

Víceúčelová úlová váha založená na mikrokontroleru Arduino

Bc. Michal Fuksa



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Michal Fuksa**
Osobní číslo: **A11433**
Studijní program: **N3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Počítačové a komunikační systémy**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Víceúčelová úlová váha založená na mikrokontroleru Arduino**

Téma anglicky: **A Multifunctional Bee-Hive Scale Based on the Arduino Microcontroller**

Zásady pro vypracování:

1. Zpracujte literární rešerši na dané téma.
2. Provedte návrh úlové váhy umožňující sledovat nepřetržitě hmotnost jednoho úlu, současně se sledováním venkovní a vnitřní teploty a vlhkosti v úle.
3. Návrh hardwarově realizujte.
4. Monitoring a ovládání systému realizujte přes webový portál.
5. Naměřená data prezentujte na webovém portálu ve formě interaktivních grafů.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

1. Arduino [online]. [2005] [cit. 2014-01-28]. Dostupné z: <http://arduino.cc/>
2. BARTUŠEK, Karel, Eva GESCHEIDTOVÁ, Radek KUBÁSEK, Jan MIKULKA, Jiří REZ a Miloslav STEINBAUER. Měření v elektrotechnice. 2. přeprac. a dopl. vyd. Brno: VUTUM, 2010, 212 s. ISBN 978-80-214-4160-6.
3. MANN, Burkhard. C pro mikrokontroléry: ANSI-C, kompilátory C, spojovací programy – linkery, práce s ATMELE AVR a MSC-51, příklady programování v jazyce C, nástroje programování, tipy a triky, –. 1. vyd. Praha: BEN – technická literatura, 2003, 279 s. ISBN 80-7300-077-6.
4. PECOLD, Karel. Váhy. 1. vyd. Praha: SNTL, 1956, 278 s.
5. SKALICKÝ, Petr. Přístrojové aplikace mikropočítačů. 1. vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2004, 169 s. ISBN 800103111x.

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Miroslav Matýsek, Ph.D.

Ústav počítačových a komunikačních systémů

Datum zadání diplomové práce:

7. února 2014

Termín odevzdání diplomové práce:

27. května 2014

Ve Zlíně dne 7. února 2014


prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
děkan




prof. Ing. Karel Vlček, CSc.
ředitel ústavu

ABSTRAKT

Práce se zabývá tématem elektronického sledování včelstva, především jeho hmotnosti. Teoretická část se věnuje možnostem měření hmotnosti a systémy pro sledování včelstva dostupnými na trhu. Praktická část se zabývá návrhem a realizací víceúčelové váhy s možností měřit teplotu i vlhkost z připojených čidel a tvorbou webového rozhraní pro vizualizaci naměřených dat.

Klíčová slova: úlová váha, Arduino, monitorování, váha, teplota, vlhkost

ABSTRACT

This master thesis deals with electronic bee monitoring, especially monitoring of weight. Theoretical part describe possibilities of measuring weight and bee monitoring systems available on the market. The practical part deals with design and implementation of multifunctional bee-hive scale with option to measure temperature and humidity from connected sensors and creation of a web interface for visualization of measured data.

Keywords: beehive scale, Arduino, monitoring, weight, temperature, humidity

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu této práce panu Ing. Miroslavu Matýskovi, Ph.D. a především panu Ing. Romanovi Slavíkovi, Ph.D. za cenné rady a odbornou pomoc při řešení této práce.

Dále bych rád poděkoval celé mé rodině za její podporu při mém studiu.

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně

.....
podpis diplomanta

OBSAH

ÚVOD.....	9
I TEORETICKÁ ČÁST.....	10
1 TENZOMETRICKÉ MĚŘENÍ HMOTNOSTI	11
1.1 ROZDĚLENÍ TENZOMETRŮ	11
1.1.1 Kovové tenzometry	11
1.1.2 Polovodičové tenzometry	13
1.2 MŮSTKOVÉ ZAPOJENÍ TENZOMETRŮ	13
1.2.1 Plný můstek	16
1.2.2 Poloviční můstek	17
1.2.3 Čtvrt můstek	18
1.3 VLIV PROVOZNÍCH PODMÍNEK NA VLASTNOSTI TENZOMETRŮ	19
1.3.1 Vlhkost	19
1.3.2 Příčná citlivost.....	19
1.3.3 Teplota.....	20
1.3.4 Tečení.....	21
1.3.5 Hystereze.....	22
1.3.6 Magnetické pole	23
1.4 SENZORY SÍLY A HMOTNOSTI	23
1.4.1 Vetknutý nosník	25
1.4.2 Pružný člen typu S	25
1.4.3 Pružný člen s namáháním ve stříhu.....	26
1.4.4 Přeložený nosník	27
2 ÚLOVÉ VÁHY DOSTUPNÉ NA TRHU.....	28
2.1 ÚLOVÁ VÁHA EMMA	28
2.2 VČELAŘSKÁ VÁHA VILKO	29
2.3 BEE WISE	30
II PRAKTICKÁ ČÁST	31
3 NÁVRH HARDWAROVÉ ČÁSTI.....	32
3.1 ARDUINO.....	32
3.1.1 Arduino Duemilanove	32
3.2 PERIFERIE.....	34
3.2.1 Ethernetové rozhraní	34
3.3 ČIDLA.....	34
3.3.1 Čidlo RHT03	35
3.3.2 Digitální osobní váha	39
4 PROGRAM PRO ARDUINO	41
4.1 INICIALIZACE	43
4.2 PŘEVOD VÝSLEDKU A/D PŘEVODU NA HMOTNOST.....	43
4.2.1 Kalibrace váhy	43
4.3 ODESLÁNÍ DAT	44
4.4 ZMĚNA PERIODY MĚŘENÍ.....	45
5 WEBOVÉ ROZHRANÍ	46

5.1	GOOGLE CHARTS API	46
5.2	DATABÁZE	47
5.2.1	Přístup k databázi	47
5.3	PŘENOS DAT V JSON FORMÁTU	48
5.4	PŘÍJEM DAT	49
5.5	ZMĚNA PERIODY MĚŘENÍ.....	49
5.6	PROHLÍŽENÍ NAMĚŘENÝCH DAT	49
ZÁVĚR		51
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....		52
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....		53
SEZNAM OBRÁZKŮ		54
SEZNAM TABULEK.....		56
SEZNAM PŘÍLOH.....		57

ÚVOD

Význam chovu včel nespočívá pouze v tom, že produkují lidskému zdraví prospěšné látky jako med, pyl, propolis, včelí jed, vosk a mateří kašičku, ale hlavně v opylování rostlin. Ke správnému chovu a ošetřování včelstva je nutné o včelách vědět některé základní informace, které nás povedou k jejich řádnému ošetřování během roku. Pravidelné a časté vážení včelstev poskytuje včelaři spoustu cenných informací o stavu včelstva, jejich zásobách a zdravotním stavu či o průběhu a konci snůšky. Obvykle se používá mechanická váha, která má nevýhodu v tom, že se ke včelám musí dojet, ručně provést vážení a zaznamenat si naměřené hodnoty, což může být časově a někdy i finančně náročné. Vážení se také musí provádět ve stejný čas, protože během jednoho dne v průběhu snůšky se může hmotnost včelstva měnit klidně i o několik kilogramů. Elektronická úlová váha slouží k automatickému zjišťování hmotnostních přírůstků a snůškových poměrů v určitém čase na daném stanovišti. Také umožňuje sledovat další vlastnosti jako například teplotu přímo v úlu. Díky pravidelnému sledování váhy včelstva a vyhodnocování hmotnostních údajů lze získat informace o množství zásob v průběhu celého roku, bez nutnosti otevírání včelstev a jejich vyrušování a také lze lépe naplánovat práce se včelstvem během roku.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 TENZOMETRICKÉ MĚŘENÍ HMOTNOSTI

Tenzometry se používají k měření mechanického napětí pomocí deformačních účinků. Závislost mezi deformací materiálu a působící silou objevil v roce 1676 anglický vědec Robert Hook. Princip odporových tenzometrů spočívá ve změně elektrického odporu vodiče tenzometru v závislosti na množství působící deformační síly. Díky tomu mohou být propojeny např. s počítačem zpracovávajícím naměřené hodnoty.

1.1 Rozdělení tenzometrů

Podle použitého materiálu, konstrukce a způsobu uchycení k měřenému objektu můžeme odporové tenzometry rozdělit do několika kategorií, jak je zobrazeno na obrázku (Obr. 1).



Obr. 1 Rozdělení odporových tenzometrů [5]

Kovové i polovodičové tenzometry vykazují typický odpor v nezátíženém stavu 120, 350, 700 nebo 1000Ω. Velké odpory umožňují potlačit vliv odporu přívodních vodičů, nevýhodou bývají větší rozměry senzoru.

1.1.1 Kovové tenzometry

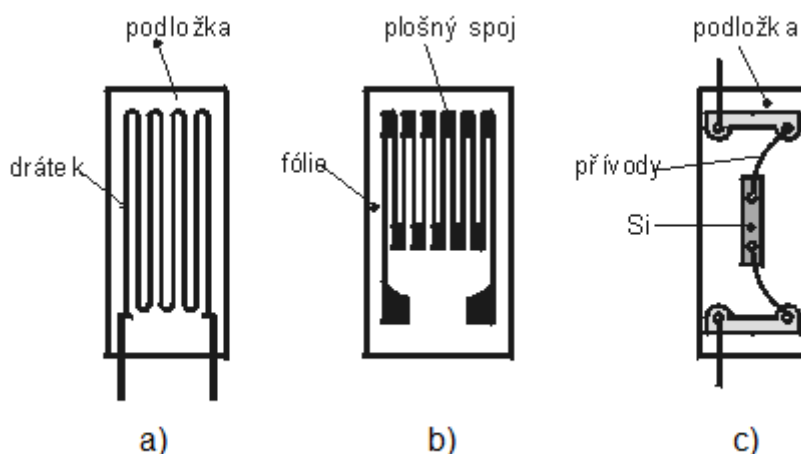
Kovové tenzometry se skládají z vodiče délky l a průřezu S jehož odpor je dán vztahem

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (1)$$

Při působení tahové síly směrem osy vodiče nastává zmenšení průřezu vodiče a zároveň dochází k jeho prodloužení, při působení tlakové síly se naopak délka vodiče zkracuje a průřez se zvětšuje. Tenzometrická konstanta K udává poměr relativní změny odporu vodiče k relativní změně délky.

$$K = \frac{\frac{\Delta R}{R}}{\frac{\Delta l}{l}} \quad (2)$$

Hodnota tenzometrické konstanty závisí na použitém materiálu. Kovové tenzometry mají velmi nízkou hodnotu K , např. wolfram a platina ($K = 4$), konstantan ($K = 2,05$). Polovodičové tenzometry mají hodnotu K mnohem větší ($K = 125$ pro křemíkový tenzometr typu P). Tenzometry s vysokou hodnotou K vykazují větší teplotní závislost. Na obrázku (Obr. 2) jsou zobrazeny příklady běžných kovových tenzometrů [4].



Obr. 2 Typická uspořádání tenzometrických snímačů [4]

a) drátkový, b) fóliový, c) vrstvý

Drátkový tenzometr má měřicí mřížku tvořenou z drátku. Mřížka může být připevněná lepidlem k podložce nebo být volná. Speciální typy těchto tenzometrů umožňují měření i při extrémních teplotách (-270 až 950 °C) a měření při dlouhodobém vysokém dynamickém namáhání. Drátkové tenzometry mají malý rozptyl odporu, malý rozptyl k -faktoru i teplotních součinitelů, což je důležité pro vyloučení rušivých vlivů při současném měření více tenzometry. Mezi jejich nevýhody patří omezená dosažitelná hodnota odporu, malý k -faktor a tečení [9].

Nejčastěji používaným typem jsou lepené fóliové tenzometry, které se vyrábí z tenkých kovových fólií o tloušťce několika μm , umístěných na izolačních podložkách. Tvar měřicí mřížky je vytvořen většinou leptáním. Tenzometr se pomocí speciálního lepidla nalepí na povrch, jehož deformaci měříme. Měřicí obvody je třeba navrhnout s ohledem na velmi malé změny odporu v řádech $\text{m}\Omega$ [4], [9].

Vrstvové tenzometry se používají výhradně pro konstrukci snímačů tlaku. Na pružinovém materiálu je nanášena dielektrická vrstva a na ní je kovová vrstva s obrazcem snímače. Tyto tenzometry vykazují vysokou hodnotu odporu, mohou mít libovolnou konfiguraci měřicí mřížky, mají dobrý přenos deformace pružinového materiálu na měřicí mřížku, dlouhodobou stabilitu a opakovatelnost měření [9].

1.1.2 Polovodičové tenzometry

Polovodičové tenzometry jsou tvořeny páskem polovodiče (křemík, germanium, apod.), který je znečištěn příměsemi jiných materiálů. Při zatížení tenzometru dochází k deformaci krystalické mřížky, což ovlivňuje pohyblivost nosičů náboje v polovodičovém materiálu, čímž dochází ke změnám jeho odporu. Odpor polovodiče s rostoucí deformací roste nebo klesá v závislosti na druhu znečištění [4], [5], [9].

$$K = \frac{\Delta R}{R} = C_1 \cdot \varepsilon + C_2 \cdot \varepsilon^2 \quad (3)$$

kde: ΔR je změna odporu tenzometru způsobená deformací ε

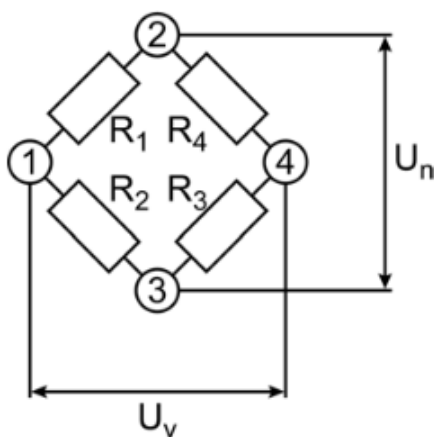
R je odpor nedeformovaného tenzometru

ε je poměrná deformace (m/m)

C_1, C_2 jsou konstanty deformační rovnice, závislé na druhu a množství znečišťujících příměsí

1.2 Můstkové zapojení tenzometrů

Zapojení Wheatstoneova můstku napájeného konstantním napětím je zobrazeno na obrázku (Obr. 3).



Obr. 3 Wheatstoneův můstek [9]

Rezistory R_1, R_2, R_3, R_4 představují tenzometry uspořádané do můstku. Napájecí napětí U_N je přivedeno mezi uzly 2 a 3, výstupní napětí z můstku U_V mezi uzly 1 a 4 je připojeno k přístrojovému operačnímu zesilovači. Výstupní napětí U_V je dáno vztahem

$$U_V = \frac{R_1 R_3 - R_2 R_4}{(R_1 + R_2) \cdot (R_3 + R_4)} \quad (4)$$

Z této rovnice vyplývá, že výstupní napětí U_V bude nulové, za podmínky že:

$$R_1 R_3 = R_2 R_4 \quad (5)$$

nebo

$$R_1 = R_2 = R_3 = R_4 \quad (6)$$

Je-li tato podmínka splněna, můstek se nachází ve vyváženém stavu. Vznikající napěťové změny způsobené změnami hodnot odporů v můstku se vztahují k tomuto klidovému stavu a budou zesíleny k dalšímu zpracování. Změny odporu tenzometru vzniklé jeho délkovým přetvořením nebo změnami teploty způsobí změnu výstupního napětí ΔU_V . Podle rovnice (4) změnu výstupního napětí v závislosti na změnách odporů v můstku vyjadřuje vztah

$$\frac{\Delta U_V}{U_N} = \frac{r}{(1+r)^2} \cdot \left(\frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_3}{R_3} - \frac{\Delta R_4}{R_4} \right) \cdot (1-n) \quad (7)$$

kde

$$r = \frac{R_2}{R_1} = \frac{R_3}{R_4} \quad (8)$$

a nelineární člen n je dán vztahem

$$n = \frac{1}{\frac{\Delta R_1}{R_1} + \frac{\Delta R_4}{R_4} + r \left(\frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_3}{R_3} \right)} \quad (9)$$

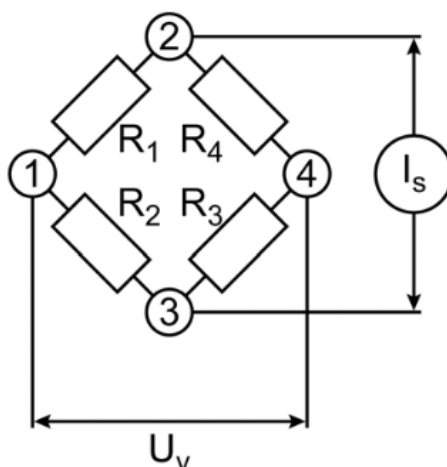
Jestliže jsou hodnoty všech odporů v můstku shodné ($r = 1$), tento vztah lze zredukovat na

$$n = \frac{\sum_{i=1}^4 \frac{\Delta R_i}{R_i}}{\left(\sum_{i=1}^4 \frac{\Delta R_i}{R_i} \right) + 2} \quad (10)$$

Z rovnic (9) a (10) vyplývá, že nelinearita můstku je pro $r = 1$ nulová, pokud $\Delta R_1 = -\Delta R_2$ a $\Delta R_3 = \Delta R_4 = 0$, nebo $\Delta R_3 = -\Delta R_4$ při $\Delta R_1 = \Delta R_2 = 0$, nebo pokud $\Delta R_1 = -\Delta R_2$ a současně $\Delta R_3 = \Delta R_4$.

Z toho vyplývá, že můstek se chová vždy lineárně, pokud použijeme shodné tenzometry na místech odporů R_1 a R_2 nebo R_3 a R_4 , čímž dostaneme v každé dvojici stejné změny odporu, pouze s opačným znaménkem. Můstek bude lineární, i pokud použijeme všechny čtyři tenzometry stejného odporu [4], [9].

Wheatstoneův můstek může být také napájen konstantním zdrojem proudu. Toto zapojení (*Obr. 4*) zvyšuje jeho citlivost a snižuje nelinearitu.



Obr. 4 Wheatstoneův můstek napájený konstantním zdrojem proudu [9]

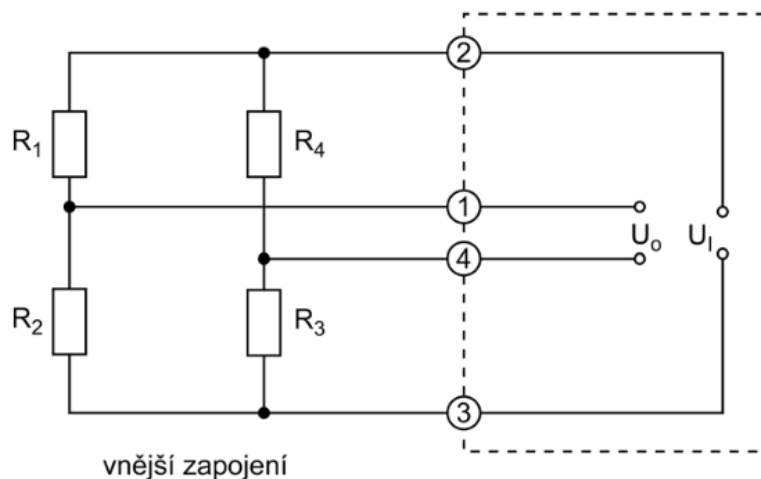
Výstupní napětí je dáno vztahem (11)

$$U_V = \frac{i_s}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4} \cdot (R_1 R_3 + R_2 R_4) \quad (11)$$

Rovnováha můstku je dána stejnou rovnicí (5) jako u můstku napájeného konstantním napětím. Nelinearita zapojení je oproti můstku napájeného konstantním napětím přibližně poloviční.

1.2.1 Plný můstek

Při tomto zapojení tvoří všechna ramena můstku tenzometry se stejným odporem. Toto zapojení se poskytuje nejpřesnější výsledky měření a má výbornou dlouhodobou stabilitu [9].

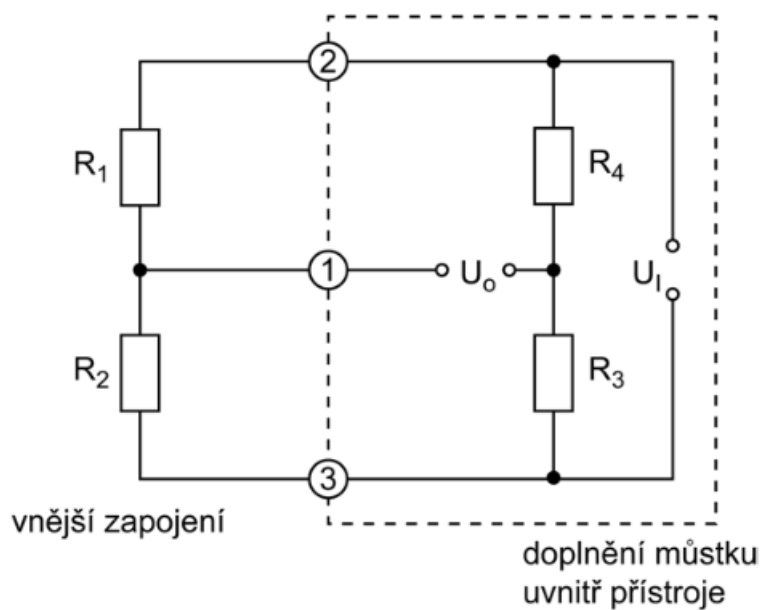


Obr. 5 Zapojení plného můstku [9]

1.2.2 Poloviční můstek

Toto zapojení využívá pouze dva tenzometry umístěné na místě dvou sousedících odporů se společným uzlem na výstupní diagonále můstku (např. R_1 a R_1). Pro doplnění můstku slouží náhradní odpory. Jestliže bude na oba tenzometry působit stejná síly pouze s opačnými znaménky (např. budou tyto tenzometry umístěny shora a zdola na jednom nosníku), dojde k odstranění nelinearity a vlivu teplotních změn. Výstupní napětí bude oproti zapojení plného můstku poloviční.

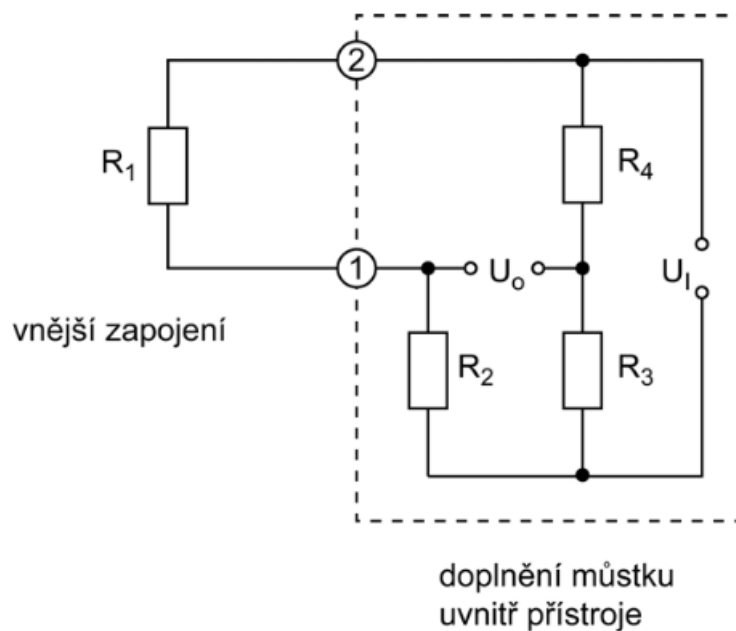
Pokud nelze použít oba tenzometry jako aktivní, tak se jeden z nich používá ke kompenzaci vlivu teploty tím, že je umístěn na místě, kde je vystaven stejným teplotním změnám jako aktivní tenzometr, avšak není vystaven změnám od mechanického zatížení. Nekompenzována však zůstává nelinearita [4], [9].



Obr. 6 Půlmůstkové zapojení [9]

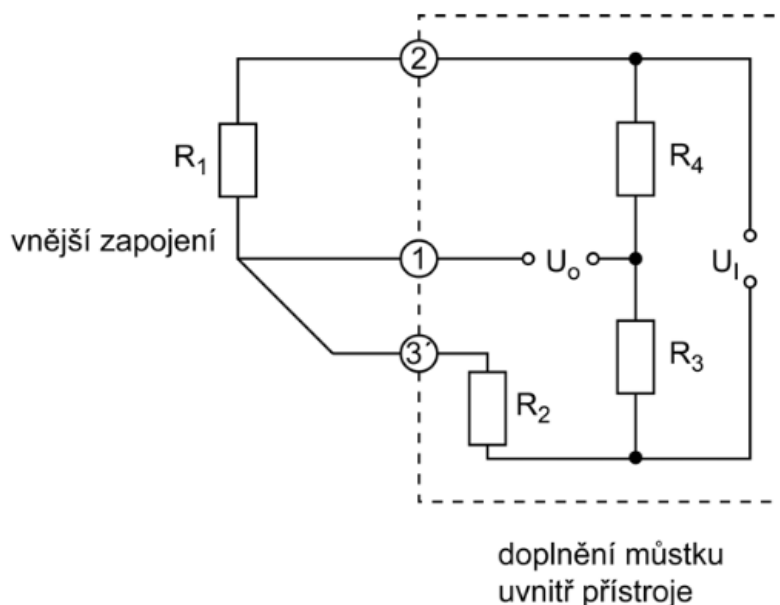
1.2.3 Čtvrt můstek

Využívá pouze jeden tenzometr, zbytek můstku je doplněn náhradními odpory. Nevýhodami tohoto zapojení jsou nelinearita a teplotní nestabilita (teplotní změny odporu tenzometru nejsou nijak kompenzovány) [4].



Obr. 7 Čtvrťmůstkové zapojení [9]

Třívodičové zapojení na obrázku (Obr. 8) kompenzuje teplotní závislost přívodních odporů tenzometru. Přidaný třetí vodič slouží k přívodu napětí z vrcholu můstku k vysokoimpedančnímu vstupu měřicího zesilovače. Nežádoucí vlivy zbylých dvou vodičů se ruší díky tomu, že jsou zapojeny v sousedních ramenech můstku [4], [9].



Obr. 8 Čtvrtmůstkové zapojení – třívodičové [9]

1.3 Vliv provozních podmínek na vlastnosti tenzometrů

Provozní podmínky zahrnují nejen vlivy na tenzometr, ale i vlivy na měřící místo. Přesnost měření ovlivňuje mnoho faktorů, jako např. kvalita připevnění, zahrnující jak pečlivou přípravu měřeného místa, tak i jeho následné efektivní zabezpečení proti vnějším vlivům.

1.3.1 Vlhkost

Pronikání vlhkosti přes izolaci k měřenému místu dochází k snižování izolačního odporu mezi tenzometrem a měřeným místem. Vlhkost také může ovlivnit izolační odpor přívodních kabelů nebo způsobit vzduť a pokrčení překrytí tenzometru, v krajních případech může dojít až k odlepení tenzometru od měřeného místa. K ochraně proti vlhkosti se používají speciální krycí fólie, lepidla nebo včelí vosk [9].

1.3.2 Příčná citlivost

U tenzometru by mělo docházet ke změně odporu a tím i přetvoření pouze v jeho tzv. aktivní délce a jejich poměr by měl vyjadřovat deformační součinitel tenzometru.

Někdy se ale může stát, že dochází k deformaci tenzometru v příčném směru k aktivní délce [9].

Z hlediska měření je potom důležitá příčná citlivost. Ta je dána vztahem

$$q = \frac{k_t}{k_l} \quad (12)$$

kde k_l je deformační součinitel tenzometru ve směru aktivní délky, který je definován vztahem

$$k_l = \frac{\frac{\Delta R}{R_0}}{\varepsilon_l} \quad (13)$$

a k_t je deformační součinitel ve směru příčném na směr aktivní délky, který je definován vztahem

$$k_t = \frac{\frac{\Delta R}{R_0}}{\varepsilon_t} \quad (14)$$

K odstranění vlivu příčné citlivosti se nejčastěji používá zesílení na koncích jednotlivých smyček měřicí mřížky. Tím dojde k soustředění příčného přetvoření do malého prostoru a nedojde tak k ovlivnění celé aktivní části tenzometru.

1.3.3 Teplota

Teplota ovlivňuje nejen vodivost materiálu tenzometru, ale její změna způsobuje i teplotní roztažnost tenzometru. Nejčastějším způsobem kompenzace vlivu teploty je vhodné spojení více tenzometrů do můstku. Také napájecí napětí musí být dostatečně malé, aby proud tekoucí tenzometrem z vyhodnocovacích obvodů byl dostatečně malý, aby tenzometr zahříval jen zanedbatelně.

Odporovou odezvu tenzometru způsobenou změnou teploty lze vyjádřit jako součet změn odporu v důsledku rozdílných teplotních roztažností mřížky tenzometru a zkoušeného materiálu a změny odporu mřížky v důsledku jejího ohřátí [5],[9].

$$\frac{\Delta R}{R} = k(\alpha_S - \alpha_G) \cdot \Delta T + \beta_G \cdot \Delta T = k \cdot \varepsilon_Z \quad (15)$$

kde: k je deformační součinitel

α_S je teplotní součinitel délkové roztažnosti zkoušeného materiálu

α_G je teplotní součinitel délkové roztažnosti materiálu mřížky

ΔT je změna teploty

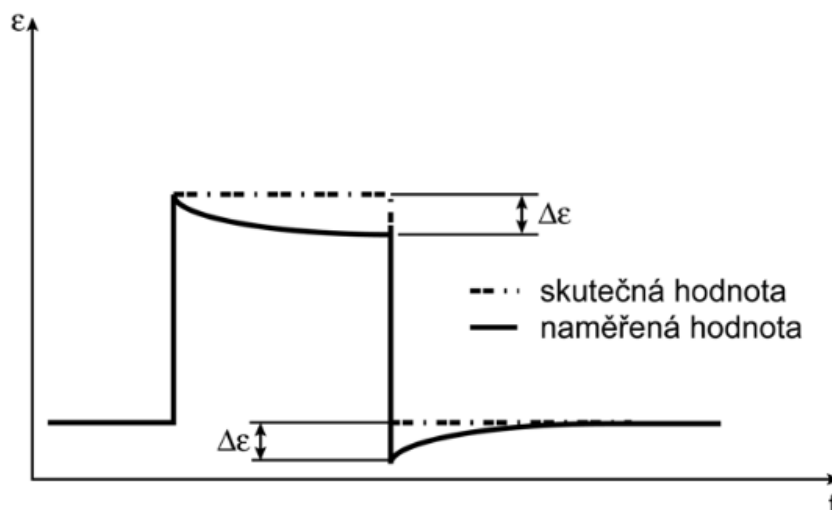
β_G je teplotní součinitel elektrického odporu materiálu mřížky

Zdánlivá deformace ε_Z vyvolaná změnou teploty je dána vztahem

$$\varepsilon_Z = \left[(\alpha_S - \alpha_G) + \frac{\beta_G}{k} \right] \cdot \Delta T = \left(\frac{\beta_G}{k} - \alpha_G \right) \cdot \Delta T + \alpha_S \cdot \Delta T \quad (16)$$

1.3.4 Tečení

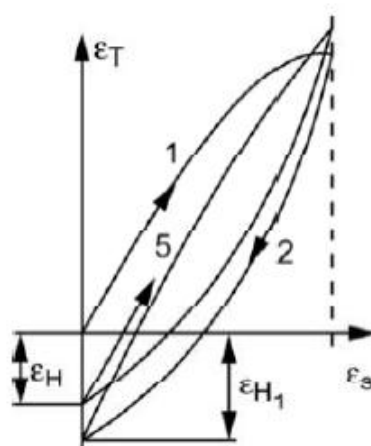
Efekt tečení (někdy též označovaného anglickým názvem creep) se projevuje v případě konstantního statického zatížení, kdy po čase dochází k poklesu měřené veličiny. Tento efekt je způsoben materiálovými vlastnostmi vrstev materiálů, pomocí kterých je přetvoření přenášeno k měřicí mřížce tenzometru. Metody jak kompenzovat tečení jsou prakticky dvě. První metodou je použití tenzometrů, které jsou konstrukčně uspořádány tak, aby se u nich tečení nevyskytovalo, druhou metodou je využití elastického „after“ efektu, který má stejný průběh jako tečení, ale je přesně opačný. V praxi je však použití druhé metody dosti obtížné [9].



Obr. 9 Pokles měřené veličiny vlivem tečení [9]

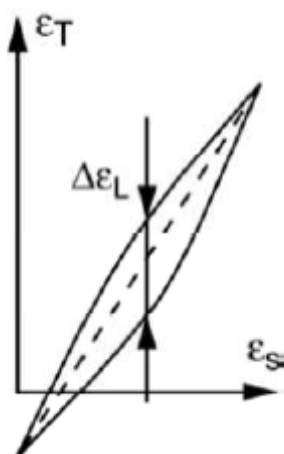
1.3.5 Hystereze

Hystereze u tenzometrů udává rozdíl mezi hodnotou odporu při vzrůstu a následném poklesu přetvoření na původní úroveň přetvoření. Velikost hystereze je závislá nejen na samotném tenzometru, ale také na materiálu, na kterém je tenzometr nalepen a na použitém lepidle. Hystereze samotného tenzometru je obvykle zanedbatelně malá a při pečlivém nalepení tenzometru je obvyklá hodnota hystereze v rozmezí 0,25 – 0,5% měřené deformace [9].



Obr. 10 Křivka hystereze tenzometru [9]

I po několikanásobném zatížení tenzometru není změna odporu v závislosti na deformaci lineární. Maximální odchylka $\Delta\epsilon_L$ bývá však velmi malá, relativní chyba bývá menší než 0,1%.



Obr. 11 Maximální odchylka $\Delta\epsilon_L$ po opakovaném zatížení [9]

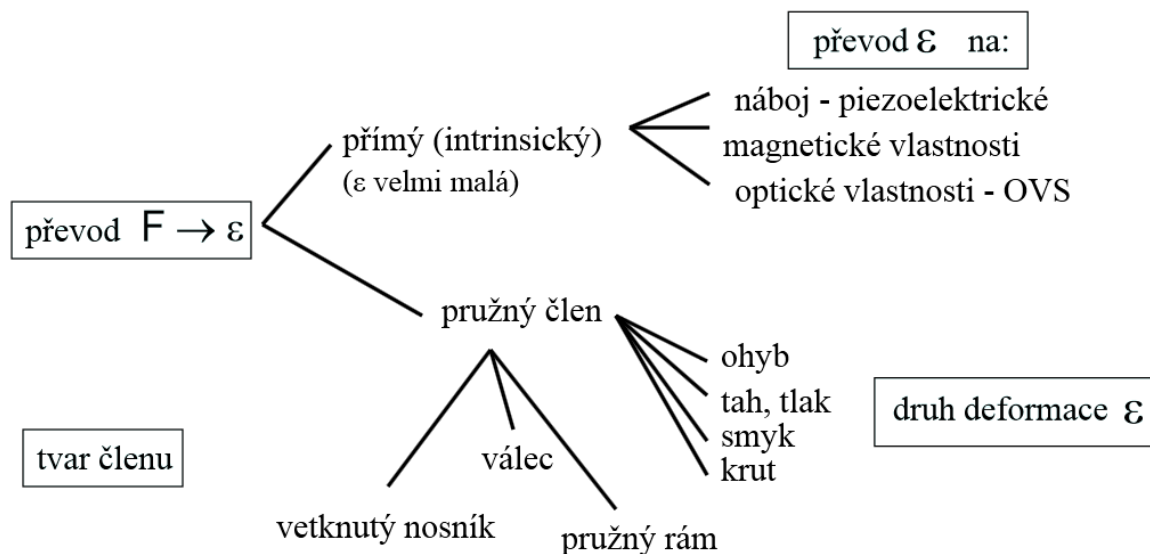
1.3.6 Magnetické pole

Jestliže je feromagnetický materiál vystaven působení magnetického pole, dochází díky magnetostrickci ke geometrickým změnám tohoto materiálu, které jsou přenášeny i na aplikovaný tenzometr. Změny jeho rozměrů vyvolají vznik zdánlivé deformace.

U feromagnetických materiálů dochází také k magnetorezistivitě, kdy působením magnetického pole dochází ke změnám elektrických vlastností samotného materiálu z kterého je tenzometr vyroben. Většina dnešních tenzometrů je vyráběna ze slitiny Cu-Ni, která je na ten jev málo citlivá. Proměnné magnetické pole také může indukovat elektrické napětí v mřížce tenzometru a jeho přívodech, které zkreslí napětí související s měřenou veličinou. Ochranou proti těmto jevům je vhodné stínění měřicího obvodu a použití neinduktivních snímačů [9].

1.4 Senzory síly a hmotnosti

Jejich princip spočívá v převodu síly na deformaci a fyzikální účinky této deformace. Z hlediska principu dělíme senzory síly do následujících kategorií.



Obr. 12 Rozdělení senzorů síly [5]

Pružné členy slouží k převodu deformací způsobených působící silou na tyto členy na hodnoty snadno měřitelné senzory mechanického napětí, téměř výhradně odporovými tenzometry. Jelikož se jedná o první element převodního řetězce síla – elektrická měronosná veličina, je důležité, aby zde nevznikaly chyby, jelikož je téměř nemožné je později korigovat.

Materiál použitý k výrobě pružného členu musí mít dobrou teplotní vodivost, minimální teplotní roztažnost a teplotní koeficient Youngova modulu pružnosti. Také musí mít malou hysterezi, homogenní strukturu, malé relaxační jevy (účinky tečení) a odolnost vůči korozi. Nejčastěji se k výrobě pružných členů používá pružinová antikorozní ocel. Tvar pružných členů musí být zvolen takový, aby odpovídal těmto podmínkám [5]:

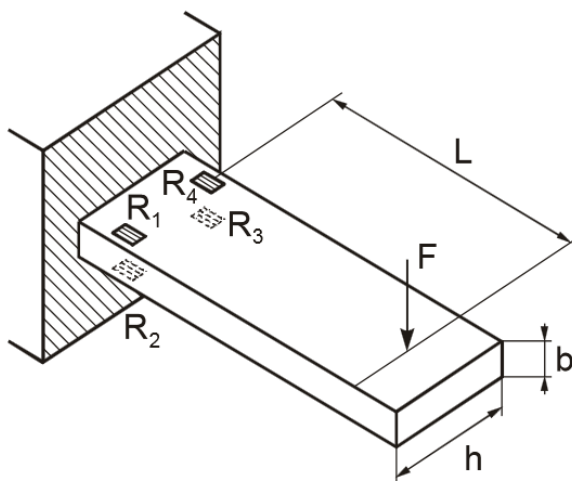
- Směrovost – pružný člen musí být maximálně poddajný ve směru měřené síly oproti směru rušivých sil
- Převod měřené síly na deformace opačných znamének – aby bylo možné použít zapojení 4 tenzometrů
- Transformace deformace v rozsahu linearity použitých tenzometrů a ochrana proti jejich přetížení – nejvyšší hodnota deformace by neměla přesahovat 10 až 30% meze pružnosti celého materiálu

1.4.1 Vetknutý nosník

Vetknutý nosník je nejčastějším typem pružného členu, používá se k měření nejmenších sil, typicky do hodnot desítek kN. Deformace ε způsobená silou F ve vzdálenosti L od středu nalepeného tenzometru je určena ohybovým momentem M_0 a průřezovým modulem ohybu W_0 a roste lineárně od místa působení síly k místu vetknutí nosníku [5], [9].

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{M_0}{W_0 E} = \frac{F \cdot L}{W_0 E} \quad (17)$$

$$W_0 = \frac{hb^2}{6} \quad (18)$$

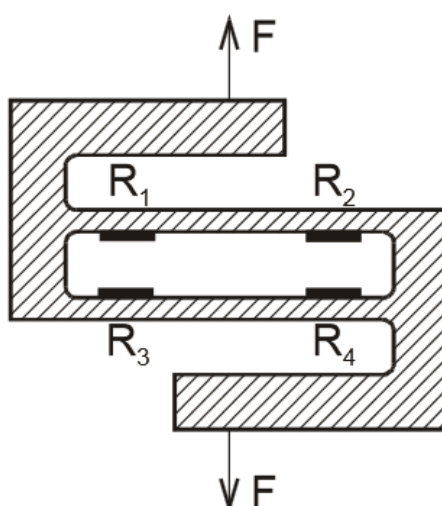


Obr. 13 Vetknutý nosník [5]

Místo působení síly musí být zafixováno. Přesnost měření je ovlivněna posouváním efektivní vzdálenosti L při průhybu nosníku.

1.4.2 Pružný člen typu S

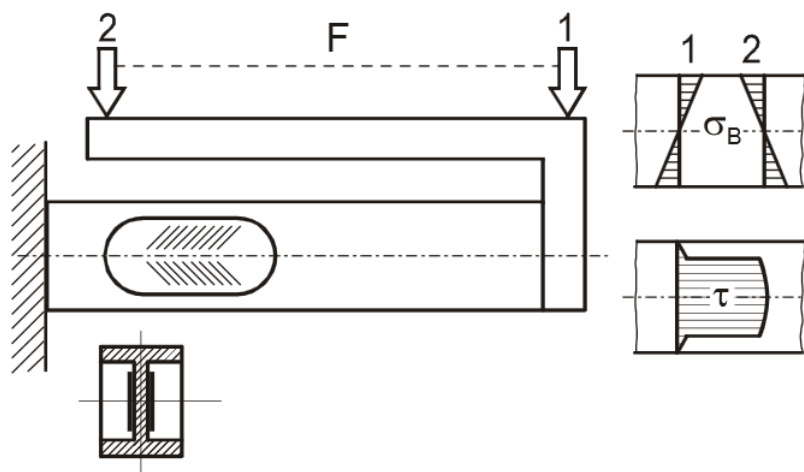
Pro měření velkých sil (do 50 kN) se používá pružný člen typu S. Uvnitř je umístěna čtveřice fóliových tenzometrů, které jsou zde hermeticky uzavřeny a jsou tak chráněny před okolními vlivy. Doprostřed ramen tvaru písmene S se aplikuje tlaková nebo tahová síla, kterou měříme.



Obr. 14 Pružný člen typu S [5]

1.4.3 Pružný člen s namáháním ve střihu

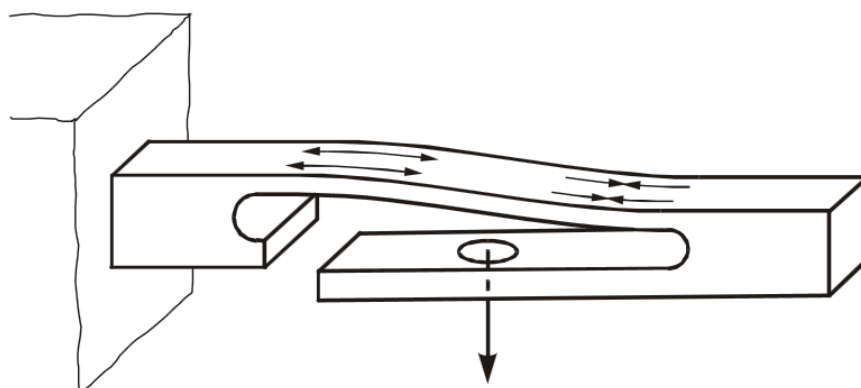
Často využívanou možností je měření smykového napětí τ , které má maximum v neutrální ose nosníku (ohybové napětí σ_B je zde nulové) a je nezávislé na místě působení síly. Tenzometry umístěné poblíž neutrální osy nosníku měří ve skutečnosti superpozici ohybového a smykového napětí [5], [9].



Obr. 15 Pružný člen s namáháním ve střihu [5]

1.4.4 Přeložený nosník

Přeložený nosník je ohybový pružný člen, který se používá pro senzory hmotnosti. Při jeho zatížení vznikají deformace opačného znaménka na stejné (vrchní) straně nosníku, což umožňuje nalepení fóliových tenzometrů pouze na jednu stranu nosníku, což zjednodušuje sériovou výrobu. Také je výhodné, že má nulovou geometrickou nelinearitu při vycentrované zátěži a že posouváním místa působení zátěže lze do jisté míry kompenzovat nelinearity dalších členů měřicího řetězce [5].



Obr. 16 Přeložený nosník [5]

2 ÚLOVÉ VÁHY DOSTUPNÉ NA TRHU

2.1 Úlová váha EMMA

Úlová váha EMMA je stavebnice od českého výrobce Apis Digital, skládající se z několika modulů. Uživatel si může vybrat již předdefinovanou sestavu nebo si složit vlastní, která bude nejvíce vyhovovat jeho potřebám.

Elektronická úlová váha se vkládá pod úl a slouží k dlouhodobému snímání jeho hmotnosti a teploty okolí. Připojuje se do některé ze sestav úlové váhy EMMA. Na každém stanovišti může být k 1 společnému záznamníku připojeno současně až 31 těchto vah. K propojení mezi všemi součástmi úlové váhy se používá propojovací kabel ze stíněné dvojlinky s konektory JACK 3,5mm. Všechny moduly váhy komunikují prostřednictvím sběrnice. Každý prvek (váha, záznamník, ovladač, komunikátor) má své vlastní (nastavitelné) identifikační číslo, díky čemuž lze propojit všechny prvky současně a přitom pracovat z jednoho místa s tím prvkem, jehož číslo je právě zvoleno. Nový prvek se připojuje k nejbližšímu již připojenému prvku do jeho volného konektoru (pokud ho má), anebo lze použít běžné rozdvojky. Kterýkoliv prvek lze připojit v jakémkoliv místě, třeba až na konci 500m kabelu, což je maximální propojitelná délka, daná technickým omezením (kapacitou) kabelů.



Obr. 17 Úlová váha EMMA [2]

Záznamník slouží pro automatický záznam dat z připojených vah. Funkčně je shodný se záznamníkem, obsaženým v "Ovladači se záznamníkem" nebo "Komunikátoru se záznamníkem". Nemá žádná ovládací tlačítka ani LCD zobrazovač a je osazen v pouzdře, odolném proti vzdušné vlhkosti. Veškeré jeho ovládání a komunikace s ním se

odehrává přes připojovací kabel. Je proto vhodný pro dlouhodobé umístění i do méně přístupných prostorů, např. přímo do rámu některé z připojených vah (kde je s tímto umístěním počítáno), anebo třeba do prázdného nástavku úlu či kamkoliv jinam v dosahu připojovacího kabelu (do 500 m). Určen je pro celoroční provoz na jednu 9V alkalickou baterii [2].

Ovladač se záznamníkem je malý přenosný přístroj s LCD zobrazovačem a ovládacími tlačítky. Je určen pro ruční čtení i automatický záznam hodnot z připojených vah a prohlížení zaznamenaných dat. Může být také použit pro ruční "přenášení" dat z více záznamníků (na dalších stanovištích) ke vzdálenému počítači. Jeho prostřednictvím může uživatel měnit periodu automatického záznamu dat z váhy [2].

Komunikátor se záznamníkem slouží k dálkovému, bezdrátovému přenosu naměřených dat z připojených vah na vzdálený počítač pomocí GSM sítě. Dále v sobě obsahuje nezávislý záznamník, který je funkčně zcela shodný se záznamníkem v ovladači nebo samostatným záznamníkem. Napájen je z malé 12 V akumulátorové baterie a na jedno nabití vydrží až jeden rok, v závislosti na síle GSM signálu v místě jeho provozu a kapacitě baterie, kterou uživatel zvolí. Ke komunikaci využívá výhradně SMS zpráv [2].

Nejlevnější variantu této váhy obsahující pouze samotnou váhu a ovladač se záznamníkem naměřených dat lze pořídit od 10 500,-Kč. Nejdražší variantou je sestava určená pro přenos naměřených dat na dálku pomocí SMS zpráv. Tato varianta vyjde na 17 000,-Kč. Výsledná cena se však může ještě více vyšplhat, pokud si uživatel vybere ještě další moduly.

2.2 Včelařská váha Vilko

Jedná se o Slovenský výrobek firmy Alya. K přenosu dat využívá mobilních datových přenosů GSM. Komunikace a nastavení váhy se provádí přes SMS zprávy. Stav zařízení lze sledovat pomocí SMS zpráv nebo přes Internet na informační webové stránce. O napájení celého zařízení se stará dobíjecí akumulátor, k němuž je možné připojit solární panel. Naměřená data mohou být přenášena pomocí SMS zpráv nebo přes Internet. Uživatel může nastavit intervaly měření a ukládání naměřených údajů, čas posílání informačních SMS zpráv a podmínky alarmů.

Mezi vlastnosti tohoto zařízení patří měření hmotnosti s rozlišením 0,1 kg a maximální zatížitelnosti 200 kg, měření teploty, pohybu váhy (to může sloužit jako alarm při pokusu o odcizení), měření stavu akumulátoru a obsluhu alarmových stavů. Dále je možné měření rozšířit o měření vnější teploty a vlhkosti [1].

2.3 Bee Wise

Jedná se o profesionální vážící zařízení francouzského původu navržené pro amatéry i profesionály. K měření hmotnosti využívá 4 tenzometrické snímače propojené s mikrokontrolerem Motorola. Výrobce udává přesnost měření hmotnosti je 0,2 až 0,5 kg s rozlišením 100 g. K odesílání dat slouží GSM/CDMA modul.

K hlavní jednotce lze připojit kromě hlavní váhy až 3 další váhy. Výhodou je, že i data z ostatních vah lze odeslat najednou, pouze v jediné SMS. Zařízení si ukládá naměřenou váhu dvakrát denně ve stejný čas a dokáže si uložit naměřená data z posledních 64 měření, což stačí na měsíc měření. Zařízení je napájeno z baterie, která ho udrží v provozu minimálně 45 dní. Pokud by uživateli toto nestačilo, lze dokoupit i solární panel [7].

II. PRAKTICKÁ ČÁST

3 NÁVRH HARDWAROVÉ ČÁSTI

Cílem praktické části této práce je navrhnout a sestavit víceúčelovou úlovou váhu, která bude mít tyto vlastnosti:

- Váha bude využívat Arduino.
- Měření teploty s přesností alespoň 0,5 °C.
- Měření vlhkosti.
- Měření hmotnosti s přesností alespoň 0,5 kg.
- Odesílání měřených dat skrze Ethernet.
- Pro zobrazení naměřených dat bude použito webové rozhraní.
- Možnost vzdáleně měnit periodu měření.

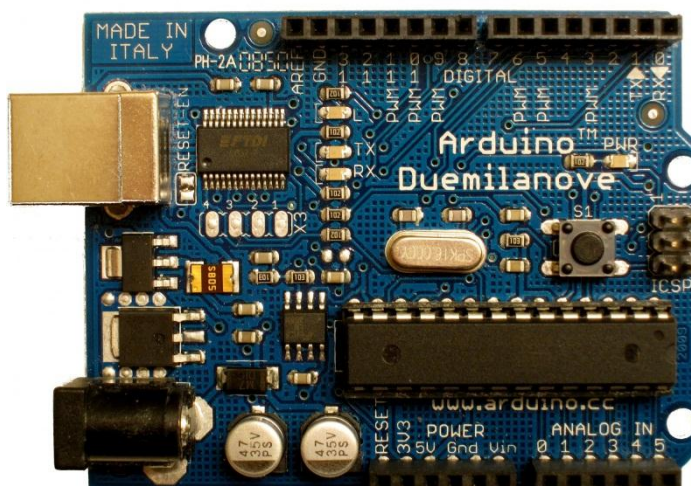
3.1 Arduino

Arduino je open-source platforma skládající se z vývojové desky s mikrokontrolerem od firmy Atmel a vývojového prostředí, které vychází z prostředí Wiring a Processing. Arduino lze použít pro vývoj interaktivních zařízení se vstupy v podobě různých senzorů a přepínačů a výstupy v podobě LED, motorků a dalších objektů.

Desku s Arduinem je možné koupit, nebo si postavit vlastní podle veřejně dostupného schéma a dále je možné si ji upravit podle vlastních potřeb. Potřebný software lze stáhnout zdarma.

3.1.1 Arduino Duemilanove

Praktická část této práce byla sestavena na základě vývojové desky Arduino Duemilanove s mikrokontrolerem ATmega328. K napájení byl použit externí zdroj poskytující napětí 12V.



Obr. 18 Arduino Duemilanove

Jedná se o vývojovou desku založenou na mikrokontroleru ATmega168 nebo ATmega328. Má 14 digitálních vstupních/výstupních pinů (z toho jich lze 6 použít jako PWM výstup), 6 analogových vstupů, 16 MHz krystalový oscilátor, USB rozhraní, napájecí konektor, ICSP konektor a resetovací tlačítko. K PC se připojuje pomocí USB kabelu a po nainstalování ovladačů lze ihned začít programovat [3].

Tab. 1 Parametry Arduina Duemilanove [3]

Mikrokontroler	ATmega168/ATmega328
Provozní napětí	5 V
Vstupní napětí (doporučené)	7 – 12 V
Vstupní napětí (maximum)	6 – 20 V
Digitální vstupní/výstupní piny	14
Analogové vstupní piny	6 (rozlišení 10 bit)
DC proud na pin	40 mA
DC proud 3,3V pinu	50 mA
Flash paměť	16 kB (ATmega168) nebo 32 kB (ATmega328)
SRAM	1 kB (ATmega168) nebo 2 kB (ATmega328)
EEPROM	512 B (ATmega168) nebo 1 kB (ATmega328)
Frekvence krystalu	16 MHz

V současnosti se již Arduino Duemilanove nevyrábí, jeho nástupcem je Arduino Uno, které používá mikrokontroler ATmega328 a až na drobné detaily je stejné jako verze Duemilanove.

3.2 Periferie

Periferiím pro Arduino se říká štíty (shields). Periferie slouží k rozšíření funkcí Arduina např. o Wi-Fi, čtečku paměťových karet, Ethernet rozhraní atd. Jsou to desky, které mají stejné rozložení konektorů jako Arduino, podobnou velikost a připojují se na jeho sběrnice. Těchto štítů lze připojit i více najednou. K Arduinu se připojují nasazením konektorů štítu do konektorů Arduina.

3.2.1 Ethernetové rozhraní

Jelikož Arduino neobsahuje Ethernetové rozhraní, tak aby bylo možné odesílat naměřená data na vzdálený server, bylo nutné k Arduinu připojit Ethernetový štít.

Ethernetový štít slouží k připojení Arduina k internetu pomocí klasického síťového kabelu s RJ45 koncovkou. Je založen na Ethernet čipu Wiznet W5100, který poskytuje síťový IP stack pro TCP (Transmission Control Protocol) a UDP (User Datagram Protocol) a podporuje až čtyři souběžné připojení. Ethernetový štít také obsahuje slot pro paměťovou kartu mikro SD, na kterou lze ukládat nebo z ní číst data. Komunikace s Arduinem je realizována SPI (Serial Peripheral Interface) sběrnici, která je sdílená pro Ethernetovou část i SD část. V jeden okamžik lze tedy komunikovat pouze s jedním zařízením [3].

Vlastnosti:

- Napájecí napětí 5V (dodáváno s desky Arduina).
- Rychlost připojení Ethernet: 10/100 Mb/s.
- Připojení s Arduinem pomocí sběrnice SPI.

3.3 Čidla

K měření teploty a vlhkosti bylo nutné vybrat čidla, která budou odpovídat požadované přesnosti měření. Ta byla stanovena na hodnotu 0,5 °C pro teplotu, pro vlhkost nebyla nijak definována.

Vzhledem k tomu, že na trhu není velký výběr mezi čidly vlhkosti, případně je jejich cena vysoká, bylo rozhodnuto použít čidlo, které má v sobě integrováno měření teploty i vlhkosti. Na našem trhu dostupné varianty jsou zobrazeny v tabulce (Tab. 2).

Tab. 2 Porovnání dostupných čidel teploty

Čidlo	DS18B20	SHT11	RHT03 (DHT22)	DHT11
Přesnost měření teploty	0,5 °C	0,4 °C	0,5 °C	2 °C
Měření vlhkosti	ne	ano	ano	ano
Přesnost měření vlhkosti	-	3% RH	2% RH	5% RH
Napájecí napětí	3 – 5,5 V	2,4 – 5,5 V	3,3- 6 V	3,3 – 5 V
Cena	62,-Kč	487,-Kč	197,-Kč	95,-Kč

S ohledem na cenu a požadovanou přesnost bylo nakonec rozhodnuto použít k měření čidlo RHT03.

3.3.1 Čidlo RHT03

Je jednoduché levné čidlo vlhkosti a teploty. K měření vlhkosti využívá kapacitní snímač a k měření teploty termistor. Mezi jeho výhody mimo jiné patří malá velikost, nízká spotřeba a schopnost komunikovat až do vzdálenosti 100 metrů. Senzor je již z výroby kalibrován.

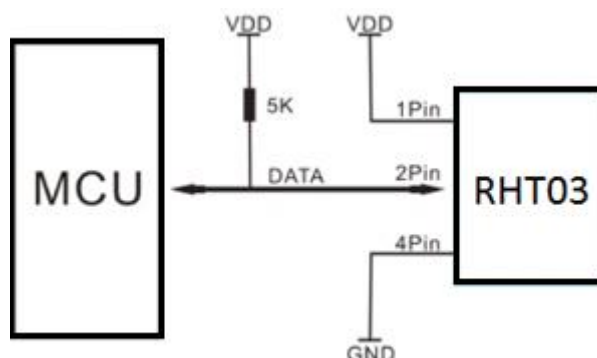


Obr. 19 Čidlo RHT03[6]

Tab. 3 Parametry čidla RHT03 [6]

Vstupní napětí	stejnoseměrné 3,3 – 6 V
Rozsah měření vlhkosti	0 – 100% RH
Rozsah měření teploty	-40 – 80 °C
Přesnost měření	+/- 2 – 5% RH, +/- 0,5 °C
Rozlišení	0,1% RH, 0,1 °C
Vzorkovací frekvence	0,5 Hz

Čidlo má čtyři piny, z nichž dva slouží pro napájení a jeden pro komunikaci s mikrokotrolem. Jeden pin se nevyužívá. Pin číslo 2 se připojuje k digitálnímu vstupu Arduina a paralelně k němu je nutné připojit pull-up rezistor o hodnotě alespoň 5 -10 k Ω vedoucí z kladného pólu napájecího napětí.



Obr. 20 Schéma propojení čidla RHT03 s MCU

Čidlo RHT03 komunikuje s Arduinem pomocí sběrnice MaxDetect 1-Wire Bus. Ta se liší od běžné sběrnice 1-Wire bus a není s ní tedy kompatibilní. Data jsou odesílána ve 40 bitových celcích obsahujících údaje o naměřené vlhkosti, teplotě a kontrolním součtu dat.

Tab. 4 Struktura odesílaných dat z RHT03 [6]

DATA	vlhkost		teplota		kontrolní součet
	celá část	desetinná část	celá část	desetinná část	
40b	8 bitů	8 bitů	8 bitů	8 bitů	8 bitů

Příklad komunikace:

MCU obdržel 40 bitů dat od RHT03.

Tab. 5 Příklad odeslaných dat z RHT03

40b	0000 0010 1000 1100	0000 0001 0101 1111	1110 1110
data	vlhkost	teplota	kontrolní součet

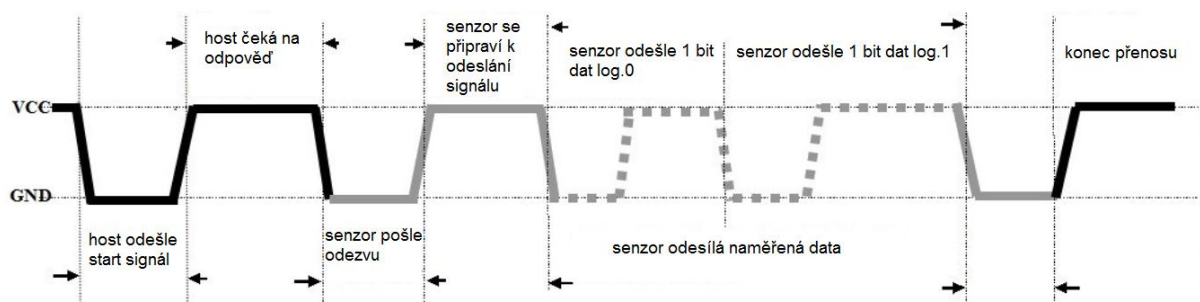
kontrolní součet = 0000 0010+1000 1100+0000 0001+0101 1111 = 1110 1110

vlhkost = (0000 0010 1000 1100)/10 = 65.2%RH

teplota = (0000 0001 0101 1111)/10 = 35.1°C

Pokud nejvyšší bit udávající teplotu má hodnotu 1, znamená to, že teplota má hodnotu menší než 0°C.

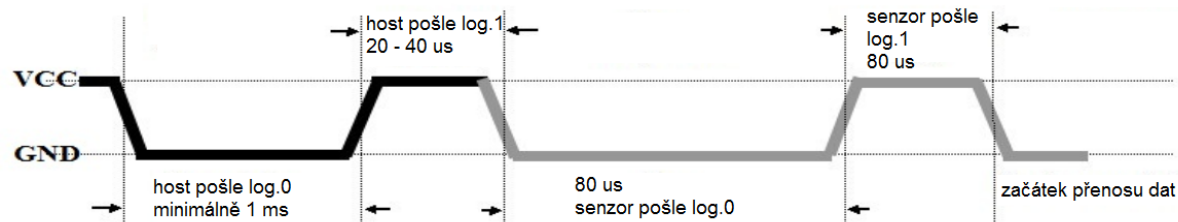
Když mikrokontroler (dále jen MCU) odešle start signál, RHT03 se přepne z režimu spánku do aktivního režimu. Až MCU ukončí odesílání startovacího signálu, RHT03 odešle odezvu ve formě 40 bitů dat, která udávají aktuální vlhkost a teplotu. Bez odeslání startovacího signálu z MCU, RHT03 nebude odpovídat na žádný jiný signál z MCU. RHT03 se přepne znovu do režimu spánku po odeslání dat, pokud znovu neobdrží start signál od MCU. Na obrázku (Obr. 21) je znázorněna komunikace MCU s RHT03. Celý proces musí trvat déle než 2 sekundy.



Obr. 21 Komunikace MCU s čidlem RHT03 [6]

Krok 1. MCU pošle start signál do RHT03 a RHT03 odešle zpět odezvu.

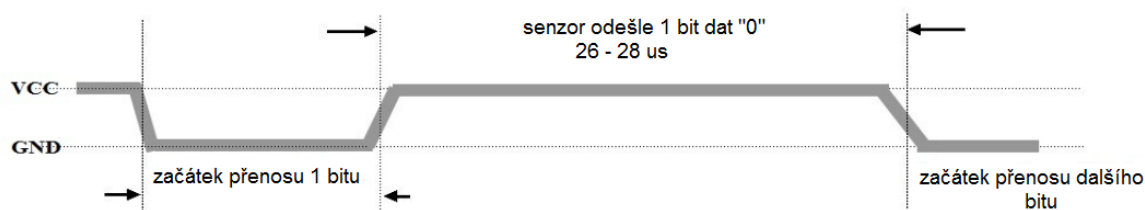
Datová sběrnice je ve stavu logické 1. Když má začít komunikace mezi MCU a RHT03, MCU nastaví datovou sběrnici do stavu logické 0 na dobu nejméně 1-10ms, aby čidlo tuto změnu stihlo zachytit. Potom MCU nastaví na sběrnici logickou 1 a čeká 20-40μs na odezvu od RHT03. Když RHT03 detekuje start signál, vyšle odezvu tím, že nastaví sběrnici na logickou 0 po dobu 80μs. Potom nastaví sběrnici znovu do stavu logické 1 po dobu 80μs, čímž značí přípravu odeslání dat (Obr. 22).



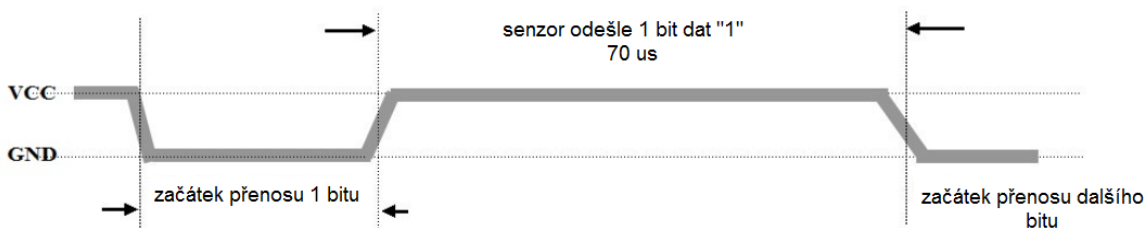
Obr. 22 Odezva na start signál [6]

Krok 2. RHT03 odešle data do MCU.

Když RHT03 odesílá data do MCU, každý bit začíná úrovní nízkého napětí po dobu $50\mu\text{s}$, délka následné vysoké napěťové úrovně určuje, zda přenesený bit má hodnotu 1 nebo 0. To je zobrazeno na obrázcích (Obr. 23) a (Obr. 24).



Obr. 23 Odeslání 1 bitu dat log.0 [6]



Obr. 24 Odeslání 1 bitu dat log.1 [6]

Výhodou toho čidla také je, že pro Arduino již existuje několik programových knihoven, obsluhujících komunikaci s tímto čidlem nebo jeho klony, což návrháři ulehčuje tvorbu výsledného programu.

3.3.2 Digitální osobní váha

Pro měření hmotnosti byla použita digitální osobní váha značky Fagor s maximální nosností 150kg. Tato váha má v sobě čtyři tenzometrické snímače hmotnosti (*Obr. 25*), které budou použity k měření. Každý z tenzometrů je umístěn v jednom z rohů váhy a jsou společně zapojeny do plného Wheatstoneova můstku. Původní elektronika váhy byla odstraněna a nebyla použita.



Obr. 25 Snímač hmotnosti

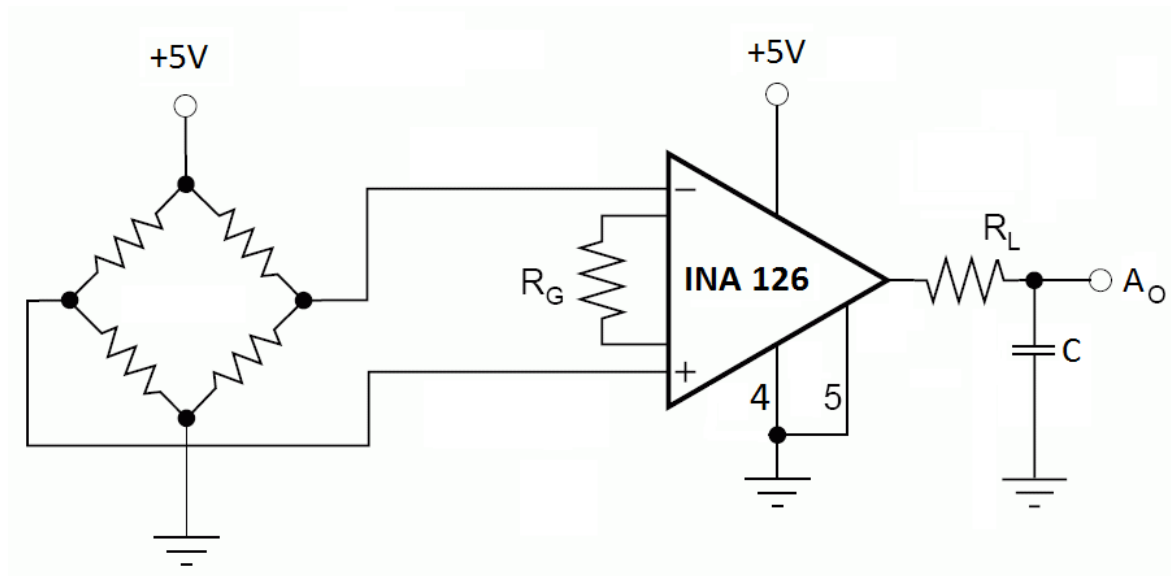
Jelikož je výstupní napětí z tenzometrů příliš malé (jednotky mV), byl zkonstruován elektronický obvod (*Obr. 26*) s přístrojovým operačním zesilovačem INA126P, který slouží k zesílení výstupního napětí z tenzometrického můstku až na hodnotu jednotek voltů. Rezistor R_G slouží k nastavení hodnoty zesílení G .

$$G = 5 + \frac{80k\Omega}{R_G} \quad (19)$$

$$G = 5 + \frac{80k\Omega}{120\Omega} = 671,67 \quad (20)$$

Tenzometry i operační zesilovač jsou napájeny stabilizovaným napětím 5V z desky Arduina. Analogově digitální převodník v Arduinu může být nastaven, aby používal jako zdroj referenčního napětí vnitřní napětí 1,1V nebo 5V, případně může použít referenční napětí přivedené z vnějšku na pin A_{REF} . Jako referenční napětí bylo zvoleno napětí 5V, jehož zdrojem je stabilizátor napětí na desce Arduina, stejně tak jako u zesilovače a tenzometrů. Výhodou společného zdroje napětí je, že při kolísání vstupního napětí nedojde k ovlivnění naměřených hodnot, protože převodník i tenzometrický můstek měří poměry

mezi napětím a ne jeho absolutní velikost. Na výstupu zesilovače je připojena RC dolní propust, která slouží k filtrování nežádoucího vysokofrekvenčního šumu.

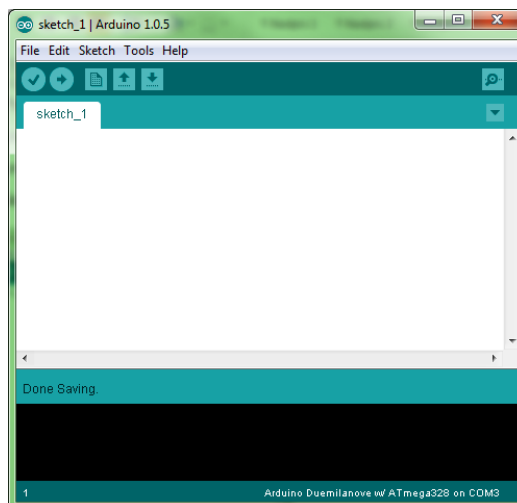


Obr. 26 Obvod pro zesílení signálu z váhy

Výstupní signál je přiveden na vstup Arduina A_0 , který slouží jako vstup integrovaného 10 bitového analogově digitálního převodníku. Rozlišení A/D (analogově digitálního) převodníku má vliv na maximální dosažitelnou přesnost měření. V tomto případě váhy s nosností do 150 kg a přesností na 0,5 kg je potřeba převodník, který dokáže rozlišit minimálně $\frac{150}{0,5} = 300$ úrovní napětí. Použitý desetibitový převodník v Arduinu má rozlišení $2^{10} = 1024$ úrovní napětí.

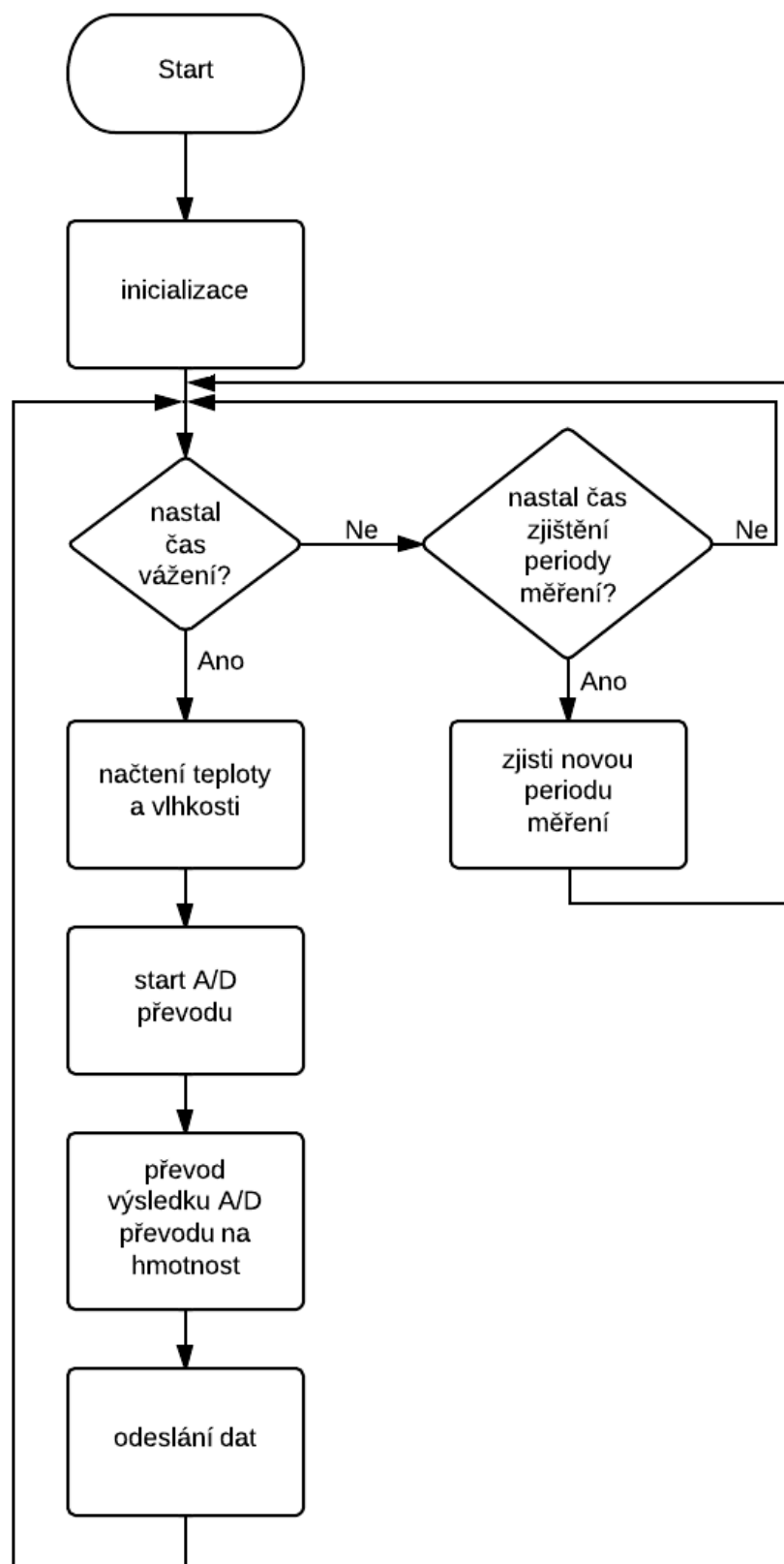
4 PROGRAM PRO ARDUINO

Pro Arduino lze programovat v jazyce C nebo C++. Program byl napsán za využití knihovny Wiring, která také bývá někdy označována jako programovací jazyk. Jedná se však o knihovnu napsanou v jazyce C++, která usnadňuje programování Arduina a odráží specifické požadavky na vývoj programů pro jednočipová zařízení. Jako vývojové prostředí bylo použito Arduino IDE ve verzi 1.0.5.



Obr. 27 Vývojové prostředí Arduino IDE

Na obrázku (*Obr. 28*) je zobrazen vývojový diagram programu úlové váhy. Popis jednotlivých částí programu je v následujících kapitolách.

*Obr. 28 Vývojový diagram hlavního programu*

4.1 Inicializace

Po zapnutí Arduina proběhne inicializace. Ta zahrnuje nastavení IP adresy uložené v proměnné *ip* a MAC adresy zařízení uložené v proměnné *mac*. Také dojde k získání aktuálního data a času ze zvoleného NTP (Network Time Protocol) serveru definovaného v proměnné *timeServer* (v tomto případě ze serveru *ntp.cesnet.cz*) a určení portů ke kterým jsou připojeny čidla teploty a vlhkosti. Dále dojde k nastavení časovačů určujících výchozí hodnoty periody měření a zjišťování periody měření. Nejdůležitější částí inicializace je nastavení váhy, kde jsou nastaveny hodnoty dvou referenčních hmotností *loadA* a *loadB* a jim odpovídající hodnoty výsledku A/D převodu *analogvalA* a *analogvalB*.

Pokud nastane čas vážení, Arduino naváže spojení se zvoleným serverem úlové váhy. Poté načte hodnoty teploty a vlhkosti z připojených čidel. Následně dojde k zavolání funkce *getWeight*, která vrací naměřenou hmotnost z připojené váhy. Tato funkce spustí A/D převod. Jelikož A/D převod je často ovlivněn šumem, při měření konstantní zátěže není čtená hodnota vždy stejná. K eliminování tohoto jevu je prováděno více po sobě jdoucích měření a z jejich výsledků je vypočítán průměr.

4.2 Převod výsledku A/D převodu na hmotnost

Abychom z výsledku A/D převodu zjistili váženou hmotnost, je nutné použít funkci, která provede převod na kilogramy. To obstarává funkce *mapfloat*, která přebírá hodnoty výsledku A/D převodu a hmotnosti dvou známých závaží a jejich odpovídajících digitálních hodnot.

Jelikož byly použity odporové tenzometry zapojeny do plného Wheatstoneova můstku, výstupní signál je lineární a lze tedy jednoduše určit změnu napětí k odpovídající změně váhy. Porovnáním referenčních hodnot pro dvě známé hmotnosti a jim odpovídajícímu napětí s naměřenou hodnotou napětí lze jednoduše vypočítat aktuální hmotnost.

4.2.1 Kalibrace váhy

Pro kalibraci připojené váhy byl pro Arduino vytvořen samostatný program s názvem *kalibrace_vaha.ino*. Ten je potřeba nahrát do Arduina a otevřít si okno sériového rozhraní, tzv. serial monitoru.

K samotné kalibraci jsou potřeba dvě závaží o předem známých hmotnostech, ideálně v co největším rozsahu. Umístíme na váhu první závaží o známé hmotnosti a zaznamenané si výsledek A/D převodu. Pak uděláme to samé s druhým závažím. Zaznamenané hodnoty potom vložíme na začátek programu úlové váhy v místě, kde je prováděna inicializace. Toto je však nutné provést pouze v případě, kdy dojde ke změně připojené váhy nebo změně v jejím elektrickém zapojení.

4.3 Odeslání dat

Pro přenos dat mezi Arduinem a webovým serverem je realizován pomocí protokolu HTTP (Hypertext Transfer Protocol). Naměřená data jsou pomocí metody GET odeslána v URL (Uniform Resource Locator) adrese na zvolený webový server, kde je uložen php skript, který je zpracuje a uloží do databáze naměřených hodnot. Formát odesílaných dat je zobrazen v následující tabulce (Tab. 6).

Tab. 6 Formát URL adresy při odesílání naměřených dat

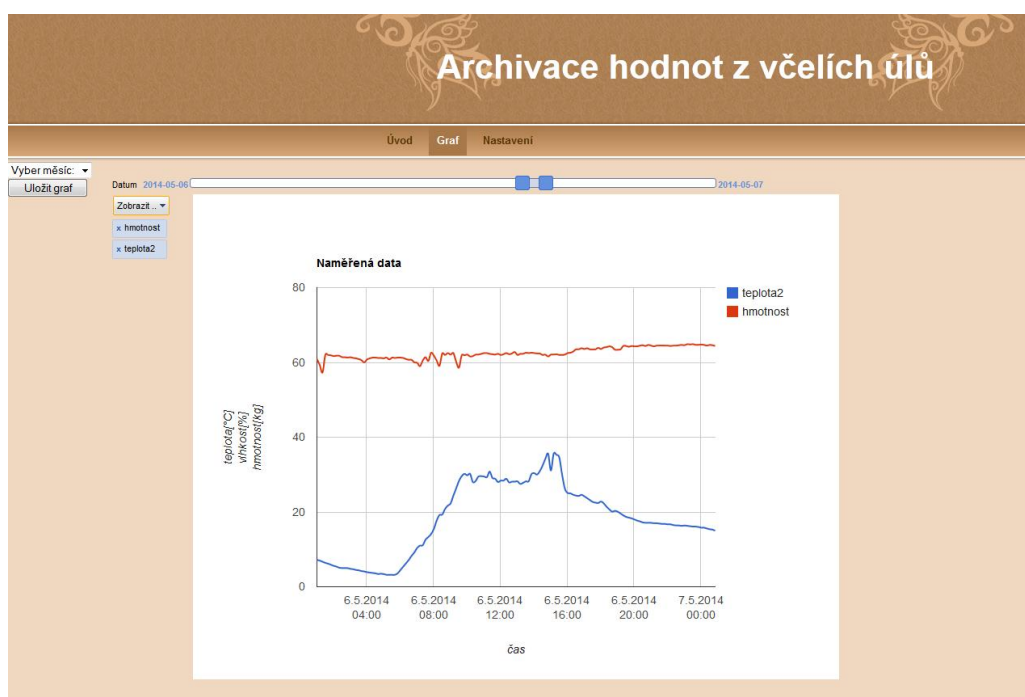
www.unicum.ic.cz/	Adresa www serveru úlové váhy
insert.php	skript obsluhující ukládání předaných dat
?date=	aktuální datum a čas ve formátu DATETIME
&t1=	teplota z prvního senzoru
&t2=	teplota z druhého senzoru
&t3=	teplota z třetího senzoru
&t4=	teplota z čtvrtého senzoru
&h1=	vlhkost z prvního senzoru
&h2=	vlhkost z druhého senzoru
&h3=	vlhkost z třetího senzoru
&h4=	vlhkost z čtvrtého senzoru
&hmotnost=	naměřená hmotnost

4.4 Změna periody měření

Arduino periodicky kontroluje, zda uživatel neprovedl změnu nastavené periody měření. Tato kontrola probíhá každých deset minut, což je výchozí hodnota nastavená v inicializační části programu. Při této kontrole se Arduino spojí se serverem úlové váhy a vyžádá si odpověď od skriptu *ArduinoSettings.php*. Ten načte data z tabulky *nastaveni* uložené v databázi. Je-li hodnota proměnné *priznak* = 0, znamená to, že došlo ke změně nastavení a Arduino obdrží hodnotu nově nastavené periody měření. Arduino tuto hodnotu přečte a provede změnu nastavení periody měření. Jestliže je hodnota proměnné *priznak* = 1, k žádné změně nastavení nedošlo a program tedy bude pokračovat se stejným nastavením jako doposud.

5 WEBOVÉ ROZHRAŇÍ

Webové rozhraní bylo vytvořeno za účelem zobrazení naměřených hodnot a možnosti vzdáleně ovládat nastavenou periodu zaznamenávání měřených dat. Díky webovému rozhraní může včelař ovládat a sledovat systém kdykoliv a odkudkoliv, kde má přístup k Internetu. Z naměřených hodnot je generován interaktivní graf, který ve výchozím nastavení zobrazuje naměřená data hmotnosti za poslední měsíc. Uživatel má možnost měnit zobrazovaný interval pomocí dvou posuvníků, kterými vybírá datum. Všechny naměřené hodnoty jsou zobrazeny v jednom grafu s tím, že uživatel může v postranním rozbalovacím menu vybrat, které hodnoty budou zobrazeny. Vygenerovaný graf lze také uložit jako obrázek ve formátu *png*.



Obr. 29 Webové rozhraní

5.1 Google Charts API

Pro vizualizaci naměřených dat na webové stránce bylo použito aplikační programovací rozhraní (API) Google Charts. Pomocí něj lze velmi jednoduše vytvářet grafy z naměřených dat a vložit je na webové stránky. Data použitá pro graf mohou být uložena v MySQL databázi nebo v tabulkových aplikacích od Googlu Google Spreadsheets či Google Fusion Tables.

Graf je generován na straně klienta pomocí Java Scriptového kódu vloženého v kódu webové stránky. Načteme knihovny Google Chart, vybereme data, která mají být použita, nastavíme vlastnosti grafu a zvolíme identifikátor pro graf. Vykonáním tohoto kódu ve webovém prohlížeči se zobrazí graf v elementu `<div>` s námi specifikovaným identifikátorem. Grafy jsou vykreslovány pomocí technologie HTML5/SVG, díky čemuž poskytují kompatibilitu zobrazení se všemi moderními webovými prohlížeči [8].

Pomocí Google Chart API je možné generovat velké množství typu grafů, jako jsou např. spojnicové, sloupcové, koláčové a jiné. Vygenerované grafy jsou interaktivní a lze je umístit do panelů zvaných dashboards, jenž obsahují ovládací prvky pro manipulaci s daty, které graf zobrazuje.

5.2 Databáze

Všechna naměřená data jsou ukládána do MySQL databáze. Ta obsahuje dvě tabulky, jejich struktury jsou zobrazeny na obrázku (Obr. 30). Do tabulky *zaznam* jsou ukládány naměřené hodnoty z úlové váhy a do tabulky *nastaveni* jsou ukládány hodnoty aktuální a nové periody měření. Data z těchto tabulek jsou použita pro tvorbu grafů a tabulek z naměřených hodnot a provádění změn v nastavení programu Arduina.

zaznam	nastaveni
PK id (INT(11))	PK id (INT(10))
datum (DATETIME)	aktualni (INT(11))
t1 (FLOAT(5,2))	novy (INT(11))
t2 (FLOAT(5,2))	priznak (INT(1))
t3 (FLOAT(5,2))	
t4 (FLOAT(5,2))	
h1 (FLOAT(5,2))	
h2 (FLOAT(5,2))	
h3 (FLOAT(5,2))	
h4 (FLOAT(5,2))	
hmotnost (FLOAT(6,2))	

Obr. 30 Struktura tabulek v databázi

5.2.1 Přístup k databázi

Pro přístup k datům uloženým v databázi, je potřeba znát přístupové údaje jako jsou název databáze, adresa serveru, kde je databáze uložena, uživatelské jméno a heslo. Tyto údaje jsou uloženy v souboru *config.inc.php*. Tento soubor potom využívají php skripty

obsluhující ukládání a čtení měřených dat. Při změně databáze tedy není nutné provádět změnu ve všech skriptech, ale pouze v tomto konfiguračním souboru.

5.3 Přenos dat v JSON formátu

JSON (JavaScript Object Notation) je odlehčený formát pro výměnu dat na webu. Je jednoduše čitelný i zapisovatelný člověkem a lze ho snadno strojově generovat i analyzovat. Je založen na podmnožině programovacího jazyka JavaScript, Standard ECMA-262 3rd Edition - December 1999. JSON je textový, na jazyce zcela nezávislý formát, využívající však konvence známé z jazyků rodiny C (C, C++, C#, Java, JavaScript, Perl, Python a dalších), dokonce některé desktopové aplikace používají JSON jako souborový formát (např. prohlížeč Google Chrome). Díky tomu je JSON ideálním jazykem pro výměnu dat. Na webu se JSON používá pro výměnu dat pomocí AJAXu.

O načtení dat, která budou použita k vykreslení grafu se stará skript *getdata.php*. Ten přebírá pomocí metody GET identifikátor *id*, který udává pozici záznamu z tabulky *zaznam* v databázi od kterého budou načtena následující data. Pomocí SQL dotazu jsou potom vybrána požadovaná data, která jsou společně s popisem, o jaká data se jedná uložena do formátu JSON. Načtená data z databáze jsou přenesena ve formátu JSON a jsou uložena do proměnné *data* typu *DataTable*, která slouží jako zdroj dat pro JavaScriptový kód, který vytvoří pomocí Google Chart graf v prohlížeči.

```
{
  "cols": [
    {"label": "Datum", "type": "datetime"},
    {"label": "teplota1", "type": "number"},
    {"label": "teplota2", "type": "number"},
    {"label": "teplota3", "type": "number"},
    {"label": "teplota4", "type": "number"},
    {"label": "vlhkost1", "type": "number"},
    {"label": "vlhkost2", "type": "number"},
    {"label": "vlhkost3", "type": "number"},
    {"label": "vlhkost4", "type": "number"},
    {"label": "hmotnost", "type": "number"}
  ],
  "rows": [
    {
      "c": [
        {"v": "Date(2014, 4, 14, 20, 36, 12)"},
        {"v": "31.80"}, {"v": "25.40"}, {"v": "28.10"},
        {"v": "31.70"}, {"v": "45.10"}, {"v": "50.60"}, {"v": "53.00"}, {"v": "64.10"}, {"v": "56.00"}
      ]
    },
    {
      "c": [
        {"v": "Date(2014, 4, 14, 20, 46, 12)"},
        {"v": "31.70"}, {"v": "25.10"}, {"v": "27.90"},
        {"v": "31.50"}, {"v": "44.90"}, {"v": "51.70"}, {"v": "53.50"}, {"v": "56.20"}, {"v": "56.00"}
      ]
    }
  ]
}
```

Obr. 31 Naměřená data uložena ve formátu JSON

5.4 Příjem dat

O zpracování přijatých dat z Arduina se stará php skript *insert.php*. Ten pomocí metody GET přebírá přijatá data v očekávaném formátu, jak je zobrazeno v tabulce (Tab. 6) a ukládá je do tabulky *zaznam* v MySQL databázi.

5.5 Změna periody měření

Měnit periodu měření může uživatel vzdáleně, stačí, aby si ve svém webovém prohlížeči otevřel stránku webového rozhraní úlové váhy a přešel na záložku nastavení. K provádění změn je nutné se přihlásit pomocí platného uživatelského jména a hesla. Pokud uživatel není přihlášen, může alespoň zjistit jaká je aktuálně nastavená perioda měření. Pokud je uživatel přihlášen, získá možnost měnit periodu měření a také dostane přístup k tabulce s naměřenými hodnotami. Změna periody měření se provádí vložení nové hodnoty v rozsahu 0 – 9999 minut do textového pole. Provedená změna nastavení se projeví do 10 minut, což je hodnota toho, jak často Arduino zjišťuje, zda nedošlo ke změně nastavení.

5.6 Prohlížení naměřených dat

Naměřená data mohou být zobrazena ve formě grafu nebo tabulky. Přístup k tabulce s naměřenými hodnotami získá uživatel pouze po přihlášení v záložce nastavení ve webovém rozhraní. Naměřená data lze třídit sestupně nebo vzestupně podle měřené veličiny. Pro přehlednost zobrazuje tabulka pouze 100 záznamů na stránku, další stránky lze procházet pomocí ovládacích tlačítek v zápatí webové stránky.

Archivace hodnot z včelích úlů										
Úvod Graf Nastavení Tabulka										
	Datum a čas	teplota 1 (C)	teplota 2 (C)	teplota 3 (C)	teplota 4 (C)	vlhkost 1 (%RH)	vlhkost 2 (%RH)	vlhkost 3 (%RH)	vlhkost 4 (%RH)	hmotnost (kg)
1	13. 5. 2014 13:32:09	33.50	21.60	30.10	30.70	55.70	36.30	59.60	53.00	67.10
2	13. 5. 2014 13:22:09	33.70	22.30	30.00	30.60	53.70	35.40	60.60	52.40	67.00
3	13. 5. 2014 13:12:09	33.70	22.30	30.10	30.70	53.60	36.90	63.60	52.20	66.70
4	13. 5. 2014 13:02:09	33.80	22.50	30.50	30.70	53.00	36.10	62.10	51.80	66.80
5	13. 5. 2014 12:52:09	33.80	23.80	29.60	30.70	55.50	33.40	66.40	53.60	66.80
6	13. 5. 2014 12:42:09	33.80	24.60	30.10	30.70	58.30	31.90	67.10	52.60	67.90
7	13. 5. 2014 12:32:09	33.70	24.50	30.30	30.70	54.20	33.30	61.50	52.80	67.20
8	13. 5. 2014 12:22:09	33.60	23.50	30.20	30.70	51.80	35.40	61.00	52.40	67.20
9	13. 5. 2014 12:12:09	33.70	22.70	30.40	30.70	51.60	36.60	60.50	55.20	67.80
10	13. 5. 2014 12:02:09	33.80	22.70	29.90	30.70	55.50	36.50	62.20	52.20	67.60
11	13. 5. 2014 11:52:09	33.60	22.40	29.00	30.70	52.60	36.90	68.60	51.60	67.40
12	13. 5. 2014 11:42:09	33.70	22.30	28.70	30.60	51.90	36.00	64.30	51.50	67.20
13	13. 5. 2014 11:32:09	33.80	22.10	28.50	30.70	52.10	36.60	58.60	52.00	67.00
14	13. 5. 2014 11:22:09	33.90	21.50	28.60	30.60	56.60	37.60	59.10	51.90	67.30
15	13. 5. 2014 11:12:09	33.80	20.90	28.80	30.50	52.90	39.50	61.30	52.50	67.30
16	13. 5. 2014 11:02:09	33.90	21.00	28.70	30.60	52.70	38.10	61.50	52.30	67.10
17	13. 5. 2014 10:52:09	34.00	21.30	28.70	30.50	50.60	38.40	60.20	52.50	67.20
18	13. 5. 2014 10:42:09	33.80	20.60	28.80	30.50	50.90	39.60	59.20	51.30	67.00
19	13. 5. 2014 10:32:09	33.90	20.30	29.30	30.40	51.80	38.50	59.90	59.40	67.10
20	13. 5. 2014 10:22:09	34.00	20.20	29.80	30.30	53.60	39.60	58.10	51.20	67.00
21	13. 5. 2014 10:12:09	34.10	20.60	30.40	30.30	53.20	39.10	59.40	51.90	66.90
22	13. 5. 2014 10:02:09	34.20	21.40	30.80	30.30	56.40	37.70	58.60	50.60	66.70
23	13. 5. 2014 9:52:09	34.00	22.50	31.20	30.40	57.00	35.50	58.40	54.00	66.90
24	13. 5. 2014 9:42:09	34.00	23.30	31.10	30.40	55.70	33.50	59.20	51.10	67.10
25	13. 5. 2014 9:32:09	34.00	24.90	31.30	30.40	53.90	31.60	60.90	54.20	66.80
26	13. 5. 2014 9:22:09	34.00	24.00	29.80	30.20	57.10	33.50	70.00	49.40	66.40
27	13. 5. 2014 9:12:09	34.00	23.70	29.30	30.10	56.10	33.10	68.80	49.90	66.60
28	13. 5. 2014 9:02:09	34.00	25.00	29.60	30.20	54.90	32.40	66.30	50.10	66.50
29	13. 5. 2014 8:52:09	34.10	23.60	28.90	30.20	55.60	35.00	65.70	51.60	66.80
30	13. 5. 2014 8:42:09	33.90	22.50	27.70	30.10	56.10	37.30	74.40	48.90	66.90
31	13. 5. 2014 8:32:09	33.80	20.00	27.60	30.10	55.90	42.00	79.60	50.00	66.60

Obr. 32 Tabulka naměřených dat

ZÁVĚR

Práce byla vytvořena s ohledem na požadavky sledování včelstva, které je umístěno na střeše FT UTB ve Zlíně. Byla vytvořena víceúčelová úlová váha s možností zaznamenávat kromě hmotnosti i teplotu a vlhkost ve včelíně i mimo něj. Hodnoty jsou zaznamenávány několikrát denně a naměřená data jsou odesílána pomocí Ethernet rozhraní přes Internet. Naměřené údaje jsou potom na serveru uloženy do databáze a uživatel k nim má přístup přes webové rozhraní. Ve webovém rozhraní uživatel může zobrazit měřená data ve formě grafů nebo tabulky a také má možnost vzdáleně nastavit jak často má být prováděno měření. Zařízení poskytuje podobnou funkčnost jako elektronické úlové váhy dostupné na trhu, ovšem za podstatně nižší cenu. Toto zařízení by se dalo ještě vylepšit, pokud by byl použit externí analogově-digitální převodník s vyšším rozlišením, čímž by se zvětšila přesnost vážení, jelikož AD převodník Arduina má poměrně malé rozlišení a pro přesnější měření není vhodný. Toto zařízení je vhodné nejen pro včelaře, po doplnění vhodnými čidly může najít uplatnění všude, kde je potřeba vzdáleně provádět nějaká měření a hodnoty ukládat.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] *Alya - Elektronické váhy a radiace systémy* [online]. ©1991 - 2011 [cit. 2014-03-20]. Dostupné z: <http://www.alya.sk/>
- [2] *Apis Digital* [online]. - [cit. 2014-03-20]. Dostupné z: <http://www.apisdigital.cz/>
- [3] *Arduino* [online]. [2005] [cit. 2014-01-28]. Dostupné z: <http://arduino.cc/>
- [4] BARTUŠEK, Karel, Eva GESCHEIDTOVÁ, Radek KUBÁSEK, Jan MIKULKA, Jiří REZ a Miloslav STEINBAUER. *Měření v elektrotechnice. 2. přeprac. a dopl. vyd.* Brno: VUTIMUM, 2010, 212 s. ISBN 978-80-214-4160-6.
- [5] ĎAĎO, Stanislav a Marcel KREIDL. *Senzory a měřicí obvody. 1. vyd.* Praha: ČVUT, 1996, 315 s. ISBN 80-01-01500-9.
- [6] Digital relative humidity & temperature sensor RHT03: Datasheet. [online]. [cit. 2014-04-10]. Dostupné z: <http://humiditycn.com/pic/20135318405067570.pdf>
- [7] *GMS SMS scale – Beewise* [online]. - [cit. 2014-03-20]. Dostupné z: <http://www.beewise.eu/>
- [8] *Google Charts* [online]. 2012 [cit. 2014-01-12]. Dostupné z: <https://developers.google.com/chart/?csw=1>
- [9] VLK, Miloš, Lubomír HOUFÉK, Pavel HLAVOŇ, Petr KREJČÍ, Vladimír KOTEK a Jiří KLEMENT. *Experimentální mechanika* [online]. Brno, 2003 [cit. 2014-03-12]. Dostupné z: http://www.umt-old.fme.vutbr.cz/_studium_/opory/Experimentalni_mechanika.pdf

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

A/D	Analogově Digitální
API	Application Programming Interface
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
JSON	Java Script Object Notation
MCU	Micro Controller Unit
NTP	Network Time Protocol
SPI	Seriál Peripheral Interface
TCP	Transmission Control Protocol
UDP	User Datagram Protocol
URL	Uniform Resource Locator

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 Rozdělení odporových tenzometrů [5]</i>	11
<i>Obr. 2 Typická uspořádání tenzometrických snímačů [4]</i>	12
<i>Obr. 3 Wheatstoneův můstek [9]</i>	14
<i>Obr. 4 Wheatstoneův můstek napájený konstantním zdrojem proudu [9]</i>	16
<i>Obr. 5 Zapojení plného můstku [9]</i>	17
<i>Obr. 6 Půlmůstkové zapojení [9]</i>	18
<i>Obr. 7 Čtvrtmůstkové zapojení [9]</i>	18
<i>Obr. 8 Čtvrtmůstkové zapojení – třívodičové [9]</i>	19
<i>Obr. 9 Pokles měřené veličiny vlivem tečení [9]</i>	22
<i>Obr. 10 Křivka hystereze tenzometru [9]</i>	22
<i>Obr. 11 Maximální odchylka $\Delta \varepsilon_L$ po opakovaném zatížení [9]</i>	23
<i>Obr. 12 Rozdělení senzorů síly [5]</i>	24
<i>Obr. 13 Vetknutý nosník [5]</i>	25
<i>Obr. 14 Pružný člen typu S [5]</i>	26
<i>Obr. 15 Pružný člen s namáháním ve stříhu [5]</i>	26
<i>Obr. 16 Přeložený nosník [5]</i>	27
<i>Obr. 17 Úlová váha EMMA [2]</i>	28
<i>Obr. 18 Arduino Duemilanove</i>	33
<i>Obr. 19 Čidlo RHT03[6]</i>	35
<i>Obr. 20 Schéma propojení čidla RHT03 s MCU</i>	36
<i>Obr. 21 Komunikace MCU s čidlem RHT03 [6]</i>	37
<i>Obr. 22 Odezva na start signál [6]</i>	38
<i>Obr. 23 Odeslání 1 bitu dat log.0 [6]</i>	38
<i>Obr. 24 Odeslání 1 bitu dat log.1 [6]</i>	38
<i>Obr. 25 Snímač hmotnosti</i>	39
<i>Obr. 26 Obvod pro zesílení signálu z váhy</i>	40
<i>Obr. 27 Vývojové prostředí Arduino IDE</i>	41
<i>Obr. 28 Vývojový diagram hlavního programu</i>	42
<i>Obr. 29 Webové rozhraní</i>	46
<i>Obr. 30 Struktura tabulek v databázi</i>	47
<i>Obr. 31 Naměřená data uložená ve formátu JSON</i>	48
<i>Obr. 32 Tabulka naměřených dat</i>	50

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1 Parametry Arduina Duemilanove [3].....</i>	<i>33</i>
<i>Tab. 2 Porovnání dostupných čidel teploty</i>	<i>35</i>
<i>Tab. 3 Parametry čidla RHT03 [6]</i>	<i>35</i>
<i>Tab. 4 Struktura odesílaných dat z RHT03 [6].....</i>	<i>36</i>
<i>Tab. 5 Příklad odeslaných dat z RHT03</i>	<i>36</i>
<i>Tab. 6 Formát URL adresy při odesílání naměřených dat</i>	<i>44</i>

SEZNAM PŘÍLOH

- PI: Disk CD s programy a diplomovou prací v PDF
- PII: Příkazy pro vytvoření databázové tabulky nastavení
- PIII: Příkazy pro vytvoření databázové tabulky záznam

PŘÍLOHA P II: PŘÍKAZY PRO VYTVOŘENÍ DATABÁZOVÉ TABULKY NASTAVENÍ

```
CREATE TABLE IF NOT EXISTS `nastaveni` (  
    `id` int(10) unsigned NOT NULL,  
    `aktualni` int(11) NOT NULL,  
    `novy` int(11) NOT NULL,  
    `priznak` tinyint(1) DEFAULT NULL,  
    PRIMARY KEY (`id`)  
) ENGINE=MyISAM DEFAULT CHARSET=utf8 COLLATE=utf8_czech_ci;  
  
INSERT INTO `nastaveni` (`id`, `aktualni`, `novy`, `priznak`) VALUES (1, 10, 10, 1);
```

PŘÍLOHA P III: PŘÍKAZY PRO VYTVOŘENÍ DATABÁZOVÉ TABULKY ZÁZNAM

```
CREATE TABLE IF NOT EXISTS `zaznam` (  
  `id` int(11) NOT NULL AUTO_INCREMENT,  
  `datum` datetime NOT NULL,  
  `t1` float(5,2) NOT NULL,  
  `t2` float(5,2) NOT NULL,  
  `t3` float(5,2) NOT NULL,  
  `t4` float(5,2) NOT NULL,  
  `h1` float(5,2) NOT NULL,  
  `h2` float(5,2) NOT NULL,  
  `h3` float(5,2) NOT NULL,  
  `h4` float(5,2) NOT NULL,  
  `hmotnost` float(6,2) NOT NULL,  
  PRIMARY KEY (`id`)  
) ENGINE=MyISAM DEFAULT CHARSET=utf8 COLLATE=utf8_czech_ci;
```