



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

SNÍMÁNÍ HMOTNOSTI VČELÍCH ÚLŮ S DLOUHODOBOU STABILITOU

WEIGHT SENSING OF BEEHIVES WITH LONG-TERM STABILITY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ing. Martin Vozdecký

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Jan Mikulka, Ph.D.

BRNO 2016

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá návrhem stabilního systému měření hmotnosti včelího úlu. Práce vyhodnocuje vhodné typy hmotnostních snímačů a jejich vliv na stabilitu měření. Hlavní část práce je vlastní návrh elektronické části snímající váhu včelího úlu a telemetrický přenos dat k uživateli. Výsledná koncepce zapojení umožňuje stabilní měření hmotnostního zatížení v nezávislosti na okolní teplotě.

KLÍČOVÁ SLOVA

Tenzometrický snímač, stabilita, úlová váha, Atmega, ADR3340, A/D, AD7706, GSM Shield, snímání hmotnosti, mikropočítač, bezdrátový přenos

ABSTRACT

The aim of the thesis is to describe the design of stable measurement of weight in beehives. Work evaluates suitable types of weight sensors and their effect on stability. The main part of the thesis is a custom design of electronic sensing the weight of the beehive and telemetry data to the user. The concept of engagement enables stable measurement of mass loading of independence on the ambient temperature.

KEYWORDS

Strain gauge, stability, hive weight, Atmega, ADR3340, A/D, AD7706, GSM Shield, weight sensing, microcomputer, wireless transmission



Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Elektronika a sdělovací technika**
Ústav radioelektroniky

Student: Ing. Martin Vozdecký

ID: 70324

Ročník: 3

Akademický rok: 2015/16

NÁZEV TÉMATU:

Snímání hmotnosti včelích úlů s dlouhodobou stabilitou

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se s technikami snímání hmotnosti s důrazem na přesnost, dlouhodobou stabilitu a nezávislost na okolních vlivech. Zvolte vhodný snímač nebo systém snímačů pro měření mechanického napětí deformačních členů, případně zvolte jiný přístup k měření. Navrhněte zapojení snímače s potřebnou elektronikou pro dlouhodobé sledování hmotnosti včelích úlů. Dále proveďte návrh komunikačního modulu pro telemetrický přenos do PC.

Realizujte navrženou koncepci senzoru, odlaďte navržené elektronické obvody a experimentálně ověřte jeho parametry a limity při praktickém použití. Dále sestavte software pro přenos dlouhodobě měřených hodnot a jejich záznam do PC. Proveďte srovnání navržené koncepce s komerčně dostupnými systémy.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] PALTANABI, D. Sensors and Transducers. PHI Learning Pvt. Ltd., 2003.

[2] FRADEN, J. Handbook of Modern Sensors: Physics, Designs, and Applications. Springer, 2010.

Termín zadání: 8.2.2016

Termín odevzdání: 26.5.2016

Vedoucí práce: doc. Ing. Jan Mikulka, Ph.D.

Konzultant bakalářské práce:

doc. Ing. Tomáš Kratochvíl, Ph.D., předseda oborové rady

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.

VOZDECKÝ, M. *Snímání hmotnosti včelích úlů s dlouhodobou stabilitou*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav radioelektroniky, 2016. 28 s., 3 s. příloh. Bakalářská práce. Vedoucí práce: doc. Ing. Jan Mikulka, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou práci na téma Snímání hmotnosti včelích úlů s dlouhodobou stabilitou 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/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Janu Mikulkovi Ph.D. za věcné připomínky, trpělivost a ochotu spolupracovat při řešení úkolů kladených v závěrečné práci.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

OBSAH

Úvod	1
1 Techniky snímání hmotnosti	2
1.1 Princip elektronického vážení	2
1.1.1 Elektromagnetická kompenzace síly	2
1.1.2 Princip kmitající struny	3
1.1.3 Piezoelektrické snímače síly	3
1.1.4 Tenzometry	4
1.2 Tenzometrické snímače síly	4
1.2.1 Kovové tenzometry	4
1.2.2 Polovodičové tenzometry	5
1.3 Faktory ovlivňující přesnost a stabilitu měření prostřednictvím tenzometrů	5
1.3.1 Teplotní závislost	6
1.3.2 Hystereze a nelinearita	6
1.3.3 Vlhkost, termoelektrické napětí a magnetické pole	7
1.3.4 Příčná citlivost	7
1.4 Zapojení kovových tenzometrických snímačů	8
1.4.1 Plnomostové zapojení	8
2 Vážení včelích úlů	9
2.1 Registrační vážení včelstev	9
2.2 Komerčně dostupné úlové váhy	9
2.2.1 Úlová váha TCM-13	10
2.2.2 Registrační úlová váha EMMA	11
2.2.3 Multifunkční vážící zařízení VILKO 02	11
2.3 Vnitřní uspořádání komerčního systému	12
3 Návrh modelu úlové váhy	13
3.1 Konstrukční rám a tenzometrický snímač	14
3.1.1 Volba tenzometrického snímače	14
3.1.2 Nosná konstrukce	14

3.2	Elektronika zpracování.....	15
3.2.1	Napájení systému.....	15
3.2.2	A/D převodník.....	17
3.2.3	Mikrokontrolér.....	19
3.2.4	Komunikační modul.....	20
3.2.5	Celkový návrh zapojení.....	22
3.2.6	Vyhodnocení dat na straně uživatele.....	23
3.3	Popis obsluhujícího programu.....	23
3.4	Cenová kalkulace navržené koncepce.....	24
3.5	Praktické měření stability navrženého systému.....	24
	Závěr	27
	A Návrh desky plošných spojů	31
	B Vývojový diagram hlavního programu	32
	C Zdrojový kód a deska plošných spojů	33

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.1: Princip elektromagnetické kompenzace síly [2]	3
Obr. 1.2: Funkce piezoelektrického snímače a jeho fyzické provedení [3].....	3
Obr. 1.3: Kovový tenzometr a tenzometrický snímač firmy ZEMIC[5]	4
Obr. 1.4: Polovodičový tenzometr.....	5
Obr. 1.5: Graf závislosti odporu na teplotě a závislost teplotního výstupu tenzometru na teplotě okolního prostředí pro různé materiály [6].....	6
Obr. 1.6: Vliv tečení materiálu „creep“ na výsledné měření [7]	7
Obr. 1.7: Schéma zapojení plnomostového zapojení a rozložení tenzometrů na nosné konstrukci.....	8
Obr. 2.2: Úlová váha TCM-13 slovinské firmy AMES [8].....	10
Obr. 2.4: Úlová váha VILKO 02 slovenské firmy Alya [10]	11
Obr. 2.5: Popis vnitřního uspořádání jednotlivých částí váhy VILKO 02 [10].....	12
Obr. 3.1: Obecné schéma zpracování informace ze snímacích čidel a následné zobrazení v uživatelském prostředí	13
Obr. 3.2: Tenzometrický snímač firmy ZEMIC L6G/300kg [11]	14
Obr. 3.3: Konstrukční uspořádání nosného rámu pro snímač ZEMIC L6G/300kg.....	15
Obr. 3.4: Modul regulátoru LM2596	16
Obr. 3.5: Zapojení lineárních regulátorů napětí LM2574 a ADR3440	17
Obr. 3.6: Zapojení AD7192 s kontakty pro tenzometrický můstek.....	19
Obr. 3.7: Arduino Nano s Atmega328 a mini USB portem.....	20
Obr. 3.8: Komunikační modul Quad-band GSM Shield - SIM900.....	21
Obr. 3.9: Návrh zapojení elektroniky zpracování v programu EAGLE	22

SEZNAM TABULEK

Tab. 3.1: Základní parametry snímače firmy ZEMIC L6G/300kg [11]	14
Tab. 3.2: Tabulka cenové kalkulace výrobku	24
Tab. 3.3: Tabulka naměřených hodnot zatížení váhy v čase	25

ÚVOD

Chov včel je v mnoha ohledech velmi náročná činnost, při které je zapotřebí provádět mnoho jednotlivých úkonů k zabezpečení co nejlepšího výsledku ve formě stočeného medu. Jako v každém chovatelském prostředí i zde platí pravidlo, čím více informací o chovu, tím lépe. Jedním ze základních informačních parametrů je hmotnost včelího úlu. Znalost celkové hmotnosti včelstva informuje chovatele o aktivitě a zdravotním stavu včelstva, potřebě příkrmení a načasování stáčení medu. Nejjednodušším způsobem měření hmotnosti úlu je například pomocí pákové váhy. S rozvojem moderních technologií lze využít i bezdrátové snímání hmotnosti včel, což ocení zejména chovatele mající stanoviště umístěné ve větších dojezdových vzdálenostech. Včelař tedy nemusí být fyzicky přítomen na stanovišti a i přesto je informován o stavu včelstva. Současným trendem je instalace váhových systémů koncipovaných jako stavebnice, kdy je možné sestavit síť snímacích čidel a zapojit je do vyhodnocovacího modulu, který bude informace dále distribuovat k uživateli.

Cílem bakalářské práce je navrhnout systém snímání hmotnosti včelích úlů s dlouhodobou stabilitou. Jednotlivé komponenty návrhu musí být vhodně voleny v závislosti na způsobu měření a zpracování informace. Váhový systém se bude skládat z mechanické konstrukce, na které bude umístěno snímací čidlo, elektroniky zpracování s jednočipovým mikrokontrolérem a komunikačního modulu distribuující data k uživateli prostřednictvím GSM sítě. Uživatel si data může prohlédnout ve formě textového souboru nebo výstupního grafu. Jednotlivé komponenty musí odolávat venkovním podmínkám, proto je nutné vhodně volit pracovní rozsahy a dostatečný stupeň krytí elektronických částí. Z důvodu možnosti vzdáleného přístupu na stanoviště a nedostupnosti síťové přípojky je nutné napájení z autonomního zdroje napětí.

Samotná práce se bude zabývat volbou vhodných způsobů měření statického zatížení v prostředí nestabilních teplot a důsledky s těmi spojenými. Celý proces měření by měl být plně automatický s minimálními nároky na obsluhu. Chyba měření by neměla překročit stanovenou hodnotu.

Výsledný návrh by měl být konstruován z cenově dostupných komponentů pro snadnější dostupnost širšímu spektru chovatelů. Cenová hladina navrhovaného systému by neměla překročit komerčně dostupné produkty stejného typu.

1 TECHNIKY SNÍMÁNÍ HMOTNOSTI

Hmotnost tělesa je fyzikální veličina definovaná mírou působení gravitačních účinků daného tělesa. Zjištění velikosti hmotnosti se děje prostřednictvím vážících mechanismů. Váhy lze rozdělit do tří základních skupin:

- pákové,
- pružinové,
- elektronické.

Pro účely digitálního zpracování lze z uvedené skupiny využít pouze elektronické váhy. Ostatní dvě skupiny nejsou z hlediska přesnosti a způsobu převodu hodnoty do digitální podoby pro naše účely vhodné.

1.1 Princip elektronického vážení

Při vážení tělesa o neznámém silovém působení na plochu váhy je nutné tuto fyzikální veličinu převést na elektronicky zpracovatelný signál. Z tohoto důvodu váha obsahuje různé druhy snímačů pracujících na rozdílných fyzikálních principech. Schéma převodu analogového signálu na digitální je u všech snímačů stejný. Nejprve je snímána informace ve formě signálu přímo nebo nepřímo odpovídající síle působící na snímač, následuje zesílení signálu a jeho digitalizace v A/D převodníku. Číslcový signál se následně zpracuje na podobu vhodnou pro přenos. Přenosový modul pošle informaci na zobrazovací část, kde dojde k vyhodnocení, uložení nebo zobrazení údajů uživateli.

1.1.1 Elektromagnetická kompenzace síly

Snímací čidlo využívá elektrodynamického principu pravé ruky. Feritovou tyčí umístěnou v magnetickém poli cívky protéká proud, čímž na ní působí síla směrem nahoru. Pokud dojde k vychýlení tyče směrem do středu cívky, řídicí elektronika zvýší proud protékající tyčí a síla působící na vodič v konstantním magnetickém poli se zvýší až do výchozí polohy, kdy tíhová síla se bude rovnat síle generované cívkou [2].

Předností tohoto druhu snímačů je vysoká přesnost a stabilita naměřených hodnot. Využívají se hlavně u laboratorních měření a cenově patří k dražším produktům.

1.1.4 Tenzometry

Deformace materiálu v závislosti na působící síle je základní princip funkce tenzometru. Součástka je pevně spojení s deformačním členem a vlivem natahování a smršťování se mění průřez a délka v materiálu i jeho měrný elektrický odpor. Tenzometry jsou nejčastěji používanou skupinou hmotnostních snímačů vyznačující se přesností, stabilitou, cenou a spolehlivostí. Problematická je teplotní závislost a jevy jako tečení materiálu, které budou popsány později a lze je do značné míry vykompenzovat.

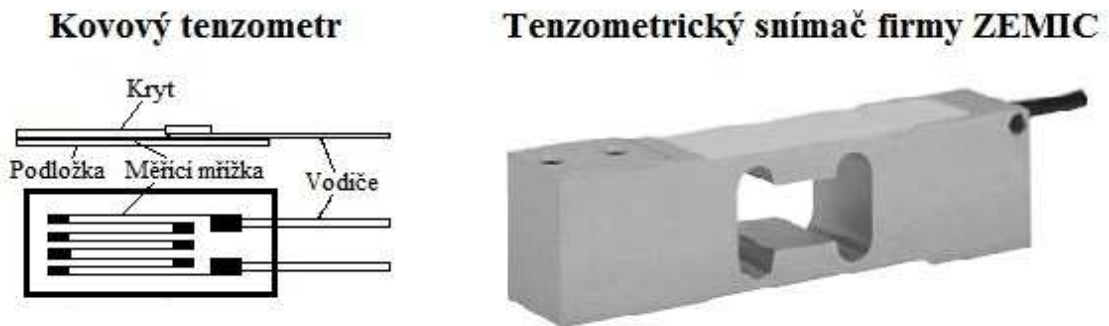
Při porovnání s ostatními typy snímačů jsou tenzometry, co se týče parametrů a cenové dostupnosti, nejlepší volbou pro náš návrh. Existují jistě snímače s vyšší přesností a menší teplotní závislostí, avšak to bychom se cenově pohybovali v naprosto rozdílných sférách, což by do značné míry degradovalo možnost využití v různých aplikacích. Tenzometry splňují požadavky přesností a stability i v případě nutnosti kompenzace a jsou tedy vhodnou volbou pro širokou škálu elektronických návrhů.

1.2 Tenzometrické snímače síly

Principiálně tenzometrický senzor snímá mechanické napětí prostřednictvím deformace nosného dílu, se kterým je pevně spojen, což má za následek změnu délky a průřezu vodiče uvnitř snímače. Základní rozdělení tenzometrů je na odporové a polovodičové.

1.2.1 Kovové tenzometry

Kovové tenzometry se skládají z odporového drátu a nosné destičky. Vodič uvnitř senzoru je obvykle vyráběn z konstantanu, jehož vlastností je malá závislost změny odporu na teplotě. Tenzometr se lepí na povrch měřené nosné části nebo se prodává už nalepený a v konkrétním můstkovém zapojení (viz obr. 1.3).



Obr. 1.3: Kovový tenzometr a tenzometrický snímač firmy ZEMIC[5]

Tenzometr se skládá z odporového drátu vedeného do tvaru spirály pro zvětšení hodnoty měrného odporu drátu. Pro zjištění změny odporu vedení vlivem deformace se vychází ze vzorce

$$\frac{\Delta R}{R} = k \cdot \varepsilon, \quad (1.1)$$

kde $\varepsilon = \Delta l/l$ je poměrné prodloužení povrchu senzoru, k je konstanta vyjadřující citlivost tenzometru, R je odpor při výchozím zatížení a ΔR značí přírůstek zvětšení odporu při poměrném prodloužení ε .

Celková chyba vztážená k jmenovitému napětí v rozmezí -10 až 40 °C je u nejlepších součástek 10^{-2} %.

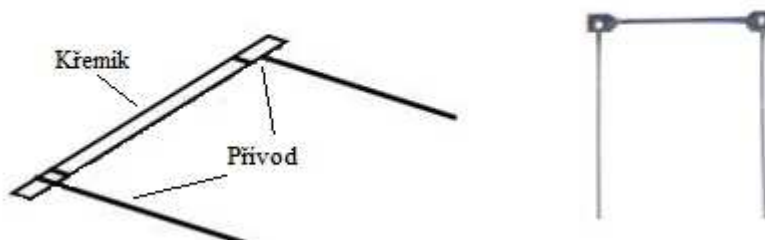
1.2.2 Polovodičové tenzometry

Polovodičové tenzometry jsou tvořeny z vrstev čistého křemíku, do kterých jsou difúzí zaneseny nečistoty. Vlivem deformace se mění pohyblivost nosičů nábojů a tedy i celkový odpor. Pro výpočet změny odporu v závislosti na zatížení se vychází ze vzorce

$$\frac{\Delta R}{R} = C_1 \cdot \varepsilon + C_2 \cdot \varepsilon^2, \quad (1.2)$$

kde C_1 a C_2 jsou konstanty tenzometru.

Změna odporu závisí na koncentraci příměsí a typu polovodiče. Proužky z polovodiče se připevňují vhodnou lepící směsí na deformační člen. V porovnání s kovovými tenzometry mají polovodičové zpravidla 60 až 80 násobně vyšší citlivost, což umožňuje měřit bez nutnosti zesílení signálu ze snímacího čidla. Velkou nevýhodou je nelineární výstupní charakteristika a značná teplotní závislost.



Obr. 1.4: Polovodičový tenzometr

1.3 Faktory ovlivňující přesnost a stabilitu měření prostřednictvím tenzometrů

Snímání neelektrické veličiny je vždy zatíženo chybami, které mohou ve výsledku znehodnotit informaci o snímané veličině. Dosažení požadované přesnosti měření bez minimalizace těchto chyb je prakticky nemožné a v mnoha elektronických návrzích je nutnost tyto chyby co nejvíce potlačit. Tenzometrické snímače jsou nejčastěji zatíženy vlivem okolní teploty, hysterezí, příčnou citlivostí, dále vlivem nelinearity převodní charakteristiky odporu snímače v závislosti na deformaci, vlhkosti, magnetického pole

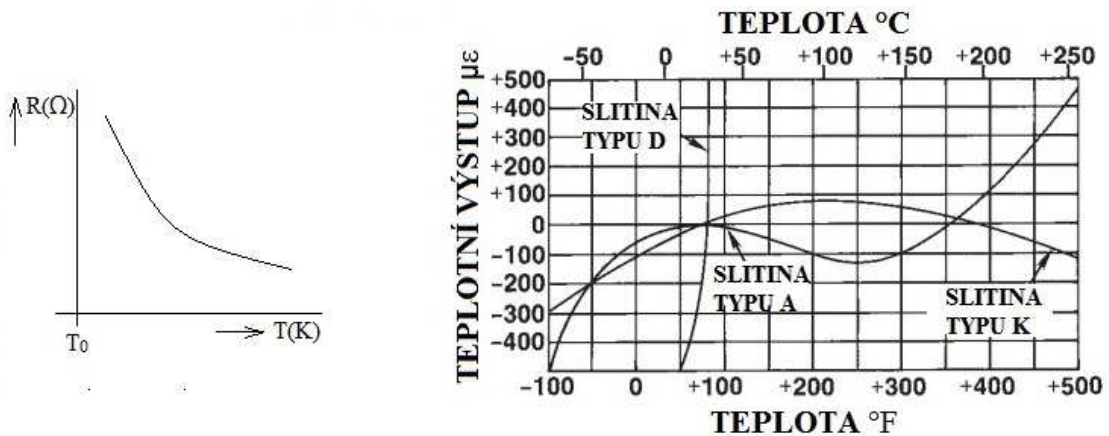
a termoelektrického napětí.

1.3.1 Teplotní závislost

Teplota okolí i zahřívání obvodu vlivem tekoucího proudu značně ovlivňuje přesnost měření. Elektrický odpor materiálu tenzometru je teplotně závislý dle vztahu

$$R = R_0[1 + \alpha(\vartheta - \vartheta_0) + \beta(\vartheta - \vartheta_0)^2 + \gamma(\vartheta - \vartheta_0)^3 + \dots], \quad (1.3)$$

kde R_0 je odpor při základní teplotě ϑ_0 . α , β a γ jsou teplotní součinitele odporu. Pokud bude snímač vystavován velkým teplotním výkyvům, výsledná rezistivita materiálu snímače se pro stejný deformační účinek bude lišit. V praxi se tato chyba nejvíce kompenzuje zapojením více tenzometru do můstku, autokompensací nebo korekcí naměřených veličin. U můstkového zapojení je výstupem poměr mezi tenzometry, nikoliv odpor snímače, autokompensační zapojení mívá vinutí vyrobené z více částí o různých délkách a korekce naměřených veličin pomocí korekční křivky konkrétního snímače.



Obr. 1.5: Graf závislosti odporu na teplotě a závislost teplotního výstupu tenzometru na teplotě okolního prostředí pro různé materiály [6]

Z pravého grafu obr. 1.5 lze pozorovat zdánlivou změnu měřené deformace v závislosti na teplotě pro různé typy materiály. Z vyznačených slitin je nejvhodnější pro statické zatížení po delší dobu slitina typu K (Ni-Cr-Al-Fe). Části charakteristiky kolem nulových teplot mají lineárnější průběh než u typu A (konstantan). Slitina typu D (izoelastická) se hodí pro dynamická zatížení.

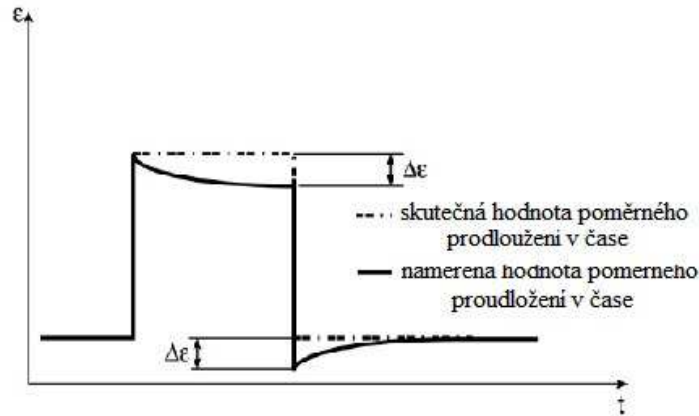
Při kolísání teploty tenzometru dochází také k tzv. zdánlivé deformaci, kdy se velikost deformace na výstupu čidla mění v závislosti s okolní teplotou.

1.3.2 Hystereze a nelinearita

Při zatížení a odlehčení tenzometrického snímače se bude hodnota deformovaného odporu mírně lišit od hodnoty před deformací. Příčinou je mírná deformace tenzometru, která s rostoucím počtem měření klesá. Znalost hysterezní křivky změny odporu při zatížení a odlehčení snímač je důležitá u dynamického typu měření hmotnosti, do kterého zavádí průměrně chybu 0,5 % z deformace.

Pro statická měření je daleko důležitější kompenzace chyby vlivem tečení

materiálu. Pokud je deformační člen vystaven konstantnímu zatížení po dlouhou dobu, dochází v něm k růstu deformace materiálu bez zvyšování, či snižování zátěže. Největší růst dochází při vystavení materiálu teplu po dlouhou dobu blízko bodu tání.



Obr. 1.6: Vliv tečení materiálu „creep“ na výsledné měření [7]

1.3.3 Vlhkost, termoelektrické napětí a magnetické pole

Pokud je tenzometrický snímač použit v prostředí s vysokou vlhkostí, je nutné zabezpečit dostatečné krytí obvodu. V jiném případě mohou být zkresleny výsledné hodnoty měření. Využit lze vhodné druhy lepidel, krytu a izolací. Tenzometry nalepené na deformačním členu běžně splňují krytí IP65.

Termoelektrické napětí vznikne stykem vodičů o různé teplotě. Tento jev lze eliminovat napájením obvodu střídavým napětím.

Pokud je feromagnetický materiál vystaven vnějšímu magnetickému poli, mohou se vlivem magnetostrikce změnit rozměry deformačního členu. Zdánlivé geometrické prodloužení materiálu snímače zavede další chybu do výsledného měření. Tento jev lze odstranit použitím vhodného stínění nebo použitím neinduktivních snímačů.

1.3.4 Příčná citlivost

Odpor tenzometru se v ideálním případě mění jen v tzv. „aktivní délce“, která představuje délku odporového drátu, na kterém dochází k deformaci. Nežádoucí je deformace ve směru příčném k aktivní délce. Příčnou citlivost lze vyjádřit vztahem:

$$q = \frac{k_t}{k_l}; \quad k_l = \frac{\Delta R/R_0}{\epsilon_l}; \quad k_t = \frac{\Delta R/R_0}{\epsilon_t}, \quad (1.4)$$

kde q je příčná citlivost, k_l je deformační součinitel ve směru aktivní délky a k_t deformační součinitel ve směru příčném na směr aktivní délky.

K odstranění vlivu příčné citlivosti se konstruují měřicí mřížky tenzometrů se zesílením na koncích jednotlivých smyček. Další chybou, související s příčnou citlivostí, zavádí příčné přetvoření. Je to zúžení v oblasti aktivní délky mřížky vlivem příčné kontrakce materiálu. Chyba se projeví zápornou změnou odporu pro kladné přetvoření. Běžná příčná citlivost tenzometrů bývá menší než 0,008 [7].

1.4 Zapojení kovových tenzometrických snímačů

Pro přesné měření se tenzometry obvykle zapojují do Wheatstonova můstku, ve kterém nevyhodnocujeme celkovou hodnotu odporu, ale pouze její změnu. Existují tři způsoby můstkového zapojení:

- čtvrtmostové,
- půlmostové,
- plnomostové.

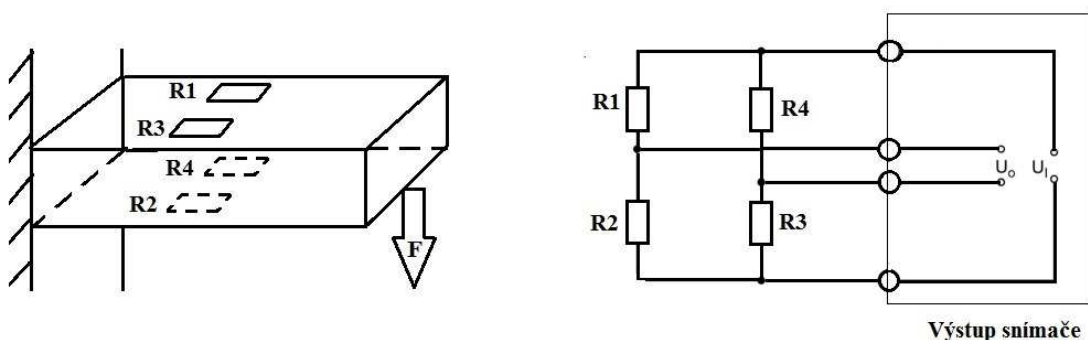
Pro účely přesného měření s vysokou stabilitou u statického zatížení se ve velké míře využívá plnomostové zapojení. Většina komerčně vyráběných tenzometrických snímačů se prodává v konfiguraci čtyř čidel s možností variabilního zapojení.

1.4.1 Plnomostové zapojení

Čtveřice tenzometrů jsou zapojeny do čtyř protilehlých ramen. Pokud na deformační člen nepůsobí žádná tlaková ani tahová síla můstek bude vyvážený a na výstupu bude napětí $U_0 = 0$ V. V případě deformace nosné konstrukce, na které jsou přilepeny snímače, dojde k rozvážení můstku a na výstupu bude adekvátní změna napětí daná vztahem:

$$U_0 = \frac{R_1 \cdot R_2 - R_2 \cdot R_4}{(R_1 + R_2) \cdot (R_3 + R_4)} U_1, \quad (1.5)$$

V takovémto zapojení je tenzometr úplně teplotně kompenzován. Podmínkou je stejná nominální hodnota odporu všech tenzometrů na stejné teplotě. Vlivem plnomostového zapojení se zvýší čtyřnásobně citlivost oproti samostatnému zapojení tenzometru.

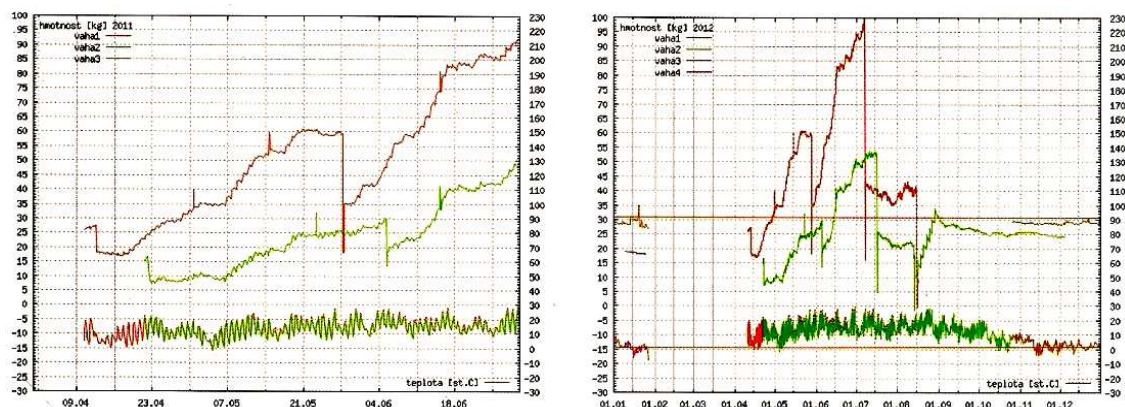


Obr. 1.7: Schéma zapojení plnomostového zapojení a rozložení tenzometrů na nosné konstrukci.

2 VÁŽENÍ VČELÍCH ÚLŮ

2.1 Registrační vážení včelstev

S nástupem chovu včelstev vyvstala otázka jak zefektivnit množství stáčeného medu a získat více informací o stavu včelstev. V posledních letech stoupá obliba tzv. registračního vážení, kdy informace o stavu včelstev jsou automaticky zaznamenány a je možno je v pozdější době vyhodnotit. Mluvíme zde o získání informace o přírůstcích nebo úbytku včelstva, zásob medu a v případě využití teplotního čidla i teploty uvnitř úlu. Z těchto informací lze efektivně naplánovat čas stáčení medu nebo se změnou hmotnosti související úhyn a rojení včel. Z výše získaných informací je možno formou grafického zobrazení pozorovat váhový vývoj včelstev v čase a popřípadě reagovat na případné odchylky nebo v případě snůšky nestáčet med během nejvyšších přírůstků. Na obr. 2.1 jsou zaznamenány období snůšky v závislosti na čase. Vyhodnocením lze čas stáčení medu vhodně vybrat ve snůškové mezeře a omezit tak vyrušování včelstev na minimum. Je známo, že v případě vyrušení včel lze ztratit až jednodenní snůšku [12].



obr. 2.1 Graf záznamu váhové přírůstku včelstev [12]

2.2 Komerčně dostupné úlové váhy

Nabídka úlových vah v komerčním sektoru je velice pestrá. Zákazník si může vybrat různou konfiguraci od zobrazení hmotnosti přímo na displeji váhy, telemetrický přenos informací do počítače prostřednictvím přenosových modulů, po zobrazení v přehledném grafickém vyhodnocení. U většiny nabídek je deklarovaná minimální přírůstková hmotnost 100 g, pracovní podmínky -20 až +40 °C a přesnost kolem 0,1 %, což pro potřeby zjištění stavu a přírůstku snůšky včelstva bohatě stačí.

Výběr komerčních úlových vah je zaměřen na porovnání technických parametrů jednotlivých produktů. Na českém trhu se objevuje několik kvalitních vážících systémů, které se mohou porovnávat se zahraničními.

2.2.1 Úlová váha TCM-13

Výrobce je slovinská firma AMES. Jedná se o zapojení „single-point“, s GSM modemem pro přenos dat k uživateli. „Single point“ zapojení tvoří jeden snímač hmotnosti s nalepenými tenzometry, který se jednou částí připevní k nosnému rámu a druhou k podstavci, na kterém bude ležet úl. TCM-13 umožňuje měření hmotnosti, vlhkosti a okolní teploty. Přístup k datům je umožněn přes webové rozhraní výrobce nebo SMS. Maximální zatížení je 100 kg s chybou $< 0,02\%$, čemuž při maximálním zatížení odpovídá absolutní chyba ± 10 g. Váha splňuje stupeň krytí IP 54, je napájena vstupním napětím 3,6 V a lze ji provozovat v teplotách -30 až 40 °C. Nízká energetická náročnost zařízení umožňuje instalace na vzdálená místa. Cena není na internetových stránkách dostupná. Zařízení je ukázáno na obr. 2.2.



Obr. 2.2: Úlová váha TCM-13 slovinské firmy AMES [8]

2.2.2 Registrační úlová váha EMMA

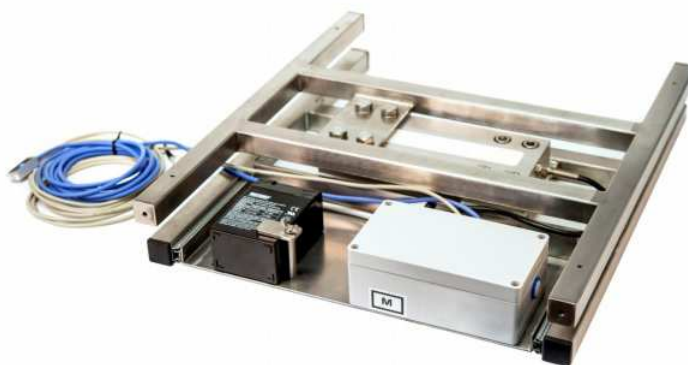
Úlová váha české výroby firmy Apis Digital má tenzometry umístěny v rozích nosné konstrukce. Dle konfigurace lze koupit váhy s dálkovým přenosem, LCD displejem, popřípadě vytvořit vážící řetězec sestávající se z několika úlových vah zapojených do jedné řídicí jednotky. Váhu lze provozovat v pracovním prostředí -20 až 40 °C a zatížit maximálně 200 kg. Minimální přírůstek hmotnosti u váhy je 0,1 kg a přesnost přírůstkového vážení $\pm 0,25\%$ z max. váživosti/rok, což nepředstavuje příliš příznivé parametry z hlediska přesnosti. Absolutní chyba měření hmotnosti bude tedy ± 250 g. Cena základní konfigurace pro dálkové měření a zpracování dat na PC je 16 990 Kč.



Obr. 2.3: Úlová váha EMMA české firmy Apis Digital [9]

2.2.3 Multifunkční vážící zařízení VILKO 02

Výrobek je z dílny slovenské firmy Alya. Váha je konstruovaná jako stavebnicový systém se zapojením deformačního členu jako „single point“. Umožňuje dálkové měření hmotnosti úlu, okolní teploty a vlhkosti prostřednictvím GSM modulu. Váha splňuje stupeň krytí IP 65, je napájena akumulátorem napětím 6 V. Váhu lze provozovat v pracovním prostředí -10 až 50 °C. Nosnost měřicího systému je 200 kg s rozlišovací schopností 0,1 kg. Cena základní konfigurace je 18 805 Kč.



Obr. 2.4: Úlová váha VILKO 02 slovenské firmy Alya [10]

2.3 Vnitřní uspořádání komerčního systému

Jednotlivé komerční systémy snímání hmotnosti včelích úlů se liší v typu použitého nosného rámu, umístění elektroniky zpracování, telemetrické komunikace, napájecí části a příslušenství. V mnoha případech je výrobek prodáván formou stavebnice, kdy je možné si dokoupit rozšíření k základní konfiguraci. Ilustrační obr. 2.5 ukazuje komerční úlovou váhu a její jednotlivé části.



Obr. 2.5: Popis vnitřního uspořádání jednotlivých částí váhy VILKO 02 [10]

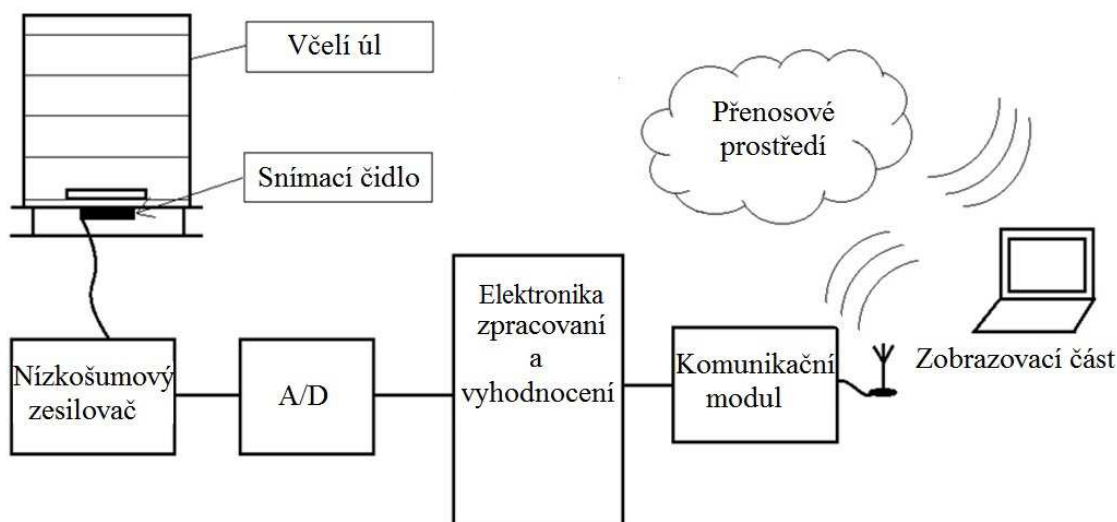
3 NÁVRH MODELU ÚLOVÉ VÁHY

Při návrhu konkrétní tenzometrické váhy je nutné si přesně definovat požadavky, které vážící mechanismus bude splňovat. Navrhovaný systém bude snímat hmotnost včelího úlu umístěného na podstavci a vystavovaného všem venkovním povětrnostním podmínkám. Základní požadavky kladené na zařízení jsou:

- přesnost naměřených hodnot 100 g,
- minimalizace závislosti naměřených hodnot na okolní teplotě,
- telemetrický přenos dat do PC,
- stabilita systému v dlouhodobém měřítku,
- přijatelná cena výrobku.

Pro účely stabilního a přesného měření je nutné co nejvíce eliminovat nejistoty použitých deformačních členů a elektronického zpracování informace. Lze toho dosáhnout použitím vhodných elektronických komponentů a metod měření.

Základ váhy tvoří kovový rám, který svojí konstrukcí musí být schopen snést jmenovité zatížení zařízení, snímací čidlo na bázi kovových tenzometrů, elektronika pro zpracování výsledků měření s řídicí jednotkou, komunikační modul pro telemetrický přenos dat ze stanoviště do PC a programové vybavení PC pro zpracování výsledků.



Obr. 3.1: Obecné schéma zpracování informace ze snímacích čidel a následné zobrazení v uživatelském prostředí

3.1 Konstrukční rám a tenzometrický snímač

3.1.1 Volba tenzometrického snímače

Deformační člen váhy je zatěžován jednotným směrem silového působení a dochází zde k deformaci objektu jen v jedné ose. Z toho důvodu je volen snímač typu „single point“, který má v pružné části nalepené čtyři tenzometrické snímače, vždy dva na horní a dva na spodní straně, aby bylo možné zapojení do Wheatstonova můstku a snímač měl co největší citlivost. Z internetové nabídky tenzometrických snímačů byl zvolen snímač v uspořádání firmy ZEMIC s označením L6G/300kg C3. Svými parametry splňuje požadavky OIML certifikace pro obchodní vážení. V době návrhu lze snímač pořídit v internetových obchodech za cenu 661 Kč.



Obr. 3.2: Tenzometrický snímač firmy ZEMIC L6G/300kg [11]

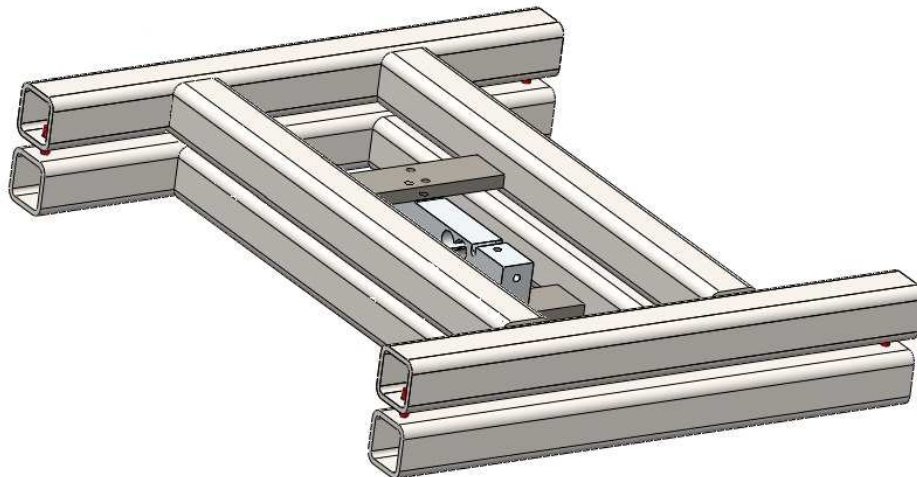
Třída přesnosti	OIML R60 C3	Doporučené napájení	5 - 12 VDC
Výstupní citlivost	2.0 ±0.2 mV/V	Vstupní odpor	409 ±6 Ω
Max. zatížení	300 kg	Výstupní odpor	350 ±3 Ω
Max. počet dílků	3000 n _{LC}	Stupeň krytí	IP 65
Kombinovaná chyba	≤ ±0.0230 %FS	Kompensace teplot	-10 až +40 °C
Bezpečné přetížení	150 %E _{max}	Provozní teplota	-35 až +65 °C
Max. přetížení	300 %E _{max}	Material	Al
Vyrovnání nuly	< ±2 %		

Tab. 3.1: Základní parametry snímače firmy ZEMIC L6G/300kg [11]

3.1.2 Nosná konstrukce

Nosná konstrukce musí být navržena na konkrétní typ tenzometrického snímače, jelikož je potřeba volit montážní body na typ požadované deformace. Výše vybraný snímač ZEMIC L6G/300kg lze instalovat pouze jako „single point“. Pro co nejpřesnější měření je nutné centrovat připojení snímače na střed nosné konstrukce závaží. Snímač ZEMIC LG/300kg se uchycuje na spodní a horní rám nosné konstrukce. Prostřednictvím montážních bodů jsou obě části spojeny přes snímací čidlo, na kterém dochází k deformaci vlivem závaží. Konstrukce rámu je zobrazena na obr. 3.3. Hlavní nosná

část je sestavena z uzavřeného svařovaného profilu o průřezu 35x35x2 mm. Profily o délce 430 mm a 275 mm jsou spojeny obloukovým svařováním a tvoří dvě části spojené přes deformační člen. K připevnění snímacího čidla je použita ocelová pásovina 70x50x5 mm, do které jsou vyvrtány čtyři otvory pro uchycení k rámu šrouby velikosti M8. Největší ohybová síla musí působit na střed snímače, proto je kladen důraz na jeho umístění doprostřed rámu. Sestavená konstrukce je dostatečně robustní a měla by vydržet maximální zatížení 300 kg.



Obr. 3.3: Konstrukční uspořádání nosného rámu pro snímač ZEMIC L6G/300kg

3.2 Elektronika zpracování

Elektronická část úlové váhy má za úkol sejmutí úrovně zatížení z tenzometrického snímače s následným převodem do digitální formy. Výstup z A/D převodníku se pomocí SPI sběrnice pošle do mikrokontroléru, kde dojde ke korekci výsledků a přiřazení konkrétních hodnot hmotnosti dle převodního schématu. Mikrokontrolér komunikuje s periferiemi přímo pomocí sériové sběrnice bez nutnosti převodního členu. GSM modem zašle aktuální hodnotu hmotnosti v SMS zprávě na vzdálený přijímač, kde se data budou ukládat. Ke stažení dat dojde vždy po exportu dat ve zvolené aplikaci do formátu textového souboru.

Změnu rozvážení tenzometrického můstku v důsledku deformace zatížení je nutné připojit k referenční hodnotě napětí s nízkou hladinou šumu, aby se do výstupního signálu nezaváděla další chyba.

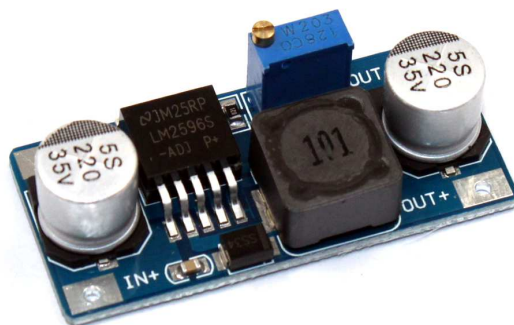
3.2.1 Napájení systému

Jako hlavní zdroj napájení jednotlivých regulátorů je 12 V olovněná baterie. Zdrojem referenčního napětí pro tenzometrický snímač a obvody elektroniky zpracování je obvod ADR3440 firmy Analog Devices. Jedná se o přesný nízko-šumový lineární

regulátor vhodný pro venkovní použití s maximálním výstupním proudem 10mA. Regulátor ADR3440 je zdrojem reference 4,096 V pro můstkové zapojení tenzometrů a A/D převodník. Mikrokontrolér napájí samostatně spínaný regulátor LM2574, protože u něj není potřeba přesné referenční napětí. GSM modul může mít při proudových špičkách odběr v řádu jednotek ampér a je nutné jej napájet samostatně například modulem DC/DC regulátoru s LM2596s.

Spínaný regulátor LM2574 je volen s ohledem na vysokou účinnost regulace 77 %. Při provozu mimo dosah zdroje elektrické energie a napájení z bateriového zdroje bez dobíjení, je volba formou spínaných zdrojů vhodná, avšak klade vyšší požadavky na odfiltrování rušení z regulátoru do obvodového zapojení.

Modul GSM při připojování k sítí nebo vysílání SMS dosahuje ve špičce odběr až 2A. Regulátor LM2574 pokryje odběr maximálně do 500 mA. Pro potřeby napájení GSM modulu je volen DC/DC regulátor LM2596s v modulovém provedení. Umožňuje nastavení výstupní hodnoty napětí při vstupní napětí v rozsahu 3,2 – 40 V.



Obr. 3.4: Modul regulátoru LM2596

ADR3440 je vysoce přesný CMOS napěťový regulátor s přesností $\pm 4,096\text{mV}$. Regulátor je zatížen chybou teplotního driftu $8\text{ppm}/^\circ\text{C}$. Ze vzorce lze vypočítat změnu referenčního napětí v závislosti na teplotním driftu.

$$\Delta U_{\text{vstdrift}} = U_{\text{vst}} \cdot k_t = 4,096 \cdot 8 \cdot 10^{-6} = 32,8 \mu\text{V} \quad (3.1)$$

kde $\Delta U_{\text{vstdrift}}$ je změna napětí vlivem teplotního driftu při změně teploty o 1°C . Při nejvyšší změně okolní teploty $\Delta t = 50^\circ\text{C}$ bude $U_{\text{vstdrift}} = 1,640 \text{ mV}$.

Jednou z důležitých operací při snímání napětí z můstku je zjištění závislosti výstupního offsetu tenzometrického můstku na referenčním napětí. Výstupní napětí je dáno vztahem:

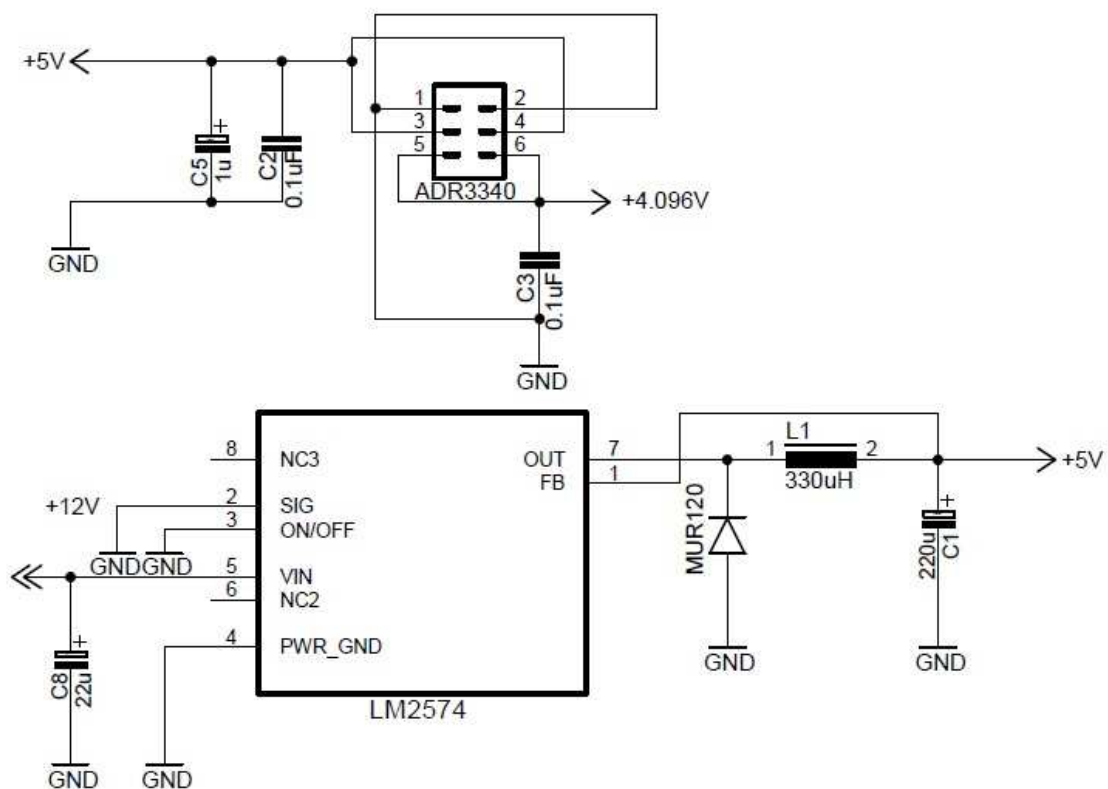
$$U_{\text{offset}} = U_{\text{vst}} \cdot k, \quad (3.2)$$

kde U_{offset} je napětí při nulovém zatížení můstku, U_{vst} je referenční napětí $4,096 \text{ V}$ a k je konstanta můstku při nulovém zatížení. Pro stanovení U_{offset} je nutné změřit závislost výstupního napětí na zatížení konkrétního typu tenzometrického snímače a vytvořit lineární regresi. Offset se bude rovnat funkční hodnotě v počátku ze směrnice přímky. Potom lze stanovit maximální přípustnou změnu napěťové reference vlivem změny okolní teploty podle vztahu:

$$\Delta U_{vst} = \frac{U_{offset} + \Delta U_{offset}}{k} - U_{vst}, \quad (3.3)$$

kde ΔU_{vst} je maximální změna vstupního referenčního napětí vlivem teplotního driftu a ΔU_{offset} je změna offsetu můstku vlivem teploty v závislosti na rozlišení váhy.

Pokud bude $\Delta U_{vst} < U_{vstdrift}$ v rozsahu provozních teplot, pak lze zaručit přesné měření hmotnosti bez vlivu okolní teploty. Lze předpokládat, že zvolený regulátor ADR3340 tyto podmínky splňuje a pro účely napájení můstku a A/D převodníku je vhodnou volbou.



Obr. 3.5: Zapojení lineárních regulátorů napětí LM2574 a ADR3440

3.2.2 A/D převodník

Výstupem ze svorek zatíženého tenzometrického můstku je hodnota napětí v řádu jednotek milivoltů. Tento analogový signál je třeba zesílit a převést do digitální formy pro další zpracování mikrokontrolérem. Vhodnou volbou pro zesílení výstupního signálu z rozváženého můstku je použití diferenčního zesilovače, který zesílí užitečný signál a zároveň potlačí nežádoucí rušení. Při výběru vhodného A/D převodníku je nutné si stanovit rozsah měřitelných hodnot a určit rozlišovací schopnost převodníku.

Stanovení rozlišovací schopnosti A/D převodníku

V zapojení je použit tenzometrický snímač L6G/300kg od firmy ZEMIC. Referenční napětí z lineárního regulátoru ADR3340 je 4,096 VDC. Maximální napětí na výstupu můstku bude $U_{\text{výstmůstek}}=8,192$ mV. Změna o jeden vnitřní interval snímače hmotnosti vyvolá na výstupu změnu o $\Delta U_{\text{výstmůstek}}=2,73$ μ V. Váha včelího úlu může dosahovat až hodnoty 300 kg, při požadovaném rozlišení 100 g bude počet kvantizačních úrovní 2000. A/D převodník bude muset mít minimálně $2^{11}=2048$ úrovní. Další 2 bit je nutné rezervovat pro kompenzaci napěťového offsetu tenzometrického můstku a jistotu správného zobrazení posledního bitu. Výsledné minimální rozlišení A/D převodníku je 13 bitů.

Z internetové nabídky byl zvolen A/D převodník AD7706 firmy Analog Devices. Jedná se o 16-bitový nízko-šumový Σ - Δ A/D převodník s diferenčními vstupy a vnitřním PGA zesilovačem se ziskem až 128.

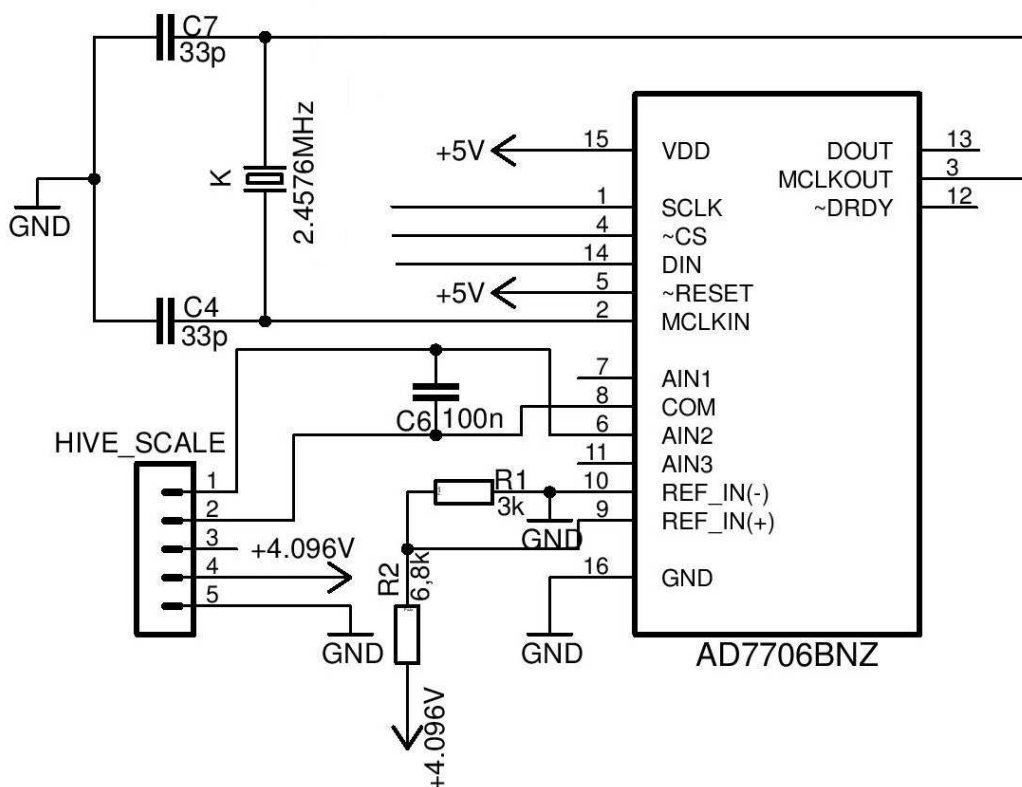
Rozsah vstupního napětí při zisku 128 a referenci 4,096 V je u AD7706 ± 32 mV. Je dobré stanovit vyšší vstupní rozsah oproti $U_{\text{výstmůstek}}$, aby nedocházelo k přetečení A/D převodníku vlivem offsetu a chyby zisku. Výstupní hodnota napěťové úrovně rozváženého můstku je přivedena na piny AIN1 a COMM, které slouží jako diferenční vstupy. Současně na vstupy REFIN(+) a REFIN(-) je přivedena referenční hodnota napětí můstku 1,247 V vytvořená jednoduchým odporovým děličem napájeným z referenčního zdroje ADR3440. Tím je zabezpečeno odstranění šumu z referenčního zdroje napětí na nízkých kmitočtech. Po zesílení je signál přiveden na Σ - Δ převodník a lze vypočítat výstupní počet úrovní dle vztahu:

$$Kód = 2^{N-1} \cdot [(AIN \cdot G / V_{REF}) + 1] = 60321 \text{ úrovní}, \quad (3.4)$$

kde $N=16$, $AIN=8,192$ mV je vstupní maximální napětí z můstku, $G=128$ a $V_{REF}=1,247$ V.

Počet úrovní pro rozlišení 100 g je $P_{100g}=32\,777$ úrovní.

Komunikace s mikrokontrolérem je realizována sběrníci SPI. Prostřednictvím mikrokontroléru lze také ovládat instrukcemi A/D převodník a inicializovat kalibrační režim, který výrazně sníží chybu PGA.



Obr. 3.6: Zapojení AD7192 s kontakty pro tenzometrický můstek

3.2.3 Mikrokontrolér

Hlavní řídicí jednotkou umožňující zpracovávat digitální informaci z A/D převodníku, přiřadit jednotlivým stavům konkrétní hodnotu a dále distribuovat informaci do GSM modulu, je zvolen 8-bitový mikrokontrolér řady ATMEGA328 s 32 kB flash paměti a 2 kB SRAM. Mikrokontrolér je v modulové konfiguraci pod označením ARDUINO NANO s vlastní mini USB portem, vývodovými piny a stavovými LED diodami na desce. Základní výhodou je snadná manipulace při sériové komunikaci prostřednictvím USB portu a malé rozměry desky. Atmega328p podporuje TTL sériová data pro komunikaci s GSM modulem a SPI pro komunikaci s AD7706. Vstupní napětí může být v rozmezí 6-20 V při maximálním odběru v aktivním stavu 30 mA.



Obr. 3.7: Arduino Nano s Atmega328 a mini USB portem

Programové vybavení procesoru obsahuje hlavní řídicí funkci s ovladači k zařízení a proměnnými potřebným k provedení operace s daty, které se po inicializaci načtou do hlavního programu. Dále se zkontroluje připojení jednotlivých periférií. Následně každých 30 minut mikrokontrolér přijme údaje o aktuální hmotnosti úlu a přiřadí hodnotě z A/D převodníku reálné číslo v kg. Proběhne uložení hodnoty do paměti flash a inicializace GSM modulu. Modul komunikuje s vnějším vybavením pomocí rozhraní TTL. Zasláná data budou obsahovat informace o čase a hmotnosti. V případě, že dojde k chybě při spojování s jednotlivými moduly, proces se zastaví a zapíše se chybové hlášení, které se zašle uživateli. Vývojový diagram hlavního programu je součástí přílohy B.

3.2.4 Komunikační modul

Pro telemetrický přenos dat ze stanoviště k uživateli je použit komunikační modul Quad-band GSM Shield - SIM900, který umožňuje komunikaci s řídicí jednotkou rozhraním SPI a telemetrický přenos GSM sítí. Modul může dosáhnout, v čase vysílání dat až 2 A odběrový proud, proto je nutné jej napájet výkonným napěťovým zdrojem. Jedná se o vývojovou desku s vnitřním napěťovým regulátorem. Komunikace s řídicí jednotkou je vedena přes piny D0/D1 označené jako HW sériové porty.

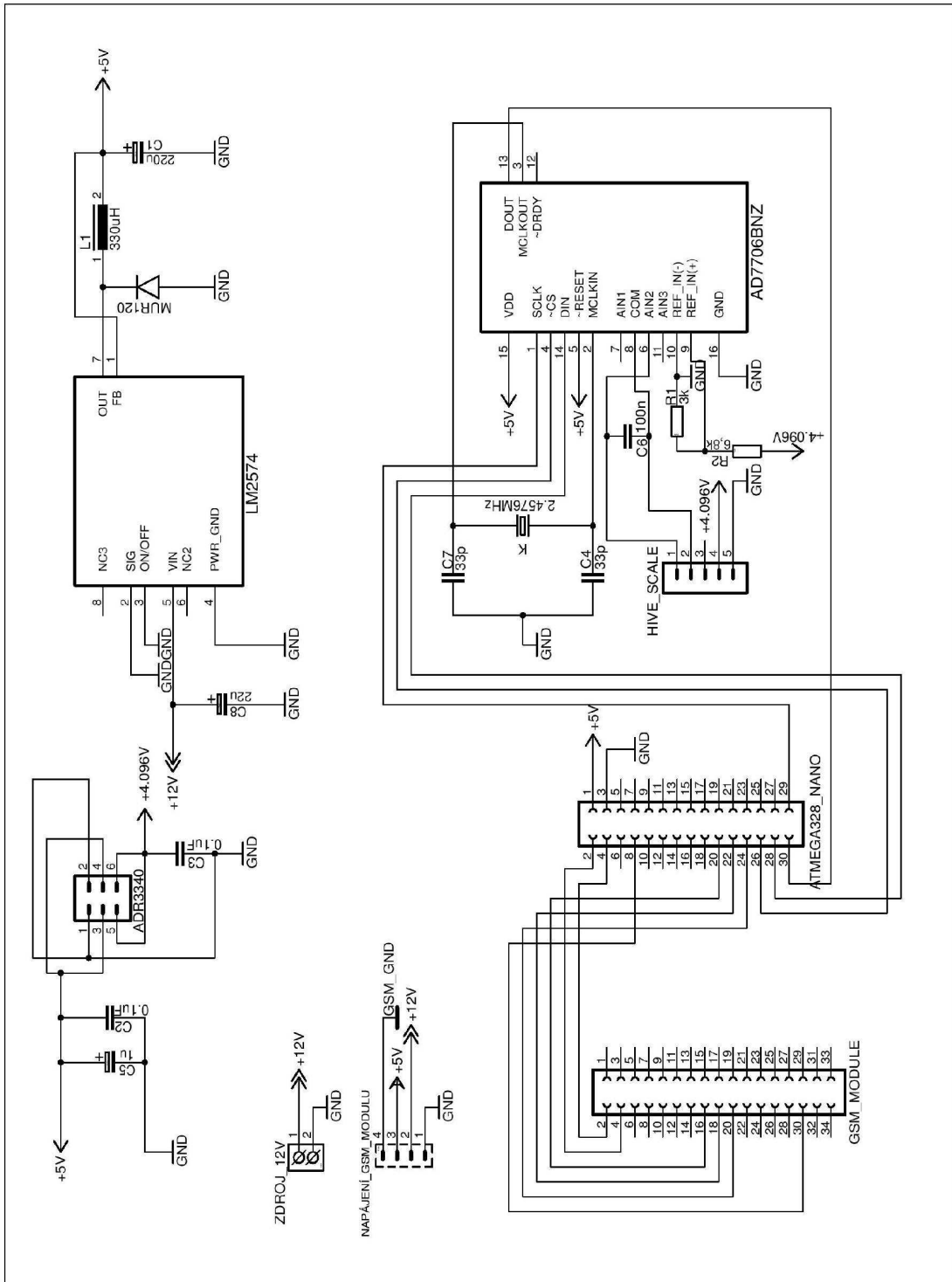


Obr. 3.8: Komunikační modul Quad-band GSM Shield - SIM900

V pohotovostním režimu odebírá modul přibližně 20 mA, v našem případě není třeba udržovat kartu připojenou k GSM síti po celou dobu provozu a je tedy žádoucí v čase spánku obvodu vypnout i GSM modul. Pro softwarovou sériovou komunikaci jsou určeny piny D7-D9, kde pin D9 simuluje hardwarové tlačítko připojení zařízení k síti převodem z úrovně logické nuly do logické jedničky a zpět do logické nuly. Na desce je nutné propájet kontakt s označením R13 pro označení softwarového vypnutí/zapnutí. Modul se ovládá standardními AT příkazy.

3.2.5 Celkový návrh zapojení

Zapojení je charakteristické využitím kolíkových vývodu z jednotlivých desek, které jsou přímo zapájeny do DPS. GSM modul je zasazen do patice pro snadnější manipulaci při případné výměně SIM karty a vnitřní baterie. Navrhované schéma obsahuje prvky patic, které představují rozteč jednotlivých pinů daného modulu.



Obr. 3.9: Návrh zapojení elektroniky zpracování v programu EAGLE

3.2.6 Vyhodnocení dat na straně uživatele

Data jsou přenášena prostřednictvím GSM sítě, proto je na přijímací straně nutné mít zařízení umožňující tuto komunikaci. Jako nejjednodušší způsob příjmu SMS zpráv lze využít běžný mobilní telefon se slotem na SIM kartu. Pro další zpracování dat a uložení do textového souboru musí telefon podporovat OS Android a mít nainstalovanou jakoukoliv aplikaci umožňující stáhnout SMS zpráv z mobilu do PC. Z nabídky aplikací na GooglePlay byl vybrán program SMStoText. Tuto aplikaci není nutné mít instalovanou na PC. Stačí jen instalace v mobilním telefonu a pomocí funkce export SMS do textového souboru lze převádět data za konkrétní období nebo od konkrétního telefonního čísla do textového souboru. Tato data je pak možné převést do grafického vyjádření popřípadě vyhodnotit odchylky naměřených hodnot.

3.3 Popis obsluhujícího programu

Aplikační program mikrokontroléru Atmega328 je psán v jazyce C s využitím vývojového prostředí Arduino. Pro obsluhu periferních zařízení jsou vytvořeny knihovny umožňující rutinní přístup k datům, nastavení vnitřních registrů a obsluhu komunikace. Základní nastavení a inicializace zařízení jsou řešená ve funkci setup ().

Hlavní programová smyčka Loop ()

Pro získání hodnot z A/D převodníku se využívá funkce `ad7706.readADResult()` s volbou kanálového čtení. Zdrojový kód obsluhy převodníku AD7706 je freeware [13] umožňující konkrétní nastavení zesílení, nastavení rychlosti obnovy dat a volba výstupního kanálu. Hodnota na výstupu SPI sběrnice se rovná napěťové úrovni v milivoltech.

Funkce `Average ()` převede napěťovou úroveň na váhovou hodnotu. Korekce nulového zatížení nebo kompenzování statického zatížení, které je ve formě váhy včelího úlu, lze vymazat přičtením nebo odečtením konstanty k výstupní proměnné. Výsledkem funkce `Average ()` a části programu `Loop ()` je zprůměrování 100 hmotnostních vzorků pro vymazání náhodných chyb a zpřesnění výsledku.

Následuje inicializace GSM modulu. Nejprve se funkcí `Initial ()` softwarovou sběrnici připojí modul do GSM sítě. Program čeká na vyhodnocení odpovědi příkazu AT z modulu. V případě kladné odezvy je volána hlavní funkce GSM modulu `Start ()`, která nastavuje SMS mód pro zasílání textových zpráv, uživatelské číslo a hodnotu zatížení z A/D převodníku. V případě správného odeslání je zobrazeno potvrzení na sériovém monitoru textem `sent`. Popisky jednotlivých kroků programu jsou součástí zdrojového kódu dodaného jako příloha na CD-ROM.

Po zaslání SMS zprávy uživateli dochází k softwarovému vypnutí GSM modulu a redukci spotřeby modulu Arduino_Nano funkcí `sleep.sleepDelay(sleepTime)`, kde proměnná `sleepTime` je doba nižší spotřeby modulu, která je přibližně 8 mA a udává se v milisekundách. Po probuzení mikrokontroléru je zahájen nový běh funkce `Loop ()`.

3.4 Cenová kalkulace navržené koncepce

Celková cena se odvíjí od pořizovací ceny jednotlivých komponentů váhy. Je nutno říci, že v případě hromadné koupě konkrétních součástí se výsledná cena značně zredukovala. Při volbě součástí váhového systému nebyla cena hlavním parametrem výběru, proto je nutné brát kalkulaci s rezervou. Do celkové ceny nejsou započítány potřebné práce při výrobě DPS a nosného rámu.

Typ použité součásti	Cena
Tenzomerický snímač Zemic L6G	650
Materiál na konstrukci nosného rámu + barva	400
Převodník AD7706	230
GSM Arduino Shield modul	500
Mikrokontrolér Arduino Nano	60
Regulátory ADR3440, LM2574, modul LM2596	200
Fotocitlivá DPS + roztok pro vyvolání motivu	150
SIM karta s kreditem	150
Elektronické součástky, konektory, pevné spoje	200
Ostatní položky	400
Celkem	2 940 Kč

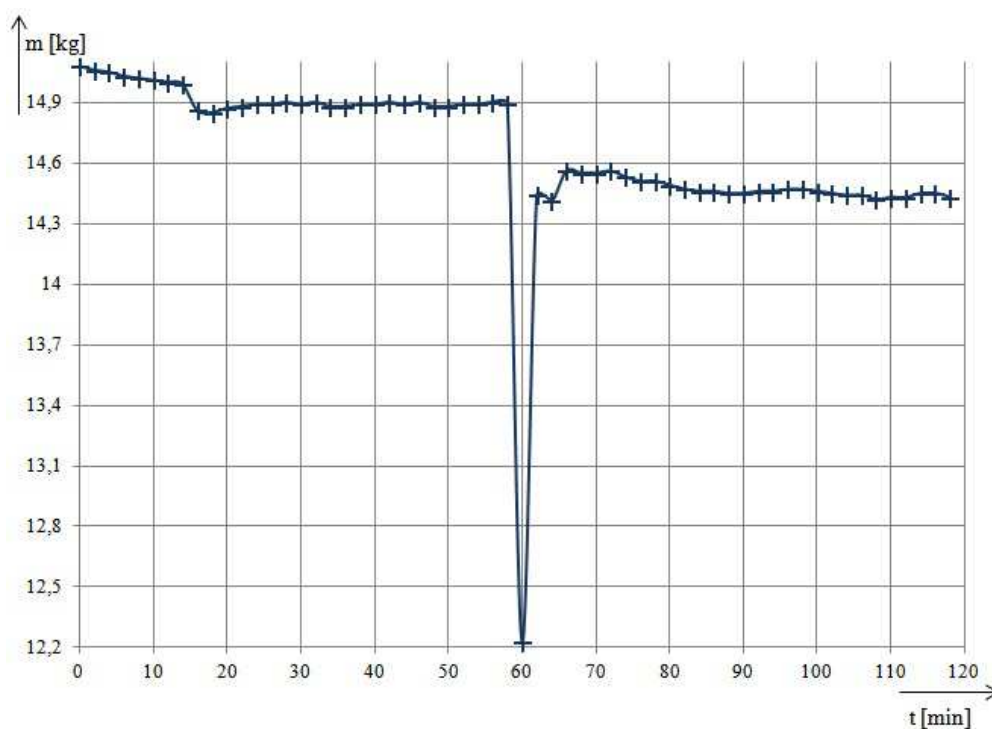
Tab. 3.2: Tabulka cenové kalkulace výrobku

3.5 Praktické měření stability navrženého systému

Test zapojení spočívá v kalibraci váhy, kdy nulová hodnota zatížení je nastavena v prováděcím program. Čidlo bude permanentně zatíženo vrchní částí rámu a částí vlastní váhy. Jako zdroj napájení je použit stabilizovaný zdroj Matrix Model MPS-3003L-3. Sledované veličiny jsou stabilita hmotnosti referenčního závaží $m=14,95$ kg při okolní teplotě $T=22$ °C. Jednotlivé vzorky jsou zasílány ve formě SMS ve dvouminutových intervalech po dobu 2 hodin.

t	m	t	m	t	m	t	m
[min]	[kg]	[min]	[kg]	[min]	[kg]	[min]	[kg]
0	15,08	32	14,9	64	14,41	96	14,47
2	15,06	34	14,88	66	14,56	98	14,47
4	15,05	36	14,88	68	14,55	100	14,46
6	15,03	38	14,89	70	14,55	102	14,45
8	15,02	40	14,89	72	14,56	104	14,44
10	15,01	42	14,9	74	14,53	106	14,44
12	15,00	44	14,89	76	14,51	108	14,42
14	14,99	46	14,9	78	14,51	110	14,43
16	14,86	48	14,88	80	14,49	112	14,43
18	14,85	50	14,88	82	14,47	114	14,45
20	14,87	52	14,89	84	14,46	116	14,45
22	14,88	54	14,89	86	14,46	118	14,43
24	14,89	56	14,90	88	14,45		
26	14,89	58	14,89	90	14,45		
28	14,90	60	12,23	92	14,46		
30	14,89	62	14,44	94	14,46		

Tab. 3.3: Tabulka naměřených hodnot zatížení váhy v čase



Obr. 3.9: Graf závislosti zatížení váhy na čase

Testovaný obvod se v čase $t=0$ s připojil ke zdroji napětí. Z grafu lze vyčíst pokles hmotnosti o 100 g za dobu $t=16$ min. Po této době si hmotnost drží konstantní hodnotu v rozmezí 40g. V čase $t=60$ min došlo k rozpojení napájecí kabelu a znovu připojení k obvodu. Po ustálení napěťové nerovnováhy v obvodu poklesla hmotnost o 400 g.

Z naměřených hodnot lze usuzovat dva problémy vedoucí k nestabilitě obvodu. První stav pozorujeme v pozvolném snižování hmotnosti až do stabilního stavu. Příčiny tohoto jevu lze spatřovat v rušivých jevech v obvodovém zapojení. Změna o 100 g odpovídá hodnotě $2,73 \mu\text{V}$, což je velice nízká hodnota, která klade vysoké nároky na odrušení snímače. Velký zdroj rušení lze spatřovat ve spínaných zdrojích a hlavně v zemní smyčce, která je zapojena se všemi součástkami bez galvanického oddělení, či využití vhodných filtrů.

Druhý nežádoucí stav nastane v případě odpojení napětí od zařízení. Po zapojení se obvod vlivem parazitních jevu dostane do nedefinovaného stavu, který zanechá velkou chybu do výsledné hodnoty. Proto je nutné po odpojení napájení provést kalibraci zařízení.

V době stabilního stavu, bez zásahu do napájení a fyzické manipulaci s obvodem, vykazuje zapojení velmi dobré měřené vlastnosti s tolerancí do 100 g. Pokud se tedy dodrží podmínky prvotní kalibrace.

Proudový odběr bez zatížení v režimu spánku je 27 mA, v pohotovostním režimu 35 mA a v režimu připojování k síti GSM a vysílání SMS zprávy 53 mA. Nejdelší dobu obvod setrvává ve stavu spánku, proto pro spotřebu počítáme s průměrnou hodnotou 30 mA.

Obvod byl také testován při připojení USB portu k PC. Správná hodnota zatížení byla kontrolována v sériovém monitoru programu Arduino 1.6.7. Po připojení dalšího vnějšího zdroje ztělesňující USB port hodnota se hmotnosti zvýšila o 1kg a bylo nutné změnit hodnotu dělicí kroku pro korektní zobrazení hmotnosti různých zatížení a nastavení offsetové hodnoty. V ustáleném stavu chyba měření nabývala hodnoty $\pm 100\text{g}$.

ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo navrhnout systém snímání hmotnosti včelího úlu s dlouhodobou stabilitou. Práce je psána jako komplexní návrh nosného rámu, snímače hmotnosti, elektronického zpracování výstupního signálu a následný telemetrický přenos informace k uživateli. Po pečlivém prostudování problematiky měření hmotnostního zatížení byly vybrány vhodné komponenty a schematicky navrženo elektronické zapojení.

První kapitola pojednává o typech hmotnostních snímačů a jejich vlastnostech, ovlivňující měřenou hodnotu. Jako nejvhodnější senzor byl zvolen odporový tenzometrický snímač v plnomostovém zapojení. Toto zapojení eliminuje chybu závislosti odporu na teplotě. Z internetové nabídky byl vybrán tenzometrický snímač firmy L6G/300kg C3, který svými parametry vyhovuje provozu v podmínkách venkovního použití a umožňuje kombinaci výstupních svorek plnomostové zapojení.

Druhá kapitola objasňuje praktické důvody použití úlových vah v reálném prostředí. Jsou zde prezentovány aktuální nabídky komerčních váhových systémů specializovaných firem. Většina firem nabízí své produkty jako stavebnicový systém, kdy lze dokupovat úlové váhy a zapojit je do jedné elektroniky zpracování nebo zakoupení bezdrátového sběru dat s následným zobrazením na PC.

Třetí kapitola zahrnuje vlastní návrh systému měření úlové váhy, jeho realizace a odzkoušení obvodu v simulovaném provozním stavu. Tenzometrický můstek a A/D převodník je nutné napájet přesným referenčním napětíovým zdrojem. Tím je zajištěna stejná referenční úroveň na obou přípravných. Napětíová úroveň z tenzometrického můstku je přivedena na diferenční vstupy A/D převodníku. Zde může nastat problém s diferenčním zesilovačem, kdy úroveň zesílení je nastavena na maximum a pouzdro převodníku se může zahřívat. Tím může dojít k posunu hodnot a nepřesnostem v měření. A/D převodník komunikuje s mikrokontrolérem přes SPI a s komunikačním modulem prostřednictvím TTL datového toku. zatížení Pro telemetrický přenos dat bylo zvoleno využití sítě GSM, jež pokrývá většinu území ČR. Programové vybavení mikrokontroléru obsahuje zdrojové kódy pro obsluhu A/D převodníku, GSM modulu a algoritmus komunikace s periferiemi a výpočtu výsledné hmotnosti. Informace se pomocí aplikace SMSExport stáhnou do počítače ve formě textového souboru.

Při praktickém měření vykazuje obvod vysokou míru nestability v počátcích měření a při jakémkoliv zdroji rušení například pohybem konektorů a výstupního kabelového připojení. Tato nestabilita degraduje zapojení na přesnost měření ± 500 g. Problematická je také část přerušení zdroje napájení a jeho obnovení. Pokud je však u obvodu v prováděcím programu vhodně nastavena korekce měření podle známého zatížení lze dosáhnout stabilní odchylky měření ± 100 g.

Navrhované zapojení vykazuje značnou chybu měření a nastavení vnitřních parametrů pro dodržení požadované přesnosti vyžaduje značnou dobu testování obvodu a ladění softwarových konstant. Je nutné se zaměřit na odstranění zdroje rušení, způsobené pravděpodobně společným zemnicím vedením a vhodně umístit filtrační členy. V zapojení součástek v nepájivém poli obvod nevykazoval nestabilitu a bylo možné dosáhnout chybovosti do 100g.

Největší část energie odebírá zdroj LM2596s a modul Arduino Nano, konkrétně jejich regulátory napětí. Vzhledem k relativně velké spotřebě, v průměru 30 mA, je nutné uvažovat o připojení k síťovému zdroji napětí popřípadě dobíjet akumulátor prostřednictvím solárních panelů.

V porovnání s komerčně nabízenými produkty stejného typu je pořizovací cena navrhovaného modelu mnohonásobně nižší.

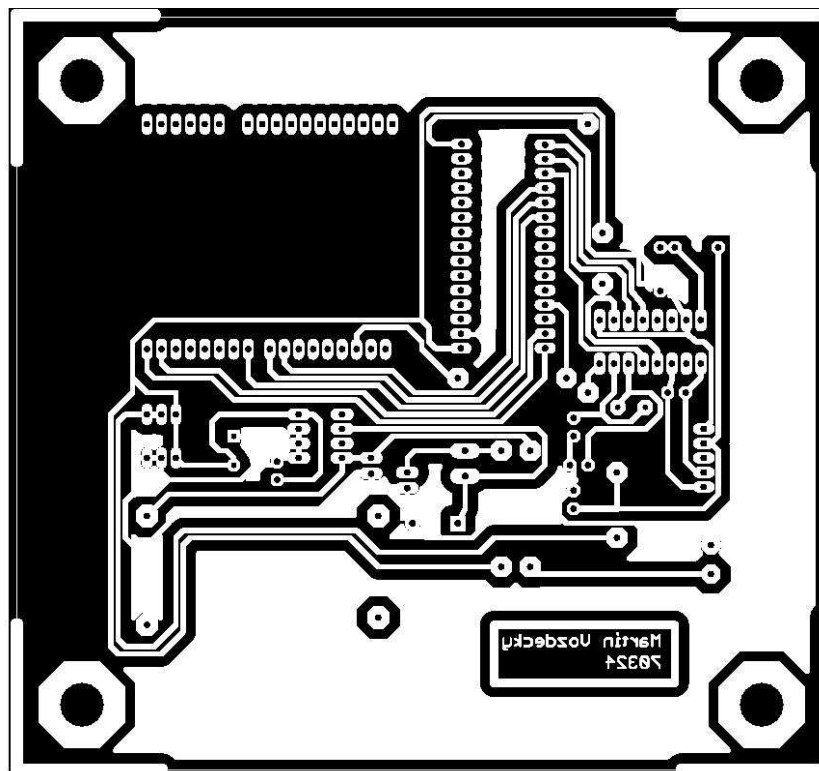
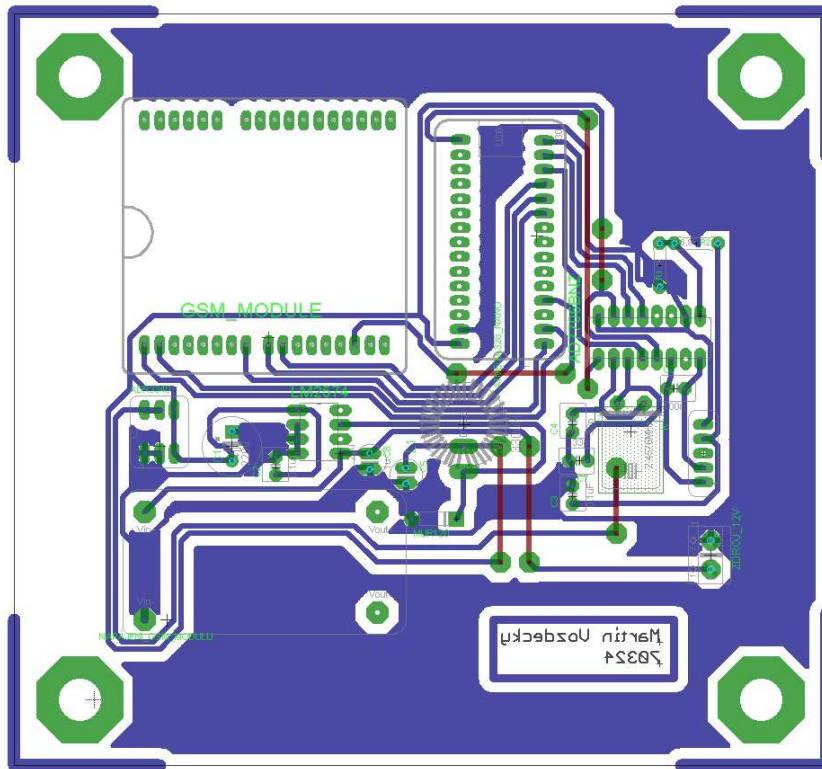
LITERATURA

- [1] ČESKÉ KALIBRAČNÍ SDRUŽENÍ, *Příručka pro uživatele vah s neautomatickou činností*, listopad 2010 [online]. Dostupné na [www:< http://www.cks-brno.cz/index.php/dokumenty/vystupy-z-ukolu/162-piruka-pro-uvatele-vah/file >](http://www.cks-brno.cz/index.php/dokumenty/vystupy-z-ukolu/162-piruka-pro-uvatele-vah/file).
- [2] Antonín Vojáček, Princip elektromagnetické kompenzace síly pro přesné vážení, Odborný článek, Červen 2006 [online]. Dostupné na [www:< http://automatizace.hw.cz/clanek/2006062501 >](http://automatizace.hw.cz/clanek/2006062501).
- [3] Elektrické tlakoměry, Odborný článek. Dostupné na [www:< http://e-automatizace.vsb.cz/ebooks/mmv/tlak/tlak_tlakomery_elektricke.htm#obr.4.27.>](http://e-automatizace.vsb.cz/ebooks/mmv/tlak/tlak_tlakomery_elektricke.htm#obr.4.27).
- [4] Petr Wasgestian, Tenzometry HBM [online], Dostupné na [www:www.hbm.cz](http://www.hbm.cz).
- [5] Tenzometrické snímače TEDEA 1042/100kg C3 [online], VPG Transducers, Dostupné na [www:< http://vishaypg.com.html.>](http://vishaypg.com.html).
- [6] VISHAY PRECISION GROUP, Micro Measurements A VPG Brand, Strain Gages and Instruments, Tech Note TN-505-4
- [7] Vlk Miloš, a spol., *Experimentální mechanika*, Elektronické skriptum. Brno 2003, VUT Brno
- [8] Úlová váha TCM-13 [online], AMES, L6G Dostupné na http://ames.si/eng/cat/products/tcm_13_measurement_station_for_honey_collection_control/1:2 [http://zemiceurope.com/l6g.html.>](http://zemiceurope.com/l6g.html).
- [9] Registrační úlová váha EMMA [online], Apisdigital, Dostupné na [www:< http://apisdigital.cz/sestavy-registracni-ulove-vahy-emma/13-sestava-emma-d-na-dalku.html.>](http://apisdigital.cz/sestavy-registracni-ulove-vahy-emma/13-sestava-emma-d-na-dalku.html).
- [10] Vážící zařízení VILKO 02 [online], ALYA, Dostupné na [www:< http://alya.sk/alya/userfiles/documents/vcely/Vilko_letak_PDF.pdf.>](http://alya.sk/alya/userfiles/documents/vcely/Vilko_letak_PDF.pdf).
- [11] Tenzometrické snímače L6G/300kg C3 [online], ZEMIC corp datasheet. Dostupné na [www:< http://zemiceurope.com/l6g.html.>](http://zemiceurope.com/l6g.html).
- [12] Ing. Karásek Pavel, Ing. Karásek Josef [online], Rentabilita registracního vážení vcelstev, Odborný článek, Dostupné na [www:< http://apisdigital.cz/img/cms/dokumenty/Rentabilita%20registracniho%20vazeni%20vcelstev%20-%20Vcelarstvi%202012_4.pdf.>](http://apisdigital.cz/img/cms/dokumenty/Rentabilita%20registracniho%20vazeni%20vcelstev%20-%20Vcelarstvi%202012_4.pdf).
- [13] Kerry Wong, Knihovna AD7705/7706, Dostupné na [www:< http://kerrywong.com/2011/03/20/ad7705ad7706-library/>](http://kerrywong.com/2011/03/20/ad7705ad7706-library/).

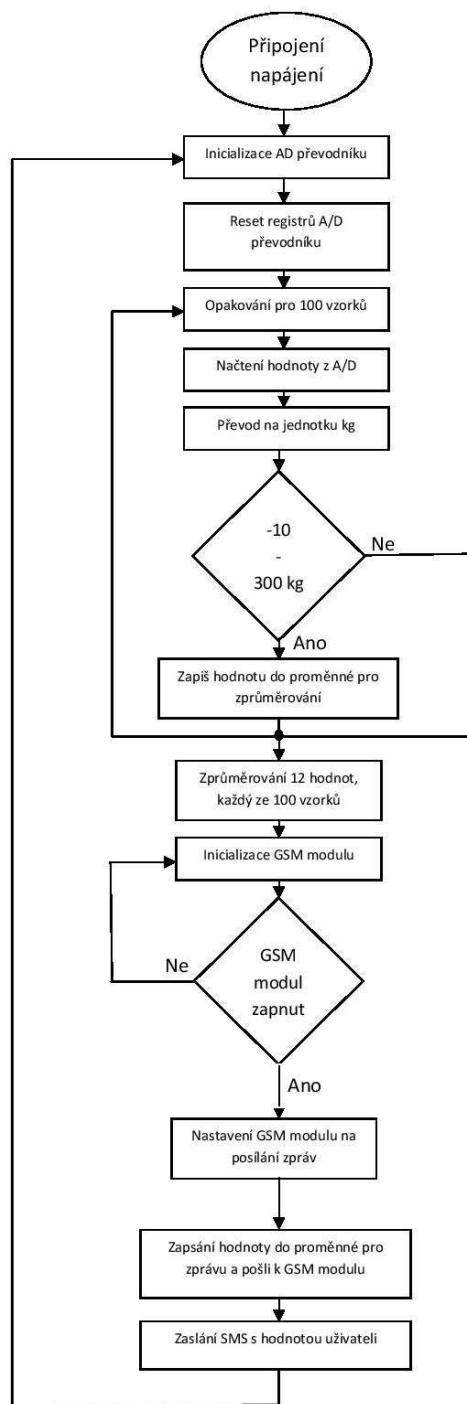
SEZNAM PŘÍLOH

A	Návrh desky plošných spojů	31
B	Vývojový diagram Hlavního programu	32
C	Zdrojový kód a deska plošných spojů	33

A NÁVRH DESKY PLOŠNÝCH SPOJŮ



B VÝVOJOVÝ DIAGRAM HLAVNÍHO PROGRAMU



C ZDROJOVÝ KÓD A DESKA PLOŠNÝCH SPOJŮ

Zdrojové kódy pro ovládání AD7706 a GSM modulu, řízení komunikace po sběrnici, výpočet hmotnosti a návrh DPS jsou součástí přiloženého CD-ROM.