

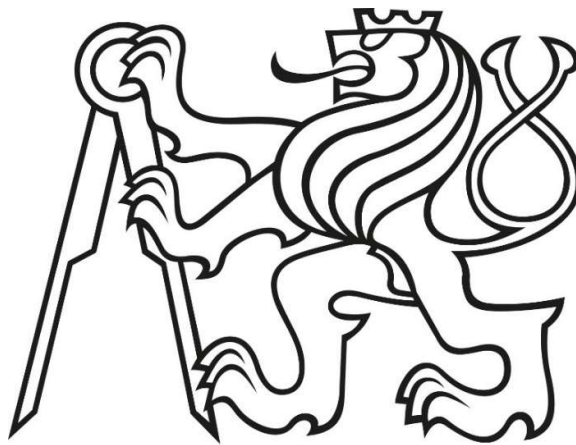
České vysoké učení technické v Praze

Fakulta elektrotechnická

Katedra měření

Studijní program: Kybernetika a robotika

Obor: Senzory a přístrojová technika



Velkoplošný textilní senzor pro snímání plochy zatížené lidským tělem
Large-area Textile Sensor for Sensing a Surface Weight of a Human Body

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Autor: Martin Vlašimský

Vedoucí práce: Ing. Bc. Lukáš Vojtěch, Ph.D.

Praha 2018



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Vlašimský** Jméno: **Martin** Osobní číslo: **434670**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávací katedra/ústav: **Katedra měření**
Studijní program: **Kybernetika a robotika**
Studijní obor: **Senzory a přístrojová technika**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Velkoplošný textilní senzor pro snímání plochy zatížené lidským tělem

Název bakalářské práce anglicky:

Large-area Textile Sensor for Sensing a Surface Weight of a Human Body

Pokyny pro vypracování:

Navrhněte a realizujte textilní velkoplošný senzor a vyhodnocovací elektroniku pro sběr a monitoring dat o zatížení, které těleso vyvíjí na plochu tohoto senzoru. Uvažujte provedení pro snímání zátěže ležícího lidského těla na podložce. Otestujte funkční vzorek a realizujte dokumentaci včetně experimentálního ověření.

Seznam doporučené literatury:

- [1] Electronic Textiles, Smart Fabrics and Wearable Technology, Edited by: Tilak Dias, ISBN: 978-0-08-100201-8, Elsevier
- [2] Characterization of a new flexible pressure sensor for body sensor networks. [online]. [cit. 13.5.2013]. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=6529758>
- [3] Yoga Mat-Size Pressure Sensor Matrix Uses LattePanda and Velostat to Save Money. [online]. [cit. 30.10.2017]. Dostupné z: <https://blog.hackster.io/yoga-mat-size-pressure-sensor-matrix-uses-lattepanda-and-velostat-to-save-money-49ee86950e5a>
- [4] Pressure Sensor Matrix. [online]. [cit. 27.12.2017]. Dostupné z: <http://www.instructables.com/vid/Pressure-Sensor-Matrix/>

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Lukáš Vojtěch, Ph.D., katedra telekomunikační techniky FEL

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **13.02.2018** Termín odevzdání bakalářské práce: **25.05.2018**

Platnost zadání bakalářské práce:
do konce letního semestru 2018/2019

Ing. Lukáš Vojtěch, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne 6.5.2018

Martin Vlašimský

Poděkování:

Rád bych poděkoval Ing. Bc. Lukáši Vojtěchovi, Ph.D., vedoucímu mé bakalářské práce, za odborné vedení, cenné rady, trpělivost a vstřícnost při konzultacích.

Dále bych také velice poděkoval Ing. Marku Nerudovi, Ph.D. za jeho věcné připomínky a za pomoc při získávání potřebných informací a podkladů.

V neposlední řadě bych poděkoval mé rodině za velkou podporu a vytvoření zázemí po celou dobu mého studia.

Anotace:

Cílem této práce je výběr a realizace vhodného typu senzoru zatížení využitelného pro výrobu textilního velkoplošného senzoru a naprogramování sběru dat a jejich grafického zobrazení. Navržený senzor by mohl být využit jak ve zdravotnictví k predikci možných proleženin pacienta, tak i v textilním průmyslu pro sběr dat, například u sportovců.

Klíčová slova

velkoplošný textilní senzor zatížení, měření a zpracování dat

Annotation:

The aim of this work is to select and implement a suitable type of a load sensor to be used for production of a textile large-area sensor and to program the data collection and their graphic representation. The designed sensor could be used in the healthcare to predict possible patient soreness as well as in the textile industry for data collection, for example for athletes.

Keywords

Large-area textile weight sensor, data measurement and processing

Obsah

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	10
SEZNAM OBRÁZKŮ	10
SEZNAM TABULEK	11
SEZNAM GRAFŮ	11
SEZNAM ROVNIC	12
ÚVOD	13
1. PŘEHLED VYBRANÝCH SENZORŮ ZATÍŽENÍ.....	14
1.1 TEXTILNÍ KAPACITNÍ SENZOR ZATÍŽENÍ.....	14
1.2 OPTICKÝ SENZOR ZATÍŽENÍ.....	15
1.3 TENZOMETRICKÝ SENZOR.....	16
1.4 ODPOROVÉ SENZORY ZATÍŽENÍ.....	18
1.4.1 <i>Textilní senzor zatížení</i>	18
1.4.2 <i>Maticový senzor zatížení v malém provedení</i>	19
1.4.3 <i>Maticový senzor zatížení ve velkém provedení</i>	21
1.4.4 <i>Maticový senzor zatížení v textilním provedení</i>	24
2 VÝBĚR A KONSTRUKCE SENZORU	28
2.1 MĚŘENÍ CHARAKTERISTIKY VELOSTATU PŘI JEHO ZATÍŽENÍ	28
2.2 VÝROBA PROTOTYPU TEXTILNÍHO SENZORU ZATÍŽENÍ	34
2.3 ZAPOJENÍ SENZORU A ZOBRAZENÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT	34
2.4 PŘÍPRAVA PRO KONSTRUKCI VELKOPLOŠNÉHO TEXTILNÍHO SENZORU	36
2.5 NÁVRH VELKOPLOŠNÉHO TEXTILNÍHO SENZORU	38
2.6 KONSTRUKCE A TESTOVÁNÍ VELKOPLOŠNÉHO TEXTILNÍHO SENZORU	39
3 SOFTWARE PRO SBĚR A ZOBRAZENÍ DAT.....	41
3.1 PROGRAMOVÁNÍ ARDUINA.....	41
3.2 PROGRAMOVÁNÍ V JAZYCE JAVA PRO PC	42
4 ZÁVĚR.....	43
LITERATURA.....	44

Seznam použitých zkratk

PES	Polyester
GUI	Graphical User Interface
PC	Personal Computer
SW	Software
A/D převodník	Analogově digitální převodník
COM port	Communication port

Seznam obrázků

Obrázek 1: Schématický diagram pole kapacitorů včetně parazitních kapacit [1]	14
Obrázek 2: Schéma AC snímání [1].....	15
Obrázek 3: Schéma optického senzoru [2]	16
Obrázek 4: Schéma měření deformace pomocí tenzometru [4].....	17
Obrázek 5: Fóliový tenzometr s vodičem ve tvaru meandru [4].....	17
Obrázek 6: Sestavení flexibilního senzoru zleva doprava ukazující vrstvy elektrod, vodivého plastu a obalu [3]	18
Obrázek 7: Zapojení vodivé části na jedné straně Velostatu pro měření zatížení [6].....	19
Obrázek 8: Zapojení jedné vodivé části a Velostatu [6].....	20
Obrázek 9: Hotové zapojení senzoru pro měření [6]	20
Obrázek 10: Měření doteku prstů na podložku [6]	21
Obrázek 11: Vytvoření jedné vodivé vrstvy (řádků) [6]	22
Obrázek 12: Vytvoření prostřední vrstvy za pomoci Velostatu [6]	22
Obrázek 13: Měření při položeném senzoru na koberci [6]	23
Obrázek 14: Měření při položeném senzoru na tvrdé podložce [6]	23
Obrázek 15: Schéma pro výrobu senzoru [7]	24
Obrázek 16: Protkaný neopren [7]	25
Obrázek 17: Piezorezistivní textilie vložená mezi neopren prošitý vodivými nitěmi [7]	25
Obrázek 18: Hotová snímací plocha s maticí 2x2 [7]	25

Obrázek 19: Schéma zapojení senzoru k mikroprocesoru [7]	26
Obrázek 20: Test senzoru s maticí 2x2 [7]	27
Obrázek 21: Senzor o velikosti snímací plochy 4cm ² vytvořený z měděných pásků a Velostatu.....	28
Obrázek 22: Měřicí sestava.....	29
Obrázek 23: Měřicí sestava.....	29
Obrázek 24: Velostat a 2 kusy vodivé textilie	34
Obrázek 25: Výsledný prototyp maloplošného textilního senzoru.....	34
Obrázek 26: Návrh zapojení pro jeden senzor.....	35
Obrázek 27: Zobrazení zatížení senzoru vlevo nezatíženo, uprostřed středně zatíženo a vpravo maximálně zatíženo.....	36
Obrázek 28: Zapojení dvou senzorů k Arduinu Mega s využitím nepájivého pole.....	37
Obrázek 29: GUI zobrazující 2 nezatížené senzory	37
Obrázek 30: Rozložení 12 senzorů na matraci předpokládá polohu osoby tak, že hlava je umístěna vpravo.....	38
Obrázek 31: Výsledné GUI pro zobrazení naměřených hodnot 12 senzorů	38
Obrázek 32: Velkoplošný textilní senzor předpokládá polohu osoby tak, že hlava je umístěna vpravo.....	39
Obrázek 33: Testování senzoru při ležení na břicho	39
Obrázek 34: Testování senzoru při ležení na levém boku.....	40
Obrázek 35: Testování senzoru při ležení na zádech	40
Obrázek 36: Kód Arduina pro sběr a posílání dat.....	41

Seznam tabulek

Tabulka 1: Výpočet nejistoty pro provedená měření	32
---	----

Seznam grafů

Graf 1: Charakteristika závislosti změny odporu na zatížení senzoru [3].....	19
--	----

Graf 2: Charakteristika závislosti odporu na zatížení pro senzor bez podložení Mirelonem	30
Graf 3: Charakteristika závislosti odporu na zatížení pro senzor	31
Graf 4: Charakteristika závislosti odporu na zatížení pro senzor	31
Graf 5: Charakteristika závislosti odporu na zatížení pro senzor	32

Seznam rovnic

Rovnice 1: Vzorec pro výpočet nejistoty typu A [10].....	33
--	----

Úvod

Dotek hraje velmi důležitou roli v našem každodenním životě. Zprostředkovává tělu prvotní kontakt s okolními předměty. Podle doteku můžeme říci, zda je objekt tvrdý nebo měkký a při držení daného objektu můžeme odhadnout jeho hmotnost. Kůže je nejrozsáhlejší sensor lidského těla. Bez citění tlaku vynaloženého na naši kůži by bylo v zásadě nemožné rozeznat jakou sílu je potřeba vynaložit na zvednutí daného předmětu, nebo pouze k jeho jemnému doteku [1].

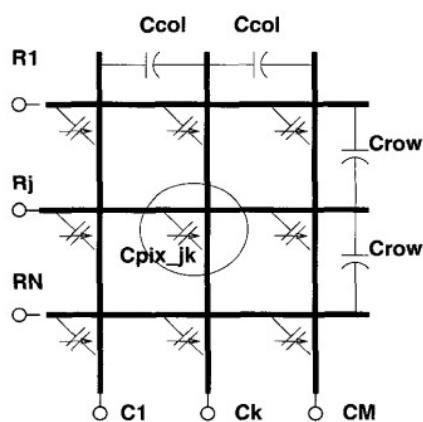
Tato práce se věnuje výběru a realizaci senzoru, který by byl nejvhodnější k snímání zatížení podložky tělesem. Jako například položené dlaně, chodidla, nebo ležícího člověka v závislosti na velikosti podložky. Z tohoto důvodu je nutné vybrat takový senzor, který bude mít dlouhou životnost při každodenním namáhání, bude mít dostatečně velké rozlišení a citlivost. V neposlední řadě pak musí být z ekonomického hlediska dostupný jak pro kusovou, tak pro sériovou výrobu.

Pro měření se dá použít mnoho různých druhů senzorů, například optické, indukční, kapacitní, ultrazvukové, odporové, teplotní. Avšak ne každý by byl pro tento účel vhodný. Ať už z důvodu vysoké ceny, nemožnosti přizpůsobení pro naše využití nebo například nízkého rozlišení.

1. Přehled vybraných senzorů zatížení

1.1 Textilní kapacitní senzor zatížení

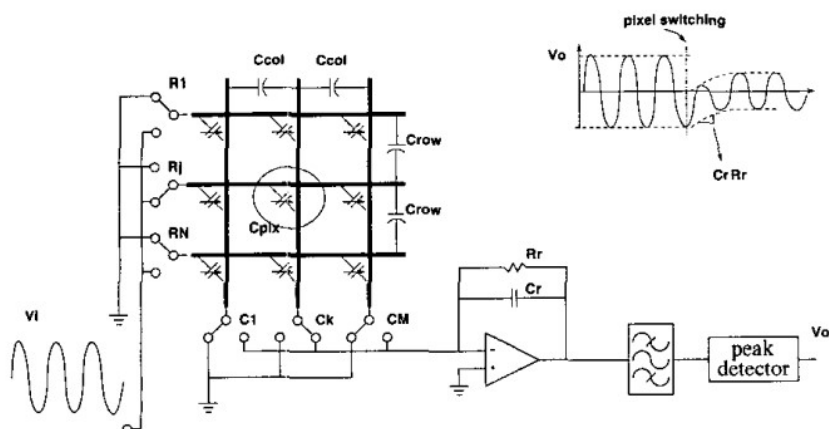
Systém se skládá z pasivního pole kapacitorů, jejichž kapacita se mění podle zatížení vyvinutého na povrch senzoru. Kapacita každého kapacitoru se skládá z kapacity mezi dvěma vodivými pruhy, které jsou oddělené elastickým a dielektrickým materiálem. Výsledné pole je výsledkem křížení řad a sloupců těmito vodivými pruhy.



Obrázek 1: Schématický diagram pole kapacitorů včetně parazitních kapacit [1]

Měřená kapacita je pak vytvořena deformací dielektrické vrstvy mezi danými řádky a sloupci matice. V případě stlačení této vrstvy se výsledná kapacita mezi elektrodami zvýší. Při skenování každého sloupce a řádku tak lze získat obraz zatíženého pole senzorů. Pro vytvoření elektrod pro každý sloupec a řádek můžeme použít různých metod. Jedna z možností je například využití vodivého inkoustu. Další možností je pak například měděná ploška pro každý z bodů matice.

Princip měření takového kapacitního pole je znázorněn na obrázku 2.



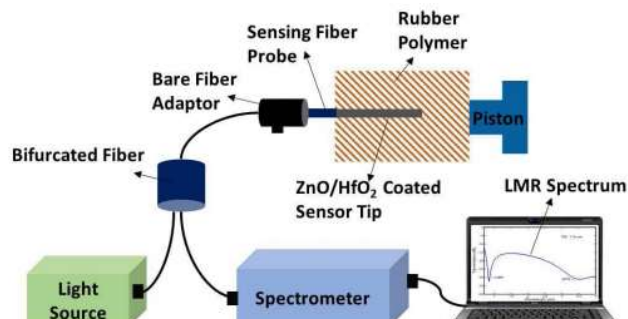
Obrázek 2: Schéma AC snímání [1]

V tomto zapojení se posílá sinusová vlna na horizontální pruh daného pixelu, takže je možné vyčítat změnu náboje ve vertikálním pruhu pomocí nábojového zesilovače. Výstup sinusového signálu špička-špička pak udává hodnotu kapacity v daném uzlu. Důvodem použití zpětné vazby odporu R_r je skutečnost, že když jsou povoleny přepínače pro adresování daného pixelu, nebude sinusoida ve své střední hodnotě. Proto by pouštěním konstantního offsetového náboje do zesilovače mohlo dojít k saturaci signálu. Díky tomuto rezistoru ve zpětné vazbě je tedy zaručeno, že se offset odstraní po konstantní době, protože zesilovač se chová jako filtr horní propusti. Offset je tedy eliminován z důvodu času přepínání s konstantou $\tau = R_r C_r$. Na druhou stranu, výstup amplitudy špička-špička se přepne téměř ihned na novou hodnotu, protože frekvence sinusového vstupu je v propustné oblasti vlastního filtru horní propusti [1].

1.2 Optický senzor zatížení

Senzor využívá optického vlákna k zjištění zatížení, které na něj působí. Jeden ze způsobů měření je odrazový režim. Tento režim vyšle světelný signál do jednoho konce optického vlákna a odražené světlo od druhého konce je následně detekováno. Tyto optické senzory jsou levné a snadno zabudovatelné do senzorového systému.

Schématický diagram experimentálního zapojení pro optický senzor zatížení je uveden na obrázku 3.



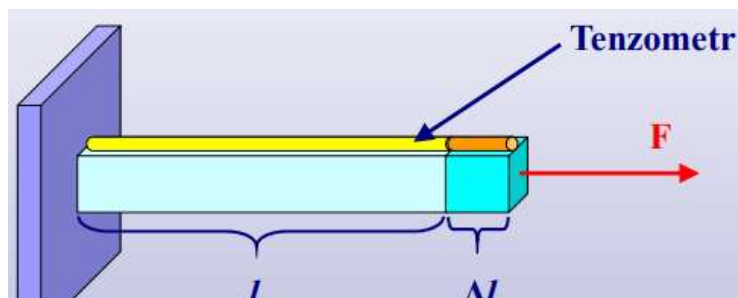
Obrázek 3: Schéma optického senzoru [2]

Celkové zapojení se skládá z vícebarevného světelného zdroje (Light Source), rozvětveného vlákna (Bifurcated Fiber), adaptéru s těsným vláknem (Bare Fiber Adaptor), sondy (Sensing Fiber Probe) s vláknem potaženým tenkou vrstvou například oxidu zinečnatého nebo oxidu hafničitého (Coated Sensor Tip), bloku pryžového polymeru (Rubber Polymer) s pístem (Piston), spektrometru (Spectrometer) a počítače (Computer). Pro přesnost tohoto senzoru je stěžejní tloušťka dané tenké vrstvy. Tento senzor zatížení funguje na metodě dotazování na vlnovou délku. Vícebarevné světlo dopadá na jednom konci sensorové sondy, odražené světlo je následně měřeno spektrometrem, který zobrazí spektrum senzoru na obrazovce počítače. Princip snímání funguje na základě změny síly působící na blok pryžového polymeru. Změna objemu materiálu způsobí změnu indexu lomu daného bloku pryžového polymeru. Vláknová sonda detekuje změnu indexu lomu, která odpovídá danému zatížení ve smyslu změny rezonanční vlnové délky ve spektru [2].

1.3 Tenzometrický senzor

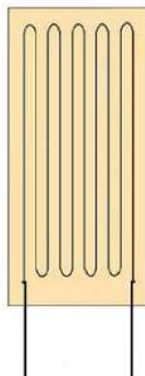
Tenzometrický senzor funguje na principu změny odporu s jeho deformací. Tenzometr připevníme na objekt, jehož deformaci chceme změřit. Senzor se pak deformuje společně s měřeným objektem a tím se mění jeho odpor, který následně měříme. Měření prodloužení můžeme měřit obdobným způsobem. Schéma pro takové

měření je zobrazeno na obrázku 4, kde l je označení pro původní délku objektu, Δl je označení pro absolutní prodloužení a F je síla působící na těleso.



Obrázek 4: Schéma měření deformace pomocí tenzometru [4]

Z hlediska materiálu můžeme tenzometry dělit na 2 skupiny. Kovové a polovodičové. Mezi nejpoužívanější kovové tenzometry patří fóliové tenzometry, které jsou tvořeny kovovou vrstvou litograficky nanesenou na podložce. Kovový vodič je zde použit ve tvaru meandru, z důvodu větší změny odporu při namáhání, jak je zobrazeno na obrázku 5.



Obrázek 5: Fóliový tenzometr s vodičem ve tvaru meandru [4]

Polovodičové tenzometry jsou tvořeny výřezem křemíkového krystalu. Hlavním rozdílem polovodičových tenzometrů od kovových je jejich citlivost, která může být až 60x větší než u kovových. Dále pak mají nelineární změnu odporu [4][5].

1.4 Odporové senzory zatížení

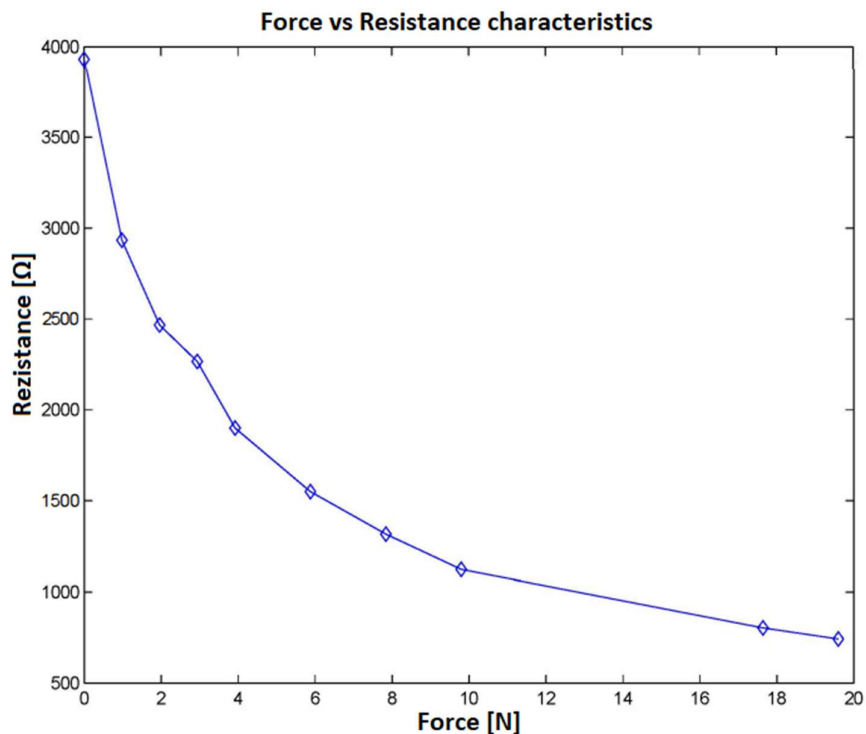
1.4.1 Textilní senzor zatížení

Navržený senzor v zapojení zobrazeném na obrázku 6 se skládá ze 3 materiálů.



Obrázek 6: Sestavení flexibilního senzoru zleva doprava ukazující vrstvy elektrod, vodivého plastu a obalu [3]

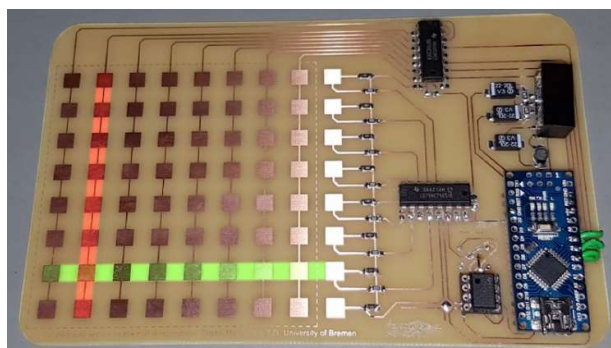
Prostřední vrstva se skládá z piezorezistivní plastové folie (Velostat) vložené mezi dvě vodivé vrstvy. Velostat je tenká (4 mm) plastová hmota s velkým elektrickým odporem ($<500 \Omega$ na cm^2). Odpor Velostatu se mění se zatížením na něj vyvinutým. Vodivé vrstvy se chovají jako elektrody a skládají se buď z vodivé látky, nebo vodivého vlákna. Pro obalení senzoru je pak použit izolační materiál, například lepicí páska k zamezení zkratu mezi dvěma vodivými vlákny. V tomto návržení se změna odporu piezorezistivního Velostatu zkoumá v závislosti na zatížení tohoto senzoru a jeho deformaci, jak je znázorněno na grafu 1 [3].



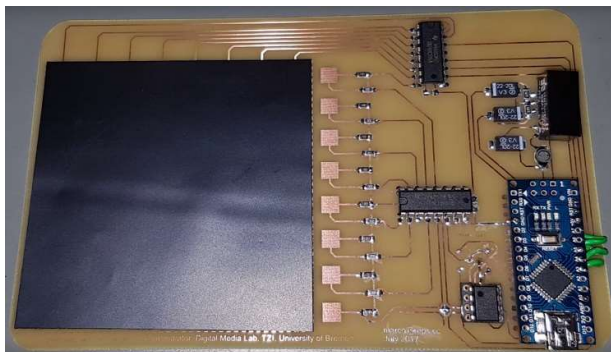
Graf 1: Charakteristika závislosti změny odporu na zatížení senzoru [3]

1.4.2 Maticový senzor zatížení v malém provedení

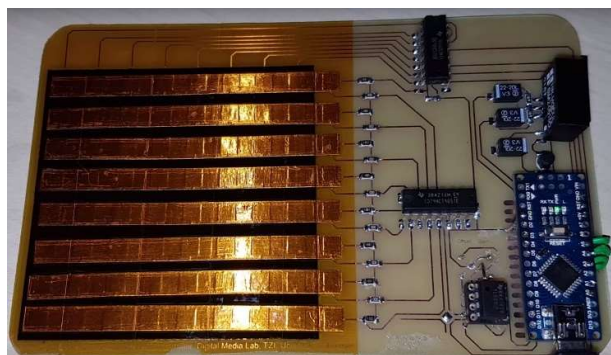
V případě použití Velostatu pro účel této práce lze vodivé vrstvy zapojit do matice, kde na jedné straně tohoto materiálu jsou vodivé vrstvy uspořádané do sloupců a na druhé straně jsou vodivé vrstvy uspořádané do řádků, jak je patrné z obrázku 7.



Obrázek 7: Zapojení vodivé části na jedné straně Velostatu pro měření zatížení [6]

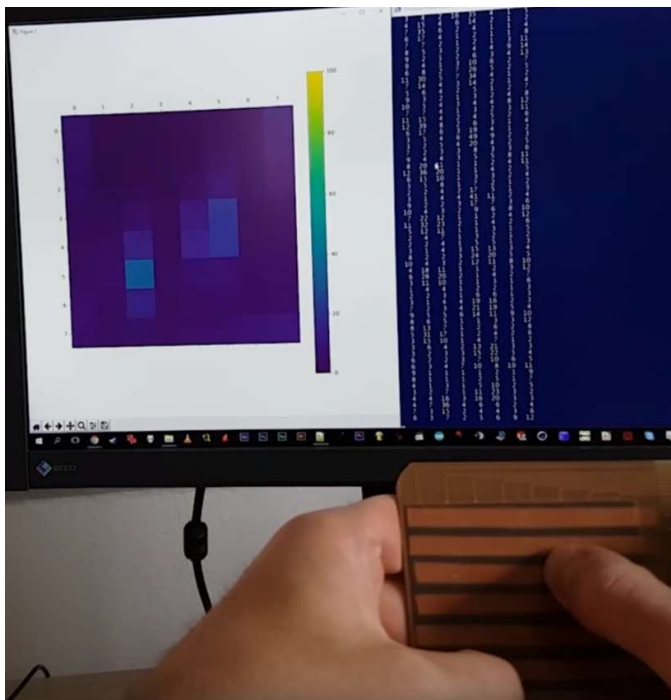


Obrázek 8: Zapojení jedné vodivé části a Velostatu [6]



Obrázek 9: Hotové zapojení senzoru pro měření [6]

Na matici zobrazenou na obrázku 7 je následně položen Velostat a na něj potom vodivé vrstvy v řádcích, jak napovídá zeleně označený řádek. Pro měření tak velkého množství sloupců a řádků je nutné použít multiplexor. Nakonec se toto zapojení musí zaizolovat například pomocí lepicí pásky. Samotné měření probíhá tak, že se nastaví napětí vždy jen na jeden sloupec, pro který se změří napětí v každém řádku. Tento způsob je pak aplikován na všechny sloupce. Každý řádek tvoří napěťový dělič, kde jednu část tvoří Velostat a druhou pevně stanovený odpor připojený k zemi. Výsledek takto sestaveného senzoru je vidět na obrázku 10.



Obrázek 10: Měření doteku prstů na podložku [6]

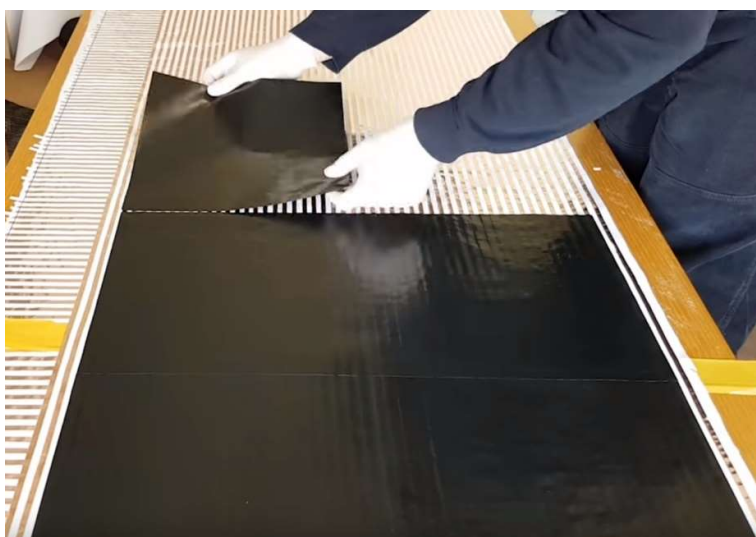
V levé části obrázku 10 je vidět výsledné zobrazení naměřených dat. V pravé části jsou samotná naměřená data a v popředí je senzor, na který je působeno silou vyvíjenou prsty. V zobrazování hodnot bylo poměrně velké zpoždění způsobené pomalým vyčítáním hodnot při rychlosti přibližně $100 \mu\text{s}$. Také rozlišení v tomto případě není nijak optimální. To ovšem může být způsobeno tím, že nebyl použit software na úpravu naměřených dat a také působením malou silou na senzor [6].

1.4.3 Maticový senzor zatížení ve velkém provedení

Při testování tohoto principu v plné velikosti byla použita podložka o velikosti karimatky. Sensory byly o velikosti 1 cm^2 a bylo jich potřeba okolo 7000. Nejdříve se zhotoví spodní vrstva tvořená měděnými pásy, které reprezentují sloupce z předchozího zapojení a mají šířku 1 cm. Mezi těmito pásy bude také 1 cm prázdného místa, aby nedošlo ke zkratu a aby se rozložila síla působící na podložku. Bílou část tvoří nevodivá vrstva, část zbarvenou do červena tvoří měděné pásy.

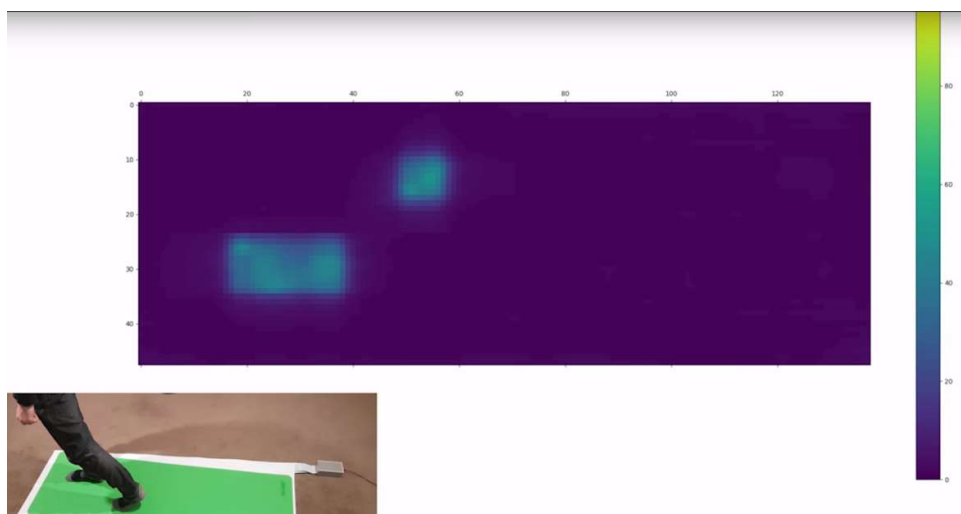


Obrázek 11: Vytvoření jedné vodivé vrstvy (řádků) [6]



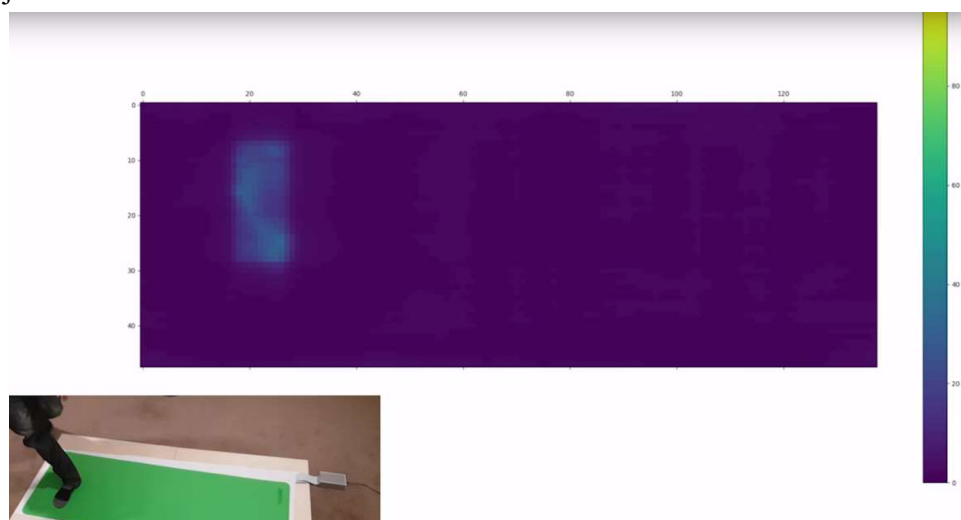
Obrázek 12: Vytvoření prostřední vrstvy za pomoci Velostatu [6]

Při pokládání prostřední vrstvy se musí dbát na přesné položení jednotlivých kusů, protože i sebemenší mezera mezi jednotlivými kusy nebo neuhlazená vzduchová bublina mohou při měření způsobit chybu. Pro vyčítání hodnot je použit posuvný registr a rychlost čtení každého bodu byla zvýšena na přibližně 17 μ s. Při položení hotového senzoru na koberec je výsledek trochu nepřesný, ale je rozeznatelná část chodidla, která je na podložce. Tento výsledek je patrný na obrázku 13.



Obrázek 13: Měření při položeném senzoru na koberci [6]

Pro vylepšení tohoto obrazu byla pod senzor přidána tvrdá podložka, což je zobrazeno na obrázku 14.

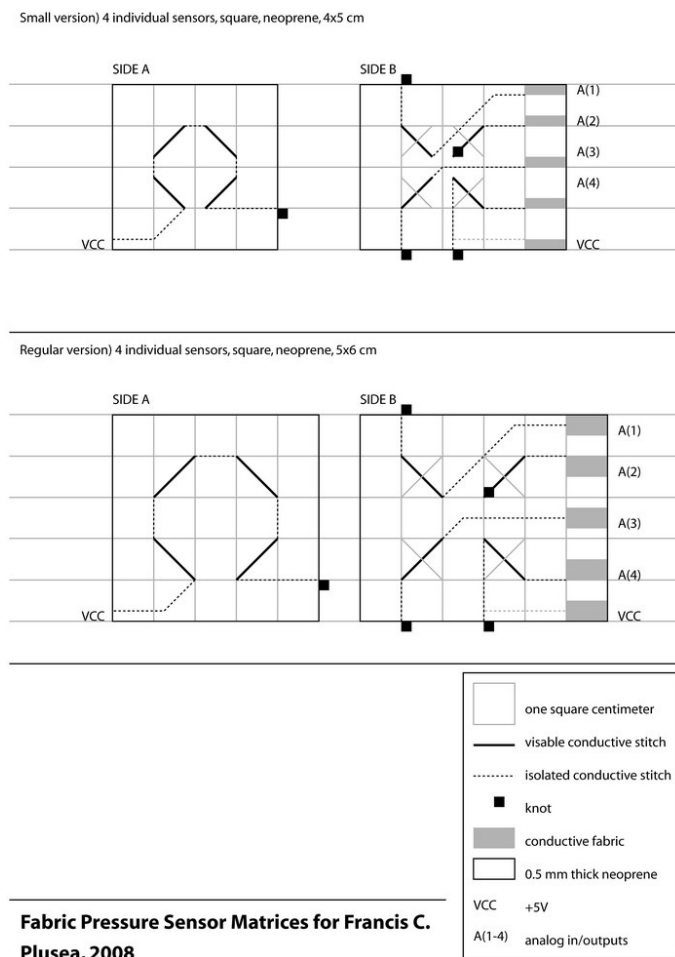


Obrázek 14: Měření při položeném senzoru na tvrdé podložce [6]

Jak je patrné z obrázku 14, chodidlo je již viditelné na první pohled. Pokud by bylo žádoucí dosáhnouti ještě lepších výsledků, mohl by být použit software pro vyhlazení pixelů, na kterých noha ve skutečnosti nestojí. Další možností je trochu zpomalit vyčítání jednotlivých hodnot, aby měl daný senzor dostatečnou chvíli na dosažení ustáleného stavu mezi jednotlivými vyčítáními [6].

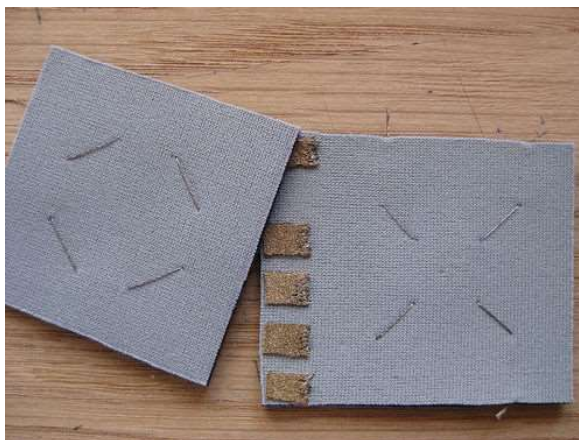
1.4.4 Maticový senzor zatížení v textilním provedení

Senzor byl vyroben s pomocí vodivé textilie místo použití plastového Velostatu. Pro vytvoření byl použit neopren, který byl následně prošit vodivou nití tak, aby ve výsledku vznikla matice 2x2. Schéma pro šití je znázorněno na obrázku 15.

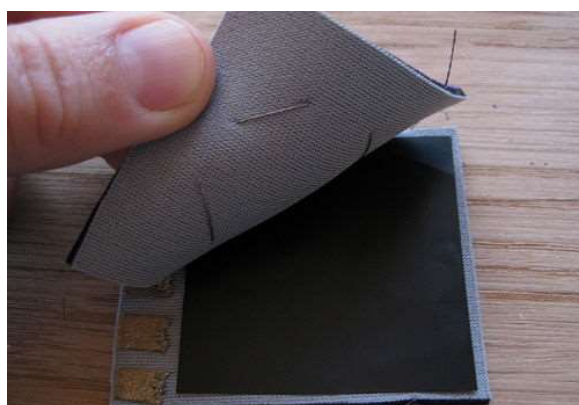


Obrázek 15: Schéma pro výrobu senzoru [7]

Z obrázku 15 vyplývá, že je potřeba dvou neoprenových kusů. Každý na jednu stranu senzoru a mezi ně přijde piezorezistivní textilie, aby bylo možné měřit zatížení senzoru. V tomto zapojení bude možné vyčítat hodnoty na čtyřech různých místech v matici pomocí analogových výstupů A1 – A4. Vytvoření senzoru je znázorněno na obrázcích 16 a 17.

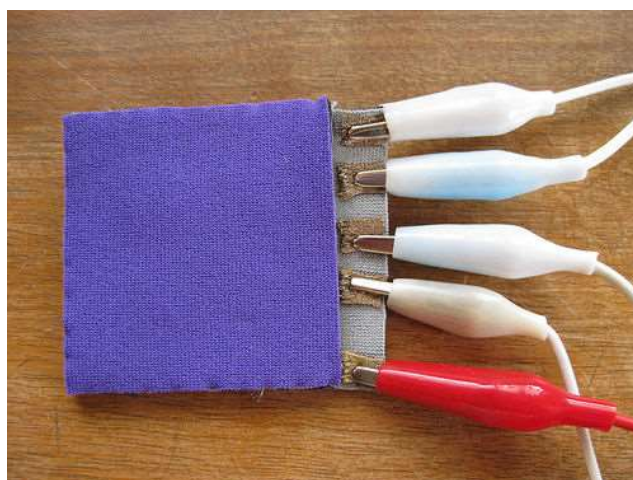


Obrázek 16: Protkaný neopren [7]



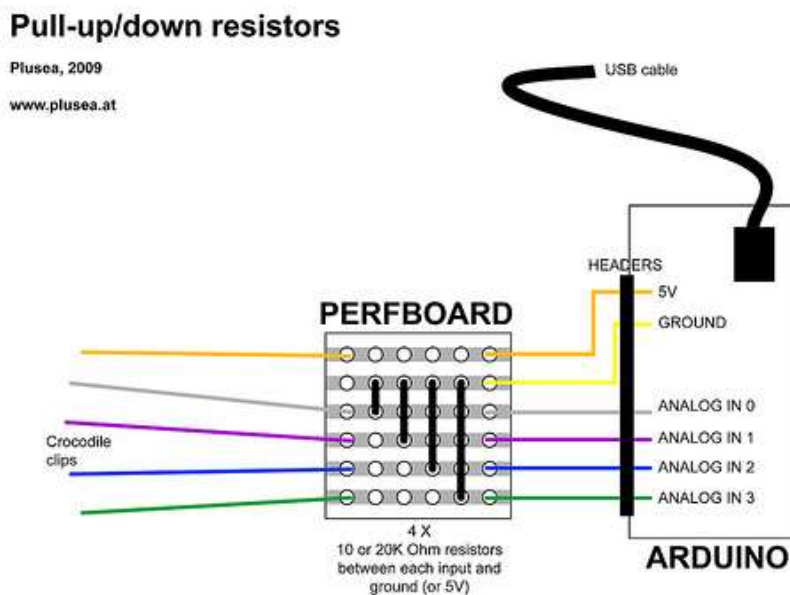
Obrázek 17: Piezorezistivní textilie vložená mezi neopren prošitý vodivými nitěmi [7]

Neopren je pak k sobě přišit na okraji tak, aby nebyl pevně spojen s vodivou textilií. Tím je snímací část hotová. Hotová snímací část je zobrazena na obrázku 18.



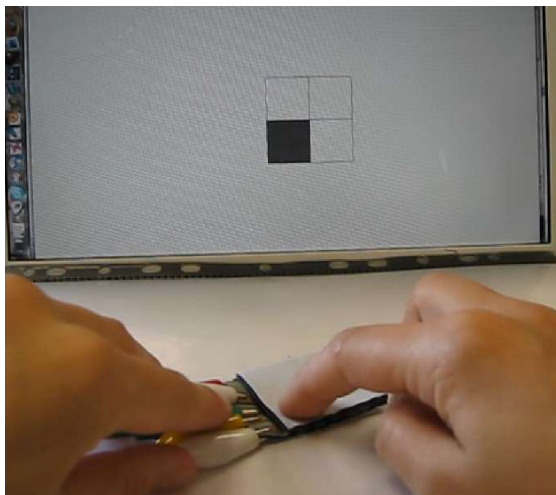
Obrázek 18: Hotová snímací plocha s maticí 2x2 [7]

Následně je nutné uvážit použití pull-up rezistorů při připojení k mikroprocesoru. To je znázorněno na obrázku 19.



Obrázek 19: Schéma zapojení senzoru k mikroprocesoru [7]

Při testování senzoru je žádoucí postupovat systematicky. Nejdříve je zapotřebí ujistit se, že je snímač v klidu. Pro ověření, že mezi vývody senzoru není žádná vodivá cesta, lze použít např. multimetr nastavený na bzučák, přičemž zvukový signál nesmí být slyšet. Následně je nutné multimetr nastavit do režimu ohm metru a změřit, že dochází ke změně odporu v závislosti na změně zatížení tohoto snímače. Poté je již možné připojit snímač k mikroprocesoru a následně v počítači zobrazit naměřené hodnoty. Toto je možné provést například tak, jak je zobrazeno na obrázku 20 [7].



Obrázek 20: Test senzoru s maticí 2x2 [7]

Z takto malého pokusu lze však velmi těžko usoudit, zda by výsledky byly stejně dobré i při využití tohoto způsobu pro mnohonásobně větší matici. Dá se tedy předpokládat, že bude záležet na rychlosti vyčítání hodnot a na druhu povrchu, na kterém bude senzor ležet, jako tomu bylo v případě 1.4.2.

2 Výběr a konstrukce senzoru

2.1 Měření charakteristiky Velostatu při jeho zatížení

Jako nejvhodnější materiál k sestavení senzoru pro podložku byl vybrán Velostat a následně byl změřen jeho odpor při zvyšování zatížení působícího na plochu tohoto senzoru. Nejdříve bylo zapotřebí vyrobit senzor s pomocí měděné pásky, mezi kterou byl následně vložen kus Velostatu. Snímací plocha tohoto senzoru má velikost 4 cm^2 . Senzor je zobrazen na obrázku 21 [8].



Obrázek 21: Senzor o velikosti snímací plochy 4 cm^2 vytvořený z měděných pásků a Velostatu

Následně byla vyrobena konstrukce ze stavebnice Merkur, která držela PET lahev ve vertikální poloze. Tato lahev pak byla plněna vodou a vyprazdňována, přičemž byly zaznamenány hodnoty měnícího se odporu. Tato konstrukce je zobrazena na obrázcích 22 a 23. Také byla pod konstrukci položena digitální kuchyňská váha pro zjištění velikosti zatížení. Hodnoty odporu byly zaznamenány multimetrem MASTECH MS8209.



Obrázek 22: Měřicí sestava



Obrázek 23: Měřicí sestava

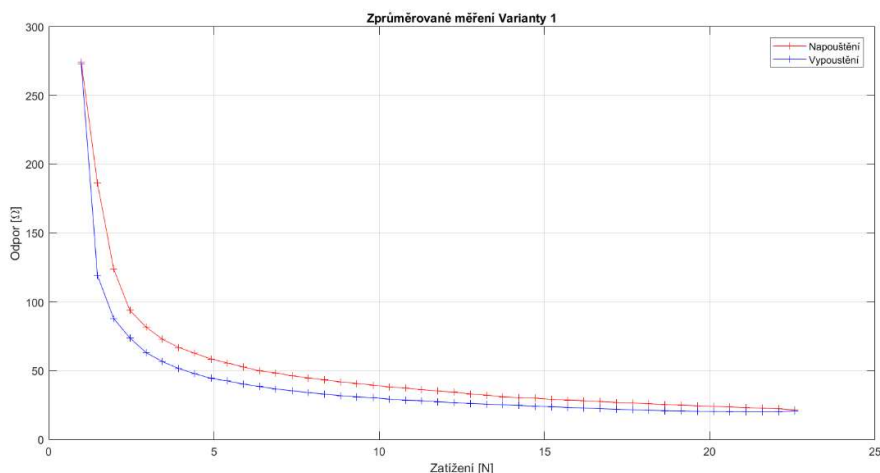
Měření bylo provedeno pro 4 různé varianty při pokojové teplotě 24°C a pokojové relativní vlhkosti 41%. Naměřené hodnoty odporu jsou v jednotkách Ω na čtverec, což znamená, že při daném zatížení bude naměřená hodnota odporu vždy stejná pro všechny senzory se stejným rozměrem z obou stran (například 1cm x 1 cm nebo i 10cm x 10 cm). Nádoba s vodou položená na senzor na něj působila tíhovou silou úměrnou její hmotnosti. Pro stanovení velikosti této síly bylo použito pro tíhové zrychlení hodnoty $9,81373 \text{ ms}^{-2}$, která je stanovena pro město Prahu. Hodnoty byly následně vykresleny v grafu [9].

Varianta 1 - bez jakéhokoli podložení, senzor ležel na tvrdé podložce a přímo se dotýkal víčka od lahve.

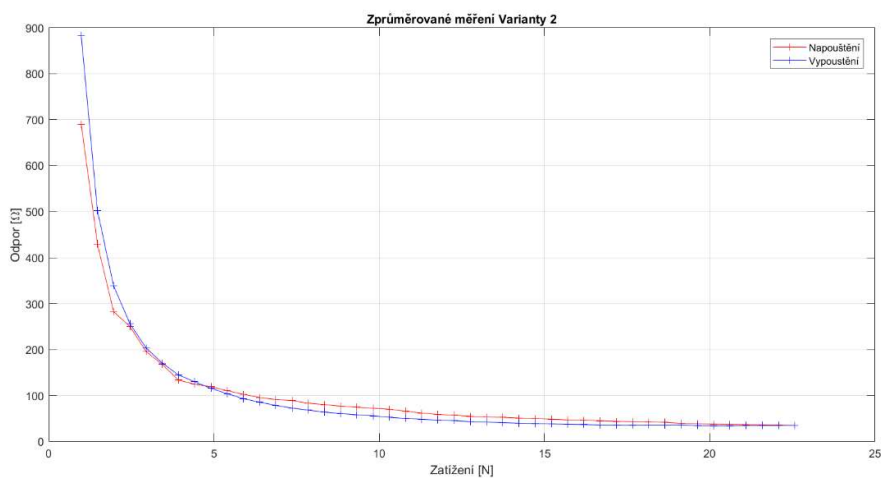
Varianta 2 - s podložním měkkým materiálem (Mirelon) o tloušťce 3mm mezi senzorem a víčkem od lahve.

Varianta 3 - s podložním měkkým materiálem (Mirelon) o tloušťce 3mm mezi senzorem a váhou.

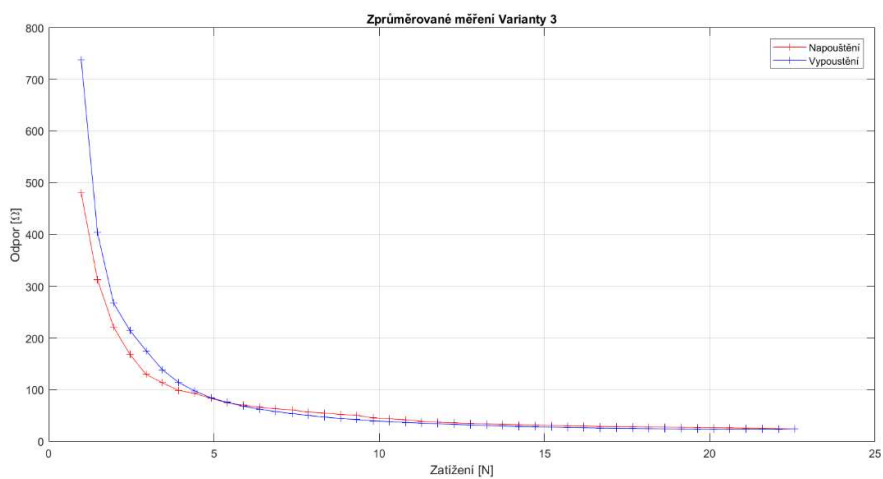
Varianta 4 - s podložním měkkým materiálem (Mirelon) o tloušťce 3mm mezi senzorem a víčkem a také mezi senzorem a váhou.



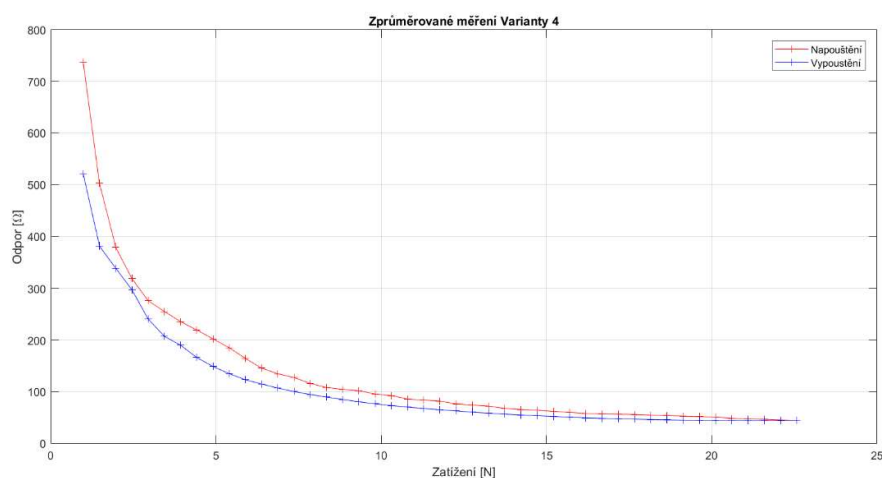
Graf 2: Charakteristika závislosti odporu na zatížení pro senzor bez podložení Mirelonem



Graf 3: Charakteristika závislosti odporu na zatížení pro senzor s podložením Mirelonem mezi senzorem a víčkem



Graf 4: Charakteristika závislosti odporu na zatížení pro senzor s podložením Mirelonem mezi senzorem a váhou



Graf 5: Charakteristika závislosti odporu na zatížení pro senzor s podložením Mirelonem mezi senzorem a víčkem a také mezi senzorem a váhou

Nejistoty vypočtené pro provedená měření			
	U_a [Ω]	U_b [Ω]	U_c [Ω]
Varianta 1 – Napuštění	3,5	4,8	5,9
Varianta 1 – Vypuštění	3,2	4,8	5,8
Varianta 2 – Napuštění	6,5	4,8	8
Varianta 2 – Vypuštění	4,5	4,8	6,6
Varianta 3 – Napuštění	10,55	4,8	11,6
Varianta 3 – Vypuštění	3,85	4,8	6,2
Varianta 4 – Napuštění	19,4	4,8	20
Varianta 4 – Vypuštění	10,8	4,8	11,8

Tabulka 1: Výpočet nejistoty pro provedená měření

Hodnoty uvedené v tabulce 1 ve sloupci U_a představují průměrnou nejistotu typu A pro danou variantu měření, která je způsobena vnějšími vlivy na měřicí soustavu nebo i například nepřesným odečtením hodnot. Čím více měření bude provedeno, tím bude nejistota menší. Hodnoty pro daná zatížení jsou vypočteny pomocí následujícího vzorce.

$$U_a = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N(N-1)}}$$

Rovnice 1: Vzorec pro výpočet nejistoty typu A [10]

Kde x_i = jednotlivé měření pro dané zatížení, \bar{x} = průměrná hodnota pro dané zatížení, N = počet měření pro dané zatížení

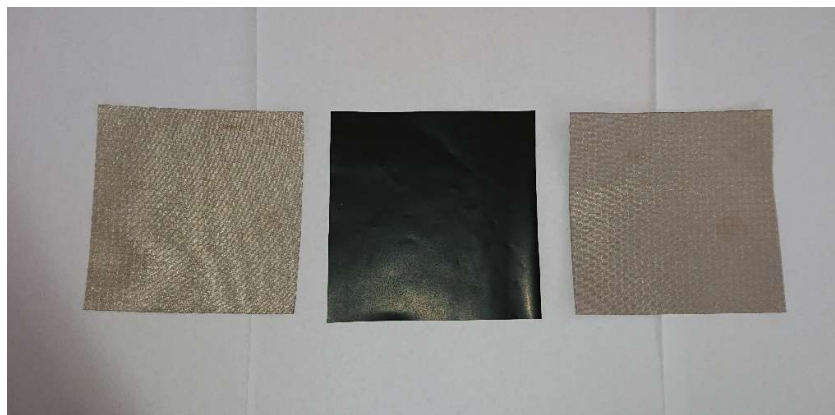
Hodnoty ve sloupci U_b představují nejistotu typu B, která je zapříčiněna stanovenou chybou použitých měřicích přístrojů. V tomto konkrétním případě se jedná o použitý multimetr. Odchylku způsobenou použitou kuchyňskou váhou bohužel nebylo možné stanovit, protože výrobce chybu přístroje neudává.

Hodnoty ve sloupci U_c pak představují průměrnou výslednou odchylku pro danou variantu měření vypočtenou jako odmocnina součtu kvadrátů hodnot U_a a U_b pro každou naměřenou hodnotu [10].

Z výše naměřených hodnot je zřejmé, že použití Velostatu pro snímání zatížení se jeví jako vhodné, avšak k nejvýraznějším změnám odporu dochází při zatížení do 2 N. Při vyšším zatížení se již mění odpor Velostatu téměř neznatelně. Pokud by nebylo hlavním cílem zjištění přesného zatížení senzoru, ale pouze stanovení, zda je nebo není senzor zatížen, pak by se dal senzor použít i při větším zatížení než 2 N. Dále jsou na grafech posunuté hodnoty měřené při zatěžování oproti hodnotám měřeným při odlehčování. Tento rozdíl je však způsoben schopností materiálu vrátit se zpět do původní polohy. Vzhledem k předpokládanému účelu využití tohoto senzoru jako textilní senzor se tedy reálnému použití zřejmě nejvíce blíží měření s podložením Mirelonem z obou stran senzoru.

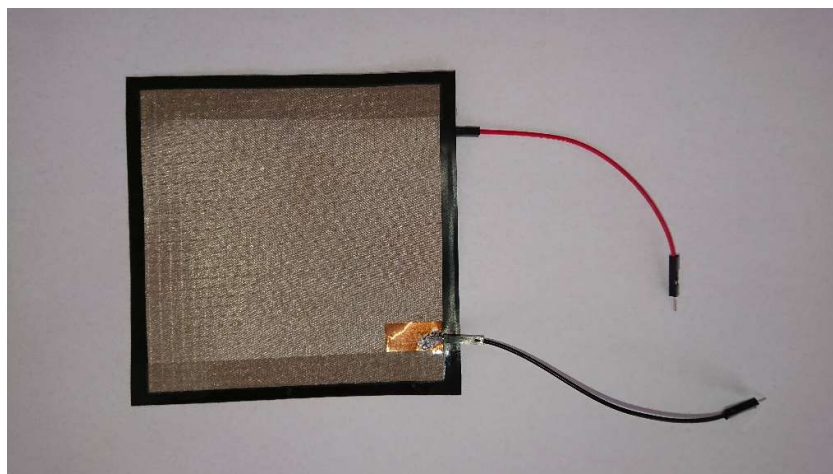
2.2 Výroba prototypu textilního senzoru zatížení

Pro výrobu prototypu textilního senzoru zatížení byla vybrána vodivá poniklovaná textilie PES a Velostat, jak je zobrazeno na obrázku 24.



Obrázek 24: Velostat a 2 kusy vodivé textilie

Následně byl k Velostatu z každé strany přilepen kus vodivé textilie a připájeny kontakty k měděné pásce nalepené na textili, jak je zobrazeno na obrázku 25.

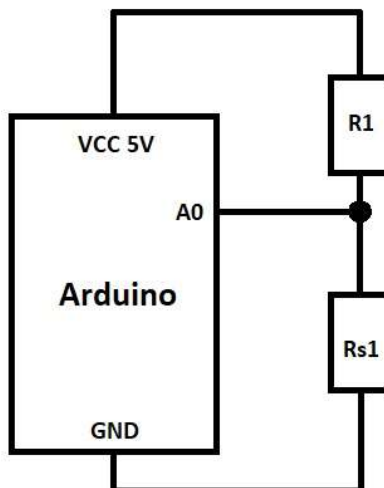


Obrázek 25: Výsledný prototyp maloplošného textilního senzoru

2.3 Zapojení senzoru a zobrazení naměřených hodnot

Při návrhu zapojení bylo nutné vzít v potaz možnosti napájení jednotlivých senzorů, způsob vyčítání hodnot a zároveň možnost zapojení více než pouze jednoho senzoru. Pro napájení a zároveň sběr dat byl vybrán jednodeskový počítač Arduino Mega [11].

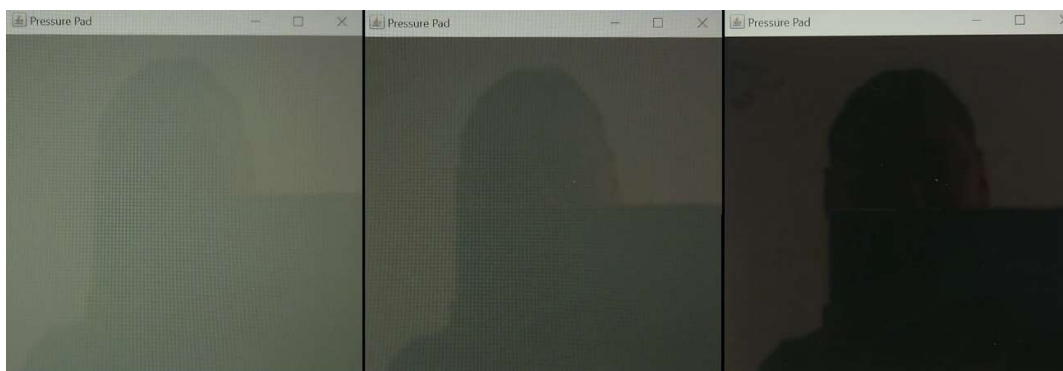
Vyčítání hodnot bylo navrženo jako vyčítání úbytku napětí na daném senzoru, čehož se docílilo pomocí napěťového děliče, jak je zobrazeno na obrázku 26.



Obrázek 26: Návrh zapojení pro jeden senzor

K napájení obvodu se senzorem je použit pin Arduino, který slouží jako zdroj +5V jak je uvedeno na obrázku 26. Rezistor R1 má hodnotu odporu 510Ω . Při výběru rezistoru R1 bylo uvažováno, že samotných senzorů bude v konečném návrhu 12 a tudíž tomu musel být přizpůsoben maximální proud, který by mohl téct obvodem. Také se výběrem tohoto rezistoru určovalo rozlišení jednotlivých senzorů. Rs1 je pak samotný senzor, na kterém je měřen úbytek napětí analogovým vstupem Arduino A0.

Následně bylo zapotřebí naprogramovat Arduino na sběr dat z analogového vstupu A0 a poté tuto hodnotu poslat přes sériovou linku do PC, kde pro tyto účely byla naprogramována v jazyku Java sériová komunikace s Arduinem a nasbírané hodnoty následně vykresleny v GUI. Při nezatíženém senzoru byl zobrazován šedý čtverec a při větším zatížení barva tohoto čtverce tmavla, až nakonec při maximálním zatížení dosáhla černé barvy. Toto vykreslení hodnot je zobrazeno na obrázku 27.

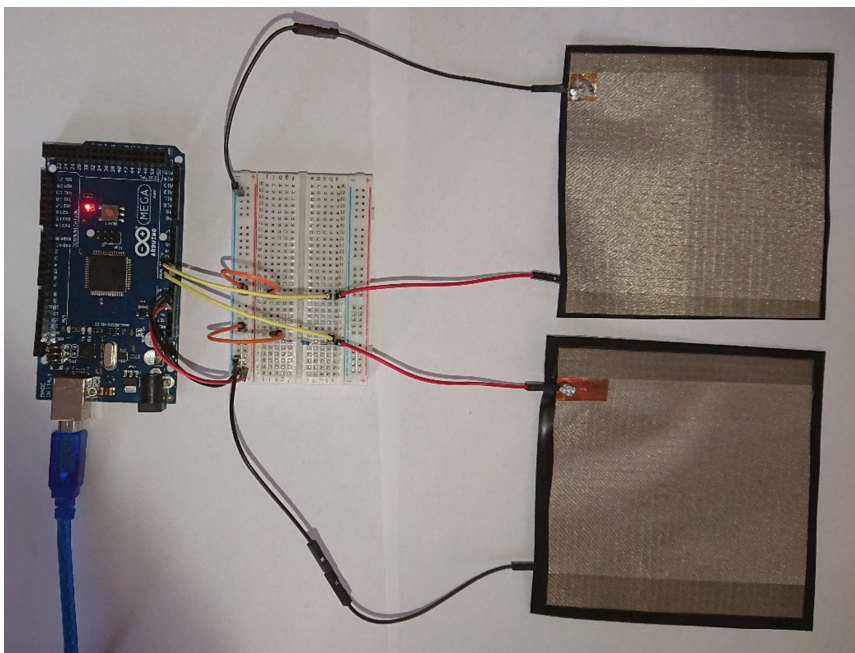


Obrázek 27: Zobrazení zatížení senzoru vlevo nezatíženo, uprostřed středně zatíženo a vpravo maximálně zatíženo

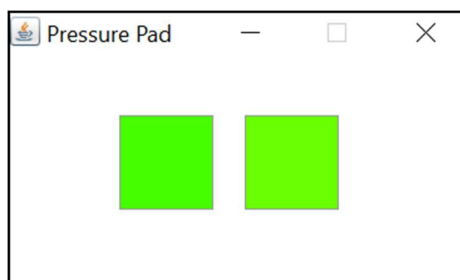
2.4 Příprava pro konstrukci velkoplošného textilního senzoru

Vzhledem k jednomu z možných využití velkoplošného textilního senzoru v podobě podložky na postel ke snímání polohy ležícího člověka bylo nutné rozšířit program, který zobrazuje naměřené hodnoty, pro více senzorů. Následně byl vyroben druhý senzor z důvodu testování daného zapojení pro využití s více senzory najednou. Zapojení pro první senzor bylo stejné, jak již bylo vyobrazeno na obrázku 26, pouze se připojil druhý senzor v sérii s druhým rezistorem o hodnotě odporu 510Ω paralelně k odporu $R1$ a senzoru $Rs1$. Pro testování bylo využito nepájivého pole, které usnadnilo propojení senzorů, odporů a Arduina jak je vyobrazeno na obrázku 28.

Následně byl upraven program pro Arduino, aby byl schopen vyčítat z více analogových vstupů, a také program v PC pro zobrazení naměřených hodnot. GUI bylo upraveno, aby se vykreslovaly hodnoty z obou připojených senzorů. Dále byla upravena škála barev z odstínů šedi na lépe rozeznatelné barvy při měnícím se zatížení. Při nezatíženém senzoru je pak čtverec vybarven v GUI zelenou barvou. Při středním zatížení se barva změní na žlutou a při maximálním zatížení se pak čtverec reprezentující jeden senzor zbarví do červena. GUI je zobrazeno na obrázku 29.



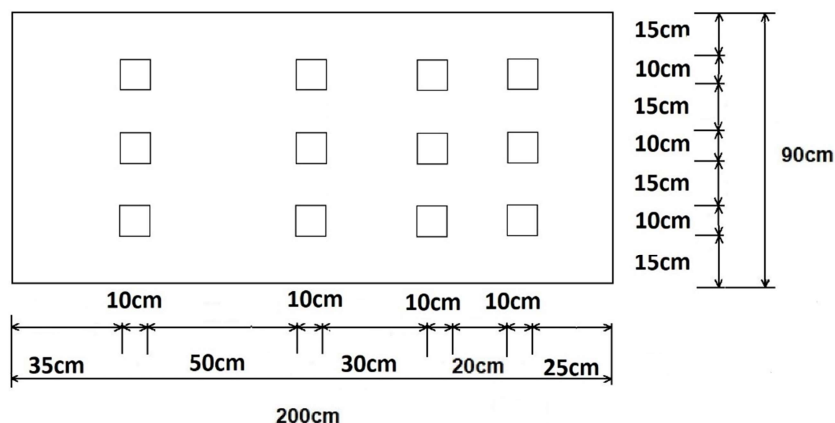
Obrázek 28: Zapojení dvou senzorů k Arduinu Mega s využitím nepájivého pole



Obrázek 29: GUI zobrazující 2 nezatížené senzory

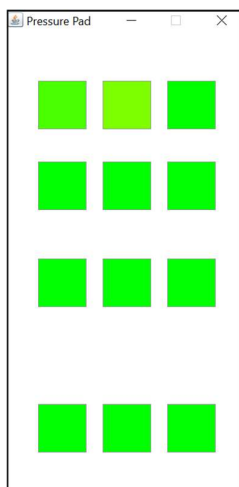
2.5 Návrh velkoplošného textilního senzoru

Pro výrobu velkoplošného textilního senzoru bylo uvažováno použití 12 jednotlivých senzorů vyrobených způsobem již zmíněným v kapitole 2.3. Výsledný velkoplošný senzor by měl být schopen zaznamenat ležící osobu a její případné změny polohy. Proto byl zvolen návrh rozložení senzorů o velikosti matrace 200cm x 90cm jak je zobrazeno na obrázku 30.



Obrázek 30: Rozložení 12 senzorů na matraci předpokládá polohu osoby tak, že hlava je umístěna vpravo

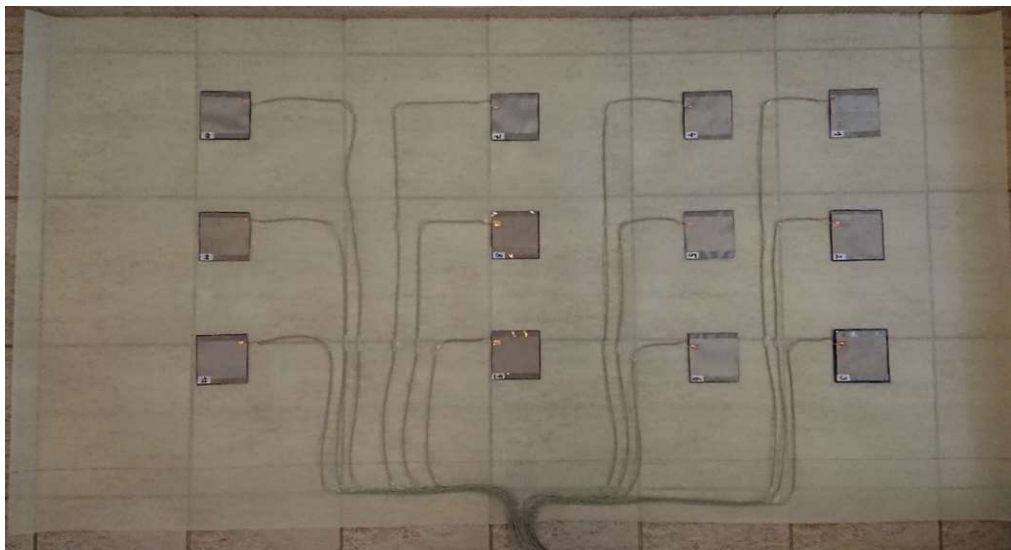
Toto rozložení by mělo být schopné zaznamenat ležící osobu jak na zádech nebo břiše, tak i na boku. Následně byly upraveny programy pro sběr a zobrazení dat z 12 senzorů. Výsledné GUI je zobrazeno na obrázku 31.



Obrázek 31: Výsledné GUI pro zobrazení naměřených hodnot 12 senzorů

2.6 Konstrukce a testování velkoplošného textilního senzoru

Ke konstrukci velkoplošného textilního senzoru bylo použito 12 senzorů vyrobených způsobem popsáním v kapitole 2.2. Následně byly tyto senzory přilepeny na podložku a očíslovány pro správné zapojení do mikroprocesoru. Podložka byla vyrobena z Mirelonu. Ze stejného materiálu byla vytvořena i horní vrstva. Hotový velkoplošný senzor je zobrazen na obrázku 32.

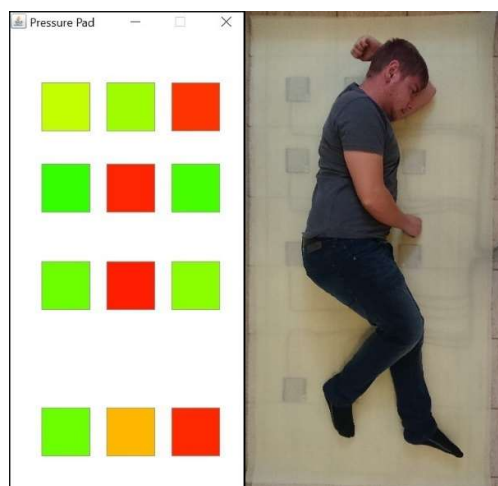


Obrázek 32: Velkoplošný textilní senzor předpokládá polohu osoby tak, že hlava je umístěna vpravo

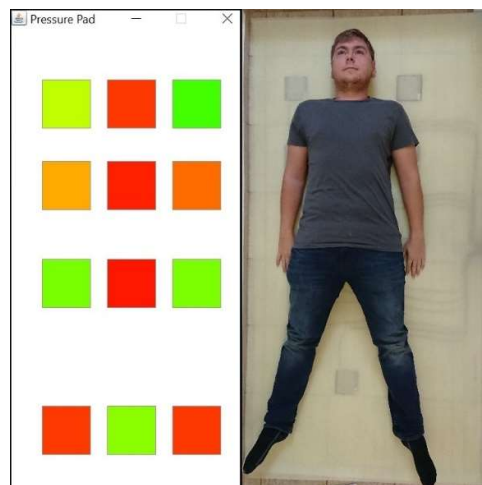
Následně byla funkčnost tohoto senzoru otestována. Výsledná zobrazená data společně s fotografií, která byla pořízena při měření, jsou zobrazena na následujících obrázcích.



Obrázek 33: Testování senzoru při ležení na břiše



Obrázek 34: Testování senzoru při ležení na levém boku



Obrázek 35: Testování senzoru při ležení na zádech

Z obrázků 33, 34 a 35 můžeme vidět, že několik senzorů vybarvených sytě červenou barvou je pod vahou těla již v saturaci. I přes tento fakt by se toto řešení dalo použít, pokud bychom nepotřebovali získávat hodnotu přesného zatížení působící na senzor.

3 Software pro sběr a zobrazení dat

Důležitou roli v této práci hraje také SW, který by se dal rozdělit na dvě části. V první části se jedná o naprogramování Arduina pro sběr dat a posílání těchto údajů přes sériovou linku dál do PC. Druhá část je naprogramovaná v jazyce Java pro PC, kde se jedná o navázání sériové komunikace, čtení zaslaných dat a jejich následné zobrazení pomocí GUI.

3.1 Programování Arduina

V Arduinu Mega je použit u analogových vstupů 10-bitový A/D převodník s rozsahem 0V až +5V. To znamená, že maximální možný měřitelný úbytek na senzoru s pomocí Arduina Mega je +5V, což odpovídá vyčtené hodnotě 1023. Z toho tedy vyplývá, že jednotka vyčtené hodnoty odpovídá přibližně 4,9mV [12].

```
1 void setup() {
2   int delayTime = 100;
3   pinMode(A0, INPUT);
4   digitalWrite(A0, INPUT_PULLUP);
5
6   Serial.begin(19200);
7   while (!Serial) {
8     ; // wait for serial port to connect. Needed for native USB port only
9   }
10 }
11
12 void loop() {
13   int testRead0 = analogRead(A0);
14   Serial.print("AR 0 ");
15   Serial.println(testRead0);
16   delay(delayTime);
17 }
```

Obrázek 36: Kód Arduina pro sběr a posílání dat

Jak je patrné z obrázku 36, k vyčítání samotných hodnot je použita funkce `analogRead()`. Pro následné posílání dat přes sériovou linku je použita funkce `Serial.print()`, kde se posílá nejdříve identifikace zařízení „AR“, následně číslo reprezentující senzor, o který se jedná, a poslední číslo je právě vyčtená hodnota ze senzoru.

3.2 Programování v jazyce Java pro PC

Nejdříve bylo zapotřebí zprovoznit sériovou komunikaci mezi PC a Arduinem. To znamená najít COM port, který patří právě připojenému Arduinu a zahájit komunikaci. V tomto kroku ale nastává problém, protože při připojení Arduina k PC může být pro Arduino nastaven pokaždé odlišný port. Navíc je ještě odlišné pojmenování portů pro Windows a Linux, což ještě více komplikovalo situaci. Proto bylo nutné zajistit, aby si program mezi všemi dostupnými porty našel právě ten port, který patří danému Arduinu. Toto bylo zajištěno tak, že se nejdříve naleznou veškeré aktivní porty v PC a následně se u každého pokusí aplikace navázat komunikaci. Pokud je pokus o navázání komunikace neúspěšný, tak se tento port přeskočí a zkouší se navázat spojení s dalším zjištěným portem. Pokud by se shodou okolností navázalo spojení, ale nejednalo by se o Arduino pro sběr dat z velkoplošného textilního senzoru, tak by se také tento port přeskočil a zkoušel by se další dostupný port. Toto rozpoznání Arduina je zajištěno tím, že se společně s daty odesílá identifikace Arduina „AR“ jak již bylo zmíněno v kapitole 3.1. Po úspěšném navázání spojení se již zobrazí GUI, ve kterém je graficky znázorněno 12 senzorů. Toto GUI je zobrazeno na obrázku 31. Takto graficky zobrazený senzor pak mění svoji barvu podle zatížení reálného senzoru. Při nezatíženém stavu je barva zelená, následně při zvyšujícím se zatížení se barva mění do žluta a při maximálním zatížení se barva změní do červena. Toto řešení je použito pro každý ze senzorů. Z toho důvodu se z Arduina společně s vyčtenými daty posílá i identifikace jednotlivého senzoru.

Jelikož ale bylo k vytvoření tohoto programu zapotřebí použít externí knihovnu pro programovací jazyk Java, bylo nutné umístit tuto knihovnu tak, aby ji výsledná aplikace vždy uměla použít. Externí knihovna byla k dispozici pro operační systémy Windows 32 bitové i 64 bitové verze a pro Linux 32 bitové i 64 bitové verze. Z tohoto důvodu bylo zapotřebí naprogramovat instalační SW, aby se vždy použily správné soubory dané knihovny. To bylo vyřešeno následovně. Nejdříve se zjistil operační systém počítače a architektura prostředí Java nainstalovaného na daném PC. Následně byly podle těchto informací zkopírovány potřebné soubory do pracovního adresáře programu. S použitím tohoto instalačního SW je tedy možné program po instalaci spustit na libovolném počítači s operačním systémem Windows nebo Linux s nainstalovaným SW Java.

4 Závěr

Úkolem této bakalářské práce bylo navrhnout a vyrobit velkoplošný textilní senzor zatížení. Výsledný senzor by mohl nalézt uplatnění například ve zdravotnictví jako detekce polohy ležících pacientů. Pro tento záměr byl použit k výrobě senzoru materiál Velostat, který mění svůj odpor při měnícím se zatížení působícím na jeho plochu. Dále bylo zapotřebí navrhnout počet a rozložení senzorů na ploše 90 cm x 200 cm, což odpovídá velikosti nemocniční matrace. Velkoplošný senzor byl vyroben z 12 jednotlivých senzorů rozmístěných po třech ve čtyřech řadách. Po zkonstruování tohoto velkoplošného senzoru bylo nutné vytvořit software pro jednodeskový počítač Arduino, který sbíral data z jednotlivých senzorů a dále je přes sériovou linku posílal do počítače. Pro počítač byl pak naprogramován v jazyce Java software pro instalaci externích knihoven, automatické připojení se k Arduinu přes sériový port, příjem zasílaných dat a jejich následné vykreslení v grafickém rozhraní.

Z měření vyrobeného velkoplošného senzoru bylo zjištěno, že dokáže zaznamenávat různé polohy ležícího člověka. Bohužel bylo ale zatížení tak velké, že se některé senzory dostaly do saturace. Tento fakt by nebyl problémem, pokud by nebylo požadováno měřit přesné zatížení daného senzoru. V opačném případě by bylo možné senzory vyrobit z více vrstev Velostatu, což by pomohlo se snímáním většího zatížení bez saturace senzoru.

Dále je možné předpokládat, že vzhledem k velikosti mezer mezi jednotlivými senzory může dojít k situaci, kdy některé senzory nezaregistrují polohu všech částí ležícího těla, protože například ruka nebo noha bude položena v mezeře mezi senzory. Pokud by bylo nutné dosáhnout většího rozlišení velkoplošného senzoru tak, aby vždy přesně zaznamenal polohu celého ležícího těla, bylo by nutné zmenšit mezery mezi jednotlivými senzory. Toho lze dosáhnout zvětšením velikosti senzorů při zachování jejich počtu, případně zvýšením počtu senzorů, což by si ovšem vyžádalo zvýšené nároky na konstrukci hardware a bylo by nutné odpovídajícím způsobem upravit i software. Alternativně, jako velmi jednoduché a rychlé řešení, by bylo možné na velkoplošný senzor položit podložku, která by zajistila rozložení zatížení v daném bodě do větší plochy přesahující svými rozměry širší mezery mezi senzory. To by zajistilo, že by zatížení bylo vždy alespoň jedním ze senzorů detekováno.

Literatura

- [1] M. Sergio, N. Manaresi, M. Tartagni, R. Guerrieri and R. Canegallo, "A textile based capacitive pressure sensor," Proceedings of IEEE Sensors, 2002, pp. 1625-1630 vol.2.
doi: 10.1109/ICSENS.2002.1037367
- [2] N. Paliwal and J. John, "Design and Modeling of Highly Sensitive Lossy Mode Resonance-Based Fiber-Optic Pressure Sensor," in IEEE Sensors Journal, vol. 18, no. 1, pp. 209-215, Jan.1, 1 2018.
doi: 10.1109/JSEN.2017.2771313
- [3] S. Salibindla, B. Ripoche, D. T. H. Lai and S. Maas, "Characterization of a new flexible pressure sensor for body sensor networks," 2013 IEEE Eighth International Conference on Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing, Melbourne, VIC, 2013, pp. 27-31.
doi: 10.1109/ISSNIP.2013.6529758
- [4] Snímače pro měření deformace. [online]. [cit. 4.2.2015]. Dostupné z: http://www.kst.tul.cz/podklady/experimentalnimetody/prednasky/p8_snimace_deformace.pdf
- [5] HAASZ, Vladimír a Miloš SEDLÁČEK. Elektrická měření: přístroje a metody. Vyd. 2. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2003. ISBN isbn80-01-02731-7.
- [6] Yoga Mat-Size Pressure Sensor Matrix Uses LattePanda and Velostat to Save Money. [online]. [cit. 30.10.2017]. Dostupné z: <https://blog.hackster.io/yoga-mat-size-pressure-sensor-matrix-uses-lattepanda-and-velostat-to-save-money-49ee86950e5a>
- [7] Pressure Sensor Matrix. [online]. [cit. 27.12.2017]. Dostupné z: <http://www.instructables.com/id/Pressure-Sensor-Matrix/>

- [8] C D. Chen, Y. Cai and M. C. Huang, "Customizable Pressure Sensor Array: Design and Evaluation," in IEEE Sensors Journal.
doi: 10.1109/JSEN.2018.2832129
- [9] Tíhové zrychlení. [online]. [cit. 4.10.2017]. Dostupné z:
https://cs.wikipedia.org/wiki/T%C3%ADhov%C3%A9_zrychlen%C3%AD
- [10] Zpracování fyzikálních měření. [online]. [cit. 23.1.2013]. Dostupné z:
<http://herodes.feld.cvut.cz/mereni/downloads/navody/zpracdat.pdf>
- [11] Arduino Mega2560 Rev3. [online]. [cit. 22.5.2018]. Dostupné z:
<https://www.lemona.ee/LIUSE/TI/En/Pdf/A000067.pdf>
- [12] Arduino analog I/O. [online]. [cit. 22.05.2018]. Dostupné z:
<https://www.arduino.cc/reference/en/language/functions/analog-io/analogread/>