



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV MECHANIKY TĚLES, MECHATRONIKY A
BIOMECHANIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF SOLID MECHANICS, MECHATRONICS AND
BIOMECHANICS

NÁVRH CENOVĚ DOSTUPNÉ AUTONOMNÍ VÁHY
DESIGN OF AFFORDABLE AUTONOMOUS WEIGHING MACHINE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

VLASTIMIL PEŇÁK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

ING. ZDENĚK HADAŠ, PH.D.

BRNO 2014

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá vývojem a konstrukcí cenově dostupné autonomní váhy, která bude zapracována do celkové koncepce vážení měřeného prvku. Váha bude schopna zobrazit uživateli informaci o aktuální hmotnosti a teplotě.

Abstract

This bachelor's thesis deals with the development and construction of affordable weighting, which will be incorporated into the overall design weighing the measured element. Current information about the weight and temperature of the weighted element will be able to be displayed or sent to the internet environment.

Klíčová slova:

Autonomní úlová váha, Tenzometr, Creep, Příčná citlivost, Single-point, Wheatstoneův můstek

Keywords:

Autonomous hive weight, Strain, Creep, Transverse sensitivity, Single-point, Wheatstone bridge

Bibliografická citace mé práce:

PEŇÁK, V. *Návrh cenově dostupné autonomní váhy*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 50 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Zdeněk Hadaš, Ph.D.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Návrh cenově dostupné autonomní váhy“ vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který tvoří přílohu této práce.

20. května 2014

.....

Vlastimil Peňák

Poděkování

Děkuji vedoucímu mé diplomové práce Ing. Zdeňku Hadašovi, Ph.D. za odbornou pomoc a rady, kterými přispěl k její realizaci.

Obsah

Klíčová slova:.....	2
Keywords:	2
Bibliografická citace mé práce:.....	3
Čestné prohlášení	4
Poděkování	5
1 Úvod	6
2 Formulace problému a stanovení cíle	7
3 ÚLOVÉ VÁHY U NÁS I VE SVĚTĚ	8
3.1.1 MOTIVACE	8
3.1.2 Bee WISE	9
3.1.3 CAPAZ GSM 200	10
3.1.4 EMMA.....	11
4 MECHNISMY VAH	13
FYZIKÁLNÍ PRINCIPYMĚŘENÍ HMOTNOSTI:	13
4.1 ELEKTROMECHANICKÉ A ELEKTROMAGNETICKÉ VÁHY	17
4.2 VOLBA FYZIÁLNÍHO PRINCIPU A KONSTRUKCE VÁHY.....	22
4.3 TENZOMETRY	22
4.4 RYSY ODPOROVÝCH TENZOMETRŮ	23
5 KONSTRUKCE ZAŘÍZENÍ.....	26
5.1.1 KŘÍŽOVÝRÁM	26
5.1.2 "U" RÁM.....	28
5.1.3 "I" RÁM.....	29
5.2 VÝSLEDNÝ NÁVRH RÁMU	31
5.3 SINGLE- POINT	31
5.4 KONSTRUKCE RÁMU	34
6 NÁVRH MĚŘÍCIHO ŘETĚZCE.....	37
6.1 STANOVENÍ POŽADAVKŮ	37
6.2 SESTAVENÍ MĚŘÍCIHO ŘETĚZCE	38
6.2.1 VÝVOJOVÉ ŘEŠENÍ.....	38
6.2.2 NTEGROVANÉ ŘEŠENÍ S RPI	40
6.2.3 MODEMOVÝ NÁVRH	42
7 ZÁVĚR.....	45
8 BIBLIOGRAFIE	46
9 PŘÍLOHY	48
9.1 CENY SROVNATELNÝCH PŘÍSTROJŮ	48
9.2 SCHÉMA ZAPOJENÍ.....	49
9.3 DVOUVRSTVÁ DESKA PLOŠNÉHO SPOJE	50

1 Úvod

Včelaření je volně přístupný koníček snoubící radost i zábavu. Jednou z radostí přinášejících včelaři je rozvoj a prosperita včelstva. Chovatel se jí snaží docílit splněním níže popsaných faktorů. K tomu nám postačí úlová váha. Pro moderního včelaře je nezbytné znát aktuální stav svých včelstev. Tímto stavem rozumíme např. množství zásob ve včelstvu, aktuální snůškové podmínky, teplota ve včelstvu a mnohé další faktory. Znalostí těchto informací získaných v reálném čase můžeme provádět efektivnější úkony, minimalizovat počet zásahů nebo dokonce zabránit úhynu včelstva. Vše je podmíněno přesným načasováním operací závislých na výstupních hodnotách. Ze znalosti problematiky jsem se rozhodl, pro mechatronický návrh konstrukce cenově dostupné autonomní váhy, která zpříjemní práci včelaři i život včelám.

Měření hmotnosti včelího úlu není ve včelařské historii žádnou novinkou. Odedávna se aplikovaly různé varianty mechanických vah. Nedostatky však vždy přetrvávaly u velikosti nebo přesnosti. Mezi včelaři byly nejúspěšnější váhy decimální. Vynikaly především svou jednoduchou konstrukcí, mnohdy postačující přesností, snadným přístupem, mechanickou odolností a vysokou váživostí. Obliba v jejich používání neustoupila ani po několika desetiletích. V přepracované podobě se dále vyrábějí.

Součástí mechatronického návrhu váhy může být i určitý stupeň zabezpečení odcizení včelstva. V praxi se stále můžeme setkat s vypalováním iniciálů či symbolů na stěnu úlu pro označení majitele. Tento způsob ochrany však skrývá problémy v dokazování a dohledávání věci. Jednou z výhod aplikování elektroniky pro vážení, je zabezpečení okolí včelnice. Trend výroby autonomních vah směřuje nejenom k přesnému vážení, ale řídicí jednotka spolu s připojenými snímači má možnost hlídání jednotlivých úlů nebo celého stanoviště. Připevníme-li snímač na dveře či okno s následnou signalizací majiteli pomocí SMS nebo varovné signalizace sirénou či osvětlením přímo na místě, docílíme tím vyšší míry ochrany majetku.

2 Formulace problému a stanovení cíle

Problém nastane, má-li včelař stanoviště ve větší vzdálenosti od domova, než na které by byl schopen několikrát denně docházet odečítat hmotnost úlu, venkovní teplotu. V tomto případě je jediným možným řešením realizace autonomní, registrační úlové váhy. Celkový koncept by měl nezávisle na okolních rozvodech elektroinstalace zprostředkovávat sám sobě elektrickou energii. Řešením by mohl být ostrovní systém umístěný na střeše úlu, který by dobíjel akumulátor elektrické energie (autobaterie). Naměřené hodnoty je výhodné a zároveň pohodlné získávat ze sítě GSM. Fyzickou informaci o hmotnosti váženého objektu obdržíme na mobilní telefon ve formě textové zprávy nebo stažením z webové stránky (informace je odeslána z GSM modulu). Tato data je snadné exportovat do grafické podoby, což je žadáným cílem.

3 ÚLOVÉ VÁHY U NÁS I VE SVĚTĚ

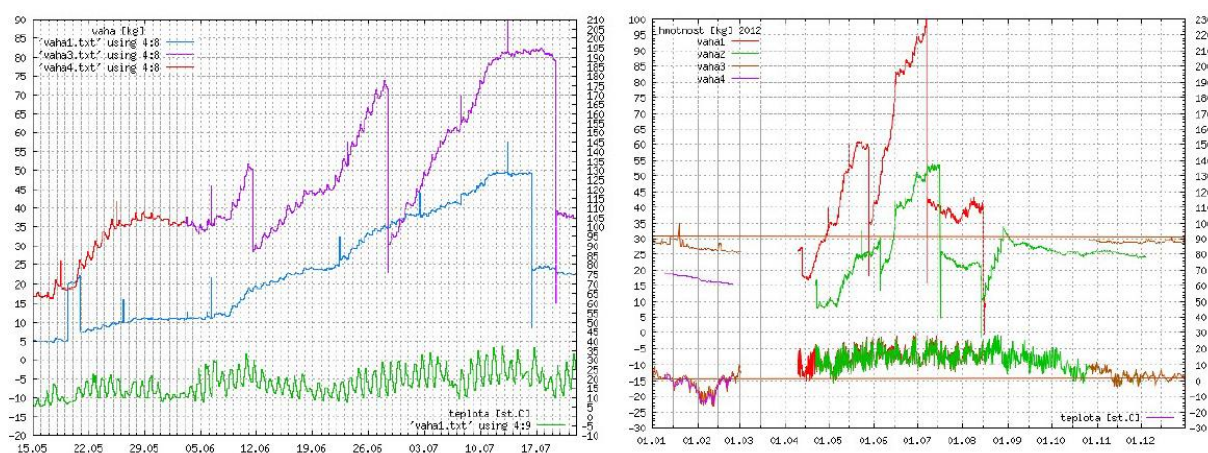
Jak můžeme nalézt v [1], úlovou váhu je možné rozdělit na dva typy:

Úlová váha bez automatického záznamu neposkytuje přímo informaci o směru a historii hmotnosti včelstva, ale udává pouze hodnotu momentální. Odečtením od předchozí hodnoty si sice lze porovnat aktuální hodnotu hmotnosti s předchozí a případně i ručně vytvářet grafy. Takovéto vážení však nevede k získání dostatečně podrobné a vypovídající představy o dynamice rozvoje včelstva a celoročních podmínkách, ve kterých existuje.

Registrační úlová váha naopak poskytuje výše zmíněnou informaci o trendu a historii hmotnosti včelstva a většinou k tomu doplňuje minimálně i okolní teplotu úlu. Tyto informace obvykle poskytuje ve velmi efektivní a přehledné grafické formě pomocí počítače, a to i na velké vzdálenosti pomocí dálkového přenosu dat. Včelař má tak k dispozici průběžný, dlouhodobý a dostatečně podrobný přehled o dynamice a stavu hmotnosti včelstva, a nepřímo i vlastnostech stanoviště, včetně jeho aktuálních přírodních zdrojů potravy, což může využít při volbě správných a správně načasovaných včelařských prací. Její předností je proto významná podpora pro zvýšení časové, výnosové, nákladové i chovatelské efektivity včelaření.

3.1.1 MOTIVACE

- 1) směr vývoje včelstva do budoucnosti a časování prací,** tedy ve spojení se snůškovými a klimatickými podmínkami nám dává představu, jaké zákroky ve včelstvu učinit tak, aby byl vývoj včelstva optimální. Dále je nezbytné stanovit správné načasování vytáčení medu v závislosti na množství potravy, teplotních podmínkách a síle včelstva. Ideální tedy je neodebírat zásoby v období strmého přínosu potravy a přičíst snůškové proluky pro dozrání medu, které jsou zapříčiněny poklesem potravy (ztráta by mohla být až dvojnásobek denního výnosu. Na (Obrázek 1) znázorněny změny hmotnosti včelího úlu v různých časových intervalech. Tento obrázek pochází z [2]. Strmé poklesy korespondují s rušením včel, které neuváženým zásahem ztratí pracovní nasazení až na jeden den [3].

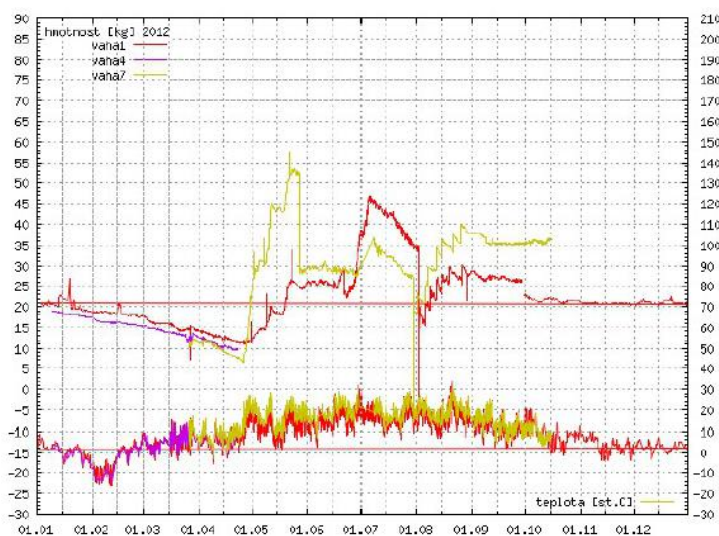


Obrázek 1: Hmotnost včelího úlu v časovém rozmezí jednoho měsíce a jednoho roku.

- 2) okamžitou velikost zásob a sílu jednotlivých včelstev.** Velikost (množství) zásob je rozhodujícím faktorem pro správný růst včelstva. Jaké množství zásob bude potřeba jedáno silou včelstva, teplotními podmínkami, atd. Z toho plyne, že je velmi důležité určit sílu včelstva, ale ještě důležitější výchozí polohu vážení. To znamená hmotnost úlu

bez/s nezbytnými zásobami. EMMA má zabudovanou funkci pro uchování hmotnosti ve vnitřní paměti a její nastavení jako výchozí bod pro počáteční měření [3]. Použit pro to můžeme dva způsoby:

- i) **zvážení prázdného úlu.** Metoda spočívá v postupném nebo celkovém zvážení identického úlu vystrojeného soušemi. Pro zpřesnění je možné připočítat hmotnost včel, zásob a pylu. Nastavení výchozí hmotnosti tímto způsobem není v praxi moc běžné.
 - ii) **způsob kontroly a sledování čisté hmotnosti včelstva.** Je nejpřesnějším způsobem nastavení výchozí hmotnosti. Závisí na čisté hmotnosti v rámci včelařského roku, kdy vycházíme ze známého stavu po posledním vytáčení. Předpokládáme, že bylo vytočeno skoro vše, zbylé zásoby po vytočení buď zanedbáme (bezpečnostní rezerva) nebo záměrně ponecháme (cca 3 až 5 kg). Přičteme-li odhadnutou váhu včel a pylu (cca 5 kg), dostáváme se již přímo na čistou hmotnost (5 až 10 kg), kterou můžeme nastavit (resp. upravit) **jako výchozí před zahájením krmení.**
- 3) **přímé porovnání rozvoje a vitality včelstev.** S výstupem v digitální podobě již není problém přesně a objektivně porovnat rozvoj, sílu či denní přínos vybraných včelstev. Pakliže víme, která včelstva jsou ve stejném prostředí výkonnější, můžeme následně rozšiřovat jejich plemenný chov (vlastnosti včelstva udává především matka) [3].
 - 4) **kontrola plynulého zimního úbytku včel.** Předcházíme havarijním situacím vznikajícím v zimním období, kdy může dojít k rušení včelstev. Zvěř, ptáci, myši, ale i vandal může narušit zimní klid včelstva. To tak zvýší jeho aktivitu, čímž spotřebovává více zásob a rychleji "stárne". Názorné změny hmotnosti v období zimního klidu jsou na (Obrázek 2), který je použit z [2]. Slabé včelstvo může nedostatkem zásob zahynout. Zabránit tomu můžeme pozorováním náhlých výkyvů hmotnosti, ale i nedostatku zásob ke konci zimního období [3].



Obrázek 2: Úbytek včel během zimního klidu.

3.1.2 Bee WISE

Bee WISE na (Obrázek 3) je revoluční produkt, který slouží k signalizaci hmotnosti včelích úlů a s pomocí jejich hmotnosti využívá SMS technologie. Ta se jeví jako jeden z nejjednodušších způsobů získání dat autonomně. Další možností by bylo zřídit si připojení k internetu. Včelař tak může kdekoliv získat informace o aktuálním stavu hmotnosti do svého mobilního telefonu. Tento produkt je francouzského původu. K přesnému měření využívá Bee WISE čtyři senzory pro měření hmotnosti, jenž jsou automaticky kalibrovány, při připojení

váhy. Značnou výhodou je, že pomocí jedné řídicí jednotky může včelař sledovat i čtyři úly. Váha je vyrobena s komponenty odolávajícími drsným podmínkám. Elektronické součásti jsou chráněny uvnitř boxu s krytím IP 56 s nepropustným napájecím konektorem.

Bee Wise automaticky zaznamenává až dvě hodnoty každý den ve stanovených časech. Do paměti je možné uložit až 64 hodnot z měření, čímž uchováme výsledky měření 1 měsíce. Zabezpečení je vyřešeno nastavením PINu, který je do telefonu naprogramován továrně. Stejný PIN se nastaví uvnitř SIM-karty, jinak přístroj nelze spustit [4].



Obrázek 3: Váha BeeWise měřící hmotnost, napájena solárním článkem (převzato z [4]).

3.1.3 CAPAZ GSM 200

Jedná se o jednu z nejprodávanějších úlových vah, která se vyrábí v Německu [5]. Uvedení elektroniky do chodu je velmi snadné. Stačí pouze připojit/odpojit kabel přívodního napájení. CAPAZ přenáší naměřená data pomocí mobilního telefonu jako SMS zprávy. Z toho plyne, že pro bezchybnou funkci budeme potřebovat signál menší, než je minimální pro přenos hlasu. Nastane-li případ, kdy nebude k dispozici dostatečně silný signál, je možné mobilní telefon připojit pomocí kabelu na místo s lepší dostupností signálu. Po zapnutí mobilního telefonu je udávaná doba, při které by se ještě neměly přenášet data. Omezení je z důvodu zabezpečení komunikace. Doporučená doba se udává min. 10 minut. CAPAZ nabízí také krom známého odesílání naměřených hodnot na mobilní telefon také službu vyzvedávání (odesílání) naměřených informací na serveru CAPAZ Direct. Server automaticky přeposílá přijatá data na námi zadanou e-mailovou adresu. Ceny sestav GSM 200 jsou umístěny v závěru.

Váha je konstruována tak, aby informační zpráva byla odeslána pětkrát za den (časy se dají měnit pomocí konfiguračního software). To znamená, že se spotřebovává mnohem větší množství energie, než za normálních podmínek. I za těchto skutečností výrobce udává frekvenci nabíjení baterie dvakrát do roka. Poprvé před začátkem a podruhé na konci včelařské sezóny. Krytá váha na stojanu pro venkovní použití a váha otevřená pro vnitřní použití jsou na (Obrázek 4).



Obrázek 4: Váha CAPAZ GSM 200 pro venkovní a vnitřní používání (převzato z [5]).

Zvláštěností tohoto přístroje je možnost měření průtoku dešťové vody a okolní teploty v přídatném modulu na obrázku 5. K tomu se využívá vodní samovyprazdňovací/nemrzoucí kolektor. Voda proteče trychtýřem a vytéká lopatkami ven, přičemž se srážky registrují v jednotkách l/m^2 . Od snímače povede kabel do řídicí jednotky váhy. Krabice se snímačem by měla být umístěna na závětrném místě.



Obrázek 5: Snímač množství dešťové vody a okolní teploty (převzato z [5]).

3.1.4 EMMA

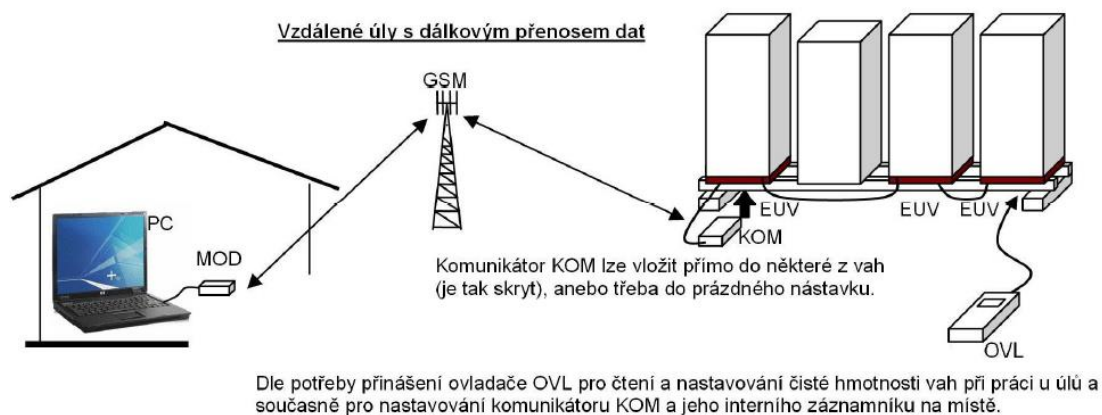
Jedná se o váhu českého původu. "Registrační úlová váha EMMA je zařízení, trvale vložené pod úlem, které samo (automaticky) v pravidelných intervalech měří hmotnost a okolní teplotu úlu a změřené hodnoty ukládá do své paměti. Zaznamenaná data si můžete načíst do počítače a zobrazit si z nich grafy. Grafy přehledně zobrazují rozvoj včelstva a poskytují tak vodítko, jak s ním dále pracovat. Díky možnosti připojení kabelem (např. na zahradě u domu) můžete včelstvo kontrolovat z pohodlí domova až do vzdálenosti 500 m. Ze vzdálenějších stanovišť si můžete nechat data zasílat dálkovým přenosem pomocí mobilní (GSM) sítě. Na stanovišti lze k jednomu záznamníku připojit až 31 vah a lze propojit i více stanovišť. Váhu jsme vyvinuli s ohledem na její kvalitu, přesto zůstala výsledná cena ve srovnání s konkurencí výrazně nižší."citace [2].

Váha má pouze 5 cm na výšku s půdorysným rozměrem 42x46 cm. To odpovídá většině běžně používaných úlů. Na jednom stanovišti může být ke společnému záznamníku připojeno až 31 oddělených vah. Další nespornou výhodou je možnost připojení teploměru a do budoucna připojení alarmu k řídicí jednotce. Váha by tak mohla nejenom měřit hmotnost, ale i hlídat náhlé úbytky nebo informovat majitele o narušení bezpečnosti (rozpojení snímače

na okně či dveřích). Výstupem budou grafy zobrazující měřené období: čtvrtletní, třítydenní, roční nebo zasláná SMS. Cena sestavy EMMA jsou uvedeny v příloze.

EMMA je modulová stavebnice (Obrázek 6) = každý si může vybrat nebo i sám vytvořit sestavu, která nejlépe vyhovuje jeho požadavkům. Nejběžnější modely:

- a) **"Vše ve včelínu"**-úly i všechny komponenty k měření hmotnosti jsou umístěny na stanovišti, uživatel provádí vyhodnocení na místě v programu: "Apidi-v2.6" vyvinutý společností: "Apis Digital". Apidi je volně dostupný na stránkách výrobce.
- b) **"Z domova kabelem"**- úly nejsou umístěny v bezprostřední blízkosti počítače (max. 500 m). Vyhodnocení výsledků u typu modulu probíhá v poklidu domova přes LAN kabel.
- c) **"Docházka na včelnici"**- Modul je cílený na uživatele, kteří mají včelařské stanoviště (úly) ve větší vzdálenosti od domu (tj. maximální vzdálenost mechanického spojení pomocí vodičů). Výsledky měření se získávají mechanickým spojením počítače a záznamníku dat. Vyhodnocení dat probíhá u včelaře doma.
- d) **"Včelnice a dálkový přenos dat"**-Výhodné řešení měření hmotnosti úlů pro včelaře žijící ve větší vzdálenosti od stanoviště. Získaná data odesílá komunikátor a současně vykonává funkci záznamníku. Komunikátor je prakticky GSM modul. Data jsou odeslána na internet, odkud si je uživatel uloží.



Obrázek 6: Fyzické získávání na výsledků naměřených dat (převzato z [2]).

Analyzováním trhu s registračními váhami nalezneme možné cesty k vyřešení problému. Získáme také pohled na finanční stránku vah, která se dnes stále ještě pohybuje poměrně vysoko. Bylo by tedy žádoucí navrhnout cenově výhodnější variantu s neméně rozsáhlými možnostmi komunikace. Na počátku konstrukce váhy je bezpodmínečně nutné prostudovat mechanismy váhových systémů. Následným přirozeným výběrem pokračovat v návrhu.

4 MECHNISMY VAH

Hmotnost je základní fyzikální veličina charakterizující přitažlivou sílu na těleso a setrvačnost. Těleso v setrvačném stavu je schopné setrvávat v klidu nebo rovnoměrném přímočarém pohybu, dokud není vnějšími silami nuceno tento stav změnit. Při vážení těles se obecně postupuje tak, že se proti tíze váženého tělesa nechá působit známá síla stejné velikosti ale opačného směru (nebo sílu nahrazuje vnitřní statické účinky v zatěžované konstrukci). Rozdělení mechanismů vah bylo čerpáno z [6] [7][8] [9].

Podle činnosti na:

- automatické – vážení a s ním spojené operace se uskutečňují bez účasti obsluhy (pásové, třídící váhy apod.);
- neautomatické – jedna operace se děje za pomoci obsluhy (váhy pákové, sklonné, pružinové a elektromechanické).

Podle způsobu vyvažování na:

- váhy s automatickým vyvažováním – rovnovážné polohy dosahujeme bez zásahu obsluhy (např. váhy sklonné, pružinové, běhounové);
- váhy s neautomatickým vyvažováním – obsluha zjišťuje rovnovážnou polohu (např. váhy běhounové, závažové);
- váhy s poloautomatickým vyvažováním – zásahu obsluhy je potřeba k nastavení mezi rozsahu automatického vyvažování (váhy sklonné, elektromechanické atd.);

Podle výstupního signálu:

- s analogovým výstupem;
- s číslicovým výstupem;
- kombinované;

Podle funkce:

- váhy se závažím;
- váhy bez závaží

Podle principu:

- mechanické váhy – pákové, pružné (deformační), hydraulické a pneumatické;
- mechanicko – elektrické váhy – kapacitní, odporové, induktivní, piezoelektrické;
- mechanicko – optické váhy – s optickým odečítáním, s interferenčním odečítáním;
- radiometrické váhy – absorpční, váhy s rozptylem záření.

FYZIKÁLNÍ PRINCIPYMĚŘENÍ HMOTNOSTI:

Při vážení využíváme tíhu tělesa, na které se nechá působit známa síla stejné velikosti, ale opačného smyslu.

- tíha závaží na opačném ramenu páky při vahách pákových
- vztlak vzduchu nebo kapaliny při vahách vztlakových
- elastická síla deformačního tělesa (váhy pružinové, torzní a deformační)

MECHANICKÉ VÁHY

PÁKOVÉ VÁHY

Přímé srovnání neznámé hmotnosti se známou na základě tíže závaží, dává podklady k dosažení velké přesnosti. Mimo jiné je to jeden z důvodů, proč byly tyto váhy tolik rozšířené. Pákové váhy se projevují zachováním svých vlastností poměrně dlouhou dobu i při podmínkách relativně nepříznivých. Nedostatkem pákových vah je nižší přesnost při váživosti menší než 1g (u laboratorních vah desetin mg) a také při vyšší hmotnosti. Prvními přístroji pro měření byly váhy rovnoramenné. Tyto váhy ještě neměly ukazatel rovnovážné polohy – jazýček nahrazovala vodorovná poloha ramen, které se docílilo vyvažováním zboží různými závažími [10]. Nákres pákové (rovnoramenné) váhy (Obrázek 7).



Obrázek 7: Páková váha (převzato z [10]).

ROVNOBĚŽNÍKOVÉ BALANČNÍ VÁHY

Vynalezeny v 17. století a používaly se dokonce až do 20. století. Říkalo se jím „pákové váhy“. Obrázek 8 znázorňuje spojení misek pákou. Jejím důmyslnějším využitím je používání mnohem jednodušší. Přesnost vážení určovala poloha jazýčků (pokud byly ve vodorovné poloze, hmotnost váženého předmětu a hmotnost kalibrovaných závaží byla stejná [6]).



Obrázek 8: Balanční váha (převzato z [10]).

DECIMÁLNÍ VÁHA

První decimální váha byla sestrojena v 19. století (Obrázek 9). Nesporou výhodou váhy byl mechanický pákový převod mezi deskou pro vážené těleso a deskou pro závaží. Převod byl často realizován v poměru 1:10 kvůli snadnému dopočítávání skutečné hmotnosti. Na menší plošinu se dávala vyvažovací závaží, větší plošina sloužila pro uložení měřeného tělesa [10].



Obrázek 9: Mechanismus decimální váhy (převzato z [10]).

BĚHOUNOVÁ VÁHA

Běhounové váhy (Obrázek 10) byly vynalezeny v 19. století. Činnost spočívá ve vyvažování břemene posouváním závaží konstantní hmotnosti po rameni vahadla. Používá se hrubá i jemná stupnice. Vyvažováním do roviny a pákovým převodem se podobají váhám decimálním [10].



Obrázek 10: Běhounová váha (převzato z [10]).

SKLONNÁ VÁHA

U sklonných pákových vah (Obrázek 11) se vyvážení břemene dosahuje výchylkou sklonného vahadla s protizávažím ze základní nulové polohy. Rovnovážná poloha, v níž se vahadlo ustálí, je pro každé zatížení jiná. Měřítkem hmotnosti je výchylka vahadla. Velikost závaží i délka ramen jsou konstantní. Na tomto principu jsou konstruovány i velké průmyslové váhy [10].



Obrázek 11: Sklonná páková váha (převzato z [10]).

VZTLAKOVÉ VÁHY

Vztlakovou váhu si můžeme představit jako plovák, který se při různých zatíženích ponoří do různé hloubky. Velikost ponoru pak udává tíhu váženého předmětu. Uplatnění tohoto principu je pro vlastní vážení minimální. Používá se však k měření hustoty kapalin (areometr). Plynové vztlakové váhy se osvědčily jako mikrováhy.

VÁHY S ELASTICKÝM PRVKEM

V současnosti asi nejrozšířenějším typem vah jsou váhy s elastickým prvkem [7][11]. Ukazatelem síly (tíhy tělesa) může být:

- deformace prvku (změna některé z délek rozměru)
- jiná fyzikální veličina, která závisí na stavu mechanického napětí ve snímacím prvku

Druhů vah založených na deformaci pružného prvku je mnoho. Rozdělují se podle tvaru elementu, způsobu namáhání, způsobu odečítání deformace. Deformace může být indikována:

- Přímou pomocí jazýčků (ručiček) na příslušné stupnici, používá se při hrubých vahách s válcovou pružinou a torzních mikrováhách,

- s mechanickým převodem pákovým a ozubeným, používá se u pružinových vah s válcovými pružinami.
- s mechanicko-elektrickým převodem, elektrickým zesílením a elektrickým měřením, v současnosti jsou nejrozšířenější váhy, při nichž se deformace měří pomocí tenzometrických snímačů.

PŘUŽINOVÉ VÁHY

Typickým příkladem pružinové váhy je mincíř (Obrázek 12), který se nejčastěji používal v 19. a 20. století. Při vážení nejsou potřebná žádná závaží. Pracují na principu Hookova zákona. Tedy velikost deformace (prodloužení) je přímo úměrná působící síle. Protažením elastického prvku (pružiny) lze jednoduše pozorovat na dimenzované stupnici. Nejsou vhodné pro neustále se měnící zatížení, jelikož působící síla vyvolává trvalé deformace. V praxi narazíme na rozsahy 5 až 100 Kg s tolerancí 0,3 %. Váhy se konstruují s pružinou spirálového typu nebo válcového.



Obrázek 12: Pružinové váhy (převzato z [12]).

HYDRAULICKÉ VÁHY

U hydraulických vah píst vlastní tíhou a tíhou váženého předmětu tlačí na kapalinu ve válci (Obrázek 13). Konstrukce přitom bývá velmi jednoduchá. V těle měřidla jsou dva otvory. Jeden slouží pro přišroubování manometru a druhý pro doplnění kapaliny (vzduchu). Do těla je našroubováno pouzdro pístu s těsněním a uzavřeno plochou pístu, na kterou působí zatížení. Výslednou hodnotou měření je tlak. Ten je nezbytné přepočítat na sílu (hmotnost). V praxi se zjišťování hmotnosti tímto způsobem nepoužívá [6].



Obrázek 13: Hydraulická váha (převzato z [10]).

4.1 ELEKTROMECHANICKÉ A ELEKTROMAGNETICKÉ VÁHY

TENZOMETRICKÉ VÁHY

O odporové tenzometry jsou nejpoužívanějšími snímači neelektrických veličin. Díky své malé hmotnosti je vhodný pro dynamická i statická měření. Rozsah je obvykle pokryt několika snímači se stejnými elektrickými parametry ("plný most", "půl most"), aby bylo možné jej připojit na jednotný vstup měřícího zařízení. Využití odporových tenzometrů je založeno na změně elektrického odporu působením deformace na vodič [11][13]. Základní rozdělení tenzometrů je: a) Kovové, b) Polovodičové.

a) Kovové tenzometry - dělí se podle provedení kovové mřížky (vodivé cesty) na:

- **drátové** - historicky nejstarší, dnes se používají jen při vysokých teplotách či deformacích. Měrná mřížka je vytvořena z drátku a připevněna na podložku lepidlem. Slouží k vyšetřování jednoosé napjatosti, zbytkového napětí, koncentrátorů a gradientů napětí v oblastech pružných i plastických deformací. Speciální typy odolávají teplotám až 900°C při 4000 pracovních cyklech. U drátkových tenzometrů je zaručený malý rozptyl odporu, malý rozptyl teplotních součinitelů, což je velmi důležité pro vyloučení rušivých vlivů.
 - bez podložky - tenzometry s volnou mřížkou
 - s volnou mřížkou - odporové dráty jsou uchyceny mezi soustavou držáků (izolačních kuliček) tak, aby při zatížení nedocházelo ke změně jeho délky a tudíž ke změně jeho odporu. Aktivní odpor tedy není přilepen a odpadají tedy problémy s přenosem deformace na celý povrch článku. Výhodou tedy je použití při vyšších teplotách.
- **foliové** - v současnosti nejpoužívanější kovové tenzometry. Měřicí mřížka je vytvořena z fólie (min. tloušťka je 5 μ m) a je připevněna na podložku lepidlem. Tvar měřicí mřížky je tvořen leptáním nepotřebných částí desky. Po vyleptání zůstane jen mřížka. Podložka bývá nejčastěji z polyamidu nebo to jsou skelnými vlákny vyztužené fenolové filmy (205 μ m). U foliových tenzometrů může být navíc snadno vytvořena libovolná konfigurace měřicí mřížky a tím může být použito vyššího napájecího napětí. Dalším krokem je vyleptání všech měřících mřížek včetně jejich propojení a kompenzačních odporů z jedné folie. Jako jeden celek je potom tento pásek nalepen na měřený objekt. Při konstrukci velmi malých snímačů však nalepení foliových tenzometrů na tenkostěnný kovový pružný prvek snímače má za následek nepříznivé hodnoty některých charakteristik, jako jsou creep a hystereze. Tyto nedostatky nemají tenzometry vrstvé.
- **vrstvé** - metodika přípravy se liší, využít můžeme chemické/elektrochemické přípravy či fyzikální přípravy. Způsob fyzikální přípravy dělíme na:
 - katodové rozprašování - materiálu, který chceme nanášet, použijeme jako katody systému s doutnavým výbojem v interním plynu při tlaku desetin torrů a napětí několika kV. Podložky, na nichž chceme vytvořit vrstvu, jsou položeny na anodě.
 - vypařování ve vakuu - v současné době nejrozšířenější metoda přípravy tenkých vrstev. Budeme-li zahřívat materiál, dojde k uvolňování molekul z jejich vazeb. V uzavřeném systému při konstantní teplotě se tlak ustálí v rovnovážné poloze. Takovýto tlak nazýváme tlak nasycených par. Dojde-li v systému k nerovnováze, v určité části je tedy teplota nižší, pak se v tomto místě páry kondenzují a vytvoří se tak podmínky pro přenos látky z vypařovacího prvku na chladnější podložku.

b) Polovodičové tenzometry - jsou založeny na jevu piezorezistence některých materiálů (především křemíku), který objevil r. 1954 americký fyzik C. Smith. První tenzometry měly problém docílit u křemíku (křehkého jako sklo) odolnost vůči tahovým deformacím srovnatelným s deformacemi kovových materiálů vyšetřovaných konstrukcí. Největší přednosti jsou:

- vysoký součinitel citlivosti, který dovoluje měřit tenzometru velmi malá přetvoření řešeného problému. Pak hodnoty, které dokáže zachytit, se pohybují téměř 100 x větší než u kovových tenzometrů.
- vysoká únavová životnost jenž je potřebná u součástí vysokocyklicky namáhaných.
- výborná stabilita, která se v širokém teplotním rozmezí projeví nízkými hodnotami hystereze, creepu nebo driftu.
- velmi malé rozměry, které jsou při miniaturizaci veškeré elektroniky velmi užitečné. Zvětší se také pole použitelnosti tenzometrů.
- vysoký elektrický odpor.

Tenzometrické prvky pro zjišťování hmotnosti měřeného objektu jsou podrobně rozebrány v kapitole 4.3.

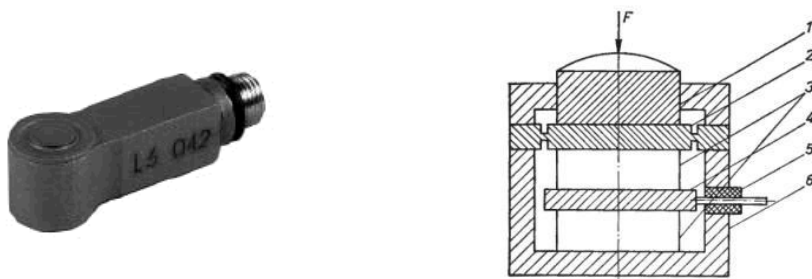
PIEZOELEKTRICKÉ VÁHY

Piezoelektrické snímače [8][14][15] se v praxi používají zejména pro měření dynamických sil (Obrázek 14 a). Destička musí být vyřezána pod přesnými úhly z materiálu s piezoelektrickými vlastnostmi (křemen, titaničitan barnatý a olovnatý). Silovým působením na krystal, dochází k elektrické polarizaci. Jsou-li na povrchu krystalu připojeny elektrody, objeví se na nich náboj Q . Destička svou konstrukcí vytváří kondenzátor o kapacitě C , na elektrodách tedy vznikne napětí:

$$U = \frac{Q}{C} = \frac{k_p}{C} * F = k_u * F, \quad (1)$$

kde k_u - napěťová konstanta snímače.

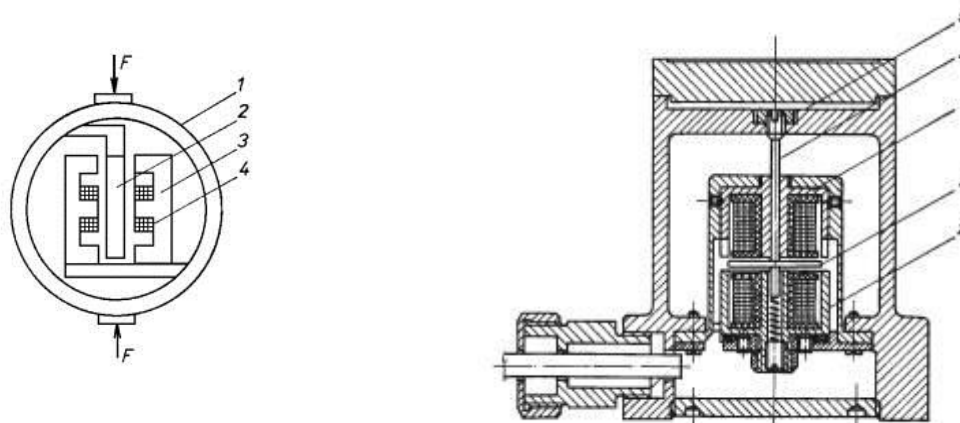
Senzor tlakové síly (Obrázek 14 b) obsahuje dva krystaly³, orientované tak, aby se náboje sčítaly při působení síly na část 1 a membránu 2. Výstupní signál snímače je vyváděn z elektrody 4 izolační průchodkou 5, tak, aby se náboje sčítaly při působení síly na přitlačný článek 1 prostřednictvím membrány 2. Celý systém je uzavřen v pouzdře 6.



Obrázek 14: Piezoelektrický snímač síly a) fyzické provedení b) konstrukce (převzato z [10]).

INDUKČNÍ VÁHY

Pro měření tlakových a tahových sil se aplikují snímače s otevřeným magnetickým obvodem, ale i s malou vzduchovou mezerou. Nejvýhodnější je snímače použít pro měření malých sil. Řádově 10 N až do 1 MN. V praxi jsou nepoužívanější indukční snímače s prstencovým členem. Prstencový snímač síly s diferenčním snímačem a malou vzduchovou mezerou (Obrázek 15 a) je jedním z příkladů indukčního snímače. Působením síly se deformuje pružný prstenec 1 a s ním spojená kotva 2 se posune mezi jádry 3. Tím se změní indukčnost cívek 4, které jsou zapojeny do můstku [16].

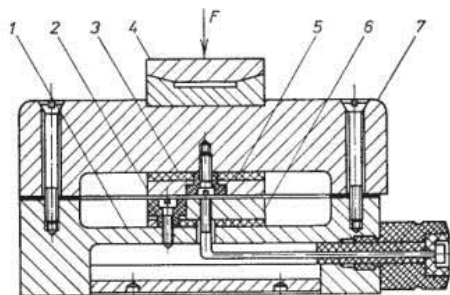


Obrázek 15: Indukční snímače zatížení: a) prstencový snímač s malou vzduchovou mezerou b) přímočarý snímač s malou vzduchovou mezerou (převzato z [16]).

Přímočarý senzor tlakových sil s malou vzduchovou mezerou (Obrázek 15 b) má mezi jádry 1 a 2 z měkkého železa kotva 3, jejíž dřík 4 se dotýká dna tělesa 5, které se stlačuje. Působením tlakové síly se těleso deformuje a kotva snímače 3 se posouvá spolu se dnem, s nímž je pevně spojena. Snímačem lze měřit v dynamickém provozu tlakové síly o kmitočtu 5 až 7 Hz. Snímače mají maximální hodnoty posunutí v řádu desítek μm .

KAPACITNÍ VÁHY

Snímače tohoto typu (Obrázek 16) pracují se změnou vzdálenosti elektrod v závislosti na působícím zatížení. Deska v tělese se používá jako deformační člen a zároveň tvoří horní elektrodu kondenzátoru. Pro kapacitní snímače je na těleso 1 je přišroubována měřicí deska 7. Uvnitř snímače mezi izolačními vložkami jsou elektrody kondenzátoru 2 a 6. Tlaková síla je přenášena horní podložkou 4 na desku v tělese 7, která se deformuje tak, že se mění vzdálenost mezi elektrodami 2 a 6. Tyto snímače jsou vhodné pro měření dynamických sil [17].



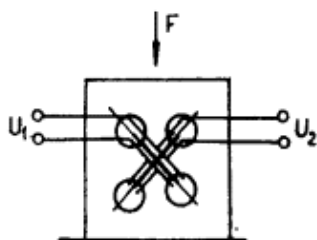
Obrázek 16: Kapacitní snímač pro měření síly (převzato z [17]).

MAGNETICKÉ VÁHY

Magnetické snímače využívají změny magnetických vlastností feromagnetických materiálů při jejich deformaci. Prakticky se ve feromagnet. materiálu působením mechanického napětí mění impedance magnetického obvodu a indukčnost nebo vzájemná indukčnost jedné nebo několika cívek. S růstem deformační síly se mění magnetická indukce B a způsobuje změnu permeability materiálu. Magnetické snímače rozdělujeme na magnetoanizotropní a magnetoelastické [13] [18].

MAGNETOANIZOTROPNÍ

Princip magnetoanizotropního snímače (Obrázek 17) je založen na změně magnetické vodivosti vlivem deformace feromagnetického jádra. Tyto snímače síly se realizují vždy jako transformátorové. Při zatížení snímače dojde ke změně magnetické vodivosti ve směru působící síly, a tedy ke změně rozložení magnetického toku. Tím se vytvoří vazba mezi vinutími a vznikne tedy v sekundární cívce napětí úměrné působící síle.

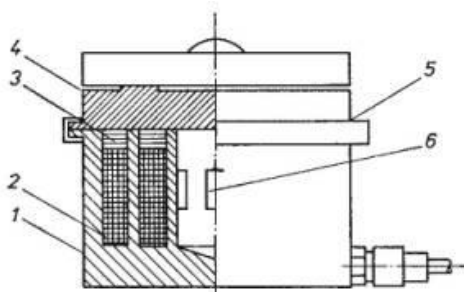


Obrázek 17: Magnetoanizotropní snímač síly (převzato z [18]).

MAGNETOELASTICKÉ

S růstem deformační síly se mění magnetická indukce B a způsobuje změnu permeability materiálu. V uzavřeném magnetickém obvodu s alespoň jedním vinutím dojde ke změně indukčnosti a tedy impedance cívky. Změnou magnetických vlastností cívky je možné určit změnu mechanického napětí, v praxi je můžeme vidět častěji (vhodné pro těžké provozy).

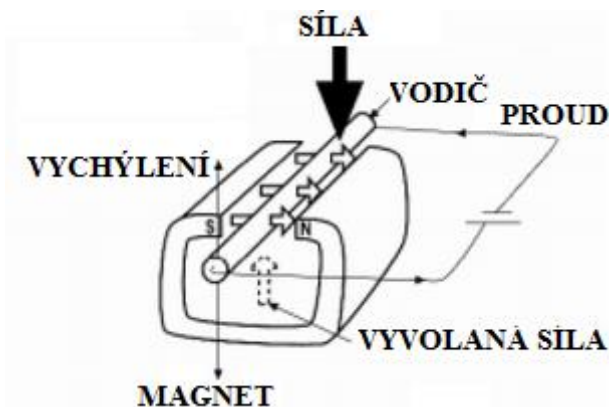
V magnetickém obvodu magnetoelastického snímače (Obrázek 18) 1 je uloženo vinutí snímače 2. Kroužky 3 uzavírají magnetický obvod. Horní kryt 4 je nalisován kroužkem 5 spojen s magnetickým obvodem snímače. Kompenzační vinutí 6 vyrovnává vliv teploty snímače.



Obrázek 18: Magnetoelastický snímač síly (převzato z [18]).

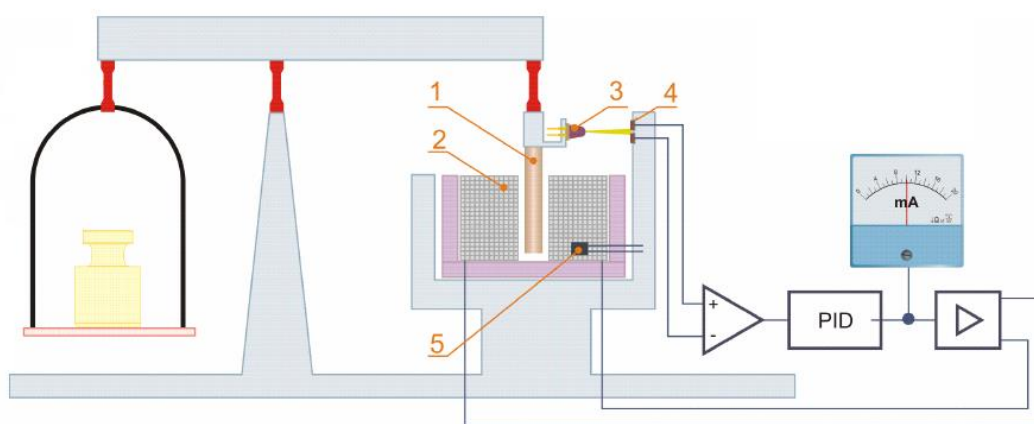
VÁHY S ELEKTROMAGNETICKOU KOMPENZACÍ SÍLY

Pro vážení se používá principu kompenzace elektromagnetické síly. Svými přednostmi je vhodná do provozů vyžadujících přesné a rychlé vážení (potravinářský průmysl, farmaceutický průmysl, chemický průmysl). V praktickém nasazení dovozuje dosáhnout přesností lepších než 0,0001 % z vážního rozsahu (např. přesnost vážení 1g na vážním rozsahu 10 kg). Metoda elektromagnetické kompenzace síly (Obrázek 19) je založena na fyzikálním principu pravé ruky, kdy na vodič, jímž protéká proud a je umístěn v elektromagnetickém poli, působí síla. Zvýšíme-li tedy protékající proud v konstantním magnetickém poli, zvýší se i na vodič působící síla [19].



Obrázek 19: Elektromagnetická kompenzace síly (převzato z [19]).

Na Obrázek 20 aplikujeme opačně tento poznatek. Působíme silou F (tíhovou silou) na vodič v magnetickém poli, ten jakoby byl zatlačován do středu cívky. Na to reaguje zpětnovazební elektronika váhy tím, že začne zvyšovat proud procházející vodičem. Rostoucí elektromagnetická síla působící na tyč tak začne kompenzovat hmotnost závaží (vážený předmět pozvedává). Proud se zvyšuje až do doby, kdy se tyč dostane do výchozí polohy. Změna hodnoty velikosti proudu potřebná pro kompenzaci zatížení tak odpovídá velikosti hmotnosti váženého objektu [12].



Obrázek 20: Váha s elektromagnetickou kompenzací: 1) cívka, 2) elektromagnet, 3) zdroj světla, 4) fotocitlivý prvek, 5) snímač teploty (převzato z [12]).

4.2 VOLBA FYZIÁLNÍHO PRINCIPU A KONSTRUKCE VÁHY

Výběrem vhodného principu vážení, a tím i vhodnou konstrukcí můžeme výrazně zvýšit přesnost, snížit cenu a náročnost při výrobě. Použitím jednoduchých a levných materiálů pro konstrukci a sériově vyráběných elektronických součástek pomůže vytvořit cenově dostupný produkt. Váha by měla být zcela jistě **automatická**. Snahou je tedy docílit nulové fyzické potřeby obsluhy, která by odaretovávala váhu, posunovala vyvažovací závaží nebo zapisovala naměřené hodnoty. Výsledky měření v číslkové podobě jsou mnohem hodnotnější při porovnávání více včelstev. Graficky nám dovolují pohled na hodnoty naměřené v minulosti. Automatizací všech těchto úkonů snížíme čas potřebný na zásahy ve včelstvech a naopak zvýšíme užitečnost vhodným načasováním.

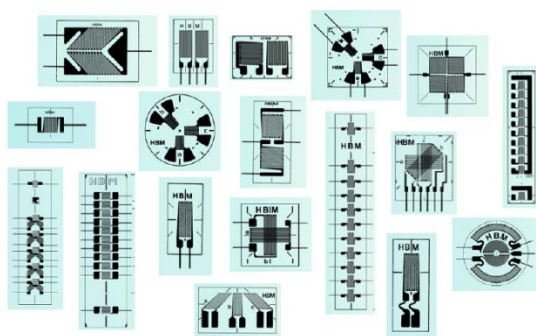
Po stanovení všech požadavků na úlohu jsem dospěl k závěru, že jediným způsobem, jak dodržet cíle, je spojení mechanické a elektronické váhy. Mechanická část je vždy zastoupena pevně uchycenou podstavou, deformačním členem a zatěžovanou deskou/rámem. Podstavu je nutné přichytit (vetknout) k zemi, abychom zabránili nežádoucím posuvům a povětrnostním vlivům. Výběrem správného deformačního členu zodpovíme jednu z klíčových otázek při počátečních návrzích. Cílem deformačního členu je využít fyzikální účinky síly. Snímáme spojitě (NE dynamické) působení síly podle Newtonova zákona. Principem většiny senzorů je převod síly-deformace - fyzikální účinky deformace. Požadované přesnosti bychom mohli docílit tenzometrickými snímači, které připevníme na místa s největším poměrnou deformací. Ta je směrodatná pro tenzometry.

4.3 TENZOMETRY

„Tenzometr“ bylo původně označení pro jednu konkrétní konstrukci mechanického průtahoměru firmy Huggenberger, které se v češtině postupně přeneslo i na jiné typy průtahoměrů (extenzometrů, měřičů deformací), popř. zprostředkovaně i na měřiče napjatosti resp. přetvoření, včetně odporových [11][13]. Praktické využití tenzometrů by nebylo nikdy možné bez objevů:

- závislosti mezi napětím, proudem a odporem, které popsal G. S. Ohm
- vhodné zapojení pro měření malých odporových změn Charles Wheatstone.

Odporové tenzometry se vyrábějí v různých typech a velikostech (Obrázek 21). Vedle jejich různé délky a tvaru měřicí mřížky, existují různé druhy uložení měřicí mřížky a různé druhy pájecích kontaktů. Rozdíly jsou také v poloze a počtu měřicích mřížek. Existují tenzometry pro běžné použití, ale i pro speciální aplikace. Velký počet tvarů a délek je výsledkem požadavků na velké množství rozdílných aplikací a použití [20].

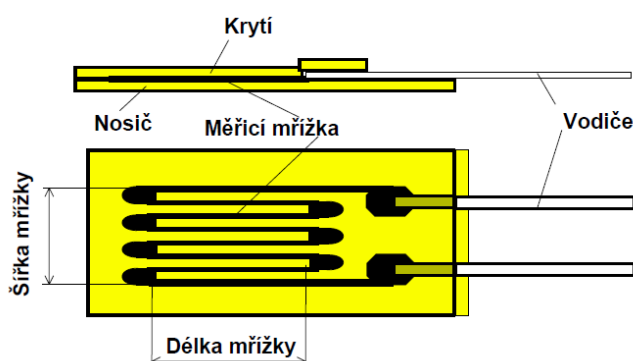


Obrázek 21: Odporové tenzometry firmy HBM (převzato z [20]).

4.4 RYSY ODPOROVÝCH TENZOMETRŮ

ROZMĚRMĚŘÍCÍ MŘÍŽKY

Běžné délky tenzometrů se pohybují od 0,6 do 150 mm (Obrázek 22). Hlavní volbou délky je homogenita nebo případná nehomogenita pole napětí v místě tenzometru. Citlivost tenzometru není závislá na jeho délce, ale na relativním prodloužení, tj. na přetvoření a ne na absolutním prodloužení. Velikost tenzometru tedy nemá vliv na citlivost. Tenzometry jsou konstruovány tak, aby vliv přechodů mezi vrstvami nezasahoval až na aktivní část měřicí mřížky [13].



Obrázek 22: Rozměry měřicí mřížky tenzometru (převzato z [20]).

ELEKTRICKÝ ODPOR

Tenzometry mají různé hodnoty jmenovitých odporů. V současné době jsou nejpoužívanější hodnoty odporů 350Ω. S ohledem na vyvažování můstku je nutné, aby veškeré zapojené tenzometry měly stejný odpor. Obvyklá tolerance jmenovitých hodnot je ± 0.35 a ±0.3 [13].

POUŽITELNÝ TEPLOTNÍ ROZSAH

Tenzometry v různých provedeních pokrývají široký rozsah teplot. Jejich teplotní stabilita je dána stálostí mechanickou, elektrickou a především chemickou. Je třeba rozlišovat teplotu, kterou je tenzometr schopen ještě snést a možnou teplotu měření.

Materiál měřicí mřížky může způsobit drift nulového bodu změnou struktury nebo oxidací. V běžných tenzometrech dochází k tomuto jevu kolem 260°C, u tenzometrů pro vyšší teploty lze dosáhnout teplot až 600°C [13].

DEFORMAČNÍ SOUČINITEL TENZOMETRU

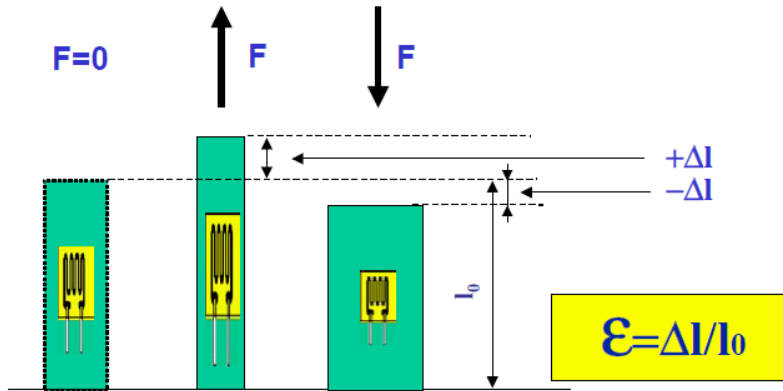
Vlivem zatížení materiálu se tenzometr deformuje (Obrázek 23). Deformace se projevují i na povrchu materiálu. Tato změna se přenáší na tenzometr, který takto mění svůj odpor, jenž je lineárně úměrný prodloužení na povrchu materiálu. Změna odporu je dána vztahem:

$$R = \rho \frac{L}{S}, \quad (2)$$

kde ρ , L , S jsou specifický odpor, délka a příčný průřez odporového drátu. Pro konečnou změnu ΔR odporu R , lze odvodit vztah:

$$\frac{\Delta R}{R} = k\varepsilon, \quad (3)$$

kde "k" je bezrozměrný deformační součinitel tenzometru, který v sobě obsahuje vliv mřížky a celou konfiguraci tenzometru. Závislost mezi změnou odporu a přetvořením není zcela lineární, reálná závislost má parabolický charakter. Určitá část křivky se však dá považovat za lineární. Další faktor ovlivňující k-faktor je teplota. Výrobce udává teplotní koeficient pro přepočtení k-faktoru na potřebnou teplotu měřeného místa [11][13].



Obrázek 23: Deformační součinitel tenzometru (převzato z [20]).

PŘÍČNÁ CITLIVOST

V tenzometru by mělo docházet pouze ke změně odporu a tím i přetvoření pouze v aktivní délce a jejich poměr by měl vyjadřovat deformační součinitel tenzometru. Někdy však může nastat případ, kdy dochází k deformaci i ve směru příčném [13]. Z hlediska měření je potom důležitá příčná citlivost, která je definována:

$$q = \frac{k_t}{k_l} \quad (4),$$

kde k_l je deformační součinitel tenzometru ve směru aktivní délky a je definovaný

$$k_l = \frac{\Delta R/R_0}{\varepsilon_l} \quad (5),$$

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

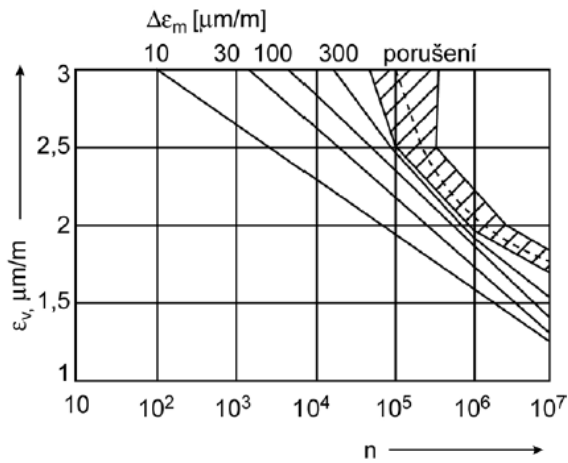
$$k_t = \frac{\Delta R/R_0}{\varepsilon_t} \quad (6).$$

Tenzometry mívají příčnou citlivost menší než 0.008.

ÚNAVA TENZOMETRU

V případě zatěžování tenzometru konstantní amplitudou může dojít občas k nerovnoměrnosti v indikaci amplitudy zatěžující síly a nebo tvarovému zkreslení (Obrázek 24). Z řady provedených experimentů vyplynulo, že tenzometry s dlouhou měřicí mřížkou mají poněkud

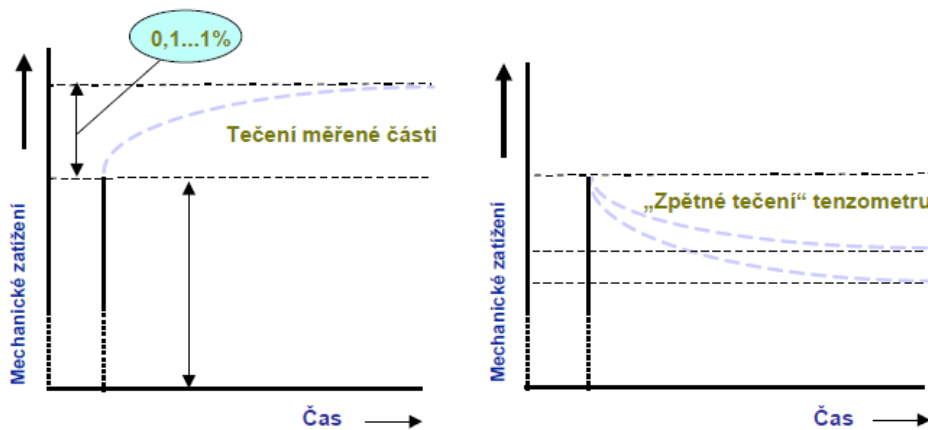
lepší únavové vlastnosti. Výrobce tenzometrů udává závislosti posuvu nulového bodu ve vztahu k amplitudě přetvoření u střídavého cyklu na počtu cyklů.



Obrázek 24: Závislost nulového bodu v na amplitudě (převzato z [20]).

CREEP

Při dlouhodobém zatížení materiálu se objevuje tzv. creep (tečení). Jedná se o pokles měřené veličiny v závislosti na čase. Tento jev umožňují jednotlivé materiálové vrstvy, které přenášejí přetvoření k měřicí mřížce. Více se jev projevuje u kratších měřicích mřížek. Jedním ze způsobů, jak creep můžeme kompenzovat (Obrázek 25), je použití materiálu (tenzometru) s opačným působením creepu než materiál (měřená součást), na kterém jsou aplikovány [11][13][20].



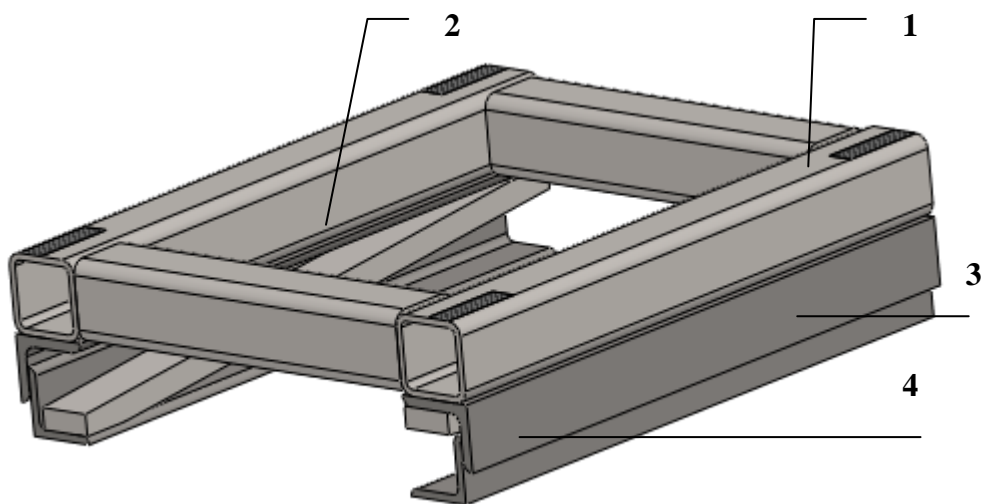
Obrázek 25: Odstranění "creepu" (převzato z [20]).

5 KONSTRUKCE ZAŘÍZENÍ

Je založená na principu ohýbání deformačního členu. Rozhodl jsem se pro úlohu použít aplikaci tenzometrů. Jejich počet se mění podle výběru zapojení. Velmi důležitá je volba místa pro nalepení snímačů, nejjednodušeji se dá provádět experimentální metodou s využitím grafických programů. Jedním z nich je Solid Works, jehož součástí je i deformačně napěťová analýza. V programu se nejdříve vymodelují rámy, kterým přiřadíme charakteristické vlastnosti podle polotovarů použitých k výrobě. Součásti sloučím pomocí vazeb do jedné sestavy. Druhým krokem bude studie deformační analýzy, které mi řeknou, jak se bude rám chovat při jmenovitém zatížení/změně zatížení. Výsledkem může být například celkový tvar nosné desky váhy při jejím průhybu, deformační napětí v kritických oblastech rámu nebo nejvyšší koncentrace přetvoření. Maximální přetvoření je záměrně umístěno na deformační prvek (prvek pro to určený). Následující obrázky ukazují možné koncepty nosného rámu.

5.1.1 KŘÍŽOVÝRÁM

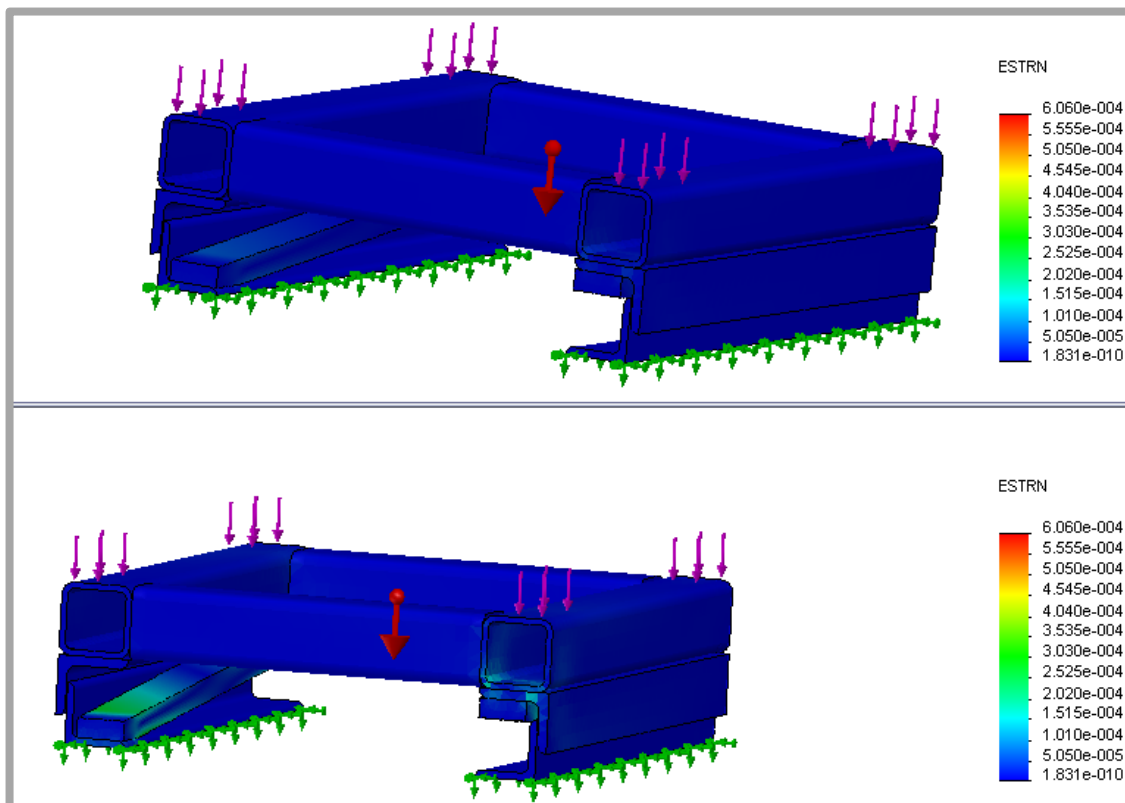
Obrázek 26 jObrázek 26e křížový rám, který je složen z **1** - nosné konstrukce (svažené trubkami uzavřeného obdélníkového profilu). Na horních rohových ploškách je umístěn včelí úl. Zatížení je tedy symetrické s působením po vertikální ose, a to pouze v jednom směru. Povahou změny hmotnosti se jedná o statické působení síly (resp. s velmi malou časovou změnou). Deformační člen - **2** bude sílu přetvářet na ohyb a částečný krut daný křížovým rozložením těchto členů (tyč obdélníkového profilu, válcovaná). Součást **3** (tyč otevřeného "L" profilu) je pevně spojena se součástí **4** přes deformační člen. Díl **4** je pevně ukotven se zemí rozebíratelným materiálovým spojením.



Obrázek 26: Obrázek křížového rámu.

Porovnání rámu při zatížení 200N a 1500N (Obrázek 27). Tyto hodnoty reprezentují minimální a maximální velikosti zatížení. Ze studií je jasně patrné místo, pro umístění měřicího elementu. Bod se střední hodnotou přetvoření (zelená místa). Číselné hodnoty je

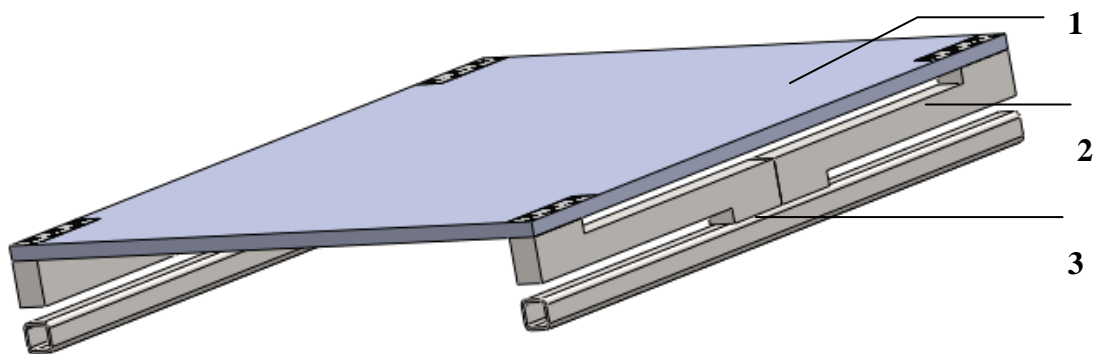
nutné brát s rezervou, v simulaci není zakomponováno působení svarů. Stejně tak rozměry byly navrženy experimentálně. Jde tedy o orientační zjištění vhodné pozice pro tenzometry.



Obrázek 27: Poměrná deformace při zatížení 200N a 1500N, hodnoty v MPa.

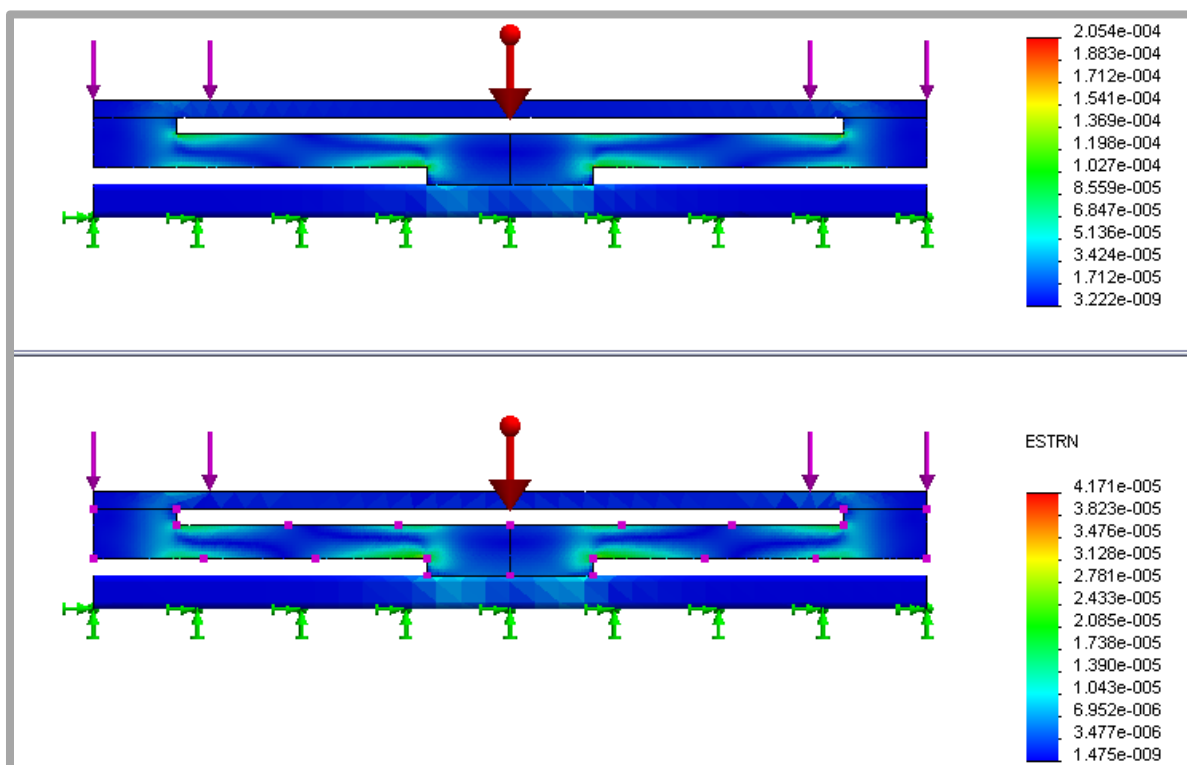
5.1.2 "U" RÁM

Druhý koncept rámu, který skladbou připomíná první. Obrázek 28: **1** - vrchní nosná deska (tlustostěnný plech) rozkládá zatížení na **2** - deformačního členu (tlustostěnný plech) a dolní pevnostní konstrukce - **3** (jackel uzavřený, tlustostěnný). Směr zatěžující síly je stejný jako v prvním návrhu. Prvek 1 a 2 není realizováno žádné spojení, působí zde pouze gravitace. Důvodem je dovození pohybu součásti 2 ve vertikálním směru. Posuv je způsobený ohybem.



Obrázek 28: Obrázek U rámu váhy.

Obrázek 29 porovnává výsledky deformačně - napěťové analýzy při stejném zatížení jako v prvním případě. V místě se středním přetvořením je vhodné umístit měřící prvky.

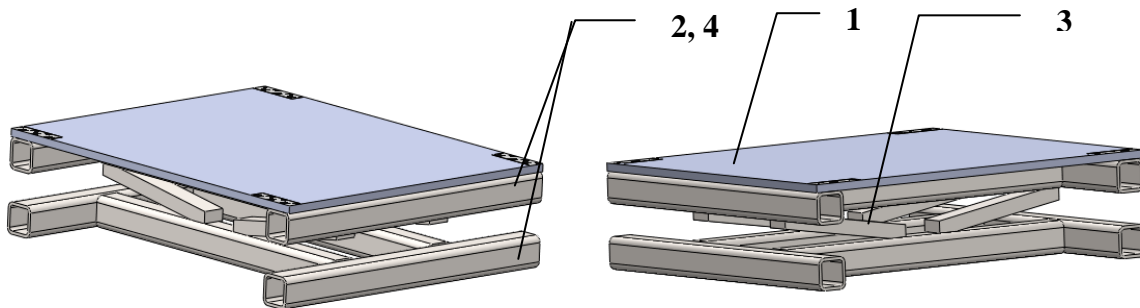


Obrázek 29: Poměrná deformace při zatížení 200N a 1500N, hodnoty v MPa.

5.1.3 "I" RÁM

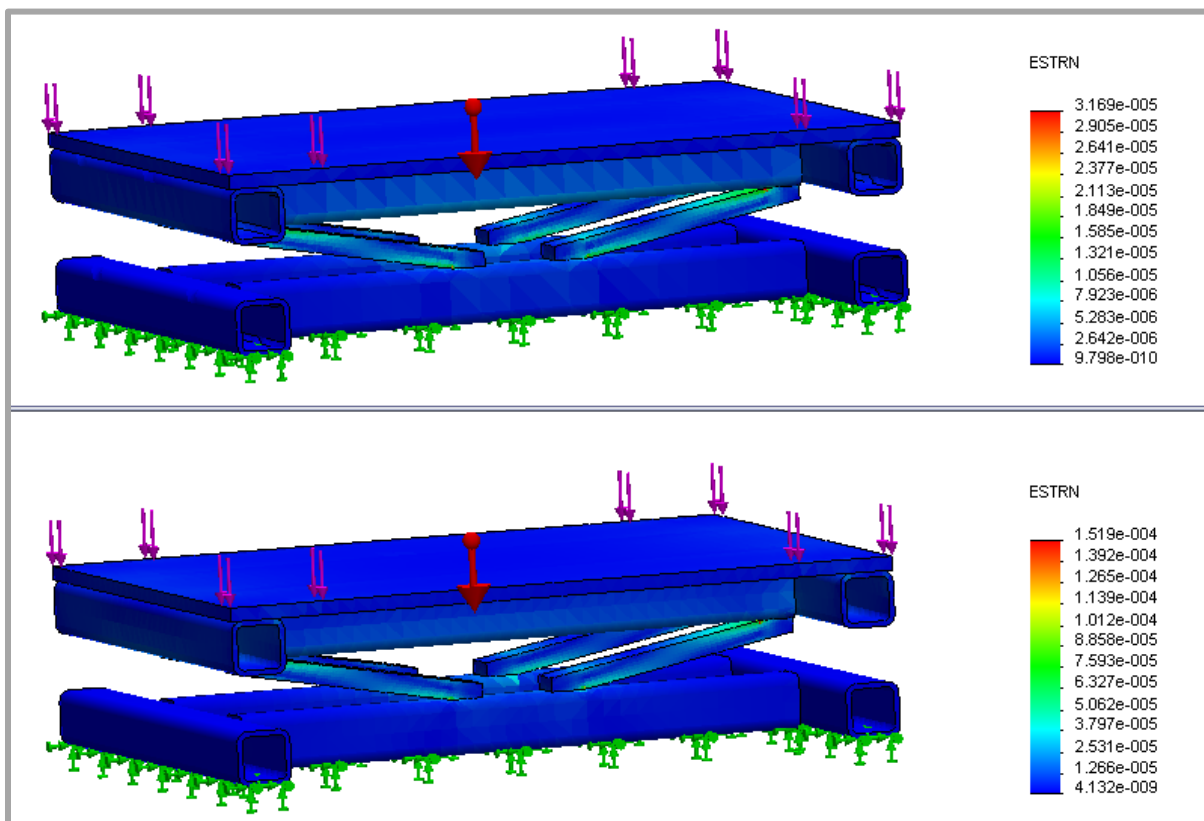
TYČOVÝ RÁM

Principiálně podobný s předchozími návrhy, ale využívá jiný nosný i deformační člen. Znázorněný rám (Obrázek 30): **1** - je opět nosná deska, **2, 4** - nosný a kotvicí prvek (svařenec z jackelů uzavřených obdélníkového profilu) svírající deformační členy **3** - deformační členy (tyč obdélníkového průřezu). Mezi 2, 4 svar => nerozebíratelné spojení.



Obrázek 30: "I" návrhy váhy.

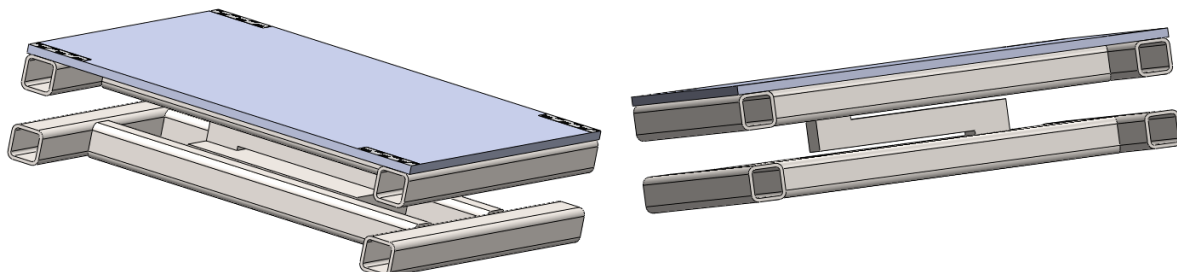
Vyhodnocení oblastí max. přetvoření je na Obrázek 31. Zatěžující hodnoty jsou stejné jako v předchozích případech.



Obrázek 31: Poměrná deformace při zatížení 200N a 1500N, hodnoty v MPa.

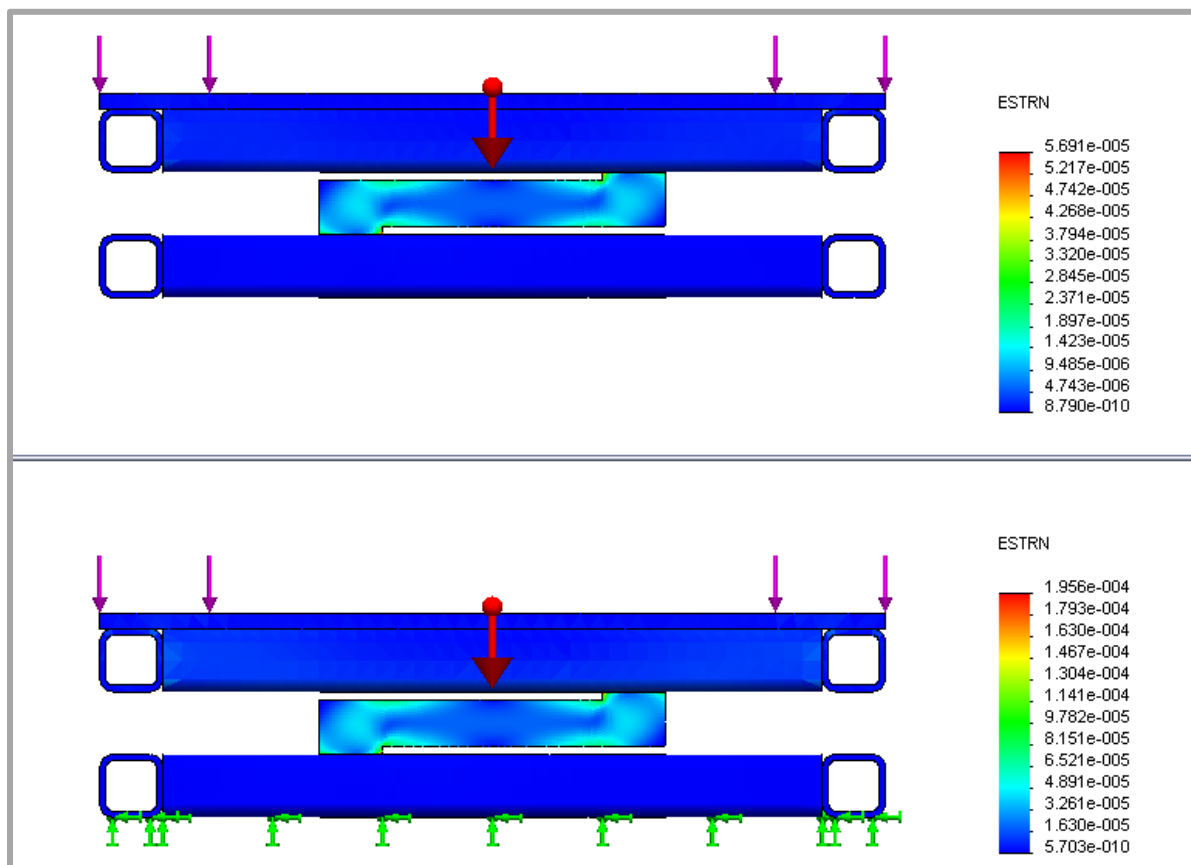
PÁSOVINOVÝ

Pásovinová varianta (Obrázek 32) využívá jeden centrální deformační člen ve středu konstrukce. **1** - je opět nosná deska, **2, 4** - nosný a kotvící prvek svírající **3** - deformační členy. Pozitivem jsou nižší náklady na výrobu a snadná demontovatelnost. Mezi 2, 4 demontovatelný spoj s materiálovým stykem. Bude-li rám rozebíratelný, zjednoduší se tím celková manipulace při připojování elektronické části.



Obrázek 32: Pásovinový návrh rámu váhy.

Přetvoření (Obrázek 33) je situováno v jednom prvku, na který budou umístěny tenzometry. Návrh je výhodný kvůli možné demontáži jednotlivých částí. Člen 3 je možné kdykoliv vyměnit za jiný, pokud by došlo k jeho poškození.



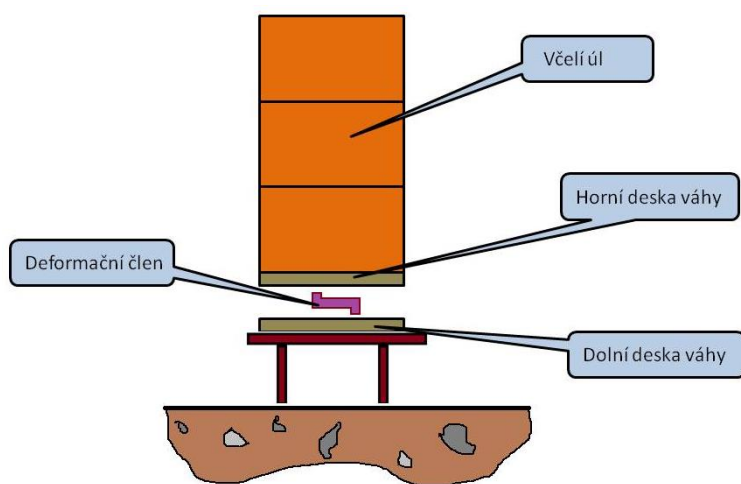
Obrázek 33: Poměrná deformace při zatížení 200N a 1500N, hodnoty v MPa.

5.2 VÝSLEDNÝ NÁVRH RÁMU

Cílem je co nejpřesněji zjistit hmotnost váženého objektu. Jakým způsobem, jakým cenovým zhodnocením, nebo kterým konkrétním měřicím elementem bude úloha vyřešena, není zadáno. Tudíž i volba snímače zatížení je variabilní. Použití tenzometrů je výhodné pro aplikace s nižší váživostí a menším důrazem na přesnost. Zásadní negativní vlastnosti tenzometrů:

- **Teplotní závislost** - první je dilatace deformovaného materiálu, který vykazuje přetvoření bez působení zatížení. Další je závislost elektrického odporu na teplotě. Již z fyzikálního principu je známo, že odpory jsou nelineární elektrické součásti měnící svůj odpor s teplotou (roste teplota, roste odpor). Tento vliv se nejčastěji kompenzuje: a) zapojení odporů do Wheatstonova můstku, b) přidáním kompenzačního tenzometru, který se nalepí na nezátěžovanou součást. Teploty aktivních tenzometrů a kompenzačních jsou stejné, tím i jejich teplotní změny jsou stejné. Vhodné je i použití samokompenzačních tenzometrů. Ty mají speciální chemické složení pro vykompenzování teplotního působení.
- **Creep** - vzniká v materiálových vrstvách při dlouhodobém zatížení. Fyzikálně se jedná o pokles zatížení s rostoucím časem. Jak kompenzovat tečení je důkladně popsáno v kapitole 4.3.1.

Se všemi znalostmi kompenzování nechtěných stavů tenzometrů se mi nepodaří dosáhnout přijatelné přesnosti. Na rozsahu 150 Kg je to zásadní nedostatek. Snažím se přiblížit k přesnosti vážení min. $\pm 100g$. Jediným možným řešením je zakoupení single - pointu. Lepené tenzometry na deformační členy nahradíme integrovaným řešením tenzometrických snímačů v single - pointu. Tím se změní i koncepce konstrukce váhy (Obrázek 34). Výrobce SP garantuje teplotní stálost, téměř lineární průběh změny odporu, vysokou citlivost, minimální creep.



Obrázek 34: Schéma uložení na single-point.

5.3 SINGLE- POINT

Je pouze aplikací fyzikálního principu tenzometrů. V dnešní době je velmi rozšířený. Díky masové výrobě je cena mnohem nižší než před lety. Měřená síla nebo hmotnost může být svým charakterem statická nebo dynamická a výsledkem měření může být buď absolutní hodnota, nebo pouze její změny. V praxi je většinou požadováno určení konkrétní hodnoty, která nevykazuje větší dynamické vlastnosti. Snímač by měl být navržen tak, aby maximální

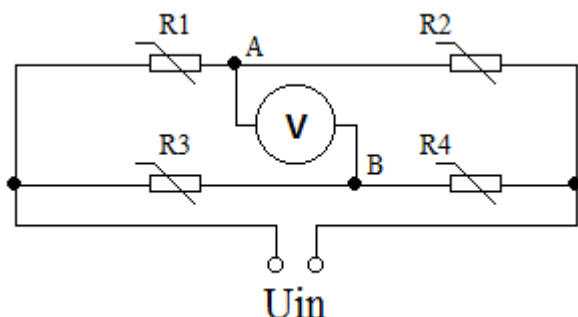
měřená hodnota dosahovala 50% až 80% nominální hodnoty snímače. Rezerva je nutná pro ochranu snímače před zničením. Pro konstrukci úlové váhy můžeme z jisté znalosti břemene odhadnout maximální váživost do 150 kg, přičemž snímač má rozsah do 200 kg.

Při návrhu vážení je nutné zvolit také vhodný konstrukční typ snímače. Řešení jednotlivých problémů se liší způsobem deformace tenzometrického snímače sil. Například jednobodové (single-point) snímače sil se od ostatních typů liší svou konstrukcí, která umožňuje měřit i excentrické zátěže na nosiči břemena. Snímač tohoto typu je také výhodný tím, že celé jeho tělo je uvažováno jako deformační člen. V něm jsou vhodně zapracovány odporové tenzometry, které snímají zatížení v závislosti na přetvoření povrchu deformovaného členu. Většinou se tyto snímače používají pro platformové váhy, kde postačuje jeden snímač uprostřed platformy. Snímače typu single point nejsou primárně určeny k paralelnímu řazení.

Na (Obrázek 34) je vnitřní zapojení single-pointu, které se nazývá Wheatstonův můstek. Odporů R1 až R4 značí tenzometry. Odpojíme-li voltmetr, mezi body A a B bude nulové napětí. Jedná se o vyvážený můstek a platí:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4} \quad (7).$$

Výstupní napětí je potom funkcí nelineárního odporu R4.



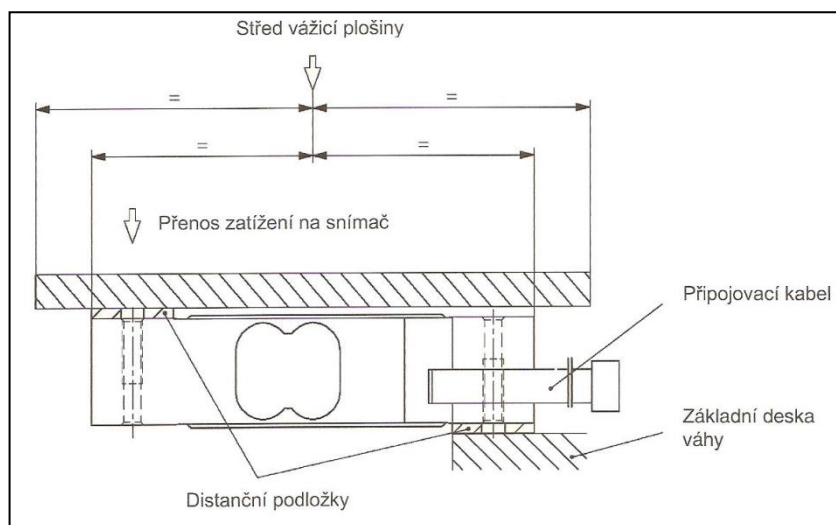
Obrázek 35: Wheatstonův plný tenzometrický můstek.

PŮSOBIŠTĚ SÍLY

Snímač je určen k měření zatížení kolmého k rovině upevňovacích ploch snímače působícího kdekoli v obdélníku ležícím v této rovině, jehož rozměry (maximální rozměry vážící plošiny) jsou v technických parametrech snímače. Snímač musí být připevněn tak, aby výstupní kabel byl na straně snímače montované k nepohyblivé části váhy. Při obrácené montáži by tuhost kabelu ovlivňovala měřené zatížení. Vážící plošinu nutno montovat podle přiloženého obrázku tak, že střed plošiny leží ve svislé ose měřícího systému snímače. Správně připojený snímač vykazuje při zatížení podle obrázku kladnou výchylku měřeného zatížení. Nezatěžujeme snímač v obráceném směru, může to vést k chybám měření, k poškození snímače nebo upevňovacích šroubů.

ELEKTRICKÉ PŘIPOJENÍ

Snímač je vybaven plným tenzometrickým můstkem, který lze připojit k měřícím zesilovačům s nosnou frekvencí (střídavé napájení můstků), nebo k zesilovačům stejnosměrným, určeným pro tenzometrické snímače. K připojení možno užít čtyřvodičovou, nebo šestivodičovou variantu. Pokud připojujeme šestivodičový snímač k elektronice užívající čtyřvodičové připojení zapojí se dva vodiče detekce napájení mostu (zelený a šedý) paralelně k příslušným vodičům napájení mostu. Obrázek 36 představuje mechanické uložení single-pointu.



Obrázek 36: Mechanické uložení single-pointu.

NEJDŮLEŽITĚJŠÍ VLASTNOSTI SP4M

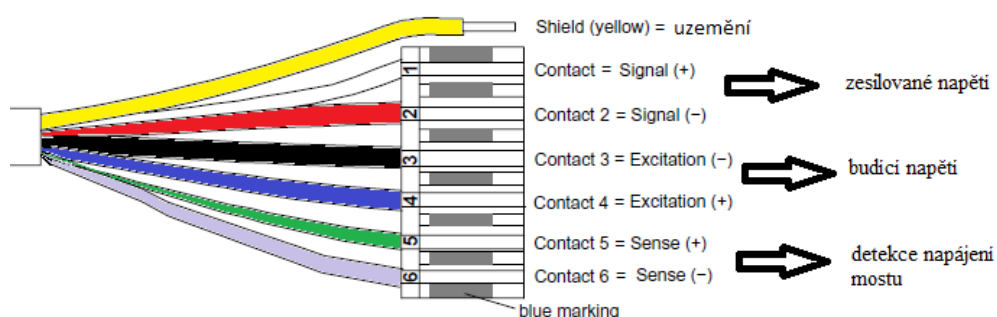
- ❖ **Lze zatížit i mimo těžiště podle OIML R76** (Organisation Internationale De Metrologie Légale). Splňuje modelové předpisy, které stanovují metrologické vlastnosti některých měřících přístrojů, specifikují metody a specifikují zařízení na kontrolu shody těchto přístrojů. Členské státy OIML se snaží implementovat tyto doporučení v co největší míře.
- ❖ **Stupeň ochrany IP 67** (Ingress Protection). Znamená ochranu elektrospotřebiče. Význam udávají dvě hodnoty, z nichž první symbolizuje ochranu před nebezpečným dotykem (vniknutí cizího předmětu) a druhá stupeň krytí před vniknutím vody. IP 6x je součástí ochráněna proti vniknutí jakéhokoliv předmětu a úplně proti prachu. IP x7 spotřebič odolá ponoření do vody po dobu 30 min v hloubce 1m.
- ❖ **Stíněný připojovací kabel.** Elektromagnetické pole může způsobit v měřících obvodech vznik rušivých napětí. Jeho vliv pomůže snížit:
 - užití doporučených stíněných nízkokapacitních kabelů
 - dodržení dostatečné vzdálenosti mezi měřicími kabely a silovou kabeláží. Pokud to není možné, stínění měřicí kabeláže ocelovými trubkami.
 - Dostatečná vzdálenost kabeláže od zdrojů silného magnetického pole (transformátory, elektromotory, stykače apod.)

- Zachování systému jednotného stínění od snímače přes kabel do elektroniky. Nejúčinnější je umístit snímač, kabeláž i elektroniku do společného kovového stínícího obalu.

❖ **Vhodný pro vícerozsahové aplikace.** Pro napájení single pointu je možné použít zdroj s nominálním napětím 1-12V. Maximální budicí napětí je 15V.

PŘIPOJENÍ

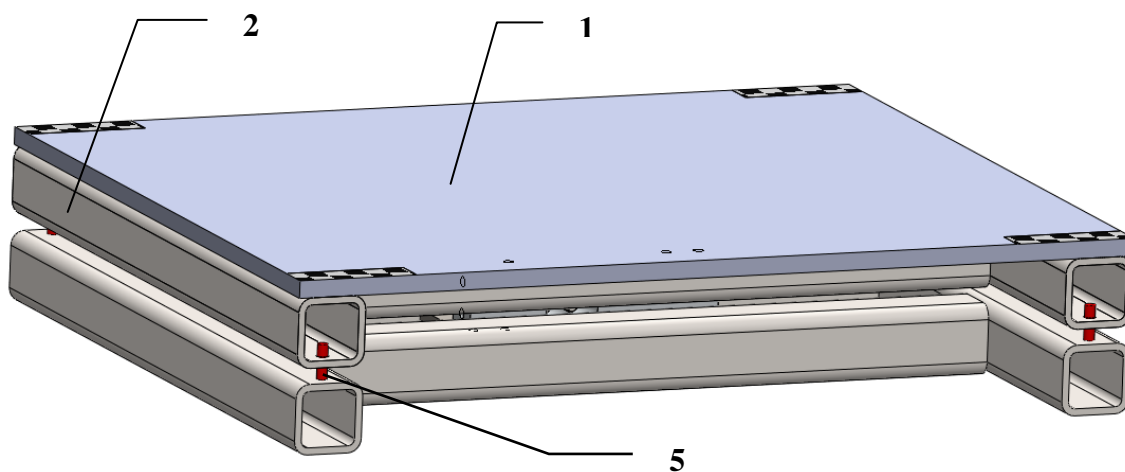
Spojení single-pointu je realizováno 6-ti vodičovým kabelem 24 AWG. Významy kontaktů jsou popsány (Obrázek 37).



Obrázek 37: Připojovací kabel.

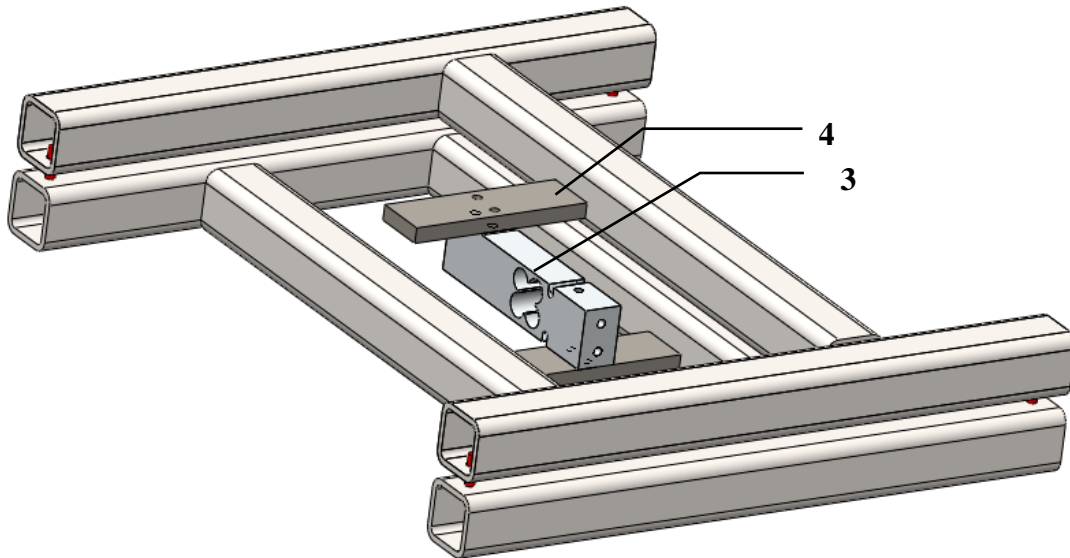
5.4 KONSTRUKCE RÁMU

Konečný návrh (Obrázek 38) je výsledkem aplikace sériově vyráběného deformačního členu. Ten je integrován do mechanické konstrukce pomocí rozebíratelného materiálového styku. Samotná nosná část je kvůli vysoké tuhosti stejná jako 5.1.3. Součástí řešení jsou i stavěcí šrouby **5** naznačené mezi nosnou částí **2**. Tyto šrouby zabrání nerovnoměrnému rozložení váhy důsledkem např. povětrnostních podmínek. Dále také jednoduché mechanické nastavení nulové polohy hmotnosti a v neposlední řadě také jako zatěžovací doraz.



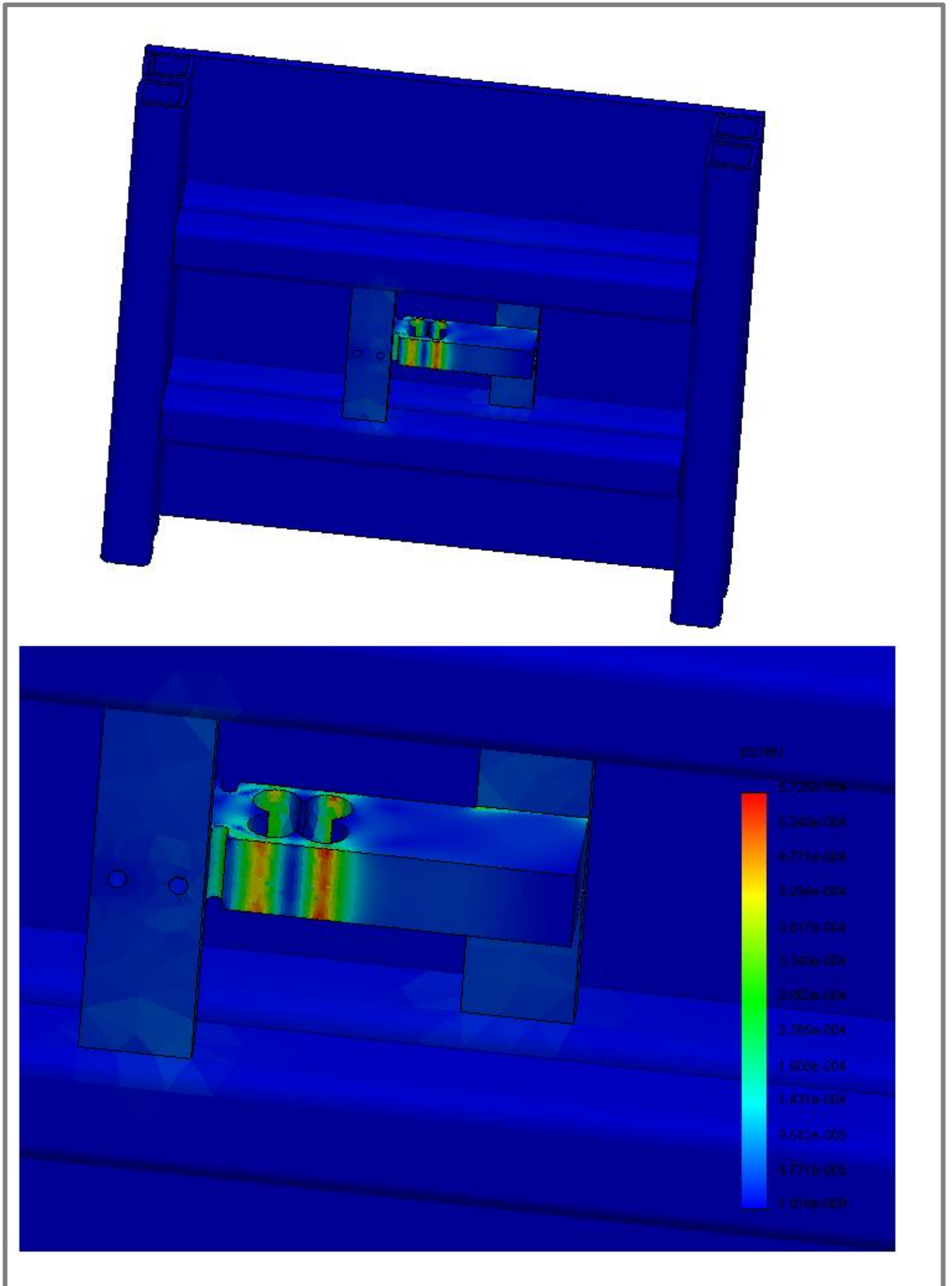
Obrázek 38: Konečný návrh konstrukce rámu.

Vnitřní stavba konstrukčních částí je lépe vidět na Obrázek 39, kde jsou cíleně odebrány dvě čtvercové trubky (pro názornost). Uchycení single-pointu řeší dva montážní silné plechy **4**, ke kterým je prvek přišroubován. Každý plech je přivařen k nosné části rámu. Princip zatěžování zůstává stejný jako počáteční myšlenka v kapitole 5.2 (tedy mezi dvěma deskami se deformuje elektromechanická součástka vyvolávající působením zatížení změny svých elektrických vlastností). Díl **1** rozkládá působící zatížení rovnoměrně po ploše části **2**, ta se deformuje a vzájemnou iterací se deformuje i těleso **3**.



Obrázek 39: Vnitřní uspořádání konstrukce.

Z deformační analýzy takto navrženého rámu (Obrázek 40) je patrné, že maximální hodnoty napětí (poměrné deformace) budou v okolí (v) single - pointu. Tím je zabráněno deformacím ostatních částí váhy, které by mohly vyvolat nežádoucí nepřesnosti. Z toho důvodu není potřeba se obávat zatížení působícího převážně na tento prvek. U komerčního deformačního členu máme zaručenou přesnost, citlivost, stálost, atd..



Obrázek 40: Poměrná deformace při zatížení 200N a 1500N, hodnoty v MPa.

6 NÁVRH MĚŘÍCIHO ŘETĚZCE

6.1 STANOVENÍ POŽADAVKŮ

Řešení elektronické části úlohy je do jisté míry určeno konstrukcí. Výběr součástí rekuperující zatížení na el. signál nastíní pohled, jak pokračovat v sestavení měřícího řetězce. Samozřejmě elektronická část váhy je nejvíce závislá na vstupních požadavcích kladených na přístroj. Je velmi mnoho faktorů, které ovlivní výsledné řešení. V prvních fázích návrhu je zapotřebí vytyčit vlastnosti výrobku:

- Bateriová aplikace - pro včelařská stanoviště ležící mimo dosah elektrické sítě je nezbytné vyřešit napájení. Řešením by mohla být autobaterie. Při výkonových špičkách poskytne dostatečný proud. Ostrovní solární systém by dodával autobaterii dostatečnou energii potřebnou k úplné elektrické nezávislosti. V případě že se včelařské stanoviště bude rozkládat v blízkosti obydlí je nasnadě, mít možnost připojení síťového adaptéru.
- Měření s nastavitelnou časovou periodou - zdánlivě bezvýznamný požadavek je rozhodující pro celou smysluplnost měření. Pro získání objektivních dat je nezbytné, naměřené hodnoty dostávat po přesných časových úsecích. Ty jsou graficky jednoduše použitelné. Vzorovací doba by se mohla měnit v ročních obdobích. V zimním období není důležité měřit tak často (jako v období letním), jelikož úbytky (přírůstky) nejsou tak radikální.
- Samočinné uvedení měřícího obvodu do režimu minimální spotřeby - po provedeném měření má váha minimální odběr. Prodlouží se tak celková výdrž baterie. Spotřeba součástí řetězce se tak bude pohybovat v řádu μA .
- Odesílání naměřených dat na webový portál - požadavek soběstačného napájení, "inteligentní" řízení měření, ale i zprostředkování výsledků provedených měření bez fyzického přístupu. Cílem vážení je po překonání bezpečnostních parametrů zobrazit si naměřená data na vyhrazeném serveru.
- Možnost připojení doplňkových periférií - tento bod je spíše doplňkový. Primární cíl vážícího systému je odečítání hmotnosti, ale řídicí logika mi umožní zpracovávat signál i z teplotních čidel, pohybových čidel, dveřních kontaktů či zvukových snímačů. Logika by následně mohla vyhodnotit nebezpečný stav zapnutím výstražné sirény nebo světelných efektů. Takováto přídatná zařízení mají v praxi stále silnější pozici. Moderní váhy pracují na aplikování zmíněných bezpečnostní prvků. Limitujícím členem v tomto případě bude základová deska řídicího obvodu a připojením a kompatibilitou.
- Přesnost váhy - maximální požadovaná hodnota je ± 100 g. Denní přírůstky hmotnosti se při dobrých snůškových podmínkách a v silných včelstvech, mohou pohybovat v řádu jednotek kg. Je tedy důležité nepřekročit stanovenou přesnost váhy. Při porovnávání včelstev (matek) je důležité získat co nejpřesnější stav úlu.

Splnění požadavků je obtížné, jelikož je nezbytné zahrnout v potaz finanční stránku úlohy. Uspokojivým výsledkem je dostat se na nižší cenu výrobních nákladů, než jsou ceny komerčních vah.

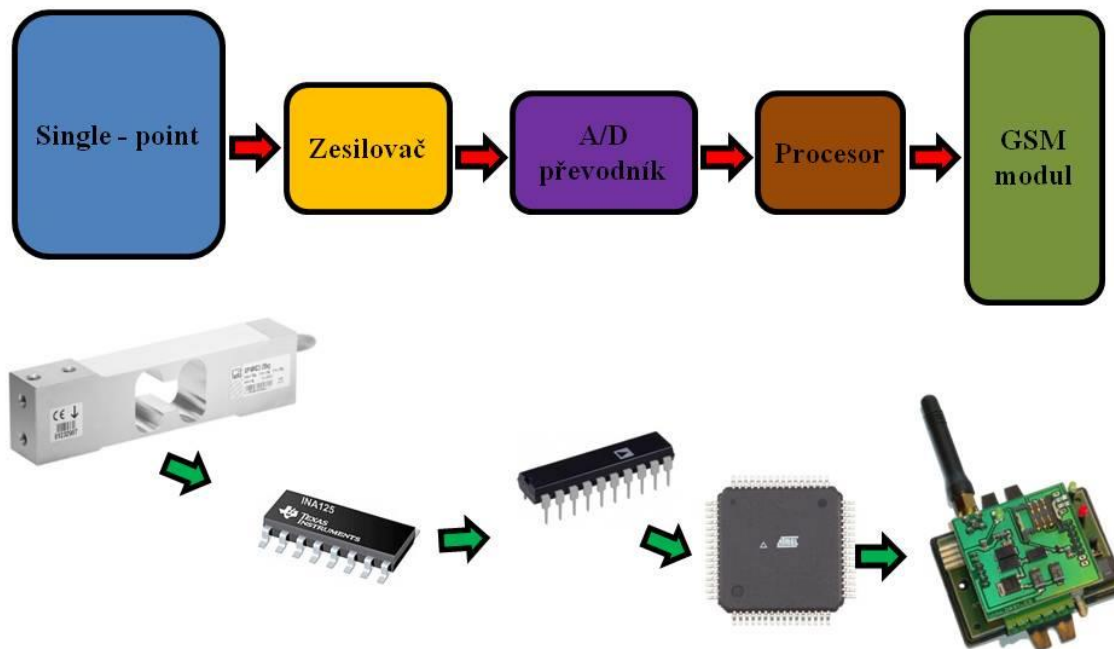
6.2 SESTAVENÍ MĚŘÍCIHO ŘETĚZCE

Měřicí obvod začíná ve všech návrzích single-pointem, jehož nominální hodnota budícího napětí je ± 1 až 12 V . Napájení bude zprostředkované autobaterií. Hodnota výstupního odporu tenzometrů je $R = 300\ \Omega$ až $R = 500\ \Omega$ (celková ohmický rozměr můstku). Velikost výst. odporu se mění v závislosti na působícím zatížením. V uzavřeném obvodu plného můstku se při vstupním napájecím napětí mění velikost výstupního napětí. Citlivost vybraného snímače SP4MC3MR/200KG-1 je $2 \pm 10\%$ mV/V. Napětí na můstku se mění od $U_{OUT} = 0\text{ mV}$ do $U_{OUT} = 24\text{ mV}$ při vstupním napětí $U_{IN} = 12\text{ V}$. Výstupní signál je nutné dostatečně zesílit na hodnoty jednotek voltů. Využijeme neinvertující operační zesilovač. Následně ze spojitého napětíového signálu potřebují převést na diskrétní.

Drtivá většina elektronických následně popsaných součástek pracuje na napětí 5 V . Z tohoto důvodu je nutné aplikovat prvek pro změnu hladiny napětí. Výhodné je použít DC/DC convertery (step-down), který má vysokou elektrickou účinnost. Oproti regulátoru napětí, kde se část výkonu zmaří na zesilovači ve formě tepla či odporovým měničům napětí, kde je napětí (výkon) hrubě sraženo na nižší hodnoty přeměnou v tepelnou energii na teplo.

6.2.1 VÝVOJOVÉ ŘEŠENÍ

Řešení je navrženo z dostupných součástek. Masová výroba komponent mi poskytne velmi nízkou cenu nebo dokonce nulovou při použití vzorku. V konceptu je uvažován nezbytný návrh základní desky pro zesilovač, převodník, procesor a úpravu napětí. Znázorněné blokové schéma (Obrázek 41). Za single - pointem pokračuje zesilovačem INA 125, AD převodníkem AD77010, procesor ATmega128 a gsm modul.



Obrázek 41: Blokové schéma měřícího řetězce s obrázky jednotlivých součástek.

Zesilovač INA 125: Jedná se o nízkoenergetický přístroj s vysokou přesností s odkazem na přesné referenční napětí. To poskytuje kompletní most buzení a přesný rozdíl

vstup zesilovače v jednom integrovaném obvodu. Jeden externí odpor může změnit výsledné zesílení ze 4 do 10 000. Zesilovač je laserem upravený pro nízké offsetové napětí ($250\mu\text{V}$), nízký offsetový drift ($2\mu\text{V}/^\circ\text{C}$) a vysoký mód běžného odmítnutí (100dB při $G = 100$). Zesilovač pracuje při jednotném napětí $+2,7\text{V}$ do 36V nebo při duálním $\pm 1,38\text{V}$ do $\pm 18\text{V}$. Referenční napětí se dá nastavit externě pomocí pinů na hodnoty: $2,5\text{V}$; 5V ; 10V , což umožňuje použití různých druhů převodníků. INA 125 má pracovní teplotní rozmezí od -40°C do $+85^\circ\text{C}$ [21]

Převodník AD7701: je 16-bitový převodník využívající gama - delta modulaci. Analogový vstup je průběžně vzorkován modulátorem, pro který platí: výstupní povinnost cyklu být úměrný vstupnímu signálu. Výstup z modulátoru je zpracováván čipem digital - filtr, který aktualizuje výstupní data registru s 16-bit binárním slovem rychlostí až 4 kHz. Vzorkovací perioda, zlomová frekvence a výstupní slovo jsou nastavované hodinovým signálem přiváděným externě nebo krystalem řízený generátor pulzů pro oscilátor. Vlastní lineárnost ADC je výborná a přesnost koncového bodu je zajištěna vlastní kalibrací nuly a vzorkovacího rozsahu, který může být kdykoliv změněn. Výstupní data jsou připojena přes sériový port, který má asynchronní mód kompatibilní se dvěma synchronními módy vhodné pro propojení do posuvného registru nebo sériové porty pro průmyslový mikrokontroler. ADC obsahuje programovatelný nízkopásmový filtr propouštějící $0,1\text{ Hz}$ do 10 Hz zlomové frekvence [22].

ProcesorAtmelATmega 128: Je 8 - bitový mikrokontrolér založený na AVR rozšířené RISC architektuře. Vyniká nízkou spotřebou energie operující na CMOS logice. ATmega 128 dosahuje průchodnosti blízké se 1 MIPS na MHz umožňující systému optimalizaci spotřeby energie oproti rychlosti zpracování. Atmel kombinuje bohatou instrukční sadu s hlavními pracovními registry, které jsou napojené do aritmetické jednotky umožňující dvěma nezávislým registrům přístup do jedné instrukce v jednom hodinovém impulzu. Výsledná architektura je více šifrovaná pro efektivnější při prostupnosti až desetkrát větší. Výhodou je možnost použití až 53 univerzálních I/O linek a mnoho dalších [23].

Výhody:

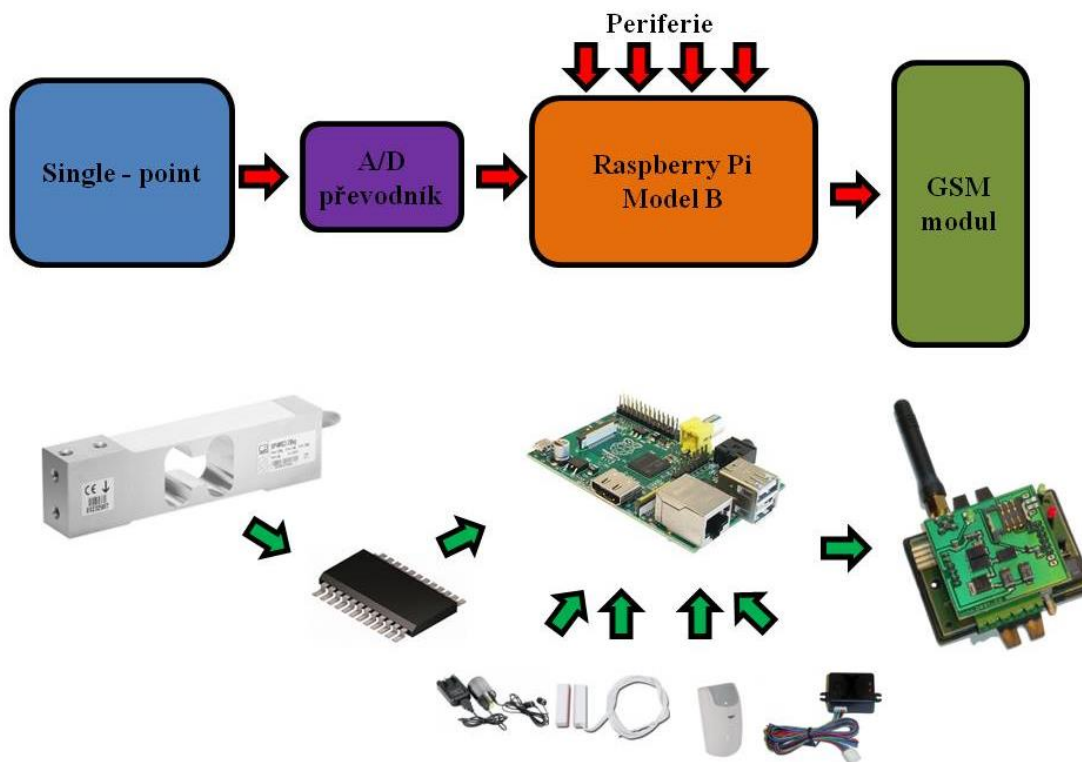
- Nejmenší finanční náročnost zařízení

Nevýhody:

- Programovací jazyk
- Složitý návrh DPS
- Omezení v použitelnosti periférií (pracuje pouze s I/O signál)

6.2.2 INTEGROVANÉ ŘEŠENÍ S RPI

Návrh druhý je mnohem otevřenější a jednodušší. Jak je vidět (Obrázek 42), koncept spočívá v sestavení dostupných řešení a výroby malého plošného spoje pro ADC. Použitý převodník AD7730 v sobě spojuje zesilovač, filtr šumu a samotný převodník. Koncept je navržen speciálně pro připojení vnějších zařízení jako bezpečnostních prvků. Z tohoto důvodu je vhodné použít mikropočítač RaspberryPi. Zjednoduší se tím návrh základní desky a rozšíří použitelnost váhy. Blokové schéma bude mít tento charakter:



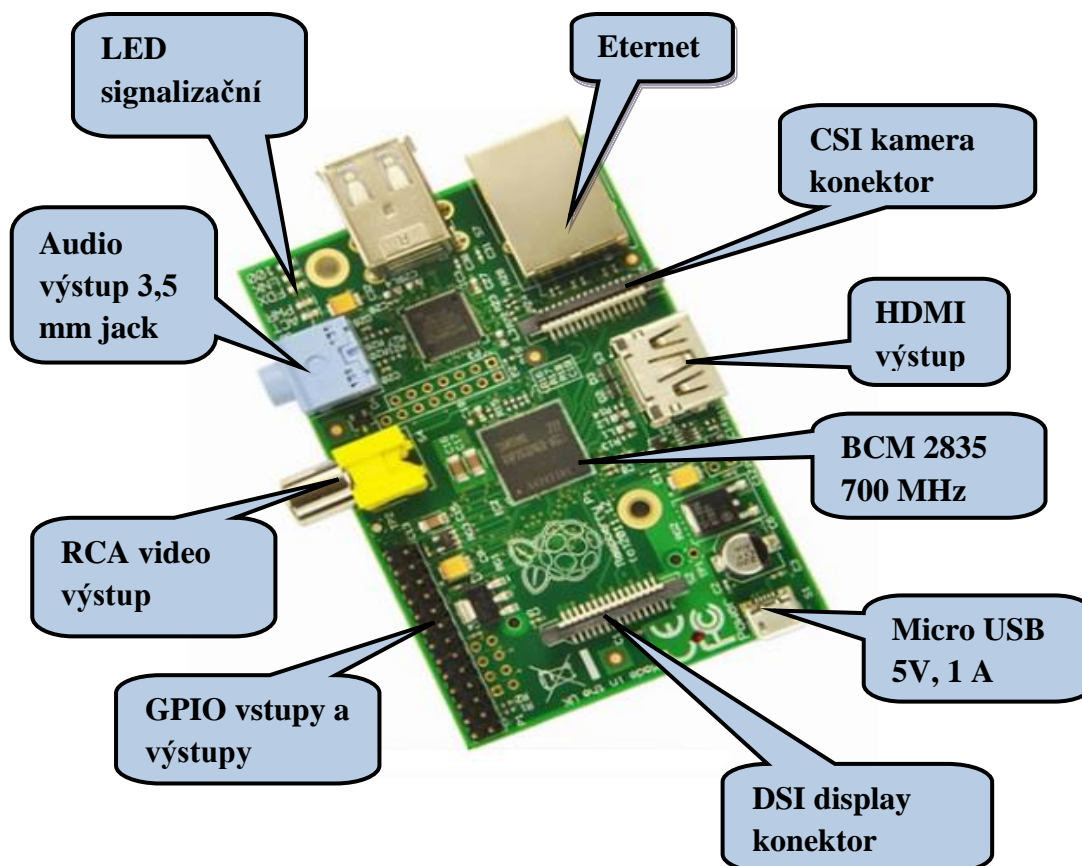
Obrázek 42: Blokové schéma integrovaného návrhu s obrázky využitých součástí.

Převodník AD7730: Kompletní analogový převod pro vážení hmotnosti a tlakové měřicí aplikace. Zařízení reaguje na nízkonapěťové signály přímo, výstup převodníku je digitální informace. Vstupní signál je chráněn na programovatelném konci zesílení působící kolem analogového modulátoru. Výstup modulátoru je zpracováván nízkopropustovým filtrem, umožňující nastavení šířky pásma filtru, výstupní rychlost a čas nastavení.

Jedním ze znaků ADC je, že obsahuje dvě vyrovnávací paměti rozdílového programovatelného zesilovače analogových vstupů, stejně jako rozdíl referenční vstupní části. Část operátorů je napájena jednotným napětím 5 V. To přijímá pro unipolární tranzistor hodnoty od 0 mV do +10mV, +20 mV, +40 mV a +80 mV. Rozlišení šumu "peak - to - peak" dosažitelné přímo je 1 v 230 000 počtech. AD7730 obsahuje vlastní kalibraci, možnost systémové kalibrace a funkci offset drift menší než 5 nV/°C a zesílení posunu méně než 2 ppm/°C. Převodník je k dispozici v 24-bitové verzi.

RaspberryPi, model B: Jedná se o velice malý počítač (Obrázek 43) o velikosti kreditní karty. Primárně byl cílen jako učební pomůcka do škol, ale po čase pronikl i na trh. Počítač ukrývá 700 MHz procesor Broadcom BCM2835, který po přetaktování můžeme dosáhnout frekvence až 900 MHz. Čip-set má k dispozici 256 MB operační paměti, dva USB

2.0 porty pro uživatele, megabitová síťová karta, čtečka paměťových karet, zvukový výstup, HDMI a RCA video výstup, GPIO vstupy a výstupy, CSI kamera konektor.



Obrázek 43: RaspberryPi a jeho části.

Obrovskou konkurenceschopnost dodává "Raspi" jeho použitelnost a cena. Používá se například pro jednoduché domácí aplikace jako multimediální centrum, dále jako centrum zabezpečovacího systému nebo jako regulátor ústředního topení. V neposlední řadě se používá jako levný počítač pro děti a důchodce. Cena se pohybuje mnohem níže oproti srovnatelným minipočítačům (ArduinoUno).

Raspberry je napájeno micro USB (5V, 1A). Zapíná se přivedením napětí a následná uLED signalizace znázorní start systému. Spotřeba nepřesahuje 3W. Operační systém nebývá součástí balení, je nutné jej nainstalovat na paměťovou kartu, kterou následně vložíme do "Raspi". Vybrat si můžeme z operačních systémů:

- *Arch Linux ARM* - Založený na plné kontrole konečného uživatele.
- *Raspbian* - Optimalizovaný na RPI hardware; systém je sada základních programů a utilit, které tvoří běh.
- *Debian 7* - Má vlastní balíčkovací systém, který umožňuje velmi jednoduše provádět správu balíčků z různých zdrojů.
- *RISC OS*- Dostupný zdarma a vyvíjen dobrovolníky; výhodou je velikost 6 MB a vysoká rychlost na RPI.
- *QtonPi*

Zdrojový kód pro ovládání celé váhy může být napsán v jazyce "C" nebo pomocí další hardwareových součástí v jazyce "Python". Programové vybavení má smysl formulovat po zhotovení rámu, zakoupení všech dílů elektroniky a jejich kompletaci. V dalším řešení elektronické části nebude detailně rozebíráno programové vybavení váhy. Jedná se tedy pouze o zadané požadavky.

Výhody:

- Jednodušší návrh DPS oproti 6.2.2
- Značné možnosti při výběru bezpečnostní plocha signalizačních periférií z hlediska komunikace:
 - bezpečnostní (vstup) - Audio Jack (fialové provedení) = mikrofón
- USB = teploměr, pohybové čidlo
- I/O = kontakty pro změnu stavu, pohyb. čidlo
- CSI = kamera
 - signalizační (výstup) - HDMI = přenos videa i zvuku z paměti
- RCA video = přenos videa uloženého v paměti
- Ethernet = komunikace s přístrojem po LAN
- USB = získání naměřených dat, světelná sign.
- Audio Jack (černé provedení) = siréna
- Programování v Python/C

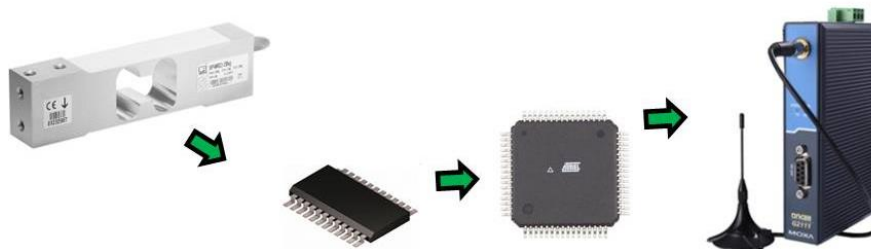
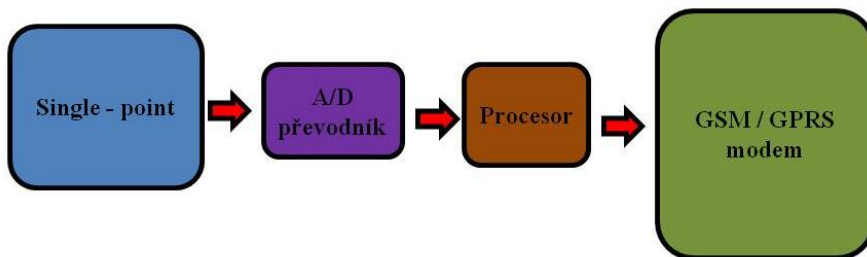
Nevýhody:

- Vyšší cena než v 6.2.2

6.2.3 MODEMOVÝ NÁVRH

Je utvářen z produktů firem působících v měřicí technice, strojírenství a automatizaci. Má tu výhodu, že jeho aplikaci je snížena energie vynaložená na výrobu plošných spojů a čas strávený vyvíjením řídicího programu váhy. Celý měřicí řetězec (Obrázek 44) začíná vždy snímačem zatížení single - pointem. Druhým aplikovaným prvkem je průmyslový GSM/GPRS modemu OnCell G2111 primárně určeného ke komunikaci s měřicími prvky, řízení a regulaci stavových veličin v objektech nebo obráběcích center.

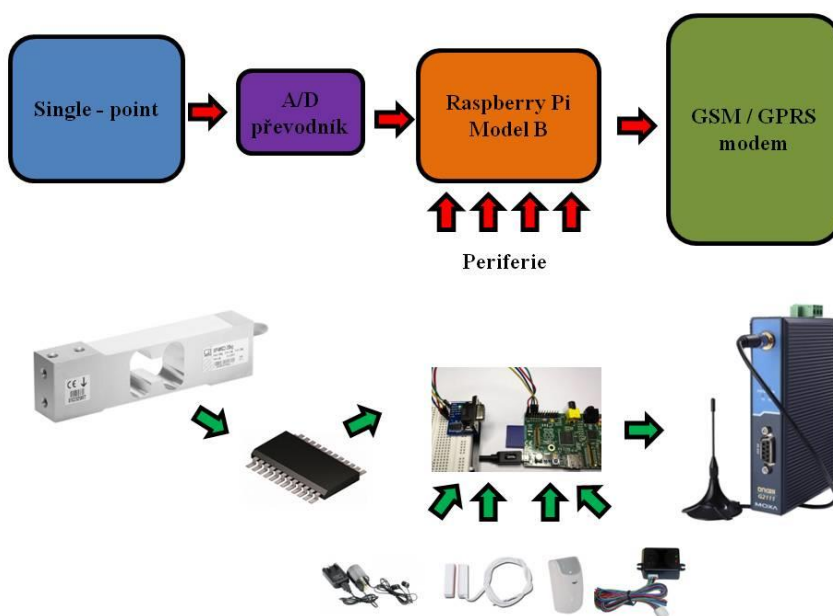
V tomto bodě se návrh štěpí na několik možných cest. Modem komunikuje přes "Windows Hyper Terminal" nebo vlastním softwarem "Moxa Terminal Emulator". Oba se jeví jako značně neprostopné z hlediska uživatelského programování. Nicméně pomocí těchto softwarů je možné AT příkazy nastavit požadované instrukce pro odesílání/porovnávání vstupních dat. Z tohoto hlediska by blokové schéma měřicího obvodu mohlo vypadat tímto způsobem:



Obrázek 44: Blokové schéma modemového obvodu s obrázky použitých produktů.

Možnosti **prvního zapojení** jsou značně omezené z důvodu obtížného připojení bezpečnostních prvků. Převážná většina těchto zařízení má NC nebo NO kontakty. Pro další činnost s tímto signálem, je nezbytné vytvoření programové podpory. Ovšem požadavek na získání naměřené hmotnosti váha splní a je tak na uživateli, co od váhy očekává. AT příkazy jsou odesílány z procesoru, který tak fakticky řídí systém váhy, jelikož reakcí na "prefixy" jsou samotné příkazy v GSM/GPRS modemu.

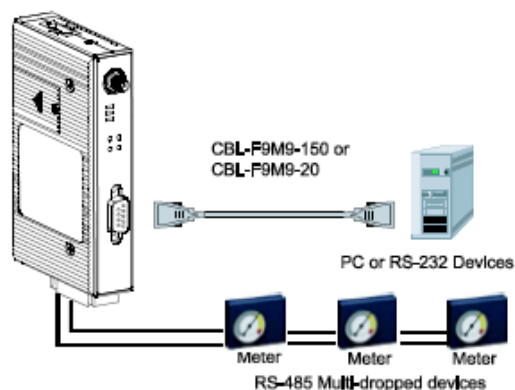
Druhou možností je aplikovat některé již použité součástky (single - point, AD převodník) s nástavbou na RapsberryPi pro komunikaci s modemem po sériové sběrnici RS 232. Maximalizovala by se tak využitelnost váhy. Přes RPI nebo z jiného přechodového obvodu NC/RS 232 připojíme zabezpečovací periferie. Systém řízení váhy bude rozhodovat o odesílání naměřených dat v určené časové periodě na modem OnCell. Přicházející data vyhodnotí AT příkazy a odešlou je. Blokové schéma návrhu by mohlo vypadat takto:



Obrázek 45: Blokové schéma modemového zapojení s obrázky použitých součástí.

Opět je na včelaři, chce-li zabezpečit včelnici (včelařské stanoviště) a nebo zabezpečovací prvky nevyužije, protože má na místě pouze osamocené úly.

OnCell G2151I: Modem který přenáší data a SMS přes GSM/GPRS mobilní síť. Vybraný typ poskytuje standardní komunikaci RS - 232. Vstupní zařízení lze připojit paralelně pomocí CBL - F9M9 - 150, jak ukazuje obrázek 45.



Obrázek 46: Sériová sběrnice RS 232 a CBL - F9M.

Na jeden potřebný GSM modul tak mohou připojit více single-pointů. Napájení je realizováno 12 až 48 V. AT signály (tzv. prefixy) říkají modemu, že jeden nebo více příkazů bude následovat. Modem je vždy v příkazovém (přijímá příkazy) či on-line režimu. Jednou nastavená AT se znovu opakují až do dalšího povelu ke změně.

CCD je schopna dodat 9,6 až 14,4 kbit/s přenesených dat pro síť GSM. Ve většině případech je přenos zahájen AT příkazem.

Výhody:

- Jednodušší návrh DPS oproti 6.2.2 a 6.2.3
- Použití periférií zůstává stejné jako v 6.2.2 a 6.2.3
- SPI komunikace mezi RapsberryPi a OnCell

Nevýhody:

- Vysoká cena oproti předchozím konceptům, kterou převážně určuje cena průmyslového modemu.

7 ZÁVĚR

Počátečním bodem práce je formulování problému a stanovení cíle, které úzce souvisí s průzkumem trhu. V kapitole 3 můžeme nalézt váhy, které se vyrábějí v Evropě (BeeWise ve Francii a Capaz v Německu). V naší zemi působí včelařská firma zabývající se výrobou a vývojem projektu EMMA. Jedná se o jediný výrobek svého druhu u nás. Váhy jsou svými technickými parametry a konstrukčními vlastnostmi bateriové aplikace, které převážně pracují s tenzometrickým deformačním členem. V zásadě se liší pouze typem zvolené konstrukce a použitým deformačním členem. Funkce vah jsou velmi podobné. Snaží se pro zjednodušení práce včelaři nabídnout naměřená data na webovém portálu. Většina výrobců také pracuje s vlastním operačním systémem, jímž včelař nastaví telefonní číslo či webovou stránku pro přijímání naměřených dat. EMMA se snaží jít cestou vyšší multifunkčnosti váhy. Vývoj se týká použití externích měřících prvků, které by fungovaly jako zabezpečovací technika. Logika váhy by následně vyhodnocovala vzniklé situace.

Čtvrtá kapitola pojednává o typech a použití vážících mechanismů s hlubším rozбором těch, které jsou přínosné pro úlohu "úlové váhy". Vážících aparátů je velké množství, avšak pro řešení práce připadají v úvahu pouze ty, které hmotnost měří nepřímou (tedy využívají elektrických veličin). Tyto váhy tak mohou pracovat se získanými informacemi mnohem efektivněji než váhy mechanické.

V navazující kapitole (4.4) je hlouběji probrána problematika tenzometru a tenzometrických snímačů neelektrických veličin.

Konstrukce zařízení je zachycena v kapitole 5, kde proces zhotovení rámu spočíval v návrhu konstrukce, vymodelování řešení s implementací mechanických vlastností podle použitých polotovarů. Konstrukce rámu je dovršena deformačně napětovou analýzou. Cestou postupných úprav použitých polotovarů, profilů, materiálů a rozměrů jsme schopni docílit maximálního přetvoření v požadovaném místě, tj. místo kam bychom nalepili měřící prvek.

Při důkladném prozkoumání využití tenzometrů pro vážení v praxi, byly zjištěny nevhodné vlivy, které jsou spojeny s lepením snímačů na deformační člen. Z tohoto důvodu je výhodnější přistoupit k pořízení komerčně vyráběného deformačního členu, jenž tyto problémy nemá.

Návrh měřícího řetězce je z hlediska možných řešení nejotevřenější kapitolou. Velmi závisí na požadavcích cílového zákazníka, na prostředí ve kterém včelaří. Nabízí se zde několik řešení s různými úrovněmi složitosti. Všechna řešení jsou v teoretické rovině plně funkční. Díky snadnému připojení periférií a sériové komunikaci (SPI) mezi ADC a RPI bychom volili integrované řešení podrobně popsané v kapitole 4.3. Součástí řešení není konkrétní GSM modul. Ten bude stanoven, až při fyzickém zhotovení váhy. Cenová kalkulace návrhu a srovnání ostatních výrobců je zpracováno v přílohách.

8 BIBLIOGRAFIE

- [1] I. J. Karásek, „Přínosy a náklady registračního,“ *MODERNÍ VČELARĚ*, č. 06.2011, 2012.
- [2] I. P. Karásek, „Apis Digital,“ [Online]. Available: http://www.apisdigital.cz/index.php/ulovavaha/vypis_content_rozcestnik/1#Co_je_Registrační_úlová_váha_EMMA. [Přístup získán 2 Listopad 2012].
- [3] I. P. K. Ing. Josef Karásek, „Apis Digital,“ 20 Říjen 2012. [Online]. Available: http://www.apisdigital.cz/nahrane_obrazky/file/Registracni_ulova_vaha_EMMA-prispevek_k_inovaci_ve_vcelarstvi_v1_1.pdf. [Přístup získán 2 Listopad 2012].
- [4] „Web GSM SMS Scaling - BeeWise,“ 15 Říjen 2005. [Online]. [Přístup získán 3 Listopad 2013].
- [5] „CAPAZ Bienenstockwaage,“ 15 Květen 2012. [Online]. Available: http://www.bienenwaage.de/pdf_biene/gsm_englisch.pdf. [Přístup získán 3 Listopad 2013].
- [6] J. Skála, *Metrologie hmotnosti: Přesné vážení v laboratořích*, Praha: Vydavatelství úřadu pro normalizaci a měření, 1975.
- [7] J. Tulka, *Váhy a Vážení*, Pardubice: Vydavatelství Univerzita Pardubice, 1999.
- [8] M. K. Stanislav Ďaďo, *SENZORY A MĚŘÍCÍ OBVODY*, Praha: Vydavatelství ČVUT, 1996.
- [9] Č. k. sdružení, *PŘÍRUČKA PRO UŽIVATELE VAH S NEAUTOMATICKOU ČINNOSTÍ*, Brno, 2010.
- [10] „e-Automatizace - Informační portál z oblasti automatizace,“ 14 Prosinec 2009. [Online]. [Přístup získán 4 Listopad 2013].
- [11] J. P. K. P. Jaroslav Čech, *STROJÍRENSKÁ METROLOGIE*, Brno: Vydavatelství AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, 2005.
- [12] „Katedra automatizacie,“ Březen 2011. [Online]. Available: <http://www.kam.sjf.stuba.sk/katedra/publikacie/leonardo/ucebnica/19s.pdf>. [Přístup získán 1 Leden 2014].
- [13] M. V. kol., *EPERIMENTÁLNÍ MECHANIKA*, Brno: AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, 2003.
- [14] J. Volf, „Automa :: Taktilní senzory pro automatizaci,“ Červenec 2008. [Online].

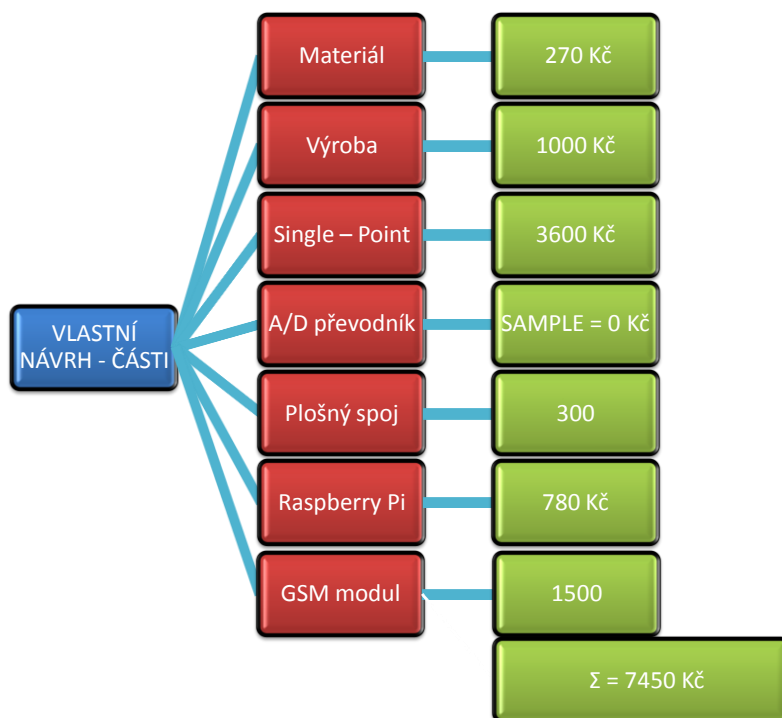
- Available: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=37544. [Přístup získán 1 Leden 2014].
- [15] „e-Automatizace - Informační portál z oblasti automatizace,“ 5 Prosinec 2009. [Online]. Available: http://www.e-automatizace.cz/ebooks/mmv/sila/ramce_sila.htm. [Přístup získán 8 Únor 2014].
- [16] „e-Automatizace - Informační portál z oblasti automatizace,“ 5 Prosinec 2009. [Online]. Available: http://www.e-automatizace.cz/ebooks/mmv/sila/ramce_sila.htm. [Přístup získán 8 Únor 2014].
- [17] „e-Automatizace - Informační portál z oblasti automatizace,“ 10 Prosinec 2009. [Online]. Available: http://www.e-automatizace.cz/ebooks/mmv/sila/ramce_sila.htm. [Přístup získán 15 Únor 2014].
- [18] „e-Automatizace - Informační portál z oblasti automatizace,“ 23 Prosinec 2009. [Online]. Available: http://www.e-automatizace.cz/ebooks/mmv/sila/ramce_sila.htm. [Přístup získán 23 Únor 2014].
- [19] „Princip elektromagnetické kompenzace síly pro přesné vážení,“ 2009. [Online]. Available: <http://automatizace.hw.cz/clanek/2006062501>. [Přístup získán 23 Únor 2014].
- [20] P. Wasgestian, „Tenzometry HBM,“ Brno.
- [21] „ti.com,“ Texas Instruments Incorporated, 2009. [Online]. Available: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/ina125.pdf>. [Přístup získán 10 Prosinec 2012].
- [22] „AD7701 datasheet and product info,“ Analog Devices, 2009. [Online]. Available: http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD7701.pdf. [Přístup získán 23 Únor 2014].
- [23] „Atmel.com,“ Atmel Corporation, 15 Červen 2011. [Online]. Available: <http://www.atmel.com/Images/doc2467.pdf>. [Přístup získán 22 Prosinec 2012].

9 PŘÍLOHY

9.1 CENY SROVNATELNÝCH PŘÍSTROJŮ

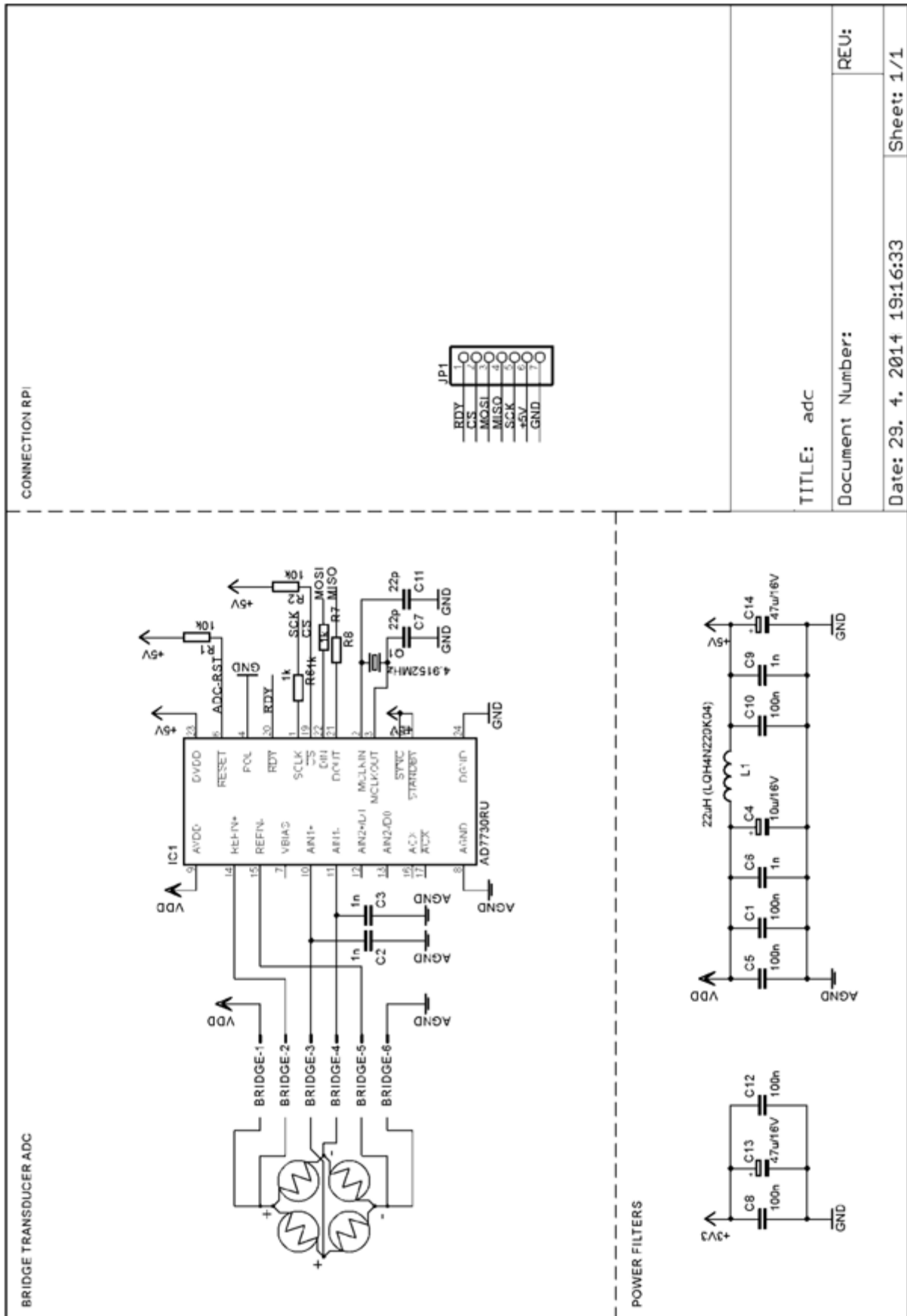
	BeeWise • PRO DÁLKOVÝ PŘENOS • Komunikátor, záznamník dat (64 hodnot), modem	29 990 Kč
	Capaz • PRO DÁLKOVÝ PŘENOS • Komunikátor, záznamník dat (1700 hodnot), modem	33 800 Kč
	EMMA • PRO DÁLKOVÝ PŘENOS • Komunikátor, záznamník dat , modem	19 980 Kč

Obrázek 47: Ceny konkurenčních přístrojů.



Obrázek 48: Cenová kalkulace.

9.2 SCHÉMA ZAPOJENÍ



9.3 DVOUVRSTVÁ DESKA PLOŠNÉHO SPOJE

