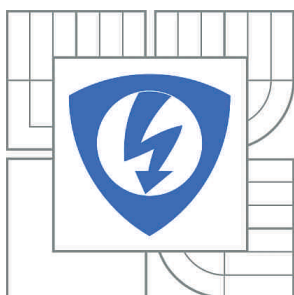


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

NÁVRH NÍZKOPŘÍKONOVÉ BEZDRÁTOVÉ SENZORICKÉ PLATFORMY PRO MĚŘENÍ SNĚHOVÉHO ZATÍŽENÍ

ENERGY EFFICIENT WIRELESS SENSOR PLATFORM FOR A SNOW LOAD MEASUREMENT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

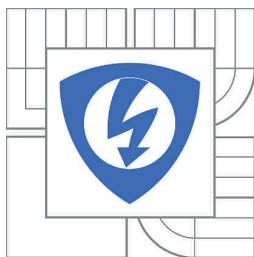
MARTIN BAČINSKÝ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. LUBOMÍR MRÁZ

BRNO 2012



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav telekomunikací

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Teleinformatika

Student: Martin Bačinský

ID: 115141

Ročník: 3

Akademický rok: 2011/2012

NÁZEV TÉMATU:

Návrh nízkopříkonové bezdrátové senzorické platformy pro měření sněhového zatížení

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Student v práci prostuduje problematiku měření sněhové zátěže. Dále navrhne bezdrátové zařízení pro měření hmotnosti sněhové pokrývky na střechách budov. Měření bude realizováno pomocí tenzometru. Zařízení bude obsahovat i nízkopříkonové senzory pro snímání atmosferického tlaku, vlhkosti a teploty. Celý systém bude ovládán integrovaným rádiovým modulem Zigbit. Na závěr student provede analýzu a vyhodnocení navrženého zařízení a to na základě experimentálních měření.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] Frank, Randy. Understanding smart sensors. Artech House Publishers, 2000. 389p.
ISBN:0890063117.

[2] Mauri Kuorilehto, Mikko Kohvakka, Jukka Suhonen, Panu Hämmäläinen, Marko Hännikäinen, Timo D.Hamalainen. Ultra-Low Energy Wireless Sensor Networks in Practice: Theory, Realization and Deployment. Wiley, 2008.396 p. ISBN 0470057866.

[3] John D. Cox. Weather For Dummies. 2000. 384p. ISBN 0764552430

Termín zadání: 6.2.2012

Termín odevzdání: 31.5.2012

Vedoucí práce: Ing. Ľubomír Mráz

Konzultanti bakalářské práce:

prof. Ing. Kamil Vrba, CSc.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

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

Abstrakt

Táto bakalárska práca popisuje problematiku merania snehovej záťaže. V prvej časti práce sú popísané princípy činnosti senzorov pre nepriame merania. V druhej časti je riešená problematika priameho merania za pomoci tenzometra.

Výsledkom práce je zhotovenie rádiového zariadenia pre meranie snehovej záťaže za pomoci rádiového modulu ZigBit. Senzorová doska bude navrhnutá v návrhovom prostredí Eagle podľa štandardov pre strojové osádzanie a výrobu.

Zariadenie môže pracovať v dvoch režimoch. Pri nepriamom meraní je ešte potrebné údaje spracovať. V tomto režime má senzorická doska veľmi malú spotrebu energie a tak má veľkú životnosť aj pri zapojení na batérie. V druhom režime bude zariadenie automaticky odosielať údaje o priamom zaťažení strechy snehom. Celé zariadenie bude komunikovať za pomoci modulu ZigBit a komunikačným protokolom ZigBee IEEE 802.15.4. Komunikačná vzdialenosť medzi senzorickými uzlami bude maximálne do 100m.

V závere práce sú priložené merania na tenzometry UTILCELL M230. V prílohe sa nachádzajú schémy a dosky plošných spojov. Na priloženom CD sú okrem dokumentácie aj knižnice pre súčiastky a podklady pre strojovú výrobu DPS z návrhového programu Eagle.

Kľúčové slová

ZigBee, ZigBit, tenzometer, Eagle, UTILCELL M230, sneh, hmotnosť

Abstract

This bachelor thesis describes the problematics of snow load measuring. At first, sensors' principles of functionality for indirect measurements are mentioned. In the second part, the problematics of direct measurement with tensiometer takes place.

The construction of wireless apparatus with the help of module ZigBit for the snow load measurement is the result of this work. Sensor board is designed in Eagle software, obeying standards for machine vacuum pickup and fabrication.

The apparatus works in two modes. During indirect measuring, additional processing of data is necessary. In this mode, the sensor board has very low energy consumption and therefore long service life also after a battery connection. In the second mode, the apparatus is automatically sending data about actual snow load of particular roof. The whole machine communicates with the help of ZigBit module and ZigBee protocol IEEE 802.15.4. The communication distance between sensorial points is allowed up to 100m.

At last but not at least, tensiometer UTILCELL M230 measurements are attached. In attachments, schemas and printed circuit boards are presented, too. Except documentation, the CD contains also libraries for components and details for DPS machine production in Eagle Software.

Keywords

ZigBee, ZigBit, tensiometer, Eagle, UTILCELL M230, snow, weight

Bibliografická citácia

BAČINSKÝ, M. *Návrh nízkopříkonové bezdrátové senzorické platformy pro měření sněhového zatížení*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2012. XY s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Ľubomír Mráz.

Prehlásenie

Prehlasujem, že svoju bakalársku prácu na tému: Návrh nízkopříkonové bezdrátové senzorické platformy pro měření sněhového zatížení som vypracoval samostatne pod vedením vedúceho semestrálnej práce a s použitím odbornej literatúry a ďalších informačných zdrojov, ktoré sú všetky citované v práci a uvedené v zozname literatúry na konci práce.

Ako autor uvedenej bakalárskej práce ďalej prehlasujem, že v súvislosti s vytvorením tejto bakalárskej práce som neporušil autorské práva tretích osôb, najmä som nezasiahol nedovoleným spôsobom do cudzích autorských práv osobnostných alebo majetkových a som si plne vedomí následkov porušenia ustanovenia § 11 a nasledujúceho autorského zákona č. 121/2000 Sb., o práve autorskom, o právach súvisiacich s právom autorským a o zmene niektorých zákonov (autorský zákon), v znení neskorších predpisov, vrátane možných trestnoprávných dôsledkov vyplývajúcich z ustanovenia časti druhej, hlavy VI. diel 4 Trestného zákonníka č. 40/2009 Sb.

V Brne dňa : 30.5.2012

.....
Martin Bačinský

Pod'akovanie

Chcel by som poďakovať všetkým, ktorí mi pomohli pri vypracovaní tejto bakalárskej práce. Predovšetkým by som rád poďakoval vedúcemu svojej práce Ing. Ľubomíru Mrázovi za veľmi užitočnú metodickú pomoc a cenné rady pri spracovaní práce.

V Brne dňa : 30.5.2012

.....

Martin Bačinský

Obsah

1. Úvod.....	10
2. Bezdrôtové senzorové siete.....	12
2.1 Prehľad komunikačných protokolov	12
2.11 Porovnanie bezdrôtových štandardov	13
2.12 Štandard ZigBee, IEEE 802.15.4.....	13
2.13 Topológia siete ZigBee	14
3. Sneh a jeho vlastnosti	15
3.1 Základné vrstvy snehu	15
3.2 Vlastnosti snehu	16
3.3 Hmotnosť snehu	17
4. Návrh zariadenia na meranie snehovej záťaže	18
4.1 Problematika váženia snehovej záťaže	19
5. Nepriame metódy merania hmotnosti.....	20
5.1 Princíp činnosti senzorov pre nepriame metódy merania	20
5.1.1 Senzor merania vlhkosti (vlhkomer).....	20
5.1.2 Senzor merania teploty (teplomér)	21
5.1.3 Senzory merania tlaku (barometre).....	21
5.1.4 Senzor merania náklonu (akcelerometer)	24
5.1.5 Senzory merania osvetlenia (lightmeter)	25
5.1.6 Senzor merania prerušenia (IR senzor).....	26
5.2 Výber vhodných senzorov pre nepriame meranie.....	27
6. Priame metódy merania hmotnosti	29
6.1 Princíp odporových tenzometrických snímačov síl	29
6.1.1 Wheatstonov mostík	30
6.2 Varianty snímačov síl.....	31
6.3 Snímač UTILCELL M230	31
6.4 Výstupné napätie tenzometrického mostíka	33
6.4.1 Zosilnenie výstupného napätia.....	34

7. Návrh zapojenia senzorickej dosky	35
7.1 Zapojenie zdrojovej časti	36
7.2 Zapojenie senzorovej časti	37
7.3 Užívateľský interface a signalizácia stavu.....	38
7.4 Riadiaca časť	38
8. Meranie na tenzometrickom mostíku	39
UTILCELL M230.....	39
8.1 Meranie linearity tenzometrického mostíka.....	39
8.2 Meranie driftu tenzometrického mostíka	40
9. Záver.....	41
10. Použitá literatúra.....	42

Prílohy

Príloha A: Schéma a DPS senzorovej dosky

Príloha A.1: Zapojenie IR senzorov na expander a pripojenie

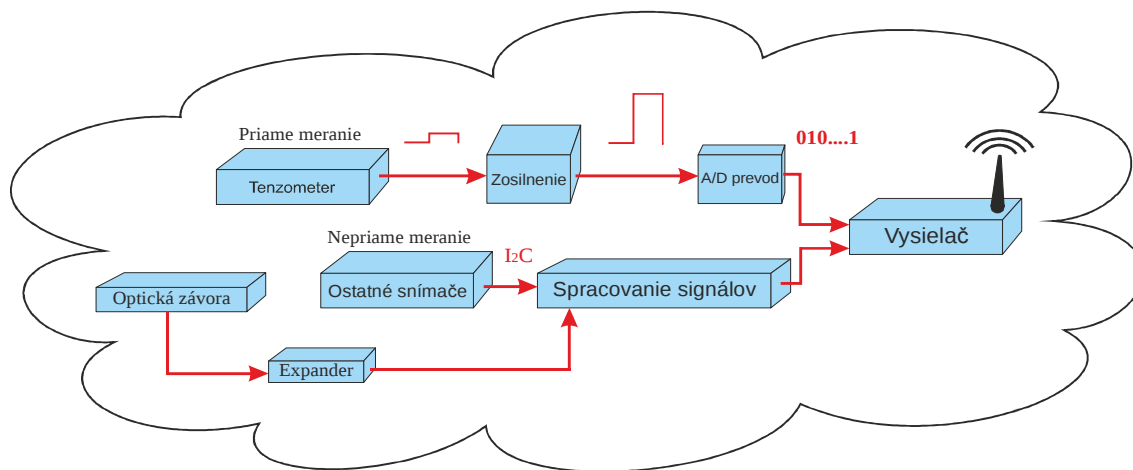
Príloha B: Katalógový list tenzometra UTILCELL M230

Príloha C: Fotodokumentácia

1. Úvod

V bakalárskej práci je preštudovaná problematika váženia snehovej záťaže. Jedná sa o váženie snehu najmä na strechách priemyselných budov. Dôvod sledovania zaťaženia strechy je zabrániť deštrukcii po prekročení konštrukčnej váhy strechy. Keďže v Slovenskej a Českej republiky napadne v určitých oblastiach pomerne veľké množstvo snehu je toto sledovanie potrebné.

V ďalšej časti práce je navrhnuté bezdrôtové zariadenie pre meranie snehovej prikrývky na strechách budov. Priame meranie snehovej záťaže bude realizované za pomoci tenzometra, zatiaľ čo nepriame meranie pomocou nízkoпрíkonových senzorov vlhkosti, tlaku, teploty a IR senzorov pre meranie výšky snehu. Sensorová doska obsahuje aj ďalšie senzory ako napr. akcelerometer pre určenie náklonu zbernej nádoby. Po úprave výstupného signálu z tenzometra budú všetky signály poslané na integrovaný rádiový modul ZigBit ako je vidieť na obrázku 1.



Obr. 1 Bezdrôtová senzorová sieť

V súčasnosti je využívanie bezdrôtových systémov stále viac používané. Snažiť sa zosnímať čo najviac fyzikálnych veličín a tie ďalej spracovávať je hlavnou doménou automatizačných procesov. Týmto sa predchádza najmä zlyhaniu ľudského faktoru a zvyšuje sa efektívnosť výroby. Často je riešenie snímania zložitá a to napríklad z dôvodu nedostupnosti. V tomto prípade prichádzajú na radu bezdrôtové senzorické siete.

V práci sú popísané princípy činnosti vybraných senzorov ako sú tlak, teplota, vlhkosť, úroveň osvetlenia a iné. Tieto senzory sa stávajú neoddeliteľnou súčasťou inteligentných systémov a inštalácií. Po preštudovaní činností senzorov sú vybrané nízkoпрíkonové senzory pre nepriame meranie záťaženia. Po tomto zmeraní daných veličín je potrebné všetko matematicky prepočítať na váhu a plochu strechy, pre ktorú sa zaťaženie počíta.

Pri rádiových prenosoch nastávajú komplikácie pri vzdialenosti na akú dokážu uzly komunikovať, pri frekvencie a komunikačnej rýchlosti. To sú základné parametre bezdrôtových senzorických sietí. Uzly bývajú zväčša napájané z vlastnej batérie. Z dôvodu obmedzenej kapacity batérie je potrebné, čo najviac minimalizovať spotrebu senzorického uzla.

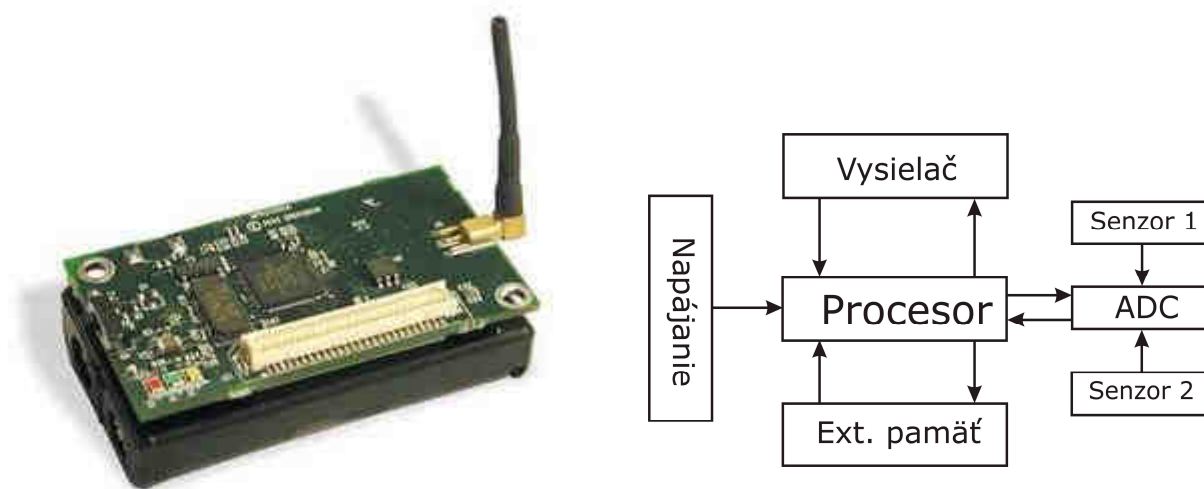
Po vybratí najvhodnejších senzorov nasleduje návrh zapojenia a následne návrh plošného spoja senzorického uzlu. Senzorické uzly budú kompatibilné k rádiovým modulom Zigbit, Iris a rádiovým modulom deRFmega128. Celý návrh zapojenia senzorického uzlu k rádiovým modulom bude prevádzaný v návrhovom prostredí Eagle, ktorý je pre tento návrh vhodný.

Bakalárska práca sa skladá z návrhu senzorickej dosky a návrhu zariadenia pre váženie snehu na strechách priemyselných budov. Sú tu zhrnuté informácie a poznatky o danej problematike ako princíp činnosti a rôzne metódy snímania fyzikálnych veličín, výber vhodných senzorov a problematika prenosu.

V praktickej časti je návrh zapojenia senzorickej dosky navrhnutý v návrhovom prostredí Eagle a konštrukcia snehomernej váhy s použitím tenzometra. V závere je zhodnotený návrh zariadenia pre váženie snehovej prikrývky s experimentálnym meraním na tenzometrickom moste.

2. Bezdrôtové senzorové siete

Bezdrôtové senzorové siete Wireless Sensor Networks (WSN) sú určené pre monitorovanie prostredia a rôznych fyzikálnych veličín. Hlavnou úlohou bezdrôtových senzorových uzlov je zosnímať dáta zo snímačov a poslať ich do centrálnej jednotky. Okrem jedného alebo viacerých snímačov, ktoré sú na doske je tento uzol štandardne vybavený rádiovým vysielačom alebo iným bezdrôtovým komunikačným zariadením, riadiacim procesorom, ktorý môže byť externý alebo implementovaný priamo vo vysielači a vlastným zdrojom energie, ktorým býva zvyčajne batéria. [1]



Obr. 2.1: Bezdrôtový senzorový uzol [1]

2.1 Prehľad komunikačných protokolov

Základné IEEE 802 štandardy

- IEEE 802.1 VLAN
- IEEE 802.3 Ethernet
- IEEE 802.4 Token Bus
- IEEE 802.5 Token Ring
- IEEE 802.11 Wi-Fi
- IEEE 802.15 Wireless PAN
- IEEE 802.15.1 (Štandard Bluetooth)
- IEEE 802.15.4 (Štandard ZigBee)
- IEEE 802.16 Broadband Wireless Access (Štandard WiMAX)
- IEEE 802.17 Pružný paket ring
- IEEE 802.20 Mobilný širokopásmový bezdrôtový prístup
- IEEE 802.22 Bezdrôtový regionálny Area Network

2.11 Porovnanie bezdrôtových štandardov

V tabuľke 2.1 pri porovnaní základných parametrov bezdrôtových štandardov je jasne vidieť veľmi veľkú životnosť batérii pri štandarde ZigBee (IEEE 802.15.4). Taktiež veľmi veľký počet uzlov siete a vysokú spoľahlivosť. Z tohto dôvodu je tento štandard veľmi výhodný pri monitorovaní a riadení elektrických zariadení. Tabuľka 2.1 porovnáva aj ďalšie parametre ako prenosová rýchlosť a komunikačný dosah.

Tab. 2.1: Tabuľka porovnania štandardov [3]

Obchodné meno štandard	GPRS/GSM 1xRTT/CDMA	Wi-Fi 802.11b	Bluetooth 802.15.1	ZigBee 802.15.4
Aplikačné zameranie	Široké oblasti Hlas & Data	Web, Email, Video	Náhrada za kábel	Monitorovanie & Riadenie
Systémové zdroje (pamäť)	16MB a viac	1MB a viac	250KB a viac	4KB-32KB
Životnosť batérií (dni)	1 - 7	0,5 – 5	1 - 7	100-1000 a viac
Max. veľkosť siete (počet uzlov/sietí)	1	32	7	65 000 (príp. až 2^{64})
Prenosová rýchlosť (Kb/s)	64-128	11 000	720	20 - 250
Komunikačný dosah (m)	1000 a viac	1 – 100	1 - 10	1 - 100
Výhody	Dosažiteľnosť, Kvalita	Rýchlosť, Flexibilita	Cena, Jednoduchosť	Spoľahlivosť, Výkon / Cena

2.12 Štandard ZigBee, IEEE 802.15.4

Zigbee je bezdrôtová komunikačná technológia postavená na štandarde IEEE 802.15.4. IEEE 802.15.4 je pomerne novým štandardom vydaným v roku 2003 a špecifikácia definuje 3 pásma. Sú to pásma 868 MHz, 900 MHz a 2,4 GHz. Najpopulárnejšie pásmo je 2,4 GHz kvôli globálnemu regulačnému schváleniu 2,4 GHz ISM pásmo. IEEE 802.15.4 podporuje AES128 bitové šifrovanie, ktoré je považované za dostatočné pre väčšinu dnešných aplikácií. Má veľmi jednoduché rámcové konštrukcie, ktoré poskytujú maximálne užitočné zaťaženie asi 100 bytov, čo je typické pre malé množstvá údajov potrebných pre tieto aplikácie. To bolo taktiež navrhnuté s ohľadom na spoľahlivosť, pričom sa používa nosný zmyslový viacnásobný prístup s kolíziou Avoidance (CSMA-CA). IEEE 802.15.4 taktiež podporuje viac typov sietí ako: peer-to-peer, hviezda, strom a cluster OK sietí. [2]

Výhody protokolu IEEE 802.15.4

- 2,4 GHz , 16 kanálov, 250 kb/s rýchlosť prenosu
- AES 128 šifrovanie a autentizáciu
- Jednoduché konštrukcie rámcov
- Spoľahlivé doručenie dát
- CSMA-CA
- Detekcia a indikácia kvality spojenia

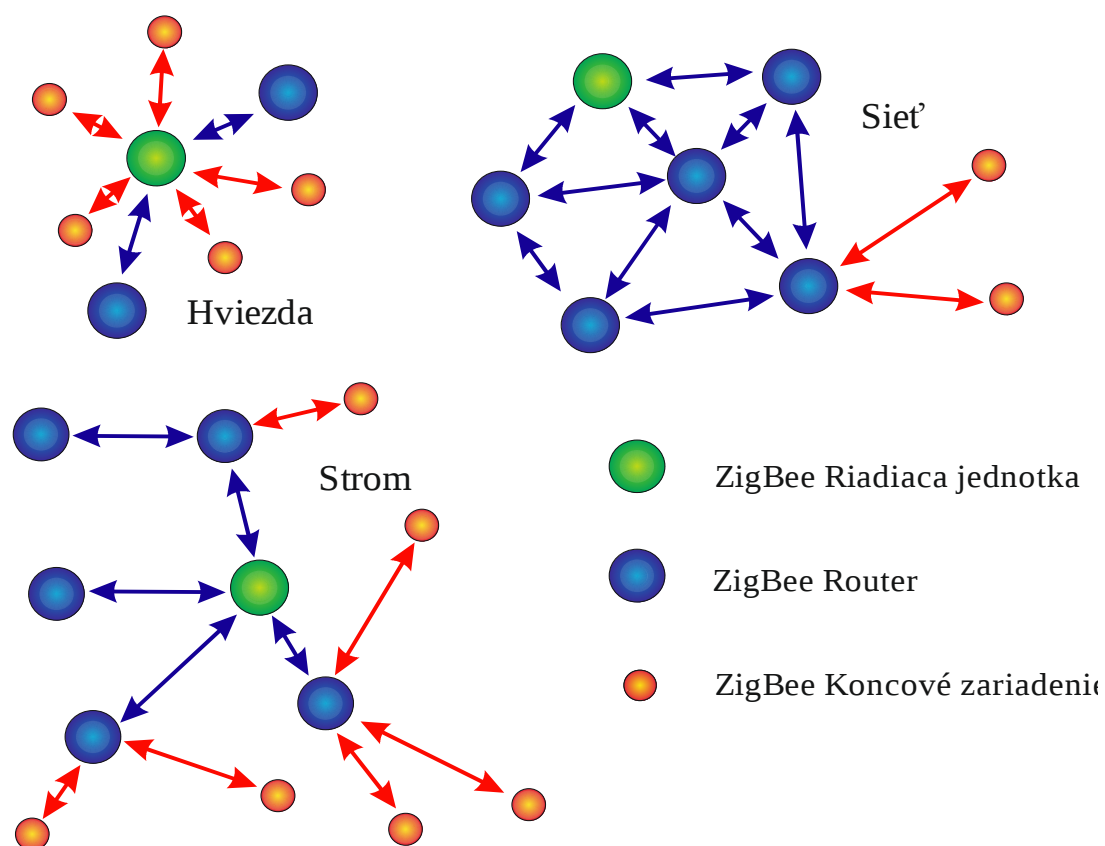


2.13 Topológia siete ZigBee

Ako vidieť na obrázku 2.2 siete ZigBee majú viacero možností pripojenia sa k riadiacej jednotke. V pripojení typu hviezda je vidieť, že k riadiacej jednotke sa môže pripojiť priamo aj koncové zariadenie, aj router. Každé z týchto zariadení komunikuje výhradne s riadiacou jednotkou.

V druhom prípade je znázornená sieť, kde komunikujú uzly aj s riadiacou jednotkou a taktiež aj medzi sebou. Koncové zariadenie môže komunikovať cez sériu uzlov, kým sa signál dostane do riadiacej jednotky.

Posledným prípadom je topológia siete typu strom. Je to v podstate kombinácia prvých dvoch typov siete.



Obr. 2.2: Príklad topológie siete ZigBee

3. Sneh a jeho vlastnosti

Sneh je definovaný ako kryštáliky vznikajúce okolo kondenzačných jadier (mikroskopické častice – prach, pôdne častice, soli) v atmosfére pri teplotách hlboko pod bodom mrazu za podmienok saturovaného vzduchu.

V meteorológii rozoznávame v súvislosti so snežením hlavne pojmy:

- výška novonapadaného snehu,
- celková výška snehovej prikrývky (starý a nový sneh dohromady),
- vodná hodnota celkovej snehovej prikrývky.

Vodná hodnota snehovej prikrývky = množstvo vody v snehovej prikrývke a vyjadrujeme ju v milimetroch.

Princíp merania spočíva v odobraní vzorky celej vrstvy snehovej prikrývky. Pre účely stanovenia zaťaženia na stavebných konštrukciách sa využíva tzv. „**vodná hodnota snehovej vrstvy**“ = váha vody vzniknutá topením vrstvy snehu z určitej plochy.

Všetky poveternostné pochody a zmeny počasia sa prejavujú na vrstevnatosti snehu. Každá snehová vrstva má svoje špecifické vlastnosti: druh snehových zŕn, tvrdosť, vlhkosť, priľnavosť, optické vlastnosti a iné. [26]

3.1 Základné vrstvy snehu

- **Nový sneh** - vrstvy nového snehu sú tvorené snehovými kryštálmi, u ktorých je viditeľná kryštalická mriežka. Väčšinou sa jedná o vrstvu vytvorenú počas poslednej periódy sneženia.
- **Voľný sneh** - v tejto vrstve je každé snehové zrno voľne pohyblivé bez väzby na susedné zrná. Táto vrstva nedovoľuje diaľkový prenos napätia v snehovej prikrývke. Môže sa jednať o suchý prachový sneh alebo o mokrý sneh. Prirodzený uhol sypavosti voľného snehu je 47°. Je to ako keď naberiete na lopatku kváder snehu, lopatkou jemne zatrasiete a kváder sa rozsype, kde sa jedná tiež o voľný sneh.
- **Spevnený (zviazaný) sneh** - miliardy snehových zŕn sú navzájom viazané a nie sú voľne pohyblivé. Toto umožňuje diaľkový prenos napätia v snehovej prikrývke. Stabilita vrstiev pevného snehu závisí na tvrdosti vrstiev a ich priľnavosti k spodnej vrstve.

- **Vetrom ubitý sneh** - vyskytuje sa na náveterných stranách. Pri chôdzi po doskách vetrom ubitého snehu je možné počuť dutý zvuk. Tieto dosky sú väčšinou veľmi krehké, pri prelomení je počuť typický zvuk, čo signalizuje zlú stabilitu dosky. Pod vetrom spevnenou doskou sa často nachádza mäkká snehová vrstva, ktorá má veľmi malú priľnavosť. [26]
- **Previaty sneh** - ukladá sa pod hrebene a na záveterných stranách prekážok vo forme snehových vankúšov. Spomalenie rýchlosti vetra na záveternej strane za prekážkou umožňuje veľkú akumuláciu a čiastočné spevnenie snehu
- **Vrstva pohyblivého a dutinového snehu** - najnebezpečnejšie a najmenej súdržná vrstva pre vrchné vrstvy pôsobí ako guľčkové pero. Pri kopaní snehového profilu sa vrstva vysýpa ako cukor a má minimálnu tvrdosť.
- **Zasnežená vrstva povrchovej inovate** - má podobné vlastnosti ako vrstva pohyblivého snehu.
- **Ľadová vrstvička** - drasticky znižuje priľnavosť vrchných vrstiev.
- **Kôra zmrznutého firnu** - v prikrývke pôsobí stabilizačne, nebezpečná je pre hornú vrstvu nového snehu.

3.2 Vlastnosti snehu

Všetky poveternostné pochody a zmeny počasia sa prejavujú na vrstevnatosti snehu. Každá snehová vrstva má svoje špecifické vlastnosti: druh snehových zrn, tvrdosť, vlhkosť, priľnavosť, optické vlastnosti a iné.

Teplota vrstvy snehu v blízkosti pôdy má väčšinou teplotu blízku nuly, a pri povrchu snehovej pokrývky je teplota podobná teplote vzduchu. Pri oteplení a premočení v jarných mesiacoch sa v celom profile pohybuje teplota okolo nuly. Hustota a tým váha ležiaceho snehu môže kolísať vo veľmi širokom rozmedzí, tým ako je sneh stlačovaný vlastnou váhou, ako behom času sadá alebo ako sa na povrchu topí vplyvom slnka či stykom s teplým vzduchom a voda presakuje do nižšej vrstvy snehu a tam opäť zmrzne. Rovnako aj sklon strechy môže mať vplyv na hustotu a váhu snehu. Vplyvom slnka a vetra (prejavujúca sa zmenou teploty vzduchu) môže byť na rôznych miestach strechy rôzne veľká vrstva. Niekedy môže byť tenšia vrstva snehu ťažšia, pretože sneh je starší a zľadovatelý. Na rôznych miestach tej samej strechy môže byť veľmi rozdielna záťaž.

Tab. 3.1: Priemerná hustota snehu

čerstvý prašan	0.05–0.1 g/cm ³ (50–100 kg/m ³),
firm	0.4 g/cm ³
ľadovcový ľad	0.83–0.91 g/cm ³
čistý ľad	0.92 g/cm ³

3.3 Hmotnosť snehu

Špecifická váha snehu sa uvádza ako váha jedného kubického metra snehu v kilogramoch. Zvyšuje sa tvrdosťou a vlhkosťou snehu.

Špecifická hmotnosť snehu [25]

- Prachový sneh 10 - 50 kg/m³
- Vetrom ubitý 100 – 200 kg/m³
- Pevný suchý 200 – 400 kg/m³
- Pevný ľahký 400 – 600 kg/m³
- Firm 300 – 800 kg/m³
- Ľad 800 – 900 kg/m³
- Voda 1000 kg/m³

Z týchto hodnôt je možné spočítať, že doska s vetrom ubitého snehu ploche 10x10m a výške 10cm, má objem 10m³ a váhu 1-2 tony. Z týchto hodnôt je zjavné, že váha snehovej prikrývky hlavne na veľkých plochách strechy nie je zanedbateľná a aj pri malej výške je na ploche strechy značné zaťaženie.

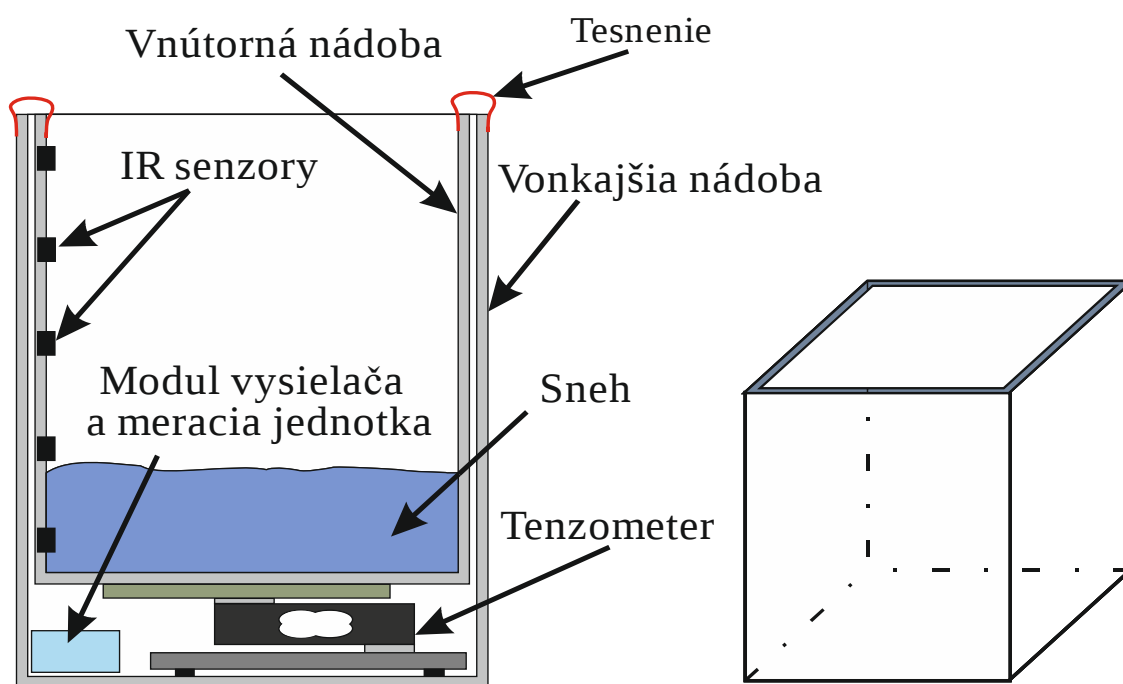
4. Návrh zariadenia na meranie snehovej zát'aže

Meracie zariadenie, ktoré bolo skonštruované má dve nádoby. Jedna (vonkajšia) je priamo prichytená k streche a po obvode je v kontakte so snehom. Druhá nádoba je vložená vo vnútri tak, aby bola tesne pri stene vonkajšej a to tak, že je zaručené aby sa nedostal sneh (voda) medzi steny nádob, kde by mohla voda spôsobovať zamrzanie nádob k sebe.

Týmto je zaručené, že vnútorná nádoba sa bude vertikálne pohybovať bez nežiaduceho trenia a namrzania snehu a tak bude prenášať váhu snehu presne len na tenzometrický most. Tým bude plocha snehu presne ohraničená a bude sa jednať o približne $0,075\text{m}^2$. Z vnútornej nádoby bude ešte potrebné odvádzať vodu z roztopeného snehu do okolia a tak bude nutné dno nádoby predierovať a vodu odvádzať. Toto v tomto modeli riešené nie je, keďže sa jedná o názornú ukážku riešenia a nie o plne funkčný model vyhotovený na priame aplikovanie.

V oblasti medzi dnami nádob, kde je umiestnený snímač váhy bude umiestnená aj elektronika vyhodnocovania a rádiovkej komunikácie za pomoci modulu ZigBit.

Na Obr. 4.1 je znázornené zariadenie v reze tak, aby bolo vidieť princíp váženia snehovej pokrývky za použitia tenzometrického mosta.



Obr. 4. 1 Konštrukcia zariadenia

Konštrukcia je vytvorená z PVC materiálu a to tak, aby os nádoby bola osou tenzometrického snímača UTILCELL M230, a tým sa váha prenášala rovnomerne na plochu tenzometrického snímača. Možnosť váženia vybraného snímača je do 36 Kg.

4.1 Problematika váženia snehovej zát'aže

Celá problematika je založená na tom, že váha snehovej prikrývky je premenlivá a nie je lineárna od výšky snehu. Z tohto dôvodu nie je dostatočne vyhovujúce merať len výšku snehu nepriamou metódou, napríklad opticky a potom ju prepočítavať na váhu. Takto vypočítaná váha snehovej prikrývky, ale neodráža skutočnú váhu, ktorá pôsobí napríklad na strechu budovy.

Je žiadúce monitorovať hlavne váhu snehu na strechách obchodných a priemyselných budov, ktoré majú veľmi veľké plochy a rovné strechy. Na týchto plochách sa sneh udrží a nesklzne dole ako na šikmej streche. V prípade prekročenia konštrukčnej váhy, ktorú strecha unesie môže nastať katastrofa a strecha sa môže zrútiť. Z tohto dôvodu je potrebné neustále sledovať výšku snehu a ostatné veličiny, ktoré sú potrebné pre výpočet váhy snehu.

Ideálne je merať výšku snehu priamymi metódami a mať tak dokonalý obraz o váhe snehu. Pri meteorologickom vážení snehu sa používajú veľké vaky naplnené nemrznúcou zmesou a cez zákony hydrostatického tlaku dokážu zistiť na barometroch tlak vyvinutý váhou snehu napadaného na tento vak. Z tlaku už jednoducho vypočítame váhu, ktorá musela na vaky pôsobiť. Toto meranie je ale dosť nákladné a vaky s nemrznúcou kvapalinou sú pomerne ťažké a strechu tak zaťažia ešte pred tým ako sneh začne padať. Preto bolo potrebné navrhnuť zariadenie, ktoré by bolo ľahké, jednoduché na montáž, čiastočne bez údržbové, energeticky nenákladné a cenovo dostupné. V ďalšej časti práce sú popísané nepriame a priame metódy merania snehovej prikrývky.

5. Nepriame metódy merania hmotnosti

Pri nepriamom meraní hodnotu veličiny vypočítame zo vzťahu, ktorým veličina súvisí s inými, priamo meranými veličinami.

Medzi senzory pre nepriame meranie snehovej záťaže patria najmä senzory vlhkosti, tlaku, teploty a výšky snehu. Z týchto veličín sa dá vypočítať váha snehovej prikrývky. Toto je spôsob určenia váhy nepriamymi metódami. Pre detailnejšie údaje o streche je senzorová doska vybavená aj akcelerometrom čím je možné určiť náklon strechy, na ktorej je zariadenie umiestnené.

Výška snehu v meracej nádobe bude meraná za pomoci IR senzorov, jedná sa o vysieláč a prímač IR spektra. Toto meranie bude v práci riešené iba teoreticky, aj keď to je jedna zo základných a najpotrebnejších údajov pre výpočet pri nepriamej metóde merania váhy snehovej pokrývky.

5.1 Princíp činnosti senzorov pre nepriame metódy merania

Rôzne snímače majú rôzne spôsoby snímania fyzikálnych veličín. Táto kapitola poukazuje na činnosti a princípy činnosti vybraných senzorov.

5.1.1 Senzor merania vlhkosti (vlhkomer)

Senzory vlhkosti sa v novodobom priemysle stali taktiež neoddeliteľnou súčasťou zariadení. Senzory pracujú na základe kapacity pri zmene vlastností dielektrika. Absorbovaním vlhkosti aktívnym polymérovým dielektrikom senzoru sa mení kapacita snímača a tú vyhodnocuje ďalšia jednotka. Senzory dokážu mať miniatúrne formáty a vysokú stabilitu. Senzor SENSIRION, ktorý som vybral disponuje vysokou výkonnosťou a inteligenciou. Poskytuje digitálne a plne kalibrované výstupy, ktoré umožňujú ľahkú integráciu aj bez potreby dodatočnej kalibrácie. Taktiež veľmi nízka spotreba energie je dôležitým faktorom pre všetky vzdialené aplikácie. [10]



Obr. 5.1: Snímač vlhkosti SENSIRION [10]

5.1.2 Senzor merania teploty (teplomer)

Snímanie teploty je v technickej praxi veľmi používané. Či už ide o snímanie teploty okolia, teploty vzduchu alebo snímanie teploty povrchu materiálov. Táto fyzikálna veličina je veľmi podstatná skoro pre celú priemyselnú výrobu a preto je veľmi sledovaná. Podľa spôsobu snímania a základných princípov funkčnosti sa teplomery delia na:

- Kvapalinový teplomer – využíva sa v ňom teplotnej rozťažnosti rôznych kvapalín ako je napr. ortuť alebo lieh.
- Bimetalový teplomer – pri meraní týmto teplomerom sa využíva princíp rôznej tepelnej rozťažnosti pevných látok. Skladá sa z pásika zloženého z dvoch kovov s rozdielnou tepelnou rozťažnosťou (bimetal). Pri zmene teploty sa každý z pásikov inak roztáha, čo spôsobuje ohýbanie pásika.
- Plynový teplomer – k meraniu teploty sa využíva závislosť tlaku plynu na teplote pri stálom objeme.
- Odporový teplomer – k meraniu sa využíva závislosť prechodového odporu vodičom alebo polovodičom na teplote. S týmto druhom teplomera sa najčastejšie stretávame v elektrických zariadeniach. Delí sa na dva základné typy, a to NTC a PTC pri jednom ak teplota stúpa odpor klesá a pri druhom to je naopak, so stúpaním teploty stúpa aj odpor.
- Termoelektrický teplomer – využíva termoelektrický jav, zmenou teploty spoja dvoch rôznych kovov sa mení termoelektrické napätie. Používa sa pri vysokých teplotách.

5.1.3 Sensory merania tlaku (barometre)

Meranie tlaku je jednou zo základných fyzikálnych veličín v technike. Pre potreby bežnej praxi je definovaný ako podiel elementárnej sily dF pôsobiacej v smere normály na elementárnu kolmú plochu dS_n [7]

Jednotkou tlaku je Pascal, je pomenovaná po významnom francúzskom fyzikovi, matematikovi a filozofovi Blaise Pascalovi. Jednotka jeden Pascal je veľmi malá a tak sa v praxi používajú jej násobky (kPa, MPa poprípade hPa).

Podľa určenia delíme tlakomery na :

- Manometre (meranie pretlaku)
- Barometre (meranie barometrického tlaku)
- Vakuometre (meranie podtlaku)
- Manovakuometre (meranie podtlaku aj pretlaku)

Podľa princípu činnosti delíme tlakomery do základných skupín a to:

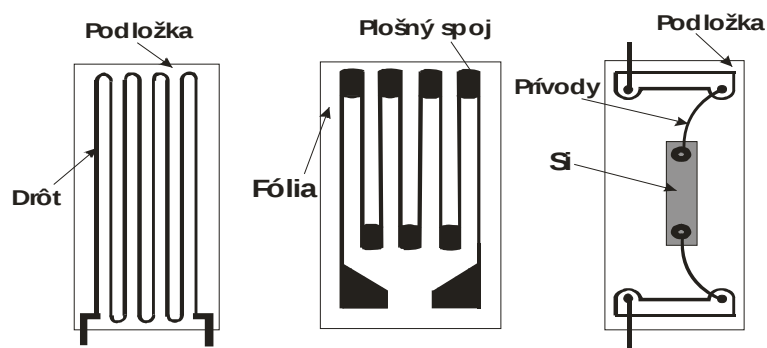
- Kvapalinové,
- Piestové,
- Deformačné,
- Elektrické,
- Piezoelektrické,
- Kapacitné.

V bakalárskej práci bude rozobraná problematika len elektrických, piezoelektrických a kapacitných tlakomerov

Elektrické tlakomery

Do tejto skupiny patria také snímače tlaku, ktoré poskytujú elektrický výstupný signál. Jedná sa o moderné a perspektívne snímače doplnené modernými elektrickými vyhodnocovacími obvodmi. [8]

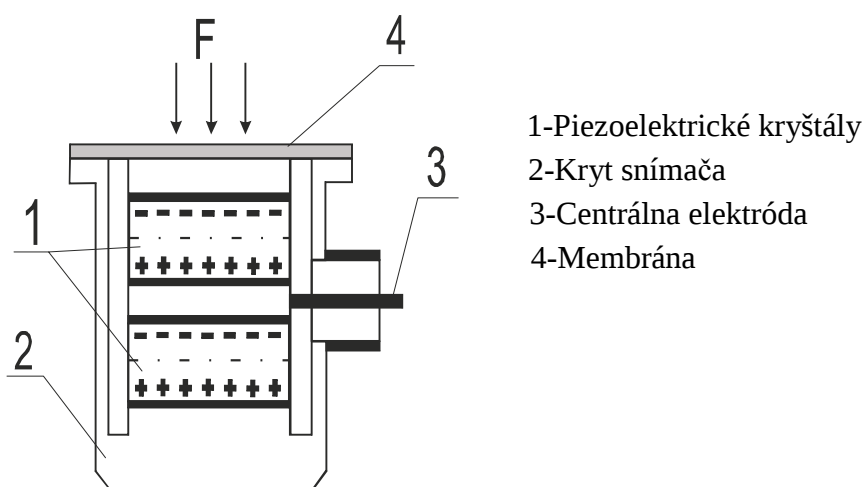
Elektrické tlakomery sú vlastne odporové tenzometre, v ktorých sa využíva piezoelektrický jav. Pri mechanickom namáhaní tak dochádza u kovových vodičov alebo polovodičov k zmenám ich elektrického odporu. Tieto tenzometre delíme na drôtové, fóliové a polovodičové.



Obr. 5.2: Elektrické tenzometre [8]

Piezoelektrické tlakomery

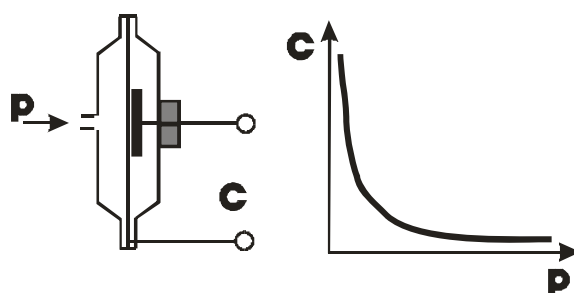
Pri pôsobení mechanických deformácií dochádza u niektorých druhov kryštálov k vzniku elektrického náboja. Tento dej je recipročný, priložením striedavého elektrického pola sa kryštál mechanicky rozkmitá. Uvedené vlastnosti vykazujú napr. kremeň, titaničitán barnatý a olovnatý, niektoré makromolekulárne látky a iné. V praxi sa najčastejšie využívajú vlastnosti SiO_2 a BaTiO_3 . Piezoelektrický element získame z kryštálu kremeňa tak, že vyrežeme doštičku, ktorej hrany budú rovnobežné s jednotlivými osami kryštálu. Ak pôsobí sila kolmo na optickú os, kryštál sa zelektrizuje a na plochách kolmých na elektrickú os sa objaví elektrický náboj. [8]



Obr. 5.3: Piezoelektrický snímač [8]

Kapacitné tlakomery

Pre meranie tlaku sa využíva kapacitného snímača u ktorého dochádza k zmene vzdialenosti medzi doskami. Napr. jedna elektróda je voľná a druhá je tvorená membránou, ktorá mení svoju polohu v dôsledku pôsobenia meraného tlaku. [8]

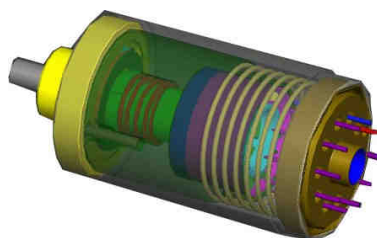


Obr. 5.4: Kapacitný snímač [8]

Pôsobením tlaku a teda vychýlením membrány sa zmení kapacita a túto zmenu neskôr vyhodnocujú integrované obvody. Ako je vidieť na obr. 11 priebeh zmeny kapacity je nelineárny.

5.1.4 Senzor merania náklonu (akcelerometer)

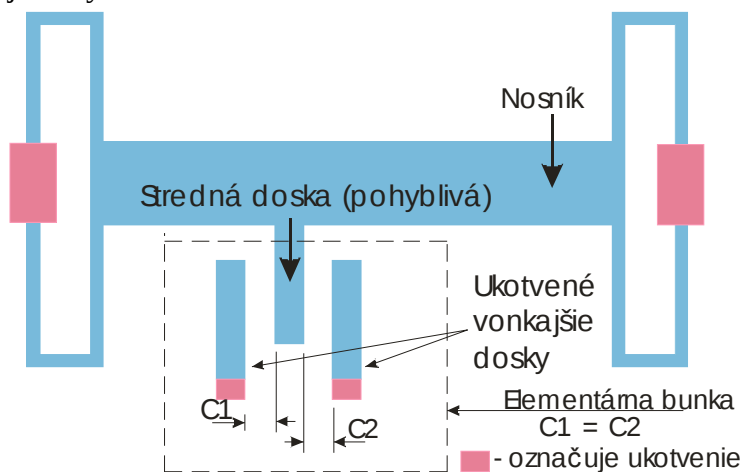
Akcelerometer je zariadenie, ktoré meria vibrácie alebo zrýchlenia pohybu konštrukcie. Sily spôsobené vibráciami alebo zmenou pohybu (zrýchlenie) spôsobia, že hmota respektíve malý kryštál z piezoelektrického materiálu sa vychýli a tak vytvára elektrický náboj. Tento náboj je priamo úmerný sile pôsobiacej na piezoelektrický materiál.



Obr. 5.5: Akcelerometer [4]

Existujú dva typy piezoelektrických akcelerometrov (snímačov vibrácií). Prvým typom je akcelerometer s vysokou impedanciou. U tohto typu akcelerometru piezoelektrický kryštál vytvára elektrický náboj, ktorý je priamo pripojený k meracím prístrojom. Tento typ akcelerometrov sa dá použiť v aplikáciách, kde je pomerne vysoká teplota. Druhým typom piezoelektrického akcelerometru je akcelerometer s nízkou impedanciou výstupu akcelerometru. Tento akcelerometer má vstavaný mikro-FET tranzistor. Tieto typy akcelerometrov sú bežne používané v priemysle. [5]

Ďalším typom je akcelerometer bez piezoelektrického kryštálu, a to akcelerometer ktorý sníma kapacitu. Tento akcelerometer som aj ja vybral pre vlastný návrh senzorickej dosky.



Obr. 5.6: Princíp kapacitného akcelerometra [6]

Nepohybujúci sa objekt pružne spojený s iným objektom má tendenciu zotrvať na mieste, aj keď sa druhý objekt začne pohybovať, teda keď zrýchľuje alebo spomaľuje. Toho ide využiť pri meraní zrýchlenia. Pružne uchytený nosník pohybuje doskou kapacitoru, ktorá je uložená medzi pevnými doskami. Tak sa vlastne problém merania zrýchlenia mení na meranie kapacity. Nosník s doskou sa posúva vpravo alebo vľavo podľa pôsobiaceho zrýchlenia. Tým sa zníži kapacita jedného a zvýši kapacita druhého kapacitoru. Vďaka veľmi dobrým mechanickým vlastnostiam kremíku je možné takýto systém realizovať priamo na substráte integrovaného obvodu spolu s meracími obvodmi. Elementárnych buniek- teda vlastne premenlivých doskových kapacitorov ide v jednom integrovanom obvode spraviť stovky. Preto sa okrem jednoosého a dvojosých vyrábajú aj akcelerometre trojosé. Merané hodnoty ide jednoducho spracovať a vyhodnotiť. [6]

5.1.5 Senzory merania osvetlenia (lightmeter)

Lightmeter alebo inak aj fotodetektor je snímač, ktorý reaguje na svetlo. Jednotlivé fotóny vyvolávajú určité účinky detektora. Snímanie intenzity osvetlenia môžeme dosiahnuť viacerými spôsobmi. Základné prvky ktoré reagujú na prítomnosť svetla sú napríklad:

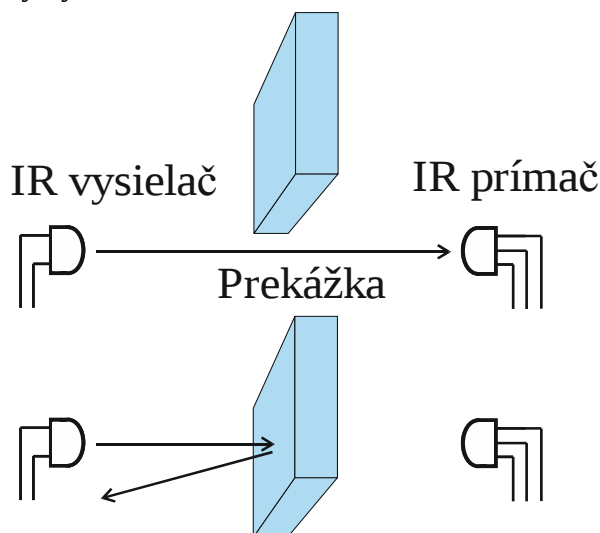
- Fotorezistor - svetelne závislý rezistor, zmenou osvetlenia sa mení veľkosť prechodového odporu fotorezistorom
- Fotodioda - od svetla závislá dióda, môže pracovať v režime fotovoltarickom alebo fotovodivom režime
- Fototranzistor - pôsobí ako zosilňujúca fotodioda



Obr. 5.7: Fotorezistor, fotodioda a fototranzistor [9]

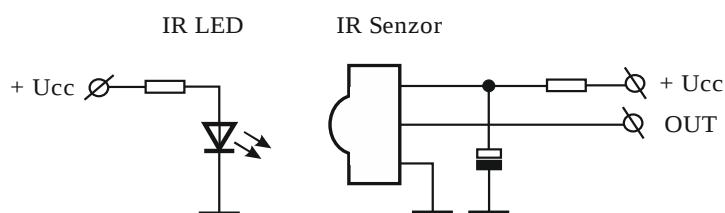
5.1.6 Optická závora (IR senzor)

Pre meranie výšky snehu boli použité IR senzory. Princíp činnosti IR senzoru je na obrázku 4.8. Ide o infra diódu, ktorá presvecuje šírku nádoby a svieti na infra prímač. Pokiaľ nie je v ceste zaradená žiadna prekážka je prímač napr. v logickej 1, v opačnom prípade pri vložení prekážky do cesty svetelného toku prímač svoj stav zneguje napr. do logického stavu 0. Aby sa predišlo nežiaducim odrazom a tak klamlivým výsledkom má každý vysielateľ inú vysielaciu postupnosť, a tak sú senzory spárované bez ohľadu na to či prímač zachytí aj iný vysielateľ.



Obr. 5.8: Princíp snímania výšky snehu

Navrhujem 5cm rozstup medzi senzormi, aby bol výpočet nepriameho merania čo možno najpresnejší. Toto meranie je v bakalárskej práci spomenuté len teoreticky. IR prímače navrhujem pripojiť na expander, keďže na procesore už nie je dostatok voľných pinov pre pripojenie senzorov v matici. Elektrické zapojenie IR senzoru je na obrázku 4.9. Hodnoty rezistorov treba zvoliť podľa typu IR diódy, IR senzoru a napájacieho napätia.



Obr. 4.9: Elektrické zapojenie IR senzorov

Pre pripojenie IR senzorov k senzorovej doske je potrebné použiť expander, ktorý bude pripojený na zbernicu I₂C pomocou konektora JP4 na obrázku 7.5. Každý s IR senzorov bude vysielateľ inú frekvenčnú kombináciu a tak nenastane situácia kedy prímač zachytí odrazený signál z iného vysielateľa, a tým nepresne určí výšku snehovej prikrývky. Schéma zapojenia expanderov je v prílohe A.1.

5.2 Výber vhodných senzorov pre nepriame meranie

Z dôvodu malej veľkosti a nízkej spotreby kvôli napájaniu z batérie bola pri výbere vhodných senzorov na tieto aspekty poukazovaná najväčšia pozornosť. Vybrané senzory musia mať digitálne rozhranie výstupu a komunikovať po zbernici. Po dôkladnom preskúmaní problematiky na trhu dostupných senzorov boli použité nasledovné senzory:

▪ Snímanie akcelerácie: → akcelerometer, typ - MMA8453Q [14]

- Kapacitný mikrosenzor
- 3.osy
- 10-bit. a 8-bitové rozlíšenie
- I²C rozhranie (digitálny výstup)
- Rozmery: 3 mm x 3mm x 1mm
- Puzdro: QFN
- Spotreba prúdu: 6 - 165 μ A
- Napájacie napätie: 1,95 – 3,6 V
- Výrobca: Freescale



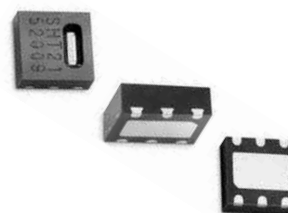
▪ Snímanie atmosferického tlaku: → barometer, typ - MPL115A2 [15]

- MEMS tlakový senzor
- 50 kPa – 115kPa absolútny tlak
- Presnosť: 1 kPa
- I²C rozhranie (digitálny výstup)
- Rozmery: 5mm x 3mm x 1,2mm
- Puzdro: LGA
- Spotreba prúdu: 5 μ A – Aktívny režim
1 μ A – Sleep režim
- Napájacie napätie: 2,375 – 5,5 V
- Výrobca: Freescale



▪ Snímanie vlhkosti: → vlhkomer, typ - SHT21 [17]

- Kapacitný typ snímača
- Možnosť meniť rozlíšenie 8/12 bit
- Rozsah: 0 – 100 % vlhkosť
- Presnosť: 0,04% pri 12 bit
0,7% pri 8 bit
- Pracovná teplota: - 40°C až + 125°C
- I²C digitálne rozhranie a SDM analógové rozhranie



- Rozmery: 3mm x 3mm x 1,1mm
- Spotreba prúdu: max. 330 μ A – Aktívny režim
max. 0,4 μ A – Sleep režim
- Napájacie napätie: 2,1 – 3,6 V
- Výrobca: Sensirion

▪ **Snímanie teploty: → teplomer, typ - tmp102 [18]**

- Digitálny teplotný snímač
- Rozlíšenie: 12 bit
- Presnosť: 0,5°C (- 25°C až + 85°C)
- Digitálny výstup
- Rozmery: 1,7mm x 1,7mm x 0,6mm
- Puzdro: SOT563
- Spotreba prúdu: 10 μ A – Aktívny režim
1 μ A – Sleep režim
- Napájacie napätie: 1,4 – 3,6 V
- Výrobca: Texas Instruments



▪ **Snímanie intenzity svetla: → lightmeter, typ - bh1715fvc-e [16]**

- Digitálny 16-bitový snímač
- Široký rozsah a vysoké rozlíšenie (1 – 65535 lx)
- Malá odchýlka merania (+/- 15%)
- I₂C rozhranie (digitálny výstup)
- Rozmery: 3mm x 1,8mm x 0,75mm
- Puzdro: WSOF6
- Spotreba prúdu: max. 190 μ A
- Napájacie napätie: 2,4 – 3,6 V
- Výrobca: ROHM Semiconductor



6. Priame metódy merania hmotnosti

Pre priame metódy merania záťaže a sily sa dobre osvedčili tenzometrické snímače. V ďalšej časti práce sú popísané princípy činnosti tenzometrických snímačov síl a rôzne varianty snímačov.

6.1 Princíp odporových tenzometrických snímačov síl

Tieto snímače prevádzajú mechanickú deformáciu na elektrickú veličinu (napätie). Pretože je mechanická deformácia spôsobená pôsobením určitej mechanickej sily (vyvolaná hmotnosťou), pri použití správneho prevodu dokážeme z miery deformácie určiť veľkosť pôsobiacej sily (hmotnosti).

Tenzometrický snímač sa skladá z dvoch častí a to:

- **Mechanické**- jedná sa o kovové profily rôznych tvarov a prevedenia, ktoré sú v určitom mieste narušené (otvorom alebo rezom). Narušením vytvoríme najslabšie miesto snímača, ktoré je to najvhodnejšie pre umiestnenie tenzometrických známk
- **Elektrické**- jedná sa o tenzometrické známky tvoriace Wheatstonov mostík, umiestnený väčšinou vo vnútri tela snímača.

Odporová tenzometria je založená na princípe zmeny odporu tenzometrickej známky v závislosti na jej deformácií. Znamka je väčšinou prilepená vo vnútri mechanickej časti snímača v mieste, kde sa predpokladá najväčšia deformácia spôsobená meranou silou. Táto deformácia sa v dôsledku pevného spojenia známky a tela snímača prenesie i na známku, ktorá týmto zmení veľkosť odporu.

Pre tenzometrickú známku platí tento pomer:

$$\frac{\Delta R}{R} = K \cdot \frac{\Delta L}{L} \quad (6.1)$$

Kde:

- R je statický odpor známky;
- ΔR je pomerná zmena odporu;
- L je dĺžka známky;
- ΔL je pomerné predĺženie(skrátenie);
- K je tzv. gauge factor, alebo koeficient deformačnej citlivosti

6.1.1 Wheatstonov mostík

Táto metóda je známa už od roku 1833 a slúži j meraniu odporu vyvolaného deformáciou tenzometra, ktorý je príliš malý na to aby mohol byť meraný bežnými metódami. V svojej základnej konfigurácii využíva porovnávanie hodnôt štyroch rezistorov rozdelených do dvoch vetví, pričom neznáma môže byť hodnota iba jedného rezistoru, ostatné hodnoty musia byť presne dané. Ako je z obr. 6.1 viditeľné, princíp metódy je založený na vyvážení oboch ramien mostíku.[23]

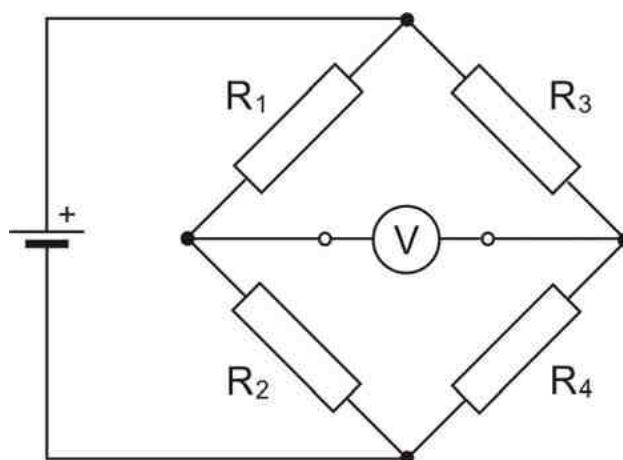
Pokiaľ zvolíme za neznámy rezistor napríklad rezistor R_1 , bude pre jeho výpočet platiť

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_4}{R_3} \quad (6.2)$$

Z čoho jednoduchou matematickou operáciou dostaneme:

$$R_1 = \frac{R_3}{R_4} \cdot R_2. \quad (6.3)$$

Ak bude pomer odporov rovnaký, voltmeter umiestnený medzi výstupmi bude ukazovať nulové napätie.



Obr.6.1: Schéma Wheatstonovho mostíka

Wheatstonov mostík je tvorený dvoma deličmi napätia, a tak pripojený voltmeter nemeria výstupné napätie, ale rozdiel napätia na výstupoch deliča.

Pre výstupné rozdielové napätie $U_{\text{výst}}$ platí

$$U_{\text{výst}} = \frac{R_4}{R_3 + R_4} \cdot U_{\text{nap}} - \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot U_{\text{nap}}. \quad (6.4)$$

Čo je po úprave

$$U_{\text{výst}} = \left(\frac{R_4}{R_3 + R_4} - \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \cdot U_{\text{nap}}, \quad (6.5)$$

Kde U_{nap} je napätie zdroja.

6.2 Varianty snímačov síl

Existuje niekoľko variant tenzometrických snímačov síl. Líšia sa od seba ako konštrukciou, taktiež možnosťami využitia. Najčastejšie typy využitia sú: [19]

Platformové snímače (tzv. single point)

Bývajú to väčšinou jednoduché snímače vo váživostiach stoviek kilogramov, výnimočne jednotiek ton. Sú určené pre platformové systémy, kde stačí jeden snímač pre celú platformu vhodne zvolených rozmerov. Takýmto snímačom nevadí ani excentrické zaťaženie na platforme.

Ohybové snímače

Ich činnosť je založená na ohybe tej časti snímača, ktorá je osadená známkami. Nie sú odolné voči excentrickému zaťaženiu a sú pomerne všestranné, určené ako pre aplikácie ako je sila, zásobníky, tak s využitím vhodného príslušenstva ako snímač ťahu alebo pre viac snímačové platformy.

Strihové snímače

Princíp ich činnosti je obdobný ako u predchádzajúcich snímačov, je však založený na strihovej sile. Snímače sú rovnako všestranné ako snímače ohybové, sú však určené pre váženie väčších hmotností.

Ťahové snímače

Merajú roztáhom a sú určené predovšetkým pre žeriavové váhy a pre meranie ťahových síl

Tlakové snímače

Konštrukčne sú poňaté ako valce, ktoré sa pri zaťažení skracujú a rozširujú. Bývajú najčastejšie používané pre mostové váhy, váženie sil a nadrží. Často bývajú ťažkotonážne (stovky ton)

6.3 Snímač UTILCELL M230

Snímanie váhy: UTILCELL M230

- Ohybový snímač síl
- Menovité kapacity: 7,5 – 12 – 18 – 36kg
- Ohybové teleso vyrobené s hliníku
- Presnosť podľa O.I.M.L. R60 n=3000d.
- Krytie IP66
- Vhodné do platforiem o rozmeroch 400x400mm
- Viac info vid'. Tab.6.1



Tento typ snímača sa radí medzi plošinové snímače (tzv. single point), ktoré sa vyznačujú jednoduchou konštrukciou a váživosťou v stovkách kilogramov. Ich hlavné využitie najmä v miestach, kde sa využíva tzv. jednobodové váženie (obchodné a čítacie váhy). Pri snímačoch tohto typu nie je vyžadované excentrické zaťaženie na platforme. Dôležité vlastnosti snímača nájdeme v tabuľke 6.1. [19]

Tab.6.1: Technická špecifikácia snímača UTILCELL M230: [19]

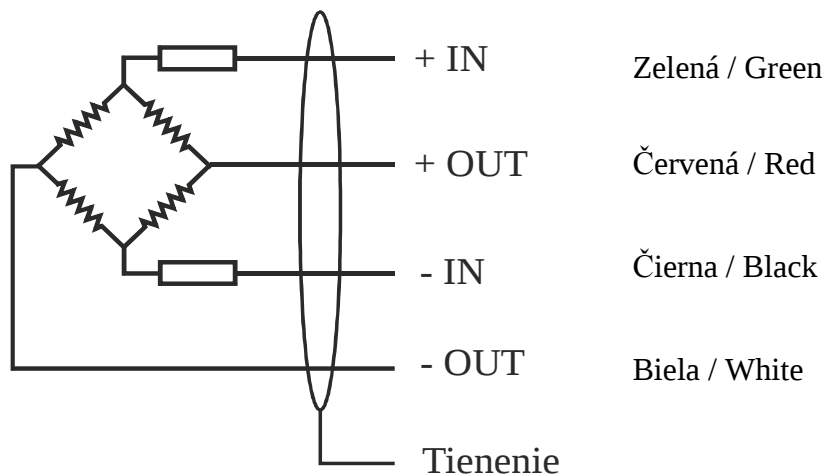
Nominálna hmotnosť	7,5-12-18-36	kg
Trieda presnosti	3000	n.OIML
Minimálne zaťaženie	0	%Ln
Pracovné zaťaženie	120	%Ln
Bezpečné zaťaženie	150	%Ln
Kombinovaná chyba	$< \pm 0,017$	%Ln
Chyba opakovateľnosti	$< \pm 0,01$	%Sn
Vplyv teploty na nulu	$< \pm 0,01$	%Sn/5K
Vplyv teploty na citlivosť	$< \pm 0,006$	%Sn/5K
Chyba tečenia (30 minút)	$< \pm 0,016$	%Sn/5K
Kompenzované teploty	-10 až +40	°C
Limitné teploty	-10 až +70	°C
Nominálna citlivosť	2,4	mV/V
Nominálne nap. napätie	10	V
Maximálne nap. napätie	15	V
Vstupná impedancia	400 ± 20	Ohm
Výstupná impedancia	350 ± 3	Ohm
Počiatočná poloha nuly	$< \pm 2$	%Sn
Izolačná impedancia	> 5000	MOhm
Max. deformácia (pri Ln)	0,2 – 0,4	mm



Obr.6.2: Fotka tenzometrického snímača UTILCELL M230

Elektrické zapojenie UTILCELL M230:

Na obrázku 6.3 je elektrické zapojenie tenzometra UTILCELL M230. Sú tu znázornené farby vstupných aj výstupných vodičov. Tienenie nie je spojené s telom tenzometra.



Obr. 6.3: Elektrické zapojenie s popisom vodičov.

6.4 Výstupné napätie tenzometrického mostíka

Každý zo snímačov firmy Utilcell je na svojom tele opatrený štítkom s údajmi o rozsahu merania v kilogramoch, pre ktorý je snímač určený a hodnotu jeho nominálnej citlivosti využívame predovšetkým pre výpočet maximálneho výstupného napätia snímača.

Ak vezmeme hodnoty napájacieho napätia a nominálnu citlivosť z tabuľky 6.1, bude maximálne výstupné napätie $U_{\text{výst}}$ rovné:

$$U_{\text{výst}} = S_n U_{\text{nap}} = 2,4 \cdot 10^{-3} \cdot 10 = 24 \text{ mV} \quad (6.6)$$

Nominálna citlivosť 2,4mV/V vo vzorci je iba orientačná hodnota pre model M230 a preto sa pre každý jednotlivý senzor môže mierne líšiť.

Vypočítané maximálne napätie je približne zhodné s lineárne dopočítanou priamkou rovnice regresie (6.7), ktorá je odvodená z grafu (obr. 8.2).

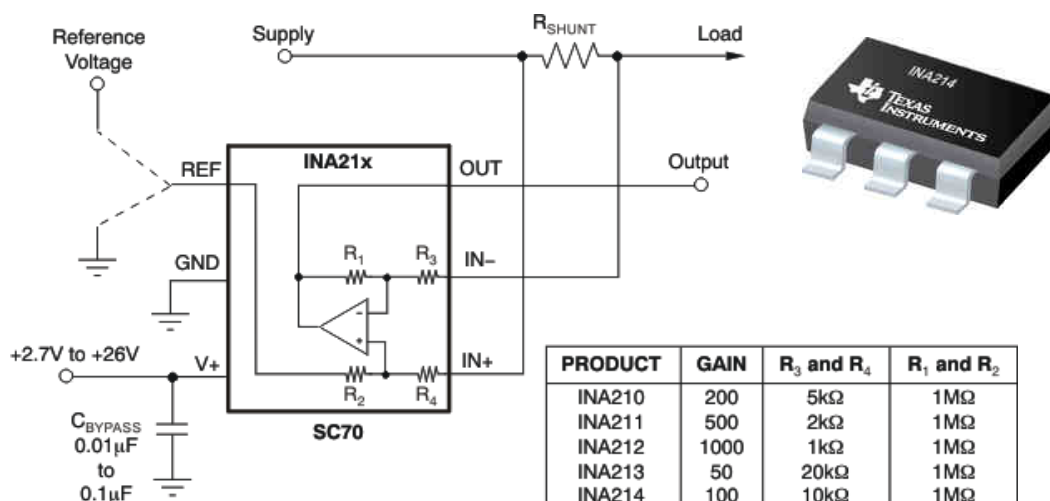
Rovnica regresie:

$$y = 0,669x + 0,2137, \quad (6.7)$$

po dosadení za $x = 36\text{kg}$ dostaneme výslednú hodnotu $24,29\text{mV}$. A tak aj pri nameraní celej charakteristiky pri zaťažení, dá sa predpokladať, že bude tenzometer lineárny v celom rozsahu závaží. Tento poznatok je však potrebné overiť a podložiť meraním.

6.4.1 Zosilnenie výstupného napätia

Pre zosilnenie výstupného signálu je použitý integrovaný obvod od firmy Texas Instruments INA 214. Je to diferenčný zosilňovač s konštantným ziskom $100\text{V}/1\text{V}$. Schéma zapojenia je na obrázku 6.4. Tenzometer bude pripojený na konektor SV3, kde sú vyvedené voľné vstupno/výstupné piny riadiacej jednotky dosky.



Obr. 6.4: Katalógové zapojenie zosilňovača [13]

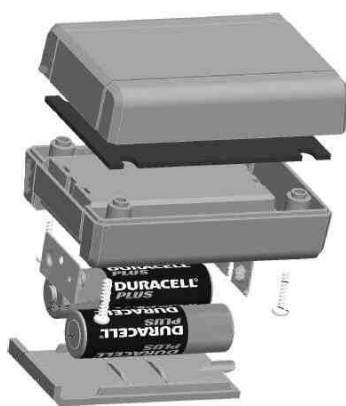
Parametre zosilňovača INA 214: [13]

- Max. výstupné napätie: - 26V
- Zisk: - 100V/V
- Typ výstupu: - napäťový
- Kľudový prúd: - 0,065mA
- Rozsah pracovných teplôt: -40 až +125 °C
- Puzdro: - 10UQFN, 6SC70

Zosilnený výstup tenzometra bude pripojený na konektor SV3, kde sú vyvedené voľné vstupno/výstupné piny riadiacej jednotky dosky (Obr. 7.5).

7. Návrh zapojenia senzorickej dosky

Pri návrhu zapojenia senzorickej dosky sa vychádzalo z doporučených katalógových zapojení daných súčiastok. Návrh je tvorený v návrhovom prostredí Eagle 5.10, ktorý je voľne dostupný na [20] a pre túto aplikáciu bude postačovať freeware verzia. Pri návrhu vlastných puzdier súčiastok treba dodržať všetky rozmery tak, aby bolo možné súčiastky neskôr osádzať strojovo. Celý návrh je tvorený SMD súčiastkami kvôli minimalizovaniu rozmerov dosky plošného spoja. Táto doska plošného spoja by sa mala zmestiť do vybranej krabičky, v ktorej bude aj vlastný zdroj energie a to dva alkalické články alebo Li-ion článok.



Obr. 7.1: Rozloženie krabičky

Maximálna veľkosť plošného spoja, ktorý sa zmestí do vybranej krabičky je 46,5x70,5mm. Z tohto dôvodu sú použité SMD súčiastky v radách 0603 poprípade 0402 a integrované obvody v púzdrach SOT563, WSOF6, QFN, SOIC a podobne. V krabičke bude taktiež umiestnený Zigbit vysielač, ktorý bude k senzorickej doske pripojený pomocou konektora. Väčšina senzorov bude umiestnená pod vysielačom Zigbit, s výnimkou senzora osvetlenia a pohybu. Ten musí byť umiestnený tak, aby mu Zigbit vysielač nezavadzal.

7.1 Zapojenie zdrojovej časti

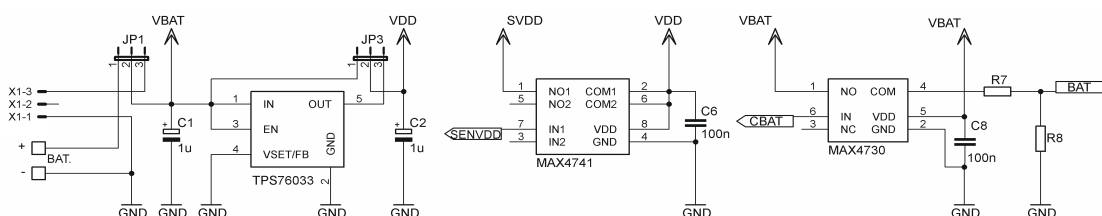
Pre senzory a Zigbit modul je potrebné napájacie napätie od 2,5V do 3,6V. Pri napájaní dvoma NiMH článkami je obvod TPS76033 nepodstatný z dôvodu nevykročenia z tohto rozsahu aj pri vynechaní stabilizácie. Dôvod stabilizovať napätia nastáva pri použití Li-ion článku a hlavne po pripojení tenzometrického snímača, pre ktorý je potrebné napájanie 10V.

Pri použití nepriameho merania váhy snehovej prikrývky postačuje Li-ion článok, ktorý dodáva väčšie napätie, a to asi 4,1V. Keďže toto napätie je už mimo rozsahu napájania dosky je potrebné ho upraviť. Je možné použiť Low-Dropout regulátor TPS76033 alebo DC-DC menič. Pre úsporné opatrenia na energiu a vyššiu životnosť batérií sú tu použité analógové spínače MAX4741 a MAX4730, ktoré oživujú senzory len v dobe nevyhnutnej na odoslanie dát.

Pre určenie použitého článku je použitý JP3. Ak sa použije NiMH článok tak obvod TPS76033 týmto JP3 vyradíme a napätie článku pôjde priamo na modul bez úpravy cez regulátor. Toto je možné len pri meraní nepriamou metódou bez použitia tenzometrického snímača. Jedná sa o prepojenia pinov 1 a 2 na konektore JP3.

Pri priamom meraní váhy snehovej prikrývky je nutné aby bol modul napájaný iným zdrojom ako sú dve NiMH alebo Li-ion batérie. Je nutné dosiahnuť vyššieho napájacieho napätie a to 10V. Pre úpravu napätia k senzorum a vysielacu je možné použiť Low-Dropout regulátor TPS76033 alebo DC-DC menič. DC-DC meniče sú veľmi výhodné a vysoko efektívne ale majú pomerne veľkú kludovú spotrebu a to desiatky až stovky mikro ampér čo v prípade použitia priamej metódy merania nevedí, keďže napájanie bude riešené väčším akumulátorom alebo pevným sieťovým adaptérom s napätím 10V.

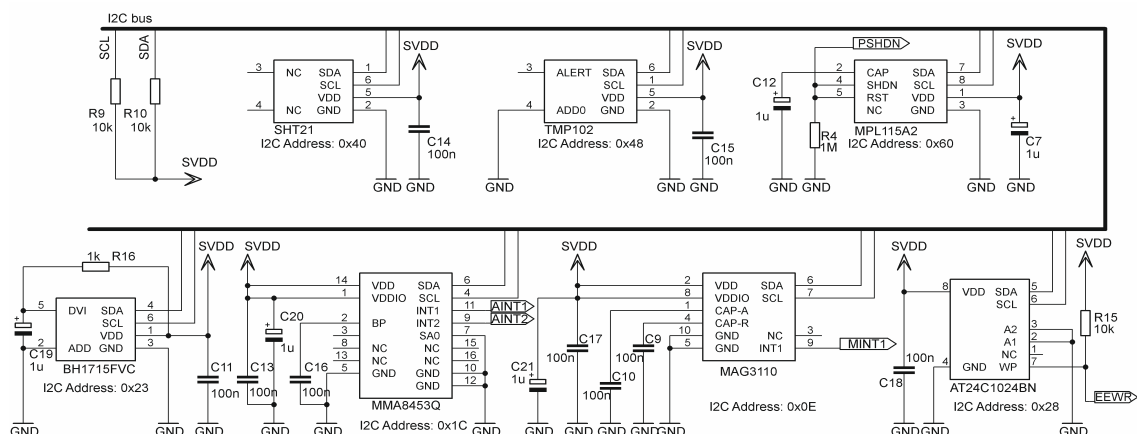
Pri napájaní zdrojom s napätím 10V je nutné prepojiť JP3 a to piny 2 a 3.



Obr. 7.2: Schéma zapojenia zdrojovej časti

7.2 Zapojenie senzorovej časti

Všetky senzory disponujú digitálnym komunikačným rozhraním I²C a tak je ich pripojenie veľmi jednoduché. Každý z použitých senzorov s digitálnym rozhraním je pripojený na I²C zbernicu, ktorá je čo najkratšia a vyvážená 10kΩ rezistormi. K zbernici je možné pripojiť niekoľko externých expanderov na ktoré sa budú pripájať IR senzory pre nepriame meranie výšky snehovej pokrývky. Taktiež je k zbernici pripojená externá pamäť, do ktorej je možné zapisovať údaje pokiaľ by sa neodoslali alebo pre zálohovanie údajov.



Obr. 7.3: Schéma zapojenia senzorovej časti

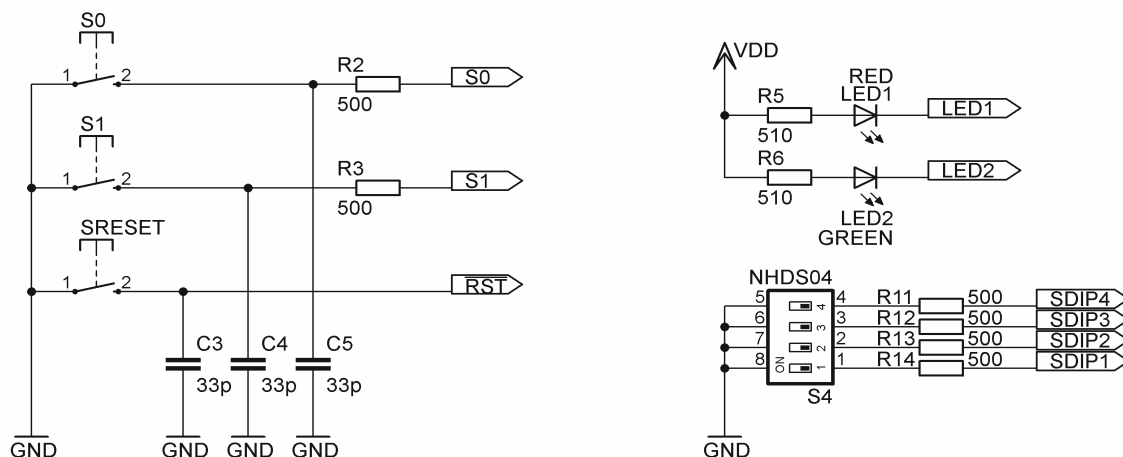
Popis zbernice I²C

Zbernica I²C (Inter-IC Bus) je dvojvodičové dátové spojenie medzi jedným alebo niekoľkými zariadeniami (master) a perifernými zariadeniami (slave). Všetky senzory sú pripojené na tú istú zbernicu a je možné sa na ne cielene obracať prostredníctvom ich adries. Adresy i dáta sa prenášajú tými istými linkami. Táto zbernica umožňuje jednoduché prepojenie mnohých integrovaných obvodov a bezproblémové dodatočné rozširovanie. Pripojiť je možné všetky integrované obvody, ktoré ovládajú špeciálny protokol zbernice.

Zbernica používa sériovú linku SDA a hodinovú, taktovaciu linku SCL. Dáta a adresy sa podobne ako pri posuvných registroch prenášajú spoločne s hodinovým taktom. Obe linky je možné používať pre prenos dát obojsmerne. Každá z nich je opatrená zdvíhacím odporom a môže byť “stiahnutá” na nízku úroveň každým účastníkom zbernice prostredníctvom výstupu s otvoreným kolektorom.

7.3 Uživatelský interface a signalizácia stavu

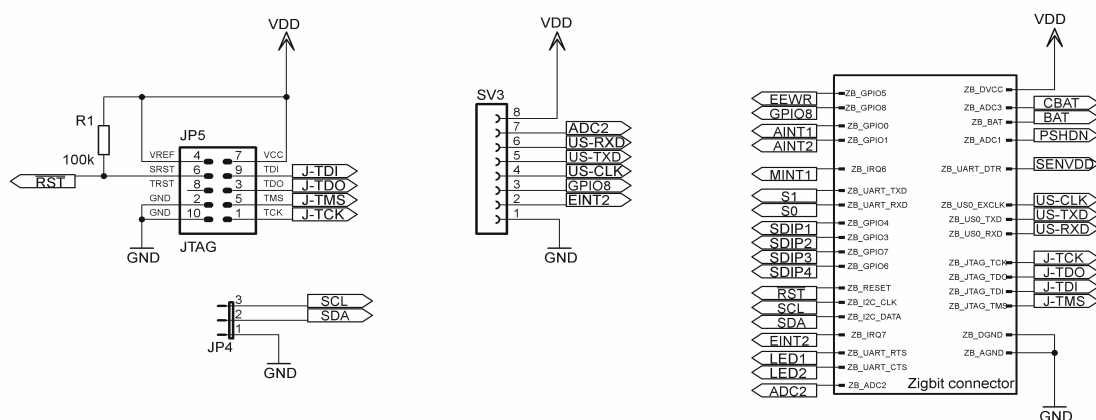
Uživatelský interface má za úlohu prístup k zariadeniu pomocou dvoch tlačítok a jedného reset tlačítka . Taktiež obsahuje DIP prepínač pre nastavenie adresy zariadenia a signalizáciu stavu zariadenia pomocou LED diód.



Obr. 7.4: Zapojenie užívateľského rozhrania

7.4 Riadiaca časť

Táto časť obsahuje riadiacu procesorovú jednotku, ktorá komunikuje so senzormi pomocou zbernice I₂C alebo priamo cez analógové vstupy procesora. Tenzometer je po zosilnení signálu privedený na voľné piny konektora SV3 (Obr.7.5), kde sa využije analógovo – digitálny prevodník so vstupným rozsahom 0 – 2,54V. Do tohto rozsahu sa dostane tenzometer po 100 násobnom zosilnení výstupného signálu.



Obr. 7.5: Zapojenie riadiacej časti

8. Meranie na tenzometrickom mostíku UTILCELL M230

Používané meracie prístroje: Voltmeter: Agilent 34401A
Zdroj: Agilent E3620A

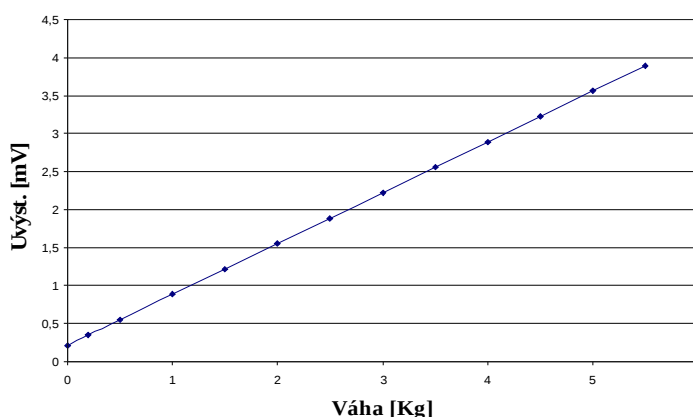
Napájacie napätie tenzometra pri meraní bolo 10V.

8.1 Meranie linearity tenzometrického mostíka

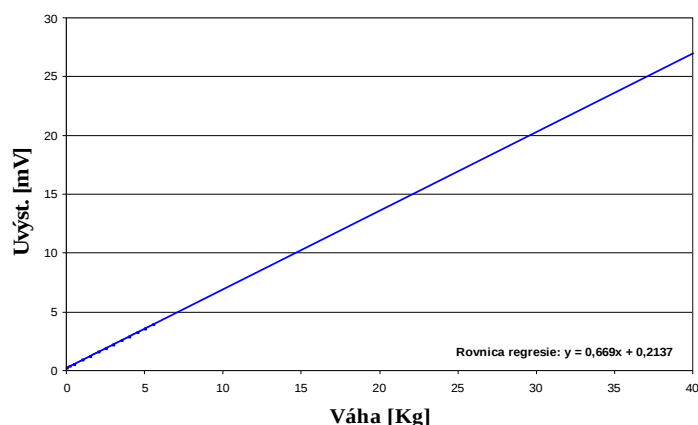
Ako je vidieť z obrázku 8.1, tenzometrický mostík je v tomto váhovom zaťažení lineárny. Pre nedostatok väčších váhových etalónov nebolo možné zmerať celú závislosť. Na obrázku 8.2 je pomocou rovnice regresie (6.7) dopočítaná krivka aj pre väčšie zaťaženie.

Tab.8: Tabuľka nameraných hodnôt a graf linearity:

Váha [Kg]	0,0	0,2	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5
U _{výst} [mV]	0,209	0,352	0,550	0,883	1,218	1,550	1,885	2,221	2,555	2,890	3,225	3,560	3,893



Obr. 8.1: Závislosť výstupného napätia od váhy na tenzometre.

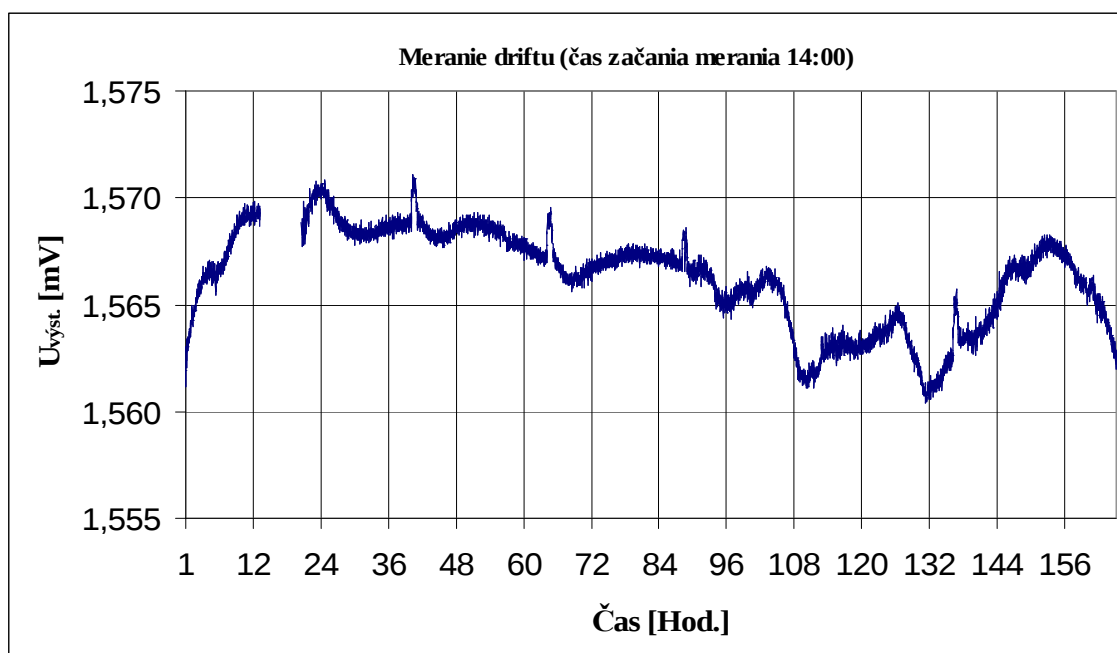


Obr. 8.2: Prognóza závislosti výstupného napätia od váhy do 36 kg.

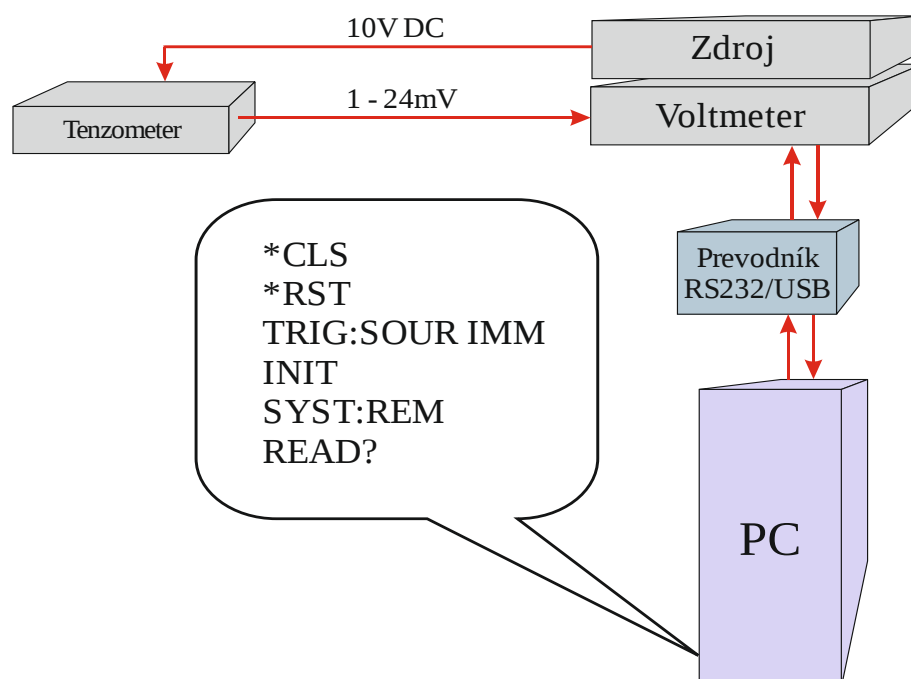
8.2 Meranie driftu tenzometrického mostíka

Pri meraní driftu tenzometra je vidieť závislosť výstupného napätia po dlhšiu dobu pri konštantnom zaťažení senzoru závažím s hmotnosťou 2kg. Na obrázku 8.3 je vidieť graf merania driftu po dobu približne 160 hodín. Ako vidieť na grafe medzi maximálnou a minimálnou hodnotou merania je rozdiel približne 0,01mV. Toto môže byť spôsobené zmenou teploty v laboratóriu počas dňa a noci.

Obr.8.3: Meranie driftu tenzometra



Obr. 8.4: Bloková schéma zapojenia PC s voltmetrom Agilent 34401A a jednotlivé príkazy pre komunikáciu



9. Záver

Cieľom bakalárskej práce bolo oboznámenie sa s princípom priameho a nepriameho merania snehovej záťaže. Pre nepriame metódy merania je v práci podrobnejšie popísaná činnosť senzorov atmosferického tlaku, intenzity osvetlenia, vlhkosti, teploty a polohy. Po oboznámení činnosti mali byť vybrané senzory splňujúce požiadavku čo najnižšej spotreby elektrickej energia a mali disponovať digitálnym rozhraním. Vyššie uvedené vybrané senzory túto požiadavku splňujú. Hlavnou náplňou bakalárskej práce bolo navrhnuť bezdrôtové zariadenie pre priame meranie záťaže pomocou tenzometra.

V návrhovom prostredí Eagle boli k týmto senzorom vytvorené knižnice so schématickými značkami a puzdrami vyhovujúcimi štandardom pre strojové osádzanie a výrobu. Po vlastnom návrhu knižnice senzorov bolo navrhnuté zapojenie celého senzorového uzla s možnosťou pripojenia k tenzometru. Zapojenia všetkých súčiastok vychádzajú z doporučených katalógových zapojení.

Všetky senzory s výnimkou tenzometra sú pripojené na zbernicu I²C. Zapojenie je veľmi jednoduché a dá sa rozšíriť o ďalšie obvody komunikujúce po tejto zbernici. Zariadenia sa rozpoznávajú podľa adresy, ktorá sa im nastaví. Okrem senzorov je na zbernicu pripojená aj externá pamäť EEPROM, do ktorej bude možné zapisovať namerané hodnoty a spätne ich potom čítať. Tenzometer je pripojený cez zosilňovač na A/D prevodník riadiacej jednotky.

V bakalárskej práci je celkový návrh zapojenia aj s doskou plošného spoja splňujúcej požiadavky na strojové osádzanie a výrobu. Popis konštrukcie pre meranie snehovej záťaže a merania na tenzometry. Výstupom práce je funkčná senzorická doska a konštrukcia pre meranie váhy snehovej prikrývky.

Pri ďalšom pokračovaní práce je potrebné premerať charakteristiky tenzometra v mínusových teplotách, závislosť výstupného napätia na teplote, závislosť výstupného napätia na váhe v celom meracom rozsahu tenzometra a dlhodobejšie meranie driftu. Model skúšobného zariadenia je potrebné doladiť a testovať v podmienkach, pre aké bol navrhnutý. Tieto merania bude možné prevádzkať až v zimných mesiacoch.

10. Použitá literatura

- [1] García Villalba, L.J.; Sandoval Orozco, A.L.; Triviño Cabrera, A.; Barenco Abbas, C.J. Routing Protocols in Wireless Sensor Networks. *Sensors* 2009, 9, 8399-8421.
- [2] *Freescale.com* [online]. 2009 [cit. 2012-05-27]. Dostupné z WWW: <http://www.freescale.com/webapp/sps/site/overview.jsp?code=PROTOCOL_802154&tid=mRFHp>.
- [3] VOJÁČEK, Antonín. *HW server* [online]. 8. Červen 2005 [cit. 2012-05-27]. Dostupné z WWW: <<http://img.hw.cz/z/ZigBee---novinka-na-poli-bezdratove-komunikace/smallporovnani.gif>>.
- [4] *Asia.cnet.com* [online]. Nov 06, 2009 [cit. 2012-05-27]. Dostupné z WWW: <<http://asia.cnet.com/crave/2009/11/06/hp-s-new-accelerometer-changes-how-people-interact-with-the-environment/>>.
- [5] *National Instruments* [online]. Sep 6, 2006 [cit. 2012-05-27]. Dostupné z WWW: <<http://zone.ni.com/devzone/cda/epd/p/id/4643>>.
- [6] ŠTEFL, Daniel. *DigiZone* [online]. Sep 6, 2006 [cit. 2012-05-27]. Dostupné z WWW: <<http://www.digizone.cz/clanky/dalkove-ovladani-pro-interaktivni-televizi/>>.
- [7] VDOLEČEK, CSC, Ing. František. Snímače tlaku. *Automa* [online]. 2000, č.3, [cit. 2012-05-27]. Dostupný z WWW: <http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=27665>.
- [8] *Meranie tlaku* [online]. VYSOKÁ ŠKOLA CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ V PRAZE, 2000 [cit. 2012-05-27]. Dostupné z WWW: <<http://uprt.vscht.cz/kminekm/mrt/F4/F4k42-tlak.htm>>.
- [9] GM electronic. *Elektronické súčistky* [online]. 2010 [cit. 2012-05-27]. Dostupné z WWW: <www.gme.cz>.
- [10] Sensirion. *Digital Humidity Sensors (RH&T) - Overview* [online]. 2009 [cit. 2012-05-27]. Dostupné z WWW: <http://www.sensirion.com/en/01_humidity_sensors/00_humidity_sensors.htm>.
- [11] NEVŘELA, Martin. *Bimetálový teplomer* [online]. 2008 [cit. 2012-05-27]. Dostupné z WWW: <<http://martin-nevrela.eu/projekty.html#teplomer>>.

- [12] MAREŠ, Ing. Luděk. *Teplota a její měření* [online]. 6.3.2006 [cit. 2012-05-27]. Dostupné z WWW: <<http://www.tzb-info.cz/3115-teplota-a-jeji-mereni>>.
- [13] EXAS INSTRUMENTS. *INA 214, Voltage Output, High or Low Side Measurement, Bi-Directional Zero-Drift Series CURRENT SHUNT MONITOR*. 2008. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/ina214.pdf>
- [14] Freescale Semiconductor MMA8453Q. In *3-Axis, 10-bit/8-bit Digital Accelerometer* [online]. [s.l.] : [s.n.], 10/2010 [cit. 2012-05-27]. Dostupné z WWW: http://cache.freescale.com/files/sensors/doc/data_sheet/MMA8453Q.pdf
- [15] Freescale Semiconductor MPL115A2. In *Miniature I2C Digital Barometer* [online]. [s.l.] : [s.n.], 08/2010 [cit. 2012-05-27]. Dostupné z WWW: <http://cache.freescale.com/files/sensors/doc/data_sheet/MPL115A2.pdf?fp=1>.
- [16] ROHM Semiconductor Digital 16bit Serial Output Type Ambient Light Sensor IC. In *Bh1715fvc-e* [online]. [s.l.] : [s.n.], 2010 [cit. 2012-05-27]. Dostupné z WWW: <<http://www.rohm.com/products/databook/sensor/pdf/bh1715fvc-e.pdf>>.
- [17] Sensirion SHT21. In *Humidity and Temperature Senso* [online]. [s.l.] : [s.n.], May 2010 [cit. 2012-05-27]. Dostupné z WWW: <http://www.sensirion.com/en/pdf/product_information/Datasheet-humidity-sensor-SHT21.pdf>.
- [18] Texas Instruments Tmp102. In *Low Power Digital Temperature Sensor* [online]. [s.l.] : [s.n.], October 2008 [cit. 2012-05-27]. Dostupné z WWW: <<http://focus.ti.com/lit/ds/symlink/tmp102.pdf>>.
- [19] utilcell, [online]. 2012 [cit. 2012-05-27]. Dostupné z: <http://www.utilcell.cz/?page=produkt-detail&product=290>
- [20] CadSoft. *Cadsoftusa.com* [online]. 2010 [cit. 2012-05-27]. EAGLE. Dostupné z WWW: <<http://www.cadsoftusa.com/>>.
- [21] Karl, H.; Willig, A. *Protocols and Architectures for Wireless Sensor Networks*. John Wiley & Sons: Chichester, West Sussex, UK, 2005
- [22] Boukerche, A.; Nakamura, E.F.; Loureiro, A.F. Algorithms for Wireless Sensor Networks. In *Algorithms and Protocols for Wireless Sensor Networks*; Boukerche, A., Ed.; John Wiley & Sons: Hoboken, NJ, USA, 2009.

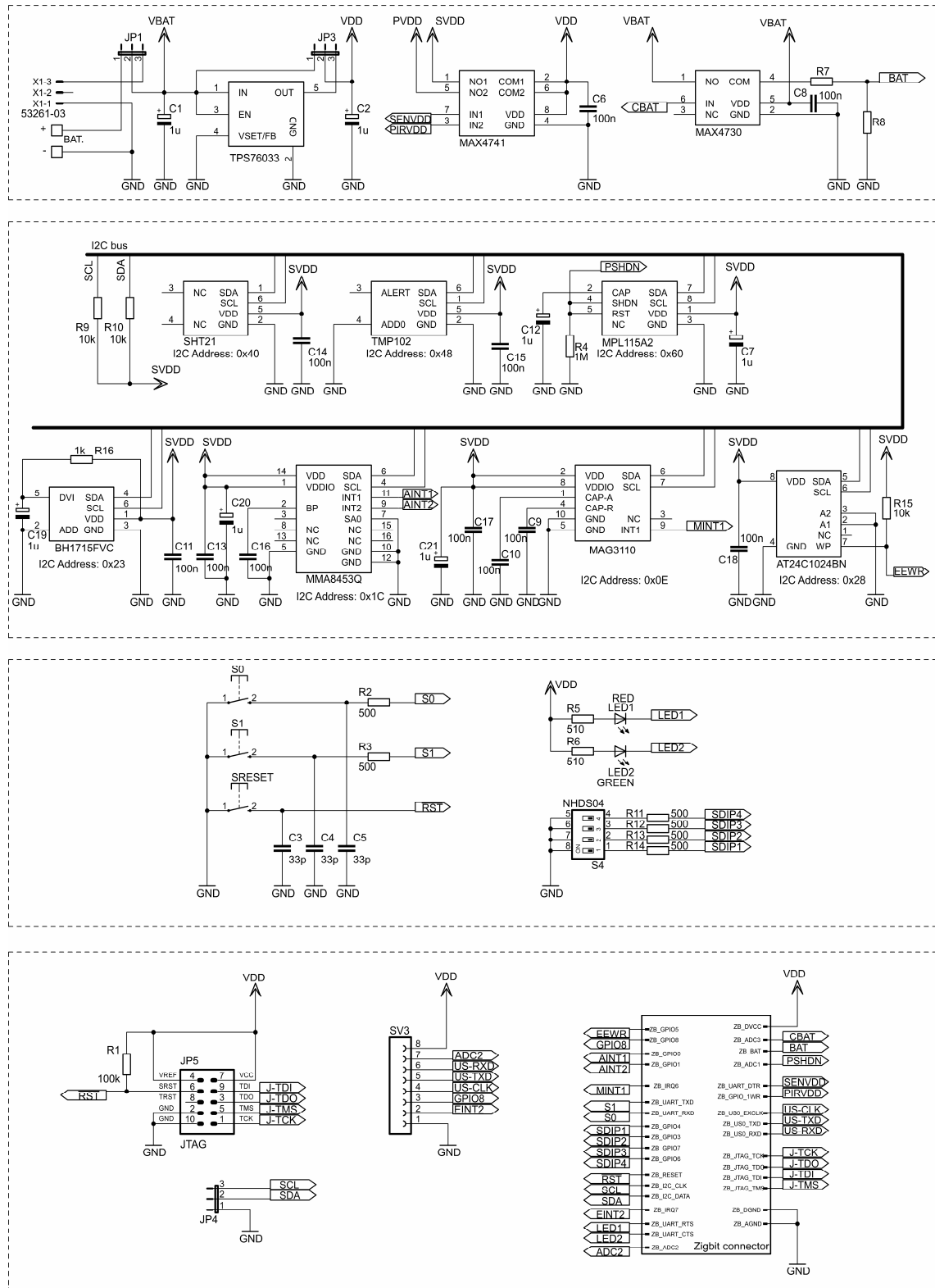
[23] ČERNOCKÝ, P. *Laboratorní úlohy využívající měřicí systém LabView*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2009. 57 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Ivan Rampl, CSc.

[25] Sníh - jak to s ním vlastně je?. In: *Laviny.sk/ snowecrystal.com* [online]. 20.3.2008 [cit. 2012-05-27]. Dostupné z: <http://www.infoglobe.cz/lyzarsky-pruvodce/snih-jak-to-snim-vlastne-je/>

[26] PECHANEC, Vilém. *Sněhoměrný varovný systém*. Olomouc, 2010.

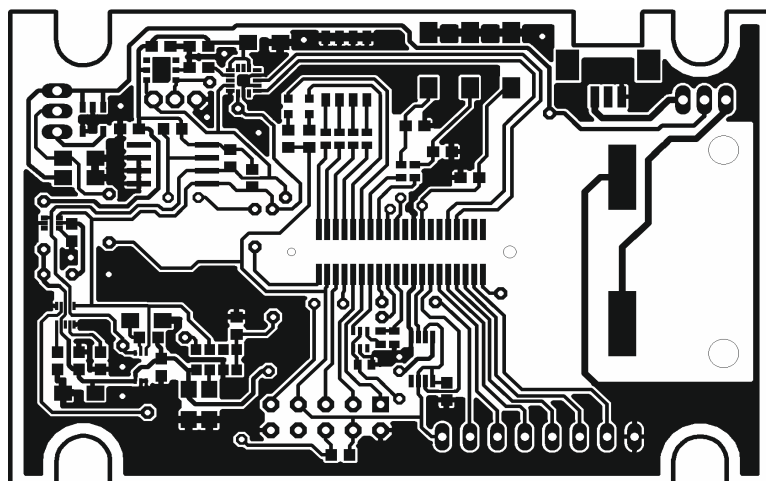
Prílohy

Príloha A: Schéma a DPS senzorovej dosky

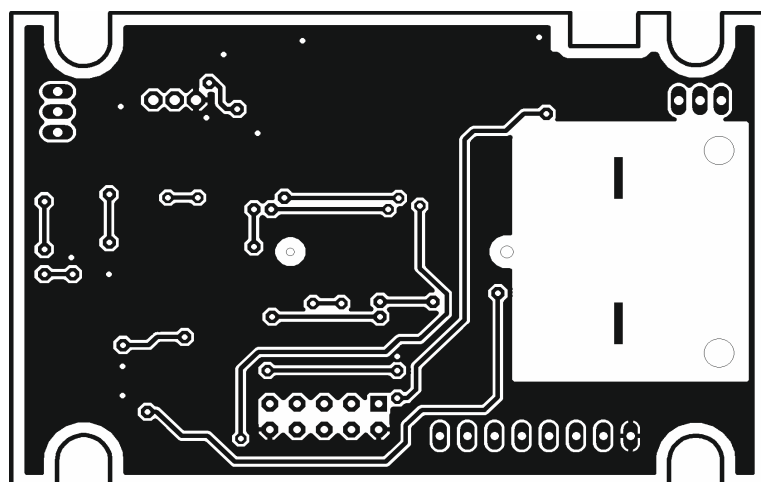


Obr. P.1: Schéma zapojenia

Senzorická doska plošného spoja

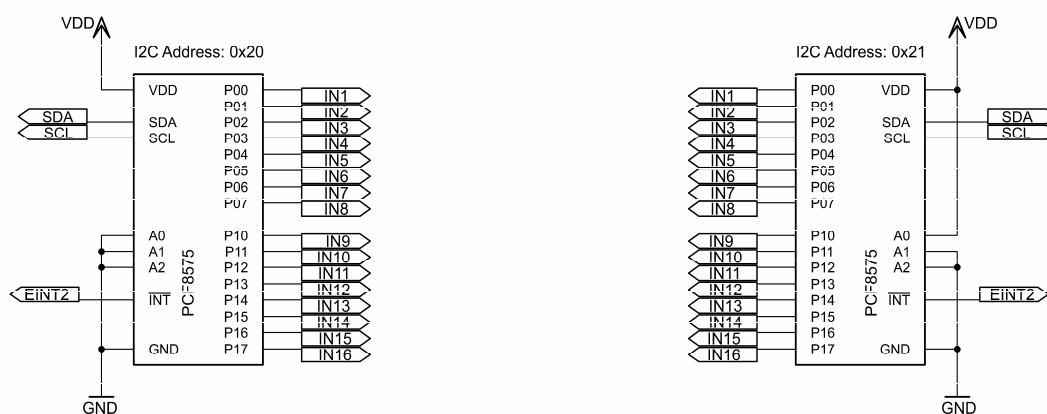


Obr. P.2: Top DPS



Obr. P.3: Bottom DPS

Príloha A.1: Zapojenie IR senzorov na expander a pripojenie expanderu k zbernici I₂C.



Obr. P.4: Schéma zapojenia expanderov pre IR senzory

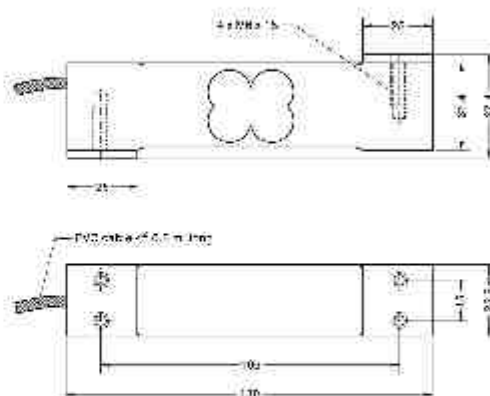
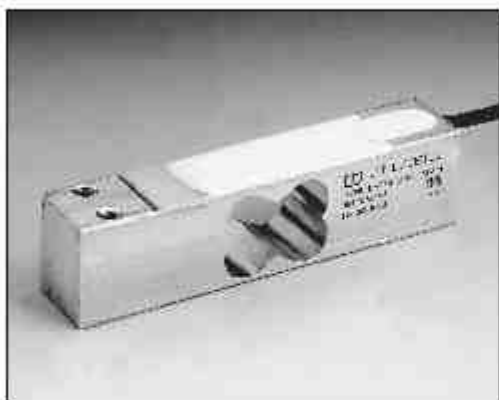
Príloha B: Katalógový list tenzometra UTILCELL M230.



Snímače síly - plošinové Load cells - platform

Model 230

7,5 kg ... 36 kg



Rozměry v mm / Dimensions in mm.

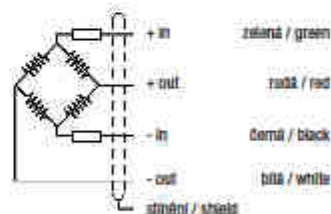
Hmotnosť / Weight: 250 g

Model Model	Jmenovitá váživost Nominal capacity Ln	Třída přesnosti Accuracy class n OIML	Minim. délka Min. interval vmm
230 7,5 kg	7,5 kg	1 g	400 x 400
230 12 kg	12 kg	1,6 g	400 x 400
230 18 kg	18 kg	2,4 g	400 x 400
230 36 kg	36 kg	4,8 g	400 x 400

- Dvojitý ohybový snímač
- Měřicí prvek z hliníku
- 3000 dílků dle OIML doporučení R60 třída C
- Krytí IP 66 (EN 60529)
- Jednobodový snímač, vysoká přesnost s excentrickým zařízením
- Použití: plošina přímo na snímači do 400 x 400 mm, dávkovací vážení, počítací vážení a vážení pro stanovení ceny

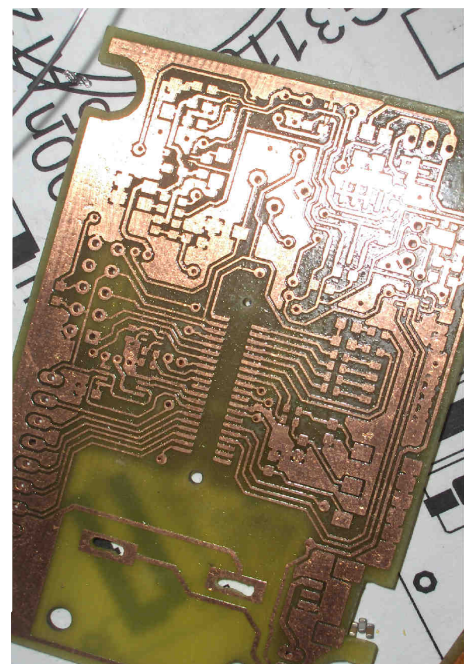
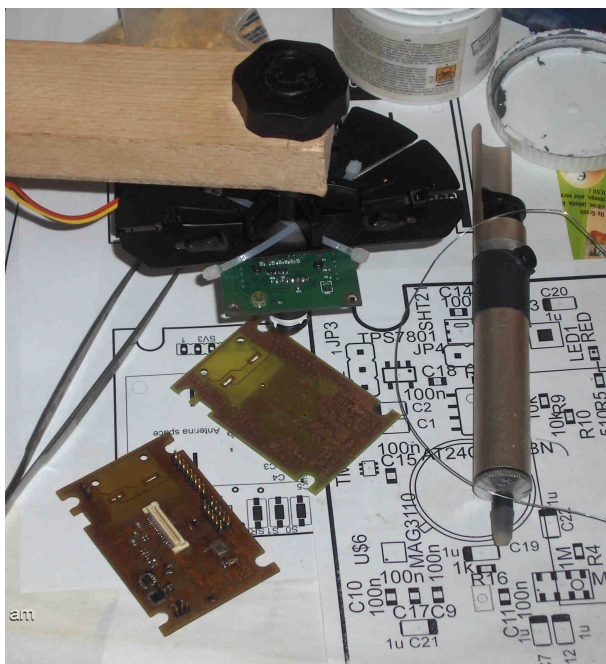
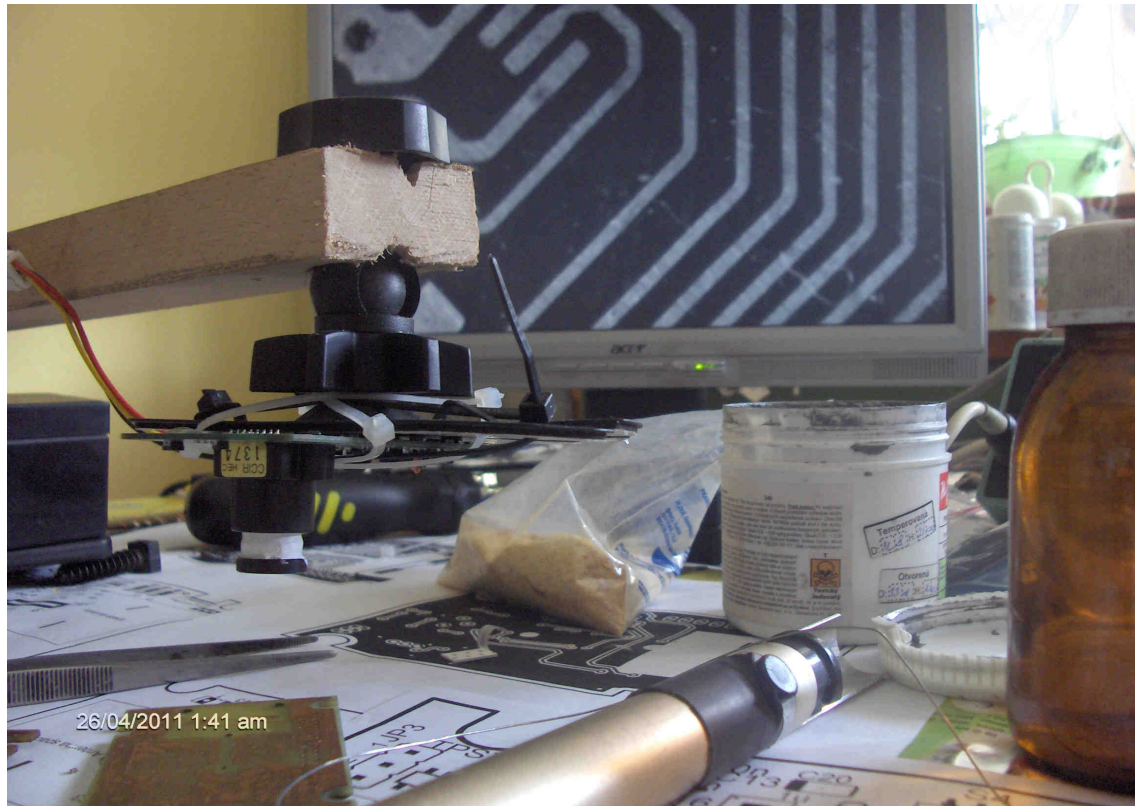
- Double bending beam load cell
- Measuring element from aluminum
- 3000 divisions O.I.M.L. R60 class C
- Protected IP 66 (EN 60529)
- Single point load cell. High accuracy with off-center loads
- Applications: - direct platform up to 400x400 mm
- counting scales
- price computing scales

Technické údaje			Specifications
Jmenovitá zatížení	7,5 - 36	kg	Nominal capacities (Ln)
Třída přesnosti	3000	n. OIML	Accuracy class
Minimální mrtvá hmotnost	0	% Ln	Minimum dead load
Pracovní zatížení	120	% Ln	Service load
Limít bezpečného zatížení	150	% Ln	Safe load limit
Číselná chyba	$\leq \pm 0,017$	% Sn	Total error
Chyba opakovatelnosti	$\leq \pm 0,01$	% Sn	Repeatability error
Teplotní drift:			Temperature effect:
na nule	$\leq \pm 0,01$	% Sn/5K	on zero
na známé hodnotě	$\leq \pm 0,006$	% Sn/5K	on sensitivity
Chyba tečení (30 minut)	$\leq \pm 0,016$	% Sn	Creep error (30 minutes)
Jmenovitý teplotní rozsah	-10...+40	°C	Temperature compensation
Limítní teplotní rozsah	-20...+70	°C	Temperature limits
Jmenovitá citlivost (S _n)	2,4	mV/V	Nominal sensitivity (S _n)
Jmenovité napájecí napětí	10	V	Nominal input voltage
Maximální napájecí napětí	15	V	Maximum input voltage
Vstupní impedance	400 ± 20	Ω	Input impedance
Výstupní impedance	350 ± 3	Ω	Output impedance
Tolerance výstupu na nule	$\leq \pm 2$	% Sn	No load output
Izolační odpor	> 5000	MΩ	Insulation resistance
Maximální ohyb (at Ln)	0,2 - 0,4	mm	Maximum deflection (at Ln)

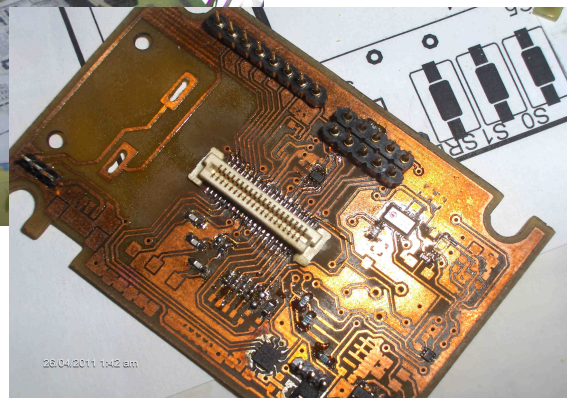
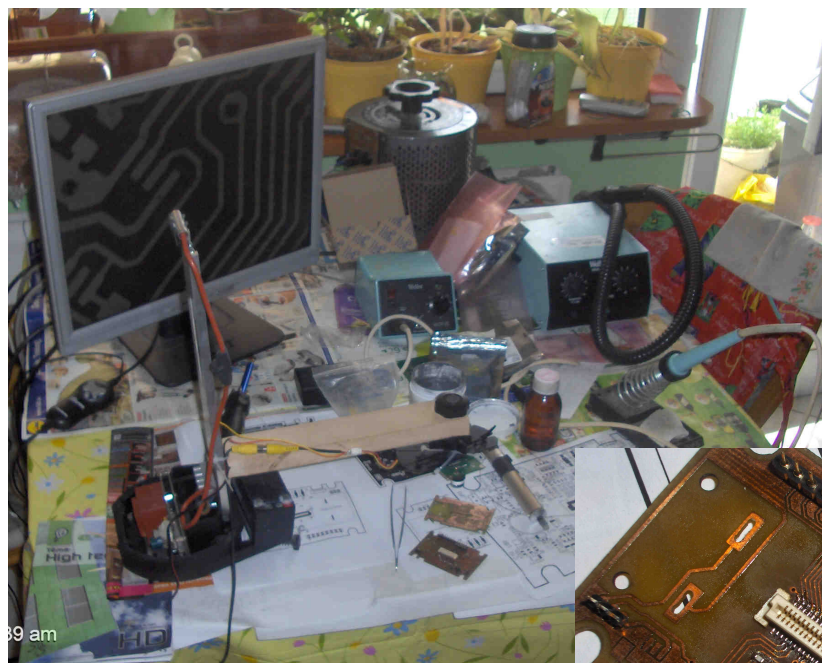


Príloha C: Fotodokumentácia

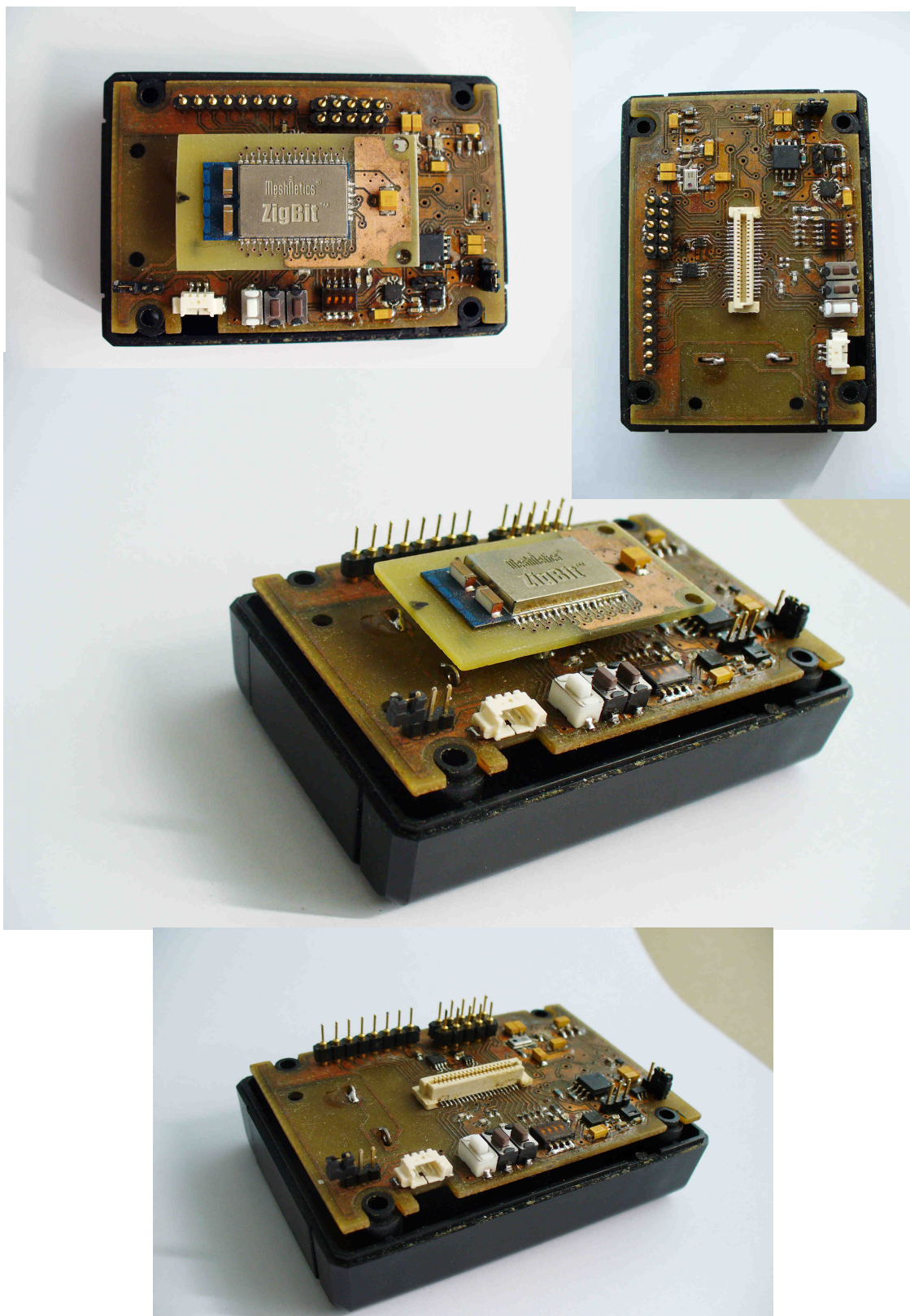
Osádzanie za zväčšenia pomocou doskovej kamery



Ukážka domáceho pracoviska pri osádzaní senzorickej dosky.



Senzorická doska osadená v krabičke s vysielateľom ZigBit



Model zariadenia pre meranie váhy snehovej prykrývky

