.postscapes.com/long-range-wireless-iot-protocol-lora/>
- [40] *LTE Cat M1 vs NB-IoT vs LoRa* [online]. Los Angeles: TTI Semiconductor, 2019 [cit. 2019-11-23]. Dostupné z: <https://www.semiconductorstore.com/blog/2018/LTE-Cat-M1-vs-NB-IoT-vs-LoRa-Comparing-LPWANs-Symmetry-Blog/3496/>
- [41] *Mapy pokrytí* [online]. IoT portál, 2019 [cit. 2019-11-23]. Dostupné z: <https://www.iot-portal.cz/mapa-pokryti/>
- [42] *Sigfox and LoRaWAN compared to GPRS/GSM/GPRS/LTE/NB-IoT in weather stations* [online]. Bratislava: BARANI DESIGN Technologies, 2019 [cit. 2019-11-23]. Dostupné z: <https://www.baranidesign.com/faq-articles/2019/3/21/sigfox-lorawan-compared-to-gprs-gsm-lte-nbiot-in-weather-stations>
- [43] *Sigfox* [online]. IoT portál, 2019 [cit. 2019-11-23]. Dostupné z: <https://www.iot-portal.cz/2016/02/26/sigfox/>

- [44] ESPRESSIF. *ESP8266EX* [online]. Rev 6.3. [cit. 2019-11-27]. Dostupné z: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/0a-esp8266ex_datasheet_en.pdf
- [45] *Bluetooth low energy (BLE) fundamentals* [online]. AspenCore, 2019 [cit. 2019-11-27]. Dostupné z: <https://www.embedded.com/bluetooth-low-energy-ble-fundamentals/>
- [46] *Wi-Fi HaLow: Low power, long range Wi-Fi* [online]. Wi-Fi Alliance, 2019 [cit. 2019-11-27]. Dostupné z: <https://www.wi-fi.org/discover-wi-fi/wi-fi-halow>
- [47] ADEBAYO, E.A, A.A AYANDELE a I.O OMOMOWO. *Effect of Radiofrequency Radiation from Telecommunication Base Stations on Microbial Diversity and Antibiotic Resistance*. JASEM [online]. Ogbomoso: Ladoke Akintola University of Technology, 2014, 2014(18), 669-674 [cit. 2019-12-06]. ISSN 1119-8362. Dostupné z: <https://www.ajol.info/index.php/jasem/article/view/112366/102119>
- [48] GORPINCHENKO, Igor, Oleg NIKITIN, Oleg BANYRA a Alexander SHULYAK. *The influence of direct mobile phone radiation on sperm quality*. The Open Access Journal [online]. Bethesda: National Center for Biotechnology Information, 2014, 2014(67), 65-71 [cit. 2019-12-06]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4074720/>
- [49] *Ethernet Tutorial – Part I: Networking Basics* [online]. Irvine: Lantronix, 2019 [cit. 2019-11-27]. Dostupné z: <https://www.lantronix.com/resources/networking-tutorials/ethernet-tutorial-networking-basics/>
- [50] *CAN - Controller Area Network* [online]. Brno: CANLAB, 2019 [cit. 2019-11-28]. Dostupné z: https://rs.canlab.cz/?q=cs/can_bus
- [51] *Základní rozdíly mezi RS-232, RS-422 a RS-485* [online]. Praha: IPC2U, 2019 [cit. 2019-11-28]. Dostupné z: <https://ipc2u.cz/articles/simple-decisions/zakladni-rozdily-mezi-rs-232-rs-422-a-rs-485/>
- [52] *Standardní průmyslové sběrnice* [online]. SEW Eurodrive, 2019 [cit. 2019-11-28]. Dostupné z: https://www.sew-eurodrive.cz/vyrobky/prumyslova_komunikace/standardni_prumyslove_sbernice/standardni_prumyslove_sbernice.html
- [53] *Systém Langstroth* [online]. Opatovice: Pracovní společnost nástavkových včelařů CZ, 2017 [cit. 2019-12-06]. Dostupné z: http://www.psnv.cz/index.php?option=com_content&view=article&id=46&Itemid=53
- [54] *Nástavkové včelí úly* [online]. Praha: JanHan, 2017 [cit. 2019-12-06]. Dostupné z: <https://www.jakzacistvcelarit.cz/historie-velich-ul>
- [55] *Nejpoužívanější rámkové míry - typy včelařských rámků* [online]. Uherský Ostroh: VČELAŘÍK, 2019 [cit. 2019-12-06]. Dostupné z: <https://www.vcelarik.cz/o-vcelarsti/ramkove-miry-ve-vcelarstvi/>

- [56] *U profily rovnoramenné* [online]. Český Těšín: Kovona system, 2020 [cit. 2020-04-2]. Dostupné z: <https://www.kovona-system.cz/u-profil-y-rovnoramenne-68.html>
- [57] *Profily ze slitiny hliníku ve tvaru U* [online]. Brno: ALMS Brno, 2020 [cit. 2020-04-2]. Dostupné z: <http://www.alms-brno.cz/kategorie/12-profil-y-ze-slitiny-hliniku-tvaru-u-ostre-hrany/>
- [58] *Tabulka slitin* [online]. Kamenice: Strojmetal Aluminium Forging, 2020 [cit. 2020-04-2]. Dostupné z: <https://www.strojmetal.cz/tabulka-slitin>
- [59] *What is Von Mises stress?* [online]. Mnichov: Simscale, 2020 [cit. 2020-04-2]. Dostupné z: <https://www.simscale.com/docs/simwiki/fea-finite-element-analysis/what-is-von-mises-stress/>
- [60] *Váhový senzor 50kg* [online]. Eclipsera, 2019 [cit. 2020-05-26]. Dostupné z: <https://arduino-shop.cz/docs/produkty/0/559/1516084661.pdf>
- [61] *FX1901 Compression Load Cell* [online]. TE Connectivity, 2020 [cit. 2020-04-20]. Dostupné z: https://www.te.com/commerce/DocumentDelivery/DDEController?Action=showDoc&DocId=Data+Sheet%7FFX19%7FA12%7Fpdf%7FEnglish%7FENG_DS_FX19_A12.pdf%7FFX1901-0001-0100-L
- [62] DOLEČEK, Jaroslav. *Moderní učebnice elektroniky*. Praha: BEN - technická literatura, 2009. ISBN 978-80-7300-240-4.
- [63] *ADS131M04 4-Channel, Simultaneously-Sampling, 24-Bit Delta-Sigma ADC* [online]. Dallas: Texas Instruments, 2020 [cit. 2020-04-24]. Dostupné z: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/ads131m04.pdf?ts=1590521119751>
- [64] *MultiTech xDot®: Long Range LoRa® Modules (MTXDOT Series)* [online]. Harlington: MultiTech Systems, 2020 [cit. 2020-04-25]. Dostupné z: <https://www.multitech.com/brands/multiconnect-xdot>
- [65] *RN2483: Low-Power Long Range LoRa® Technology* [online]. Chandler: Microchip Technology, 2019 [cit. 2020-04-25]. Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/RN2483-Low-Power-Long-Range-LoRa-Technology-Transceiver-Module-Data-Sheet-DS50002346D.pdf>
- [66] *Sentrius RM1xx LoRa + BLE Module* [online]. Cedarburg: Laird Connectivity, 2020 [cit. 2020-04-26]. Dostupné z: <https://www.lairdconnect.com/wireless-modules/lorawan-solutions/sentrius-rm1xx-lora-ble-module>
- [67] *Sub-G Module Data Sheet: CMWX1ZZABZ-078* [online]. Nagaokakjō: Murata Investment, 2020 [cit. 2020-04-26]. Dostupné z: https://wireless.murata.com/pub/RFM/data/type_abz.pdf
- [68] *Tarvos-III - Radio Module 868 MHz (AMB8826)* [online]. Waldenburg: Würth Elektronik, 2020 [cit. 2020-04-27]. Dostupné z: <https://www.we-online.com/catalog/en/TARVOS-III/>
- [69] *MSP430i204x, MSP430i203x, MSP430i202x Mixed-Signal Microcontrollers* [online]. Dallas: Texas Instruments, 2020 [cit. 2020-04-27]. Dostupné z: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/msp430i2041.pdf?ts=1590522269907>

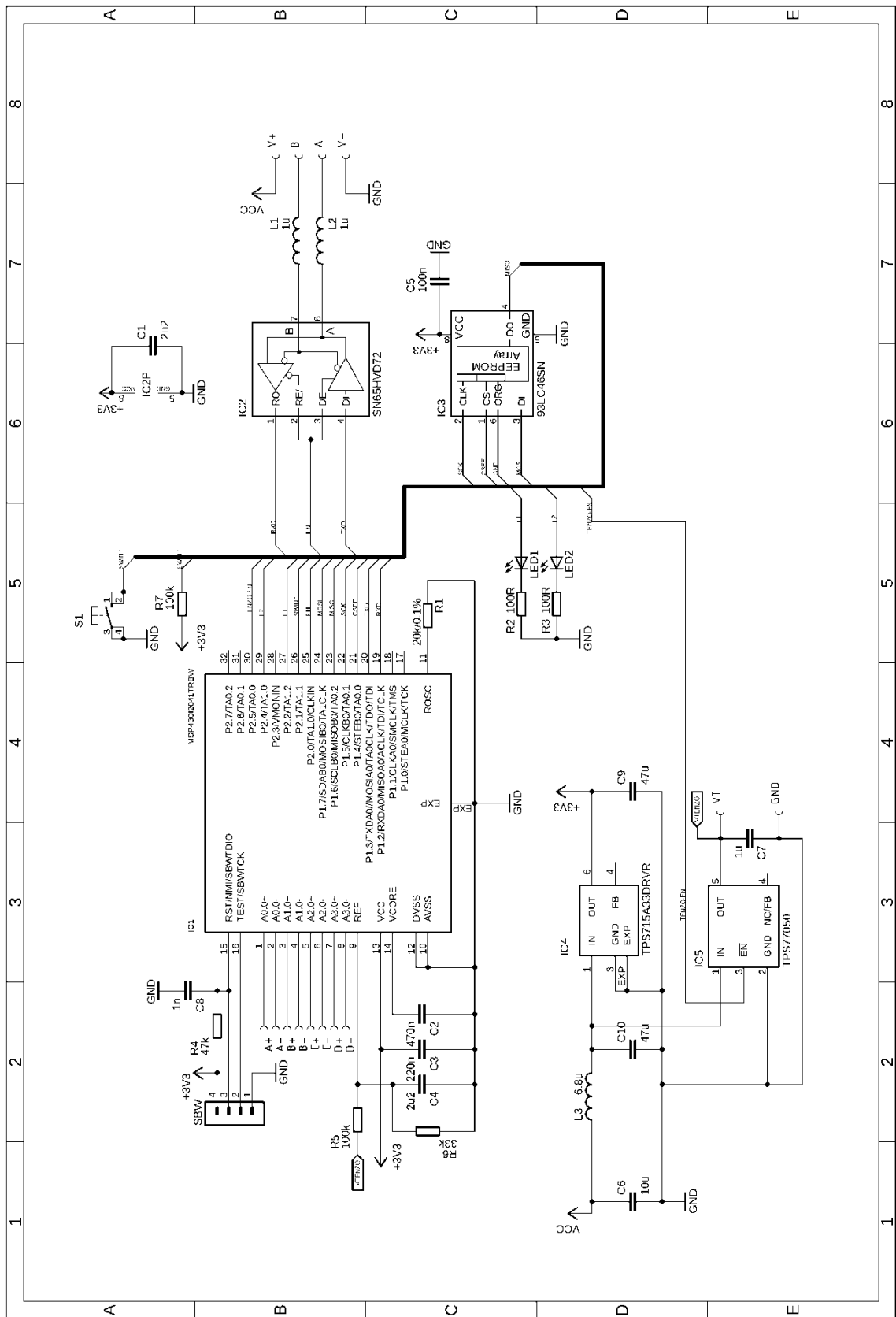
- [70] *MSP430AFE2x3, MSP430AFE2x2, MSP430AFE2x1 Mixed-Signal Microcontrollers* [online]. Dallas: Texas Instruments, 2018 [cit. 2020-04-27]. Dostupné z: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/msp430afe253.pdf?ts=1590603334178>
- [71] *MSP430F42x0 MIXED SIGNAL MICROCONTROLLER* [online]. Dallas: Texas Instruments, 2007 [cit. 2020-04-27]. Dostupné z: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/msp430f4260.pdf?ts=1590603430363>
- [72] *ST3485EC: 3.3 V powered, 15 kV ESD protected, up to 12 Mbps RS-485/RS-422 transceiver, [0°C, 70°C] temperature range* [online]. Shanghai: ST Microelectronics, 2019 [cit. 2020-05-06]. Dostupné z: <https://www.st.com/en/interfaces-and-transceivers/st3485ec.html>
- [73] *SP3485: +3.3V Low Power Half-Duplex RS-485 Transceiver with 10Mbps Data Rate* [online]. Fremont: Exar Corporation, 2012 [cit. 2020-05-06]. Dostupné z: https://www.maxlinear.com/ds/sp3485_100_061912.pdf
- [74] *SN65HVD7x 3.3-V Supply RS-485 With IEC ESD protection* [online]. Dallas: Texas Instruments, 2019 [cit. 2020-04-29]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/sn65hvd72.pdf?HQS=TI-null-null-mousermode-df-pf-null-wwe&ts=1589178748433>
- [75] *1.6µA, RS-485/RS-422, Half-Duplex, Differential Transceiver for Battery-Powered Systems* [online]. Sunnyvale: MAXIM Integrated, 1998 [cit. 2020-05-06]. Dostupné z: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX3471.pdf>
- [76] *LTC2850/LTC2851/LTC285: 3.3V 20Mbps RS485/RS422 Transceivers* [online]. Milpitas: LINEAR Technology, 2007 [cit. 2020-05-06]. Dostupné z: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/285012fe.pdf>
- [77] *Bleiakkumulator* [online]. Berlin: LUMITOS, 2016 [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: <https://www.chemie.de/lexikon/Bleiakkumulator.html>
- [78] *LR6 (15A) Product specification* [online]. Cranberry Township: Westinghouse, 2019 [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: <https://www.gme.cz/data/attachments/dsh.545-023.2.pdf>
- [79] *Lithium Ion Rechargeable Battery Technical Information* [online]. Koriyama-shi: Sony Energy Devices, 2015 [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: <https://www.tme.eu/Document/3c2b314aefdf3f7f644e65c48f9c48fc/ACCU-US18650VTC6.pdf>
- [80] Texas Instruments. *WEBENCH Power Designer* [software]. [přístup 2020-05-03]. Dostupné z: <http://www.ti.com/design-resources/design-tools-simulation/webench-power-designer.html>.
- [81] *LMZM2360036-V, 0.5-A Step-Down DC/DC PowerModule in 3.8-mm × 3-mm Package* [online]. Dallas: Texas Instruments, 2019 [cit. 2020-05-04]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lmzm23600.pdf>

- [82] *TPS6303x High Efficiency Single Inductor Buck-Boost Converter With 1-A Switches* [online]. Dallas: Texas Instruments, 2020 [cit. 2020-05-04]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps63031.pdf>
- [83] *TPS61088 10-A Fully Integrated Synchronous Boost Converter* [online]. Dallas: Texas Instruments, 2019 [cit. 2020-05-04]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps61088.pdf>
- [84] *FT230X: USB to BASIC UART IC* [online]. Glasgow: Future Technology Devices International, 2016 [cit. 2020-05-16]. Dostupné z: https://www.ftdichip.com/Support/Documents/DataSheets/ICs/DS_FT230X.pdf
- [85] *ULTRALOW-POWER 50-mA LOW-DROPOUT LINEAR REGULATORS* [online]. Dallas: Texas Instruments, 2001 [cit. 2020-05-04]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/slvs210d/slvs210d.pdf?&ts=159008885208>
- [86] *TC1014/TC1015/TC1185: 50 mA, 100 mA and 150 mA CMOS LDOs with Shutdown and Reference Bypass* [online]. Chandler: Microchip Technology, 2007 [cit. 2020-05-16]. Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/21335e.pdf>
- [87] *TPS715A: 24-V High Input Voltage, Micropower, 80-mA LDO Voltage Regulator* [online]. Dallas: Texas Instruments, 2016 [cit. 2020-05-04]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps715a.pdf?&ts=1590091778501>
- [88] *Proudová zatížitelnost vodiče* [online]. Praha: PragoBoard, 2012 [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: http://pragoboard.cz/proudova_zatizitelnost
- [89] *Technické možnosti* [online]. Brno: Gatema, 2019 [cit. 2020-05-17]. Dostupné z: <https://www.gatema.cz/file-link/list-technicke-moznosti.pdf>
- [90] *Impedance-Calculator* [online]. Brunnthal - Hofolding: Multi Leiterplatten, 2019 [cit. 2020-05-17]. Dostupné z: <https://www.multi-circuit-boards.eu/en/pcb-design-aid/impedance-calculation.html>
- [91] *PIC18(L)F2X/4XK22: 28/40/44-Pin, Low-Power, High-Performance Microcontrollers with XLP Technology* [online]. Chandler: Microchip Technology, 2016 [cit. 2020-05-25]. Dostupné z: https://www.microchip.com/stellent/groups/picmicro_sg/documents/devicedoc/cn547043.pdf
- [92] *SP1310/P4IN WEIPU* [online]. Ostrava: Transfer Multisort Elektronik, 2020 [cit. 2020-05-29]. Dostupné z: https://www.tme.eu/cz/details/sp1310_p4/konektory-weipu/weipu/sp1310-p4in/

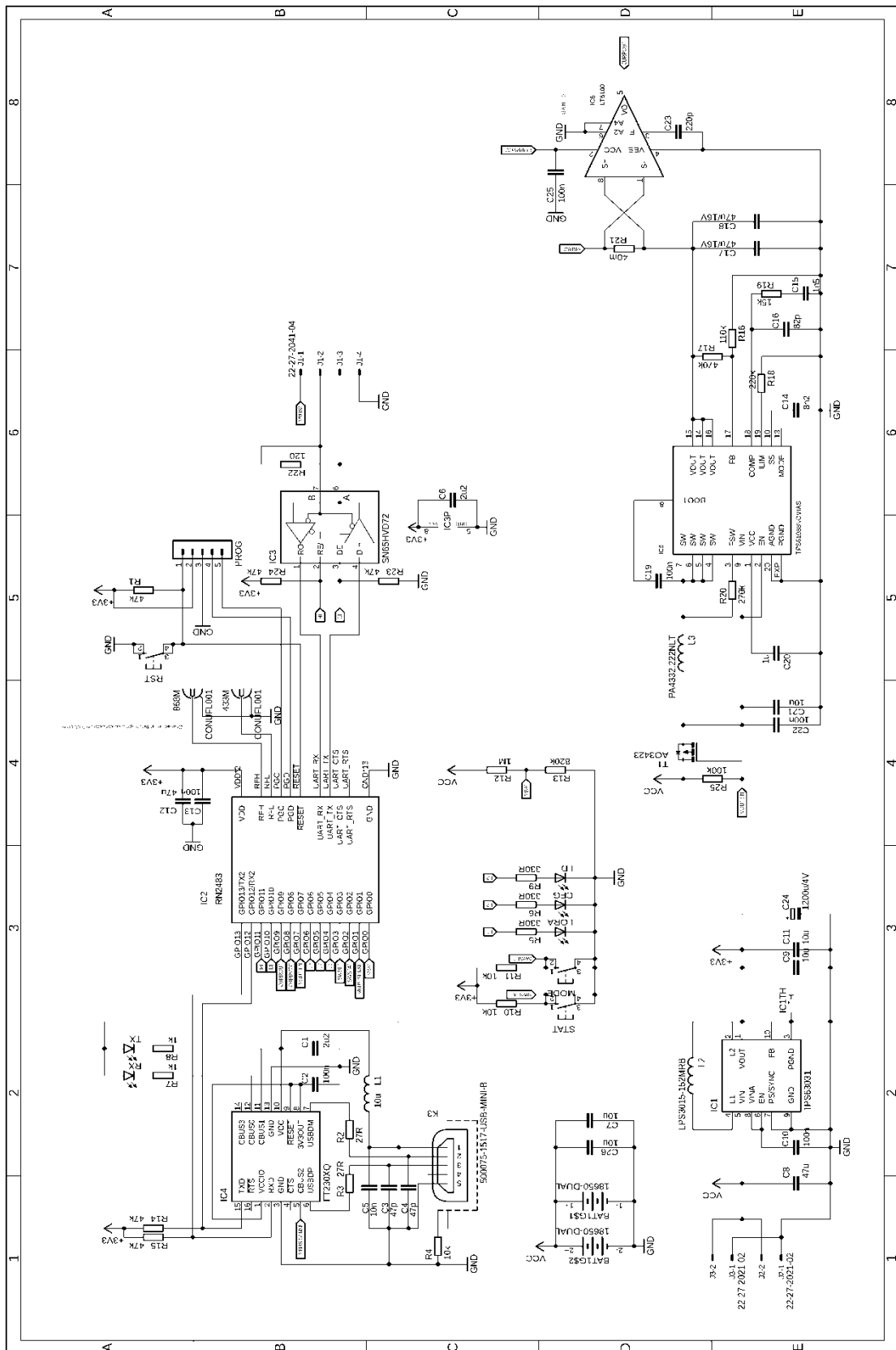
SEZNAM PŘÍLOH

A.	Obvodové schéma úlové váhy	61
B.	Obvodové schéma řídicí jednotky.....	62
C.	Fotografie sestaveného zařízení	63
D.	Seznam použitých el. součástí.....	67
E.	Výkresy machanických částí.....	68

A. Obvodové schéma úlové váhy



B. Obvodové schéma řídicí jednotky



C. Fotografie sestaveného zařízení

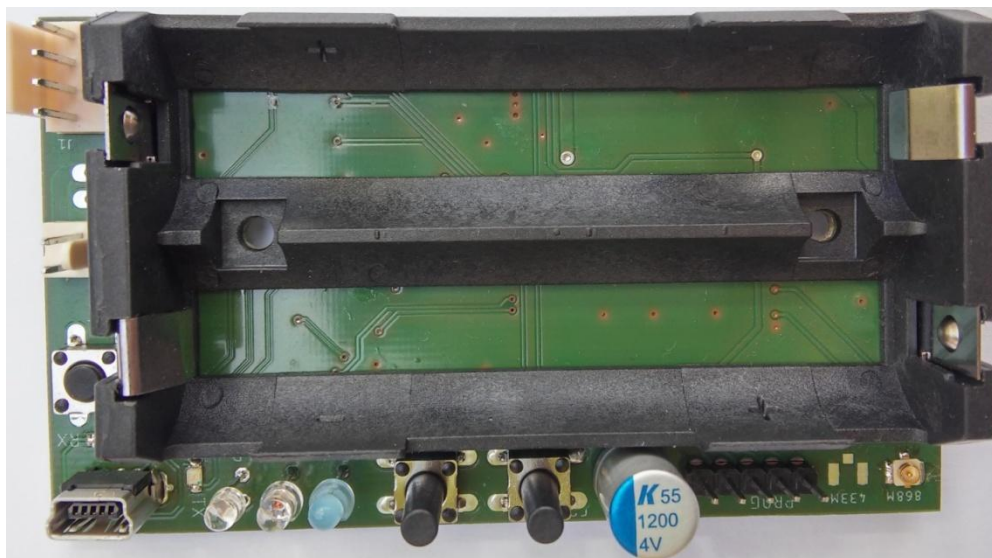
Pohled na rámy váhy



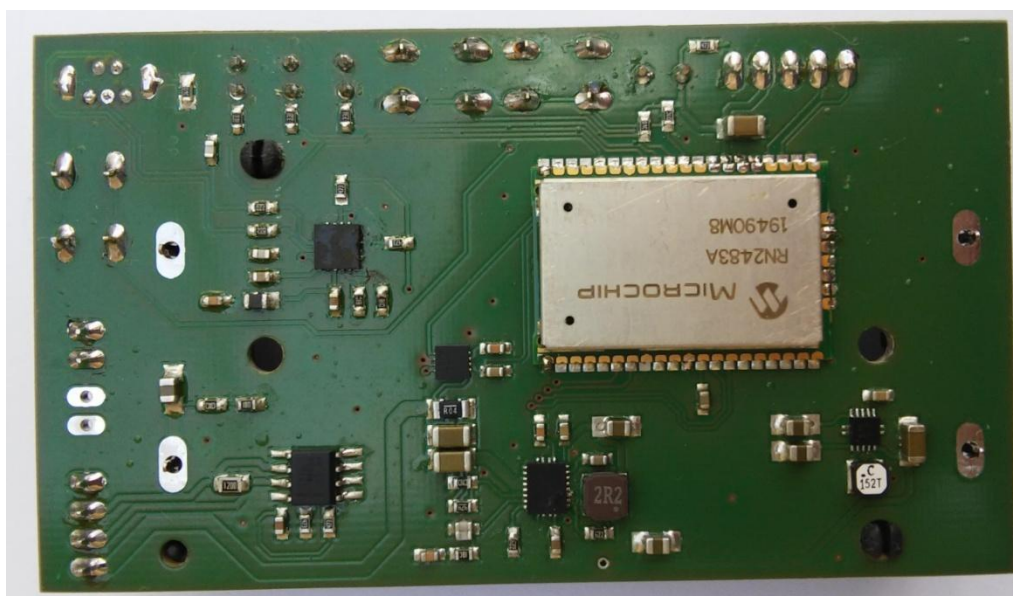
Váha mezi nástavky



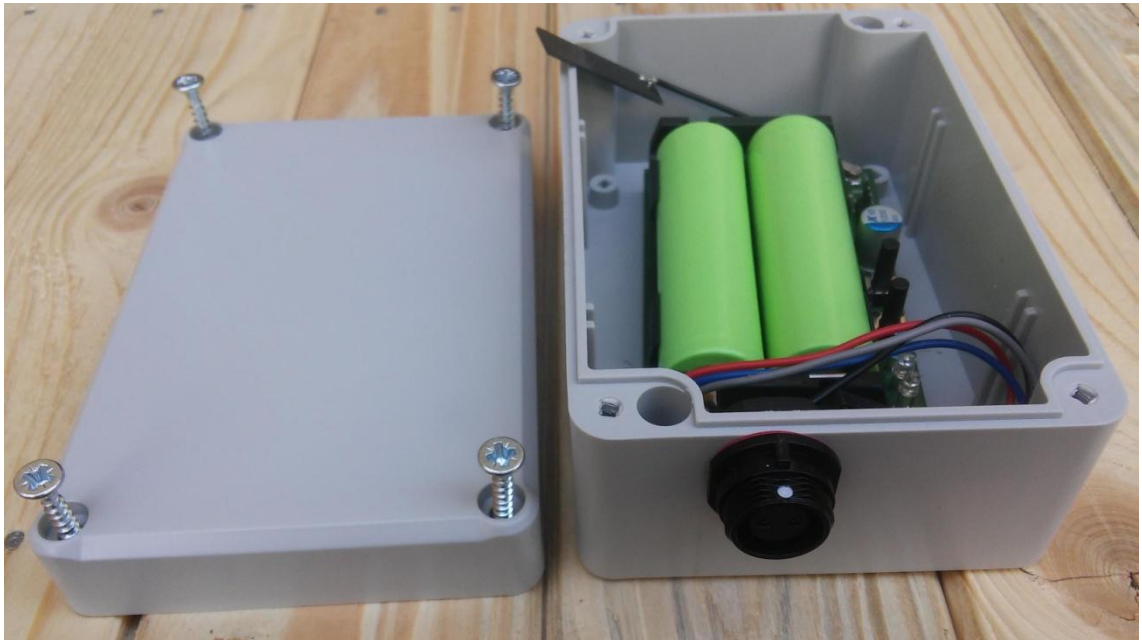
Osazená řídicí jednotka – horní strana



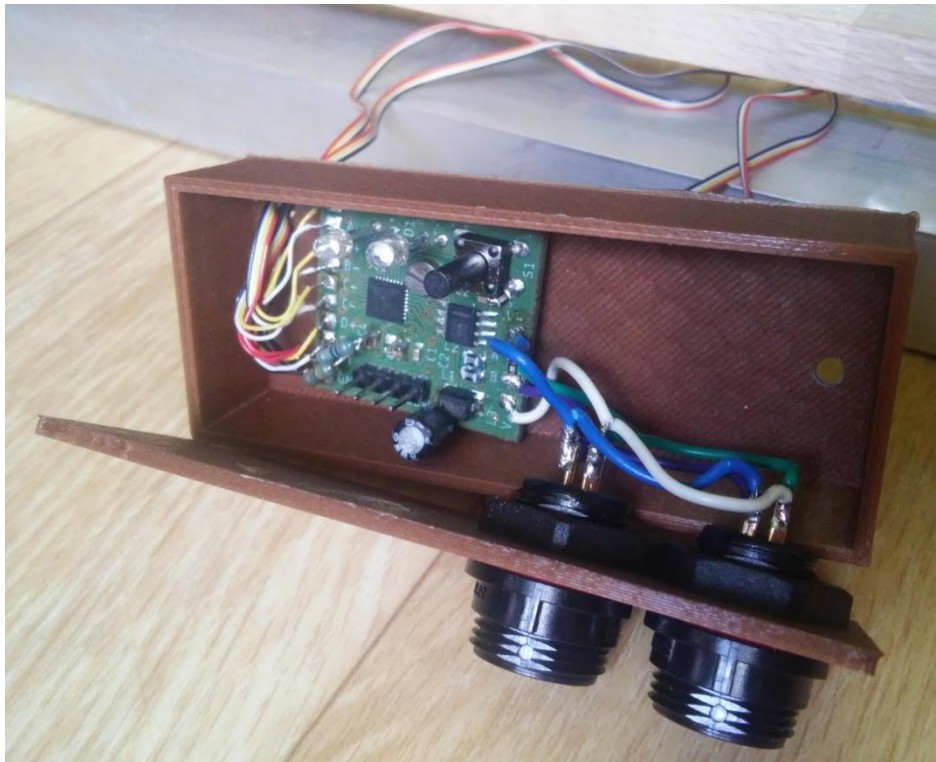
Osazená řídicí jednotka – spodní strana



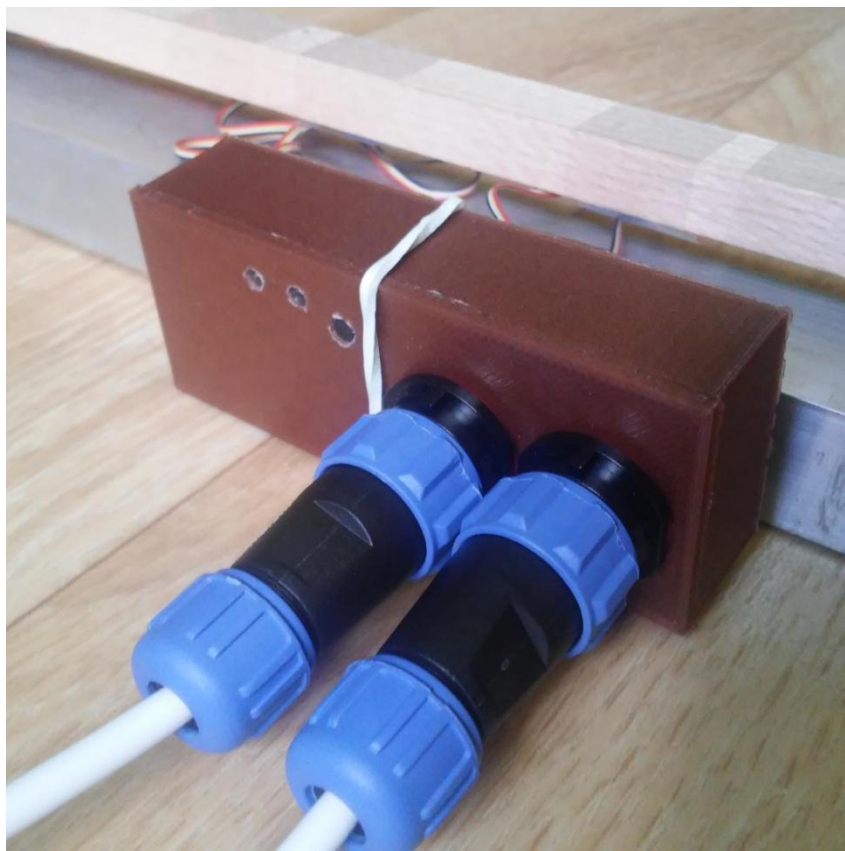
Řídící jednotka v krabičce



DPS úlové váhy v krabičce



Pohled na elektroniku úlové váhy se zapojenými konektory



D. Seznam použitých el. součástek

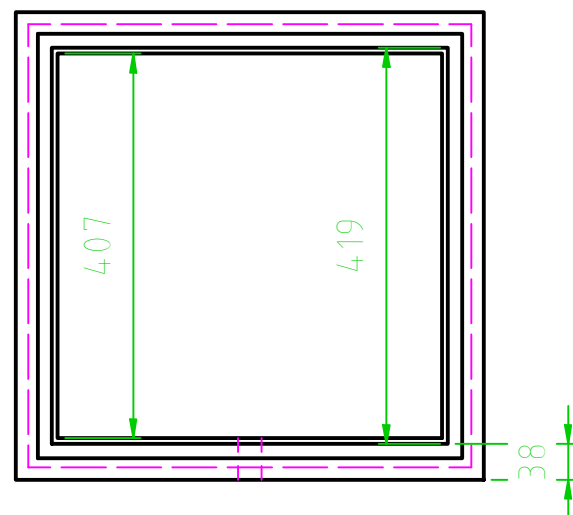
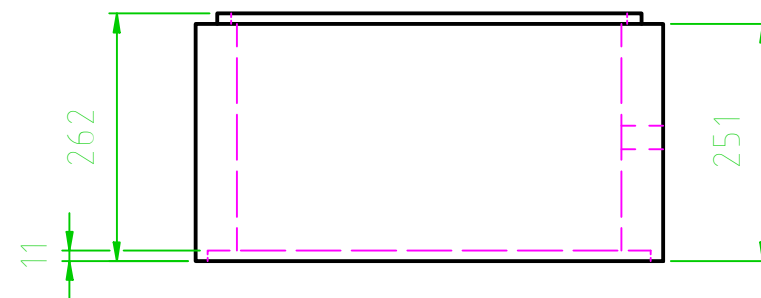
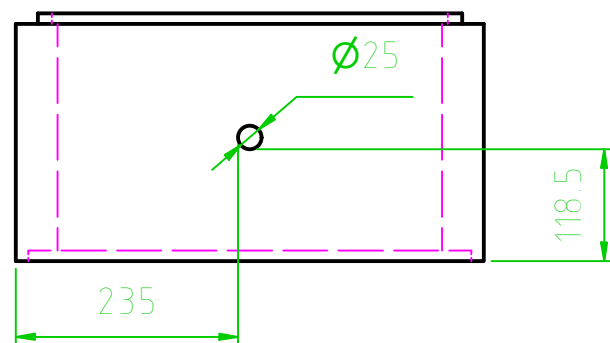
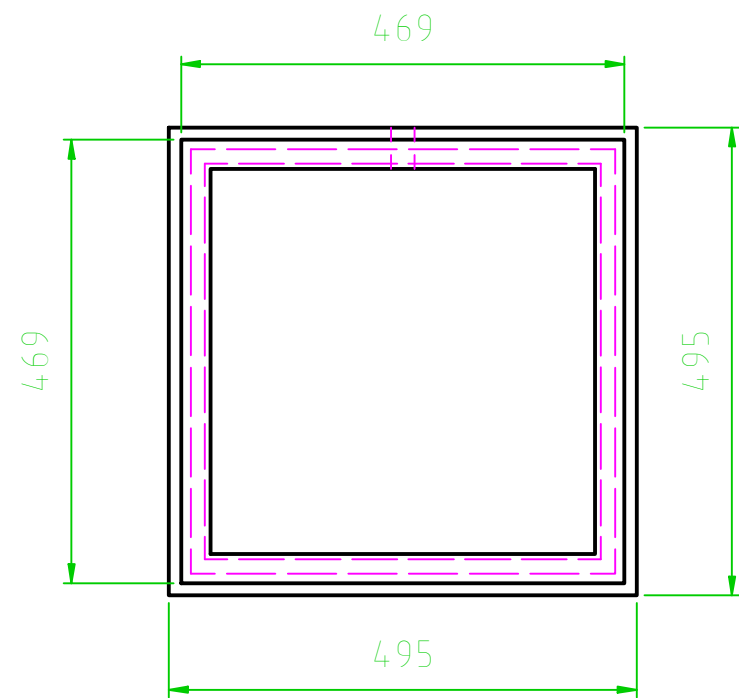
Řídící jednotka

Množství	Označení	Hodnota	Pouzdro	Popis
3	MODE, RST, STAT		B3F-10XX	Mikročláčko
3	CFG, LD, LORA		LED3MM	Svítilná dioda
2	RX, TX		CHIPLED_0805	Svítilná dioda
1	PROG		MA05-1	Pin header
6	C2, C10, C13, C19, C22, C25	100n	C0603	Keramický kondenzátor
2	R10, R11	10k	R0603	Rezistor
1	R4	10k	R0805	Rezistor
1	C5	10n	C0603	Keramický kondenzátor
5	C7, C9, C11, C21, C26	10u	C1206	Keramický kondenzátor
1	L1	10u	L0805	Tlumivka
1	R16	110k	R0603	Rezistor
1	R22	120	R0805	Rezistor
1	C24	1200u/4V	E3,5-8	Polymerový kondenzátor
1	R19	15k	R0603	Rezistor
1	BAT1	18650-DUAL	18650-DUAL	Bateriové pouzdro 2x 18650
1	R12	1M	R0603	Rezistor
2	R7, R8	1k	R0603	Rezistor
1	C15	1n5	C0603	Keramický kondenzátor
1	C20	1u	C0603	Keramický kondenzátor
2	J2, J3	22-27-2021-02	6410-02	Konektor se zámkem
1	J1	22-27-2041-04	6410-04	Konektor se zámkem
1	R18	220k	R0603	Rezistor
1	C23	220p	C0603	Keramický kondenzátor
1	R20	270k	R0603	Rezistor
2	R2, R3	27R	R0603	Rezistor
2	C1, C6	2u2	C0603	Keramický kondenzátor
3	R5, R6, R9	330R	R0603	Rezistor
1	R21	40m	R1206	Rezistor
1	R17	470k	R0603	Rezistor
5	R1, R14, R15, R23, R24	47k	R0603	Rezistor
2	C3, C4	47p	C0603	Keramický kondenzátor
2	C8, C12	47u	C1206	Keramický kondenzátor
2	C17, C18	47u/16V	C1206	Keramický kondenzátor
1	K3	500075-1517	5000751517	USB konektor
1	R13	820k	R0603	Rezistor
1	C16	82p	C0603	Keramický kondenzátor
1	C14	8n2	C0603	Keramický kondenzátor
2	433M, 868M	CONUFL001	U.FL-R-SMT-1	RF konektor
1	IC4	FT230XQ	QFN16	USB UART převodník
1	L2	LPS3015-152MRB	LPS3015	Výkonová tlumivka
1	IC6	LT6100	DFN8-3X3	Převodník proud/napětí
1	L3	PA4332.222NLT	PA4332	Výkonová tlumivka
1	IC2	RN2483	RN2483	LoRa modul s MCU
1	IC3	SN65HVD72	SO-8	Budič sběrnice
1	IC5	TPS61088	QFN20_3,5X4,5	Obvod DC/DC měniče
1	IC1	TPS63031	DRC-S-PVSON-N10	Obvod DC/DC měniče
1	R25	100k	R0603	Rezistor
1	T1	AO3423	SOT23-3	MOSFET

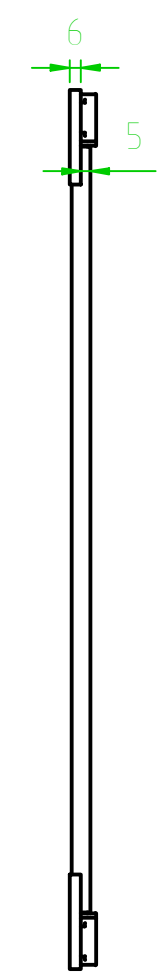
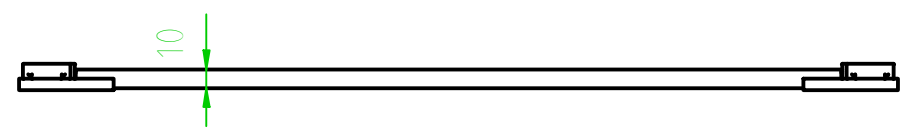
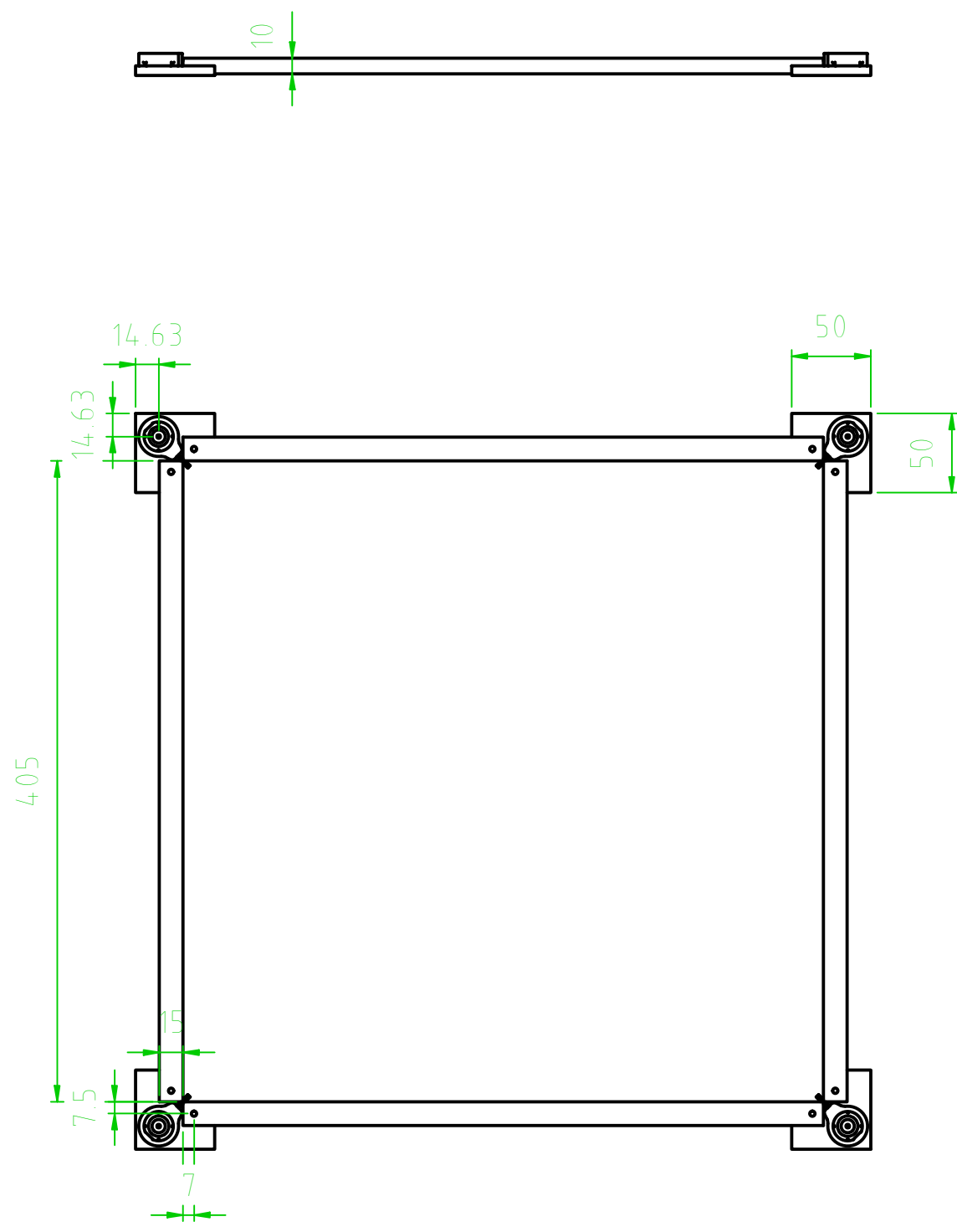
Úlová váha

Množství	Označení	Hodnota	Pouzdro	Popis
1	S1		B3F-10XX	Mikrotlačítko
2	LED1, LED2		LED3MM	Svítivá dioda
1	SBW		MA04-1	Pin header
2	R2, R3	100R	R0805	Rezistor
3	C4, C5	100n	C0603	Keramický kondenzátor
1	C6	10u	C1206	Keramický kondenzátor
2	C7	1u	C0603	Keramický kondenzátor
2	L1, L2	1u	L0805	Tlumivka
1	R1	20k/0.1%	R0805	Rezistor
1	C8	2n2	C0603	Keramický kondenzátor
1	C1	2u2	C0603	Keramický kondenzátor
1	R4	47k	R0603	Rezistor
1	C9	47u	C1206	Tantalový kondenzátor
1	L3	6.8u	L1812	Keramický kondenzátor
1	IC3	93LC46SN	SO-8	EEPROM
1	IC1	MSP430I2041TRBW	RHB_S-PQFP-N32	Mikrokontrolér
14	A, A+, A-, B, B+, B-, C+, C-, D+, D-, GND, V+, V-, VT	SMD_PAD2X2	SOLPAD2X2	Pájecí ploška 2x2 mm
1	IC2	SN65HVD72	SO08	Budič sběrnice
1	IC4	TPS715A33DRVR	WSON-6	Lineární stabilizátor
1	IC5	TPS77050	SOT23-DBV	Lineární stabilizátor
1	C10	47u	C1206	Keramický kondenzátor
1	C3	220n	C0603	Keramický kondenzátor
1	C2	470n	C0603	Keramický kondenzátor
2	R5, R7	100k	R0603	Rezistor
1	R6	33k	R0603	Rezistor

E. Výkresy mechanických částí

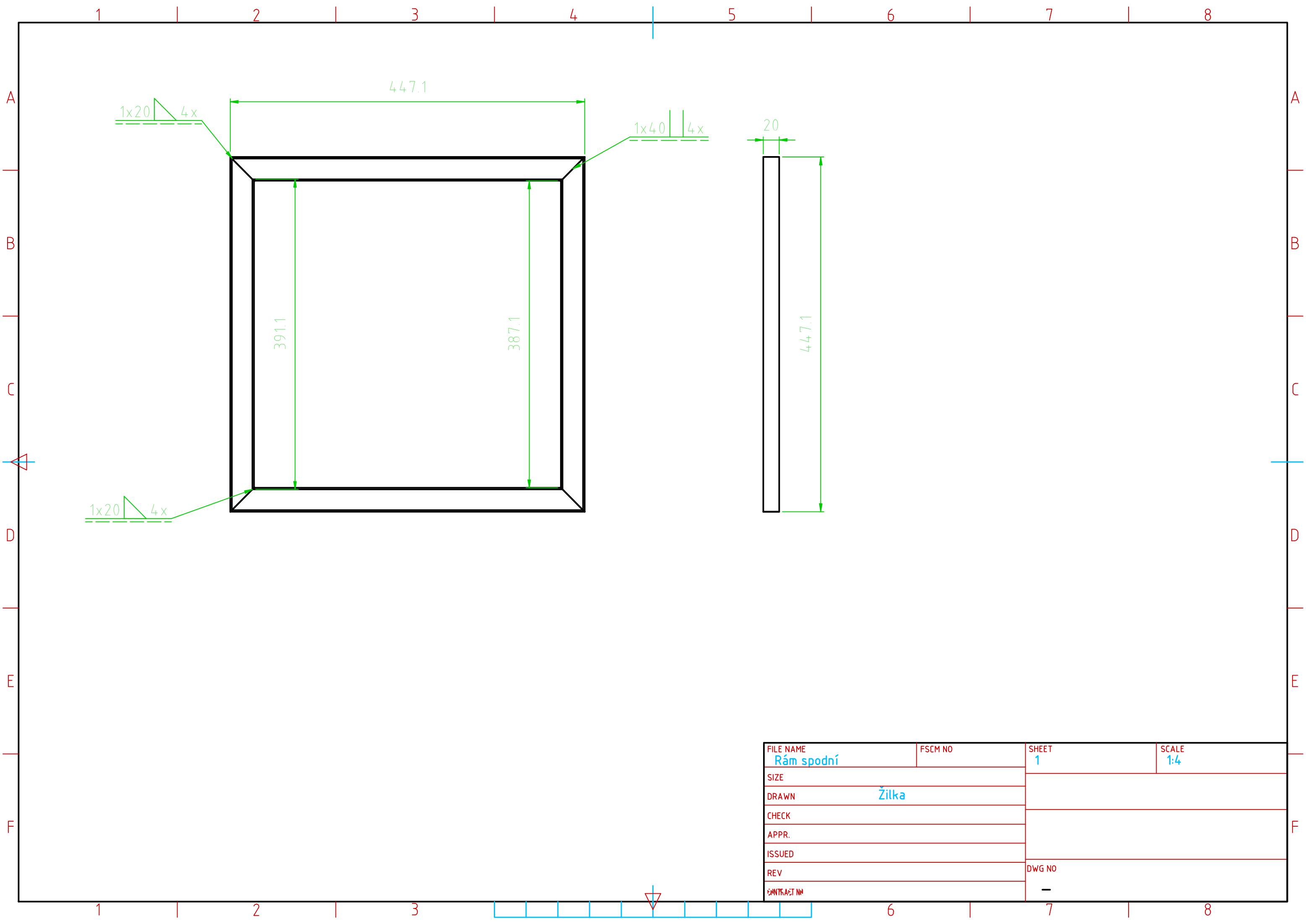


FILE NAME Nástavek 39x39x24	FSCM NO	SHEET 1	SCALE
SIZE			
DRAWN Žilka			
CHECK			
APPR.			
ISSUED			
REV	DWG NO		
CONTRACT NO	-		

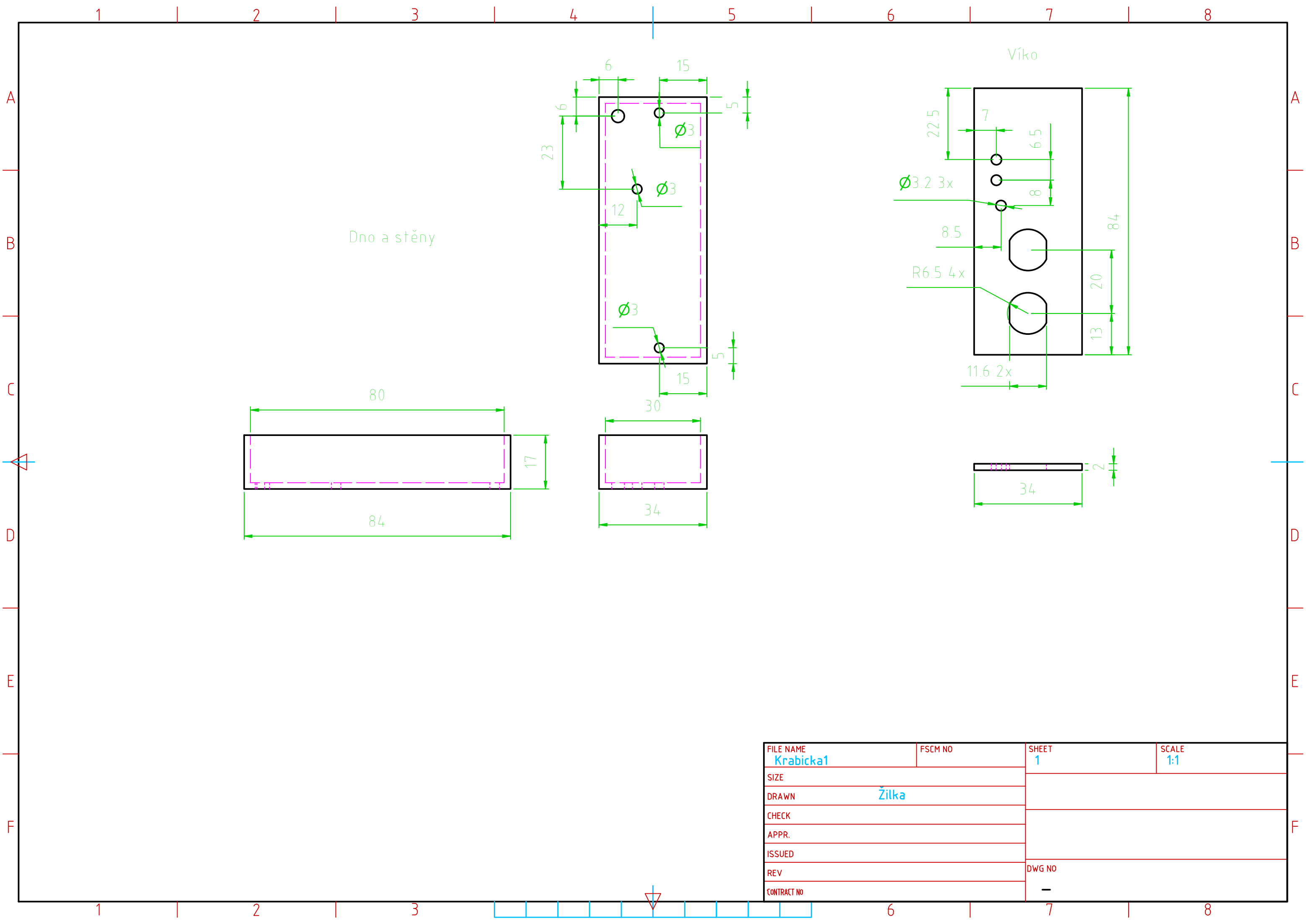


Všechny rohy jsou shodné
 Rám je v čelním pohledu osově a středově souměrný

FILE NAME Rám horní	FSCM NO	SHEET 1	SCALE 1:4
SIZE			
DRAWN Žilka			
CHECK			
APPR.			
ISSUED			
REV	DWG NO		
CONTRACT NO	-		



FILE NAME Rám spodní	FSCM NO	SHEET 1	SCALE 1:4
SIZE			
DRAWN Žilka			
CHECK			
APPR.			
ISSUED			
REV	DWG NO		
CONTRACT NO	-		



FILE NAME Krabicka1	FSCM NO	SHEET 1	SCALE 1:1
SIZE			
DRAWN Žilka			
CHECK			
APPR.			
ISSUED			
REV		DWG NO	
CONTRACT NO		-	