

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA TECHNOLOGIÍ A MĚŘENÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA TECHNOLOGIÍ A MĚŘENÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Detekce přítomnosti osob na plošných Smart textiliích

vedoucí práce: Ing. Radek Soukup, Ph.D.

2016

autor: Bc. Stanislav Strnad

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2015/2016

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Stanislav STRNAD**
Osobní číslo: **E14N0077P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**
Název tématu: **Detekce přítomnosti osob na plošných textiliích**
Zadávající katedra: **Katedra technologií a měření**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Prostudujte možnosti detekce přítomnosti osob na plošných smart textiliích.
2. Provedte literární rešerši a popište systémy a principy, které jsou vhodné k detekci přítomnosti osob na plošných textiliích využívány.
3. Vyberte vhodné systémy pro detekci přítomnosti osob na plošných smart textiliích. Diskutujte jejich výhody a nevýhody.
4. Navrhněte systém pro detekci přítomnosti osob vhodný pro integraci do plošných textiliích.
5. Kriticky zhodnoťte navržené řešení.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah kvalifikační práce: 40 - 60 stran

Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

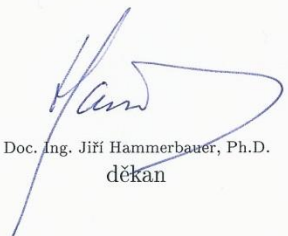
1. Mattila, H., R., Intelligent Textiles and clothing, CRC Press, 2006.
ISBN-13: 978-0849390999
2. M. Sergio, N. Manaresi, M. Tartagni, R. Guerrieri, and R. Canegallo.
A textile based capacitive pressure sensor. Sensors, 2002. Proceedings of IEEE, 2:1625-1630 vol.2, 2002
3. C. Ashruf. Thin flexible pressure sensors. Sensor Review, 22(4): 322-327, 2002.
4. N. Bansal, A. Ehrmann, M. Geilhaupt. Textile capacitors as pressure sensors, International textile conference, Dresden 2014.
5. Glaser, R., Lauterbach, C., Savio, D., Schnell, M., Karadal, S., Weber, W., Kornely, S., Stöhr, A.
Smart Carpet: A Textile-based Large-area Sensor Network. [Online]
Available at:
http://www.futureshape.de/publications_lauterbach/SmartFloor2005.pdf
[Accessed 18 April 2015].

Vedoucí diplomové práce: Ing. Radek Soukup, Ph.D.


Katedra technologií a měření

Datum zadání diplomové práce: 15. října 2015

Termín odevzdání diplomové práce: 16. května 2016


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Doc. Ing. Vlastimil Skočil, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2015

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

.....

podpis

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Radku Soukupovi, Ph.D. za cenné, profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce. Dále bych rád poděkoval své rodině za podporu, kterou mi po celou dobu studia poskytovala.

Anotace

Cílem této diplomové práce je popsat systémy a principy vhodné pro detekci přítomnosti osob na plošných textiliích. Dále se zabývá výběrem vhodných systémů a diskutuje jejich výhody a nevýhody. Přínosem je návrh systému pro detekci přítomnosti osob vhodný pro integraci do plošných textilií. Práce dále obsahuje testování a kritické zhodnocení navrženého řešení.

Klíčová slova

Smart textilie, kapacitní snímač, tenzometrický snímač, Smart koberec, textilní obvody, vyšívání, tkaní, pletení, SilveR.STAT

Annotation

The Aim this diploma thesis is describe systems and principles suitable for detecting presence human on planar textile fabrics. It also deals with the selection of appropriate systems and discusses their advantages and disadvantages. The benefit is to design a system for detecting presence of persons suitable for integration into fabrics. The work also includes testing and critical evaluation of the proposed solution.

Key words

Smart textile, capacitive sensor, strain sensor, Smart carpet, textile circuits, embroidery, weaving, knitting, SilverR.STAT

Obsah

Seznam symbolů a zkratk	11
Úvod	10
1 Smart textilie	11
2 Systémy a principy pro detekci přítomnosti osob	11
2.1 Flexibilní elektronické moduly	11
2.2 Aktivní ochrana v interiéru vozidla.....	13
2.3 Koncept Smart koberce	14
2.3.1 Integrace elektroniky	14
2.3.2 Použití Smart koberce	15
2.4 Kapacitní snímače tlaku	15
2.4.1 Přehled systému	15
2.4.2 3-vrstvá struktura systému	16
2.5 Tenzometrické snímače.....	17
2.5.1 Princip odporového tenzometrického snímače	17
2.5.2 Druhy tenzometrických snímačů	18
2.6 Způsoby realizace textilních obvodů	20
2.6.1 Vyšívání	20
2.6.2 Tkaní a pletení	21
2.6.3 SilveR.STAT [®] monofilová lineární textilie.....	22
3 Zhodnocení systémů pro detekci přítomnosti osob	23
3.1 Zhodnocení kapacitních snímačů	24
3.2 Zhodnocení tenzometrů.....	24
3.3 Porovnání použitých systémů	25
4 Návrh systému pro detekci přítomnosti osob	27
4.1 Systémy pro detekci přítomnosti osob pomocí kapacitního snímače	27
4.2 Systémy pro detekci přítomnosti osob pomocí tenzometrického snímače	29

5	Testování a kritické zhodnocení navrženého řešení	31
5.1	Testování navrženého systému a jeho optimalizace	31
5.2	Doporučení pro další práce v této oblasti.....	34
6	Statistické zpracování dat	35
6.1	Klasifikace chyb měření.....	35
6.2	Průzkumová analýza jednorozměrných dat	36
6.2.1	Metody průzkumové analýzy dat.....	36
6.2.2	Transformace dat	38
6.2.3	Zpětná transformace dat.....	40
6.3	Zpracovaná data	40
7	Závěr	44
8	Seznam literatury a informačních zdrojů	45
9	Přílohy	47
9.1	Příloha A – fotografie z testování navržených systémů.....	47
9.2	Příloha B – Naměřené hodnoty navržených systémů	48

Seznam symbolů a zkratk

<i>IEEE/IET</i>	Institute of Electrical and Electronics Engineers/ Engineering and Technology	Rozsáhlá digitální knihovna odborné literatury, která se zaměřuje na problematiku současného elektroinženýrství, informatiky a ostatních technických oborů
<i>ADNOS</i>	Algorithmic device network organization system	Síťový systém mikroprocesorů
<i>EKG</i>	Electro cardio gram	Elektrokardiografie
<i>DPS</i>	Printed circuit board (PCB)	Deska plošných spojů

- $C[F]$ kapacita kondenzátoru
 $\epsilon_r[-]$ proměnná permitivita
 $\epsilon_0[F/m]$ permitivita vakua
 $S[m^2]$ účinná plocha elektrod
 $d[m]$ vzdálenost elektrod
 $R[\Omega]$ odpor vodiče
 $l[m]$ délka vodiče
 $\rho[\Omega \cdot m]$ měrný odpor
 $F[N]$ síla (vektorová veličina)
 $f[Hz]$ frekvence
 N normální rozdělení
 μ aritmetický průměr
 σ směrodatná odchylka
 σ^2 rozptyl
 P_i pořadová pravděpodobnost
 λ optimální odhad

Úvod

Hlavním cílem této diplomové práce je prostudování a vyložení některých skutečností zabývajících se Smart textiliemi, laicky řečeno „*chytrými textiliemi*“ pro detekování osob. Chytré textilie se na trhu objevily teprve nedávno, proto můžeme hovořit o relativně mladém odvětví oboru. S touto skutečností souvisí i fakt, že na počátku byly prezentovány pouze demonstrátory, které nesplňovaly požadavky pro běžné nošení nebo pocházely pouze z testovacích laboratoří. Současný rozvoj v této oblasti se projevil zejména s pokroky v technologii kontaktování, miniaturizací elektronických součástí a tištěné elektroniky. Toto zlepšení technologických postupů umožnilo zvýšení množství aplikací, kde jsou přímo integrovány elektronické funkční bloky do textilií.

První kapitola diplomové práce popisuje, co jsou Smart textilie a na jakém principu fungují. Druhá kapitola se věnuje různým možnostem detekce přítomnosti osob na Smart textiliích, zpracované na základě lineární rešerše, která vychází zejména z elektronických zdrojů databáze IEEE/IET. Třetí kapitola se zabývá zhodnocením systémů pro detekci přítomnosti osob a jsou zde diskutovány výhody a nevýhody použití jednotlivých systémů, uvedených v teoretické části této diplomové práce. Čtvrtá kapitola se věnuje návrhu systému pro detekci přítomnosti osob pomocí kapacitního a tenzometrického snímače.

Poslední částí práce je testování a měření navrženého systému pro detekci přítomnosti osob. Jeho neoddelitelnou součástí je i kritické zhodnocení z hlediska integrace do plošných textilií.

1 Smart textilie

Nové technologie se řadu let v textilním průmyslu usilovně snaží zlepšit funkční vlastnosti materiálů. Vývoj nových vláken poskytl propojení membrán přímo v textilním substrátu a dal tomuto systému možnost být prodyšným, ale i zároveň nepromokavým. Současným cílem v oboru inteligentních systémů je i přes jeho náročnost plně využitelná textilie, která by umožnila vložit elektroniku přímo do požadovaného substrátu tak, aby byla viditelně beze změny a plnila daný účel i bez potřeby zásahu do vnitřní struktury. Inteligentní systémy obvykle obsahují tři důležité části. Snímač, procesor a aktuátor. Tyto tři části, které mezi sebou vzájemně komunikují, jsou zapotřebí například při snímání a regulaci tělesné teploty. Snímač přenáší informaci do procesoru, kde je vyhodnocena a následně je odeslán příkaz k ovladači pro regulaci teploty. Této vzájemné interakce lze dosáhnout pomocí snímače vsítého do povrchu tkaniny pomocí vodivých přízí. Následně se signály přenášejí bezdrátově mezi procesorem, snímačem a akčními členy, jako jsou mikroskopické klapky, které se poté otevírají nebo zavírají. Otevírání tzv. klapek umožní lepší ventilaci okolního vzduchu a tím dosažení potřebné regulace teploty. Systém také může pracovat s inteligentními materiály, jako jsou materiály s tvarovou pamětí, změnou barvy popř. změnou fáze. [1]

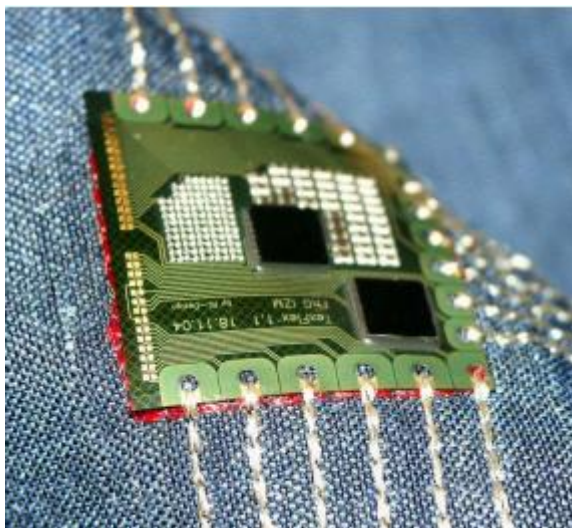
2 Systémy a principy pro detekci přítomnosti osob

Tato kapitola se zabývá systémy detekce osob na plošných textiliích na základě provedené rešerše z elektronických zdrojů obsahujících texty publikací, zaměřující se na problematiku Smart textilií. Následující text zahrnuje vysvětlení základních principů systémů a vhodnost jejich použití.

2.1 Flexibilní elektronické moduly

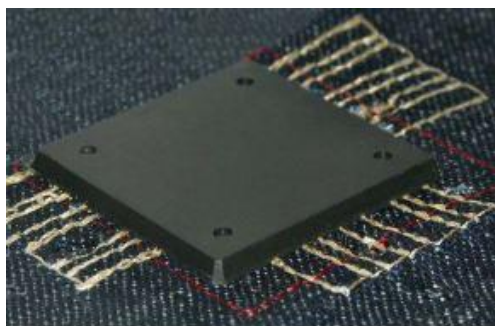
Tento mechanismus byl vyvinut pro integraci elektroniky do textilu metodou vsívání flexibilních elektronických modulů pomocí vodivé příze. Hlavním důvodem bylo testování substrátů s cílem zvětšit vodivost propojení za určitých podmínek a otestovat životnost kontaktů. Kromě životnosti čipu lze také zkoumat různá zatížení jednotlivých součástí. Nakonec bylo dosaženo výsledků, které vedly k dobrému zprostředkování zapouzdření a zlepšení spolehlivosti celého systému. [2]

Na obrázku 2.1 je znázorněna struktura oboustranného, flexibilního plošného spoje z polyamidu o velikosti 25 x 25 mm. Plošný spoj obsahuje ve své struktuře 17 μm mědi, 5 μm niklu, zlata a 15 μm odporové vrstvy. Následně podél třech okrajů je 18 kontaktních míst, které jsou propojeny s textilií. [2]



Obr. 2.1 Flexibilní elektronický modul o velikosti 25 x 25 mm, převzato [2]

Zapouzdření modulu je nezbytnou složkou, která zvyšuje životnost elektronických součástí a ve své podstatě také zlepšuje propojení vodivých kontaktů. Zapouzdření je prováděno procesem tváření, díky kterému se dosahuje zlepšení požadavku na geometrii. Při procesu tváření je kladen především důraz na plochost materiálu a jeho výborného zpracování. Jinak může docházet k nepřesnému nanesení. Vytvrzování probíhá při teplotě 160 – 185 °C. Ukázka zapouzdřeného modulu je na obrázku 2.2 [2]



Obr. 2.2 Zapouzdřený flexibilní elektronický modul, převzato [2]

V neposlední řadě je třeba se zamyslet nad využitelností celého systému flexibilních elektronických modulů. Z řady výzkumů vyplývá, že za určitých podmínek tyto systémy vykazují velmi dobré vlastnosti a dané substráty se prokazují trvanlivými rysy. I přesto se vnučuje otázka, zda je systém plně optimalizován a odpovídá možnostem pro využití v praxi.

Podle článku „*Embroidering Electrical Interconnects with Conductive Yarn for The Integration of Flexible Electronic Modules into Fabric*“ je zatím otázkou času, zdali se celý systém optimalizuje tak, aby měl např. využití ve zdravotnictví ke snímání EKG nebo v různých modifikacích jako snímače v podlaze. Autoři článku se také zamýšlí nad otázkou, zda jsou zrychlené metody testování životnosti modulů optimální. [2]

2.2 Aktivní ochrana v interiéru vozidla

Insitex neboli „*Aktive Insassen – Sicherheit durch Intelligente Technische Textilien*“ je projekt, který se věnuje aplikaci inteligentních textilií v automobilovém průmyslu s ohledem na zvýšení aktivní bezpečnosti cestujících.

Inovativní využití vede k ochraně proti autonehodě a je realizováno různými snímacími prvky, které jsou instalovány do složek interiéru vozidla, jako jsou sedadla, volant, strop atd. Tyto bezpečnostní prvky snímají např. stav řidiče, nebo jeho bdělost. Projekt se zaměřuje na vývoj „*Crimp*“ technologie, která umožňuje propojení izolovaných vodičů integrovaných do textilie s elektronickými systémy. V tomto optimalizovaném procesu se vylisuje tenký kov, který se použije na propojení kontaktu a speciálního tenkého drátu vetkaného do textilie. [3] Výsledek tohoto propojení je zachycen na obrázku 2.3

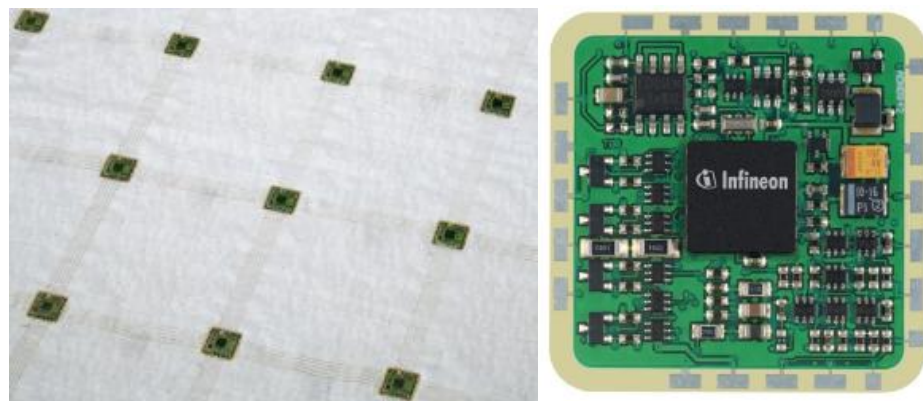


Obr. 2.3 Izolovaný vodič integrovaný do textilie, převzato [4]

2.3 Koncept Smart koberce

Další zajímavou aplikací sloučení technických textilií a mikrosystémů je použití Smart koberců. Pro takové koberce lze najít velké uplatnění např. v systémech pro detekci pohybu, bezpečnostních a naváděcích systémech popř. jako světelné indikátory na podlaze atd. [5]

Jedním významným systémem je ADNOS (algorithmic device network organization system). Tento síťový systém, který je zobrazen na obrázku 2.4, pracuje samostatně pomocí mikroprocesorů rozložených v pravidelné mřížce textilie. Síť modulů je navzájem propojena vodivými vlákny, aby byl možný datový přenos a napájení. Hlavní požadavek takového konceptu je odolnost zařízení proti chybám a vadám modulů při jejich výrobě. Dalším nárokem je, aby mohla být síť mikroprocesorů umístěna do prostoru v libovolného tvaru. S tím jsou samozřejmě spojeny požadavky na nízké náklady a výrobu. [5]



Obr. 2.4 Mikroprocesorové moduly integrované do tkaniny, převzato [6]

2.3.1 Integrace elektroniky

Smart textilie je vyrobena z polyesterové tkaniny pokryté moduly mikroprocesorů. Vzájemné propojení je realizováno postříbřenými vodiči, které se do tkaniny proplétají a jejich výsledná rezistivita je $0,4 \Omega \cdot m$. V místě, kde se vodiče překřičují, dojde k ořezu části vodivých cest, aby se následně mohl umístit modul. Tento proces uchycení modulu na povrch tkaniny se nazývá lepení. Ke spojení modulu a polyesterové tkaniny se používá anizotropní vodivé lepidlo. Moduly jsou následně zapouzdřeny, aby došlo ke snížení namáhání a přechodového odporu na kontaktu.[5]

2.3.2 Použití Smart koberce

Smart koberce lze v praxi využívat v širokém spektru odvětví. Například ve zdravotnictví, bezpečnostních a navigačních systémech, světelných indikátorech v podlaze a mnoha dalších prospěšných aplikacích.

Smart koberec lze také využít v domácnostech jako alarm a zároveň pro ovládání ovzduší a osvětlení interiéru. Takto nainstalovaný systém se používá při vstupu do místnosti. Vstupem do místnosti dojde k aktivaci osvětlení, nebo k sepnutí vytápění popřípadě klimatizování místnosti. Další možné uplatnění je jako inteligentní systém ochrany osob. V tomto případě je systém schopen detekovat pád osoby na zem, a pokud se dotyčná osoba nehýbá, tak odešle nouzovou zprávu (vhodná aplikace pro seniory). [5] Systém by mohl být zaveden na lůžkách v institucích zabývajících se péčí o zdravotně postižené osoby.

2.4 Kapacitní snímače tlaku

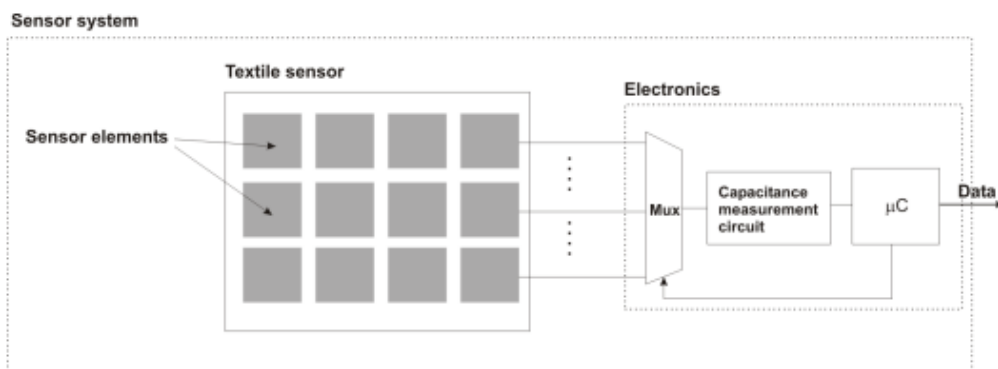
Kapacitní snímače tlaku mají v praxi enormní využití. Pro naše účely se tyto snímače používají při sledování například svalové aktivity lidského těla, snímání tlaku při sezení a lze s nimi měřit i tlak v určitých bodech lidského těla po delší časový úsek. Snímače musí splňovat následující požadavky. Měly by být lehké, pružné a pohodlné pro uživatele. Dalším důležitým faktorem je i umístění snímače, které by mělo být v přímém kontaktu s kůží uživatele bez jakéhokoliv kontaktu s jiným materiálem. Zásah jiné látky může nepříznivě ovlivnit měření. S tímto požadavkem nastává problém s nalezením vhodného materiálu pro snímač určený ke kontaktu s kůží. Snímač nesmí být z materiálů, které mohou vyvolat podráždění kůže, jako je např. nikl, kobalt a zlato. [7, s. 10]

2.4.1 Přehled systému

Rozsahy měření tlaku jsou definovány pro různé aplikace. Pro představu např. měření tlaku vyvolané při sezení na židli dosahuje až 3 N/cm^2 v oblasti pánevní kosti. Mezitím se svalová činnost pohybuje v rozmezí od 0 do 1 N/cm^2 . [7, s. 12]

Měřicí systém, jak je znázorněno na obr. (2.5), obsahuje dvě samostatné části. Část na obrázku vlevo je pole textilního snímače, část vpravo představuje měřicí elektroniku. Snímač může být tvořen jedním nebo více snímacími prvky. Elektrický signál je při dotyku snímače

směřován pomocí vodičů k měřicí elektronice a výstupní data jsou následně zpracována počítačem.



Obr. 2.5 Zjednodušené schéma systému snímače, převzato [7]

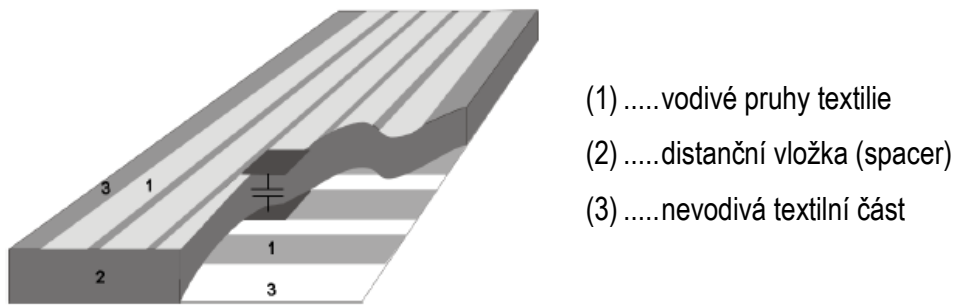
Pole textilního snímače se skládá z třívrstvé struktury obsahující proměnlivé kondenzátory. Obecně jde o princip měření kapacity rovinného deskového kondenzátoru C , která závisí na ploše S , permitivitě dielektrika ε a vzdálenosti desek d , v tomto případě vzdálenosti textilních vrstev mezi sebou.

$$C = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \cdot \frac{S}{d} \tag{2.1}$$

Desky kapacitního snímače jsou vyrobené z vodivé textilie. Pokud mezi nimi dojde ke stlačení, změní se vzdálenost d jednotlivých vrstev a tím se změní i výsledná kapacita snímače. [7, s. 13]

2.4.2 3-vrstvá struktura systému

Textilní část kapacitního snímače tlaku se skládá ze tří vrstev (2.6). Vrchní část reprezentují elektrody, které jsou vetkané do textilie pomocí vodivé příze. Vodivé elektrody mají tvar obdélníkových pruhů vetkaných do textilie ve směru útku (soustava nití probíhající napříč tkaninou). Takto vytvořené vodivé pruhy jsou 2 cm široké a jsou od sebe odděleny 2 mm nevodivé části textilie, aby bylo dodrženo řádné tloušťky izolace mezi jednotlivými pruhy. Vodivá vlákna jsou tvořena měděnými vodiči o tloušťce 40 μm pokovených stříbrem. Vodivé pruhy neslouží jen jako elektrody, ale fungují také jako vodiče pro směřování signálu. Každá elektroda snímače musí být navíc připojena odděleně. Na okraji textilie jsou připojena čidla, která jsou řízena pomocí připojené elektroniky. [7, s. 13]



Obr. 2.6 Schéma 3vrstvé struktury kapacitního snímače, převzato [7, s. 14]

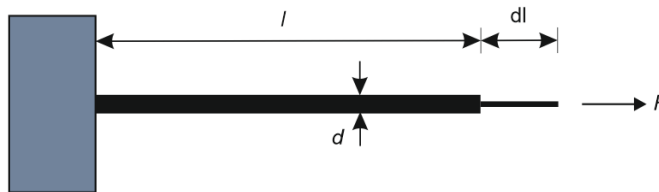
Mezi elektrodami je distanční vložka, znázorněna na obrázku 2.6. Jde takzvaně o polyesterovou pěnu. Tento distanční prvek odděluje vrchní a spodní část elektrod a tím tvoří prostor, který je dobře stlačitelný. Stlačením se následně dobře uplatní jev deskového kondenzátoru, kterým je změna kapacity při zatížení. Pro různé použití lze samozřejmě uplatnit i různé tloušťky tohoto materiálu. Distanční materiál se vyrábí např. v Německu a jde o 3D pleteninu složenou z polyesterových nití. Testovaná polyesterová pěna je použitelná pro měření tlaku v rozmezí od 0 do 10 N/cm². [7, s. 20]

2.5 Tenzometrické snímače

Tenzometr je odporový snímač, neboli pasivní elektrotechnická součástka využívající k měření mechanického napětí na povrchu, tzv. piezorezistivního jevu. Princip je založen na změně odporu při mechanickém namáhání tělesa. Při deformaci dochází k pružným změnám na povrchu materiálu, a tím se mění i elektrický odpor. Tenzometry se podle použitého materiálu dělí na kovové a polovodičové. [8]

2.5.1 Princip odporového tenzometrického snímače

Princip odporového tenzometrického snímače (2.7) si můžeme představit při deformaci odporového drátu o délce l , průřezu S (průměru d) a měrném odporu ρ , který je podroben účinku síly F tak, že se prodlouží o délku Δl .



Obr. 2.7 Princip odporového tenzometrického snímače, převzato a upraveno [9]

Původní odpor vodiče $R = \rho l / S$ se vlivem působící síly F změní o ΔR jako důsledek změny jeho délky o Δl , průřezu o ΔS a vlivem strukturálních změn i měrného odporu o $\Delta \rho$. [8] Pro malé změny bude následně platit:

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta \rho}{\rho} + \frac{\Delta l}{l} - \frac{\Delta S}{S} \quad (2.2)$$

2.5.2 Druhy tenzometrických snímačů

Z hlediska použitého materiálu lze tenzometrické snímače rozdělit na dva druhy [10]:

- Kovové tenzometry
- Polovodičové tenzometry

Kovové tenzometry

U kovových odporových tenzometrů je měrný elektrický odpor jejich materiálu prakticky nezávislý na deformaci, tedy veličina ρ je konstantní. Na změny odporu kovového tenzometru mají pak vliv jen rozměry jeho vodiče. Vodič je obvykle tvořen z konstantanu, protože má velmi malou závislost el. odporu na teplotě. Vodič může být realizován jako drátek o průměru 0,01 až 0,05 mm, který je nalepen ve tvaru mnohonásobné vlásky na nevodivé podložce. Kromě tohoto způsobu, se také často používají tenzometry foliové, u nichž je vodičem kovová fólie (tloušťky kolem 0,001 mm) na nosné izolační podložce. [9]

Tenzometry je možné také realizovat pomocí vrstevové technologie, která je charakteristická svojí strukturou a tloušťkou vytvořené vrstvy. Podle tloušťky a způsobu nanášené vrstvy rozlišujeme dvě základní technologie: a) tlustovrstvá - typická pro nanášení

vrstev pomocí sítotisku, b) tenkovrstvá - k nanášení vrstev dochází vakuovým napařováním nebo katodovým napařováním.

Tlustovrstvé tenzometry

Jako nosný substrát se obvykle u tlustovrstvé technologie uplatňuje korundová keramika (Al_2O_3), ale je možné použít i jiné materiály, včetně plastů. Tato technologie v praxi umožňuje realizaci vodivých, odporových a dielektrických vrstev. Vrstvy se vytváří přidavným způsobem (sítotiskem) a pak následuje vypálení při teplotě okolo 850 °C. Nanášený materiál je přidáván ve formě pasty. Tloušťka výsledné vrstvy je cca 0,001 mm. [10]

Tenkovrstvé tenzometry

Pro nanášení tenkých vrstev bylo vyvinuto velké množství metod. Nejpoužívanějšími z nich jsou vakuové napařování a katodové napařování. Tenkovrstvé tenzometry při vakuovém napařování dosahují odporové vrstvy řádově 0,0001 mm. Metoda pro výrobu tenkovrstvých tenzometrů se vyznačuje především jejich vysokou odolností, a proto jsou vhodné pro měření vysokých tlaků.[10]

Polovodičové tenzometry

Polovodičové tenzometry jsou vytvořené difúzí nečistot do tenké vrstvy čistého křemíku. Mechanické namáhání krystalické mřížky ovlivňuje výrazně pohyblivost nosičů náboje a tím i měrný odpor materiálu tenzometru. Závislost poměrné změny odporu [9] na prodloužení je vyjádřena rovnicí:

$$\frac{\Delta R}{R_0} = k_1 \cdot \varepsilon + k_2 \cdot \varepsilon^2 \quad (2.3)$$

k_1, k_2 - jsou konstanty vyjadřující vlastnosti tenzometru (hodnoty pro znečištění např. borem $k_1 = +130, k_2 = +2500$)

Snaha o zvýšení citlivosti snímačů vedla k náhradě kovových tenzometrů za tenzometry polovodičové. Tím se dosáhlo zvýšení citlivosti, ale problémy s lepením

tenzometrů zůstaly. Dalším problémem těchto snímačů je teplotní závislost. Proto jsou tyto tenzometry nejvhodnější pro měření malých tlaků.

2.6 Způsoby realizace textilních obvodů

Pokud se zamyslíme nad původní myšlenkou využití textilních obvodů a realizací vodivých přízí do textilií, tak je zřejmé, že jejich významnou výhodou je flexibilita. Toho lze samozřejmě u konvenčně aplikovatelných desek plošných spojů dosáhnout jen do určité míry. Běžně vyráběné desky plošných spojů jsou tvořeny vícevrstvou strukturou obsahující pláty mědi a organické vrstvené materiály, jako jsou epoxidové či fenolové pryskyřice. A ty jsou ohýbatelné v malém rozsahu. V mnoha aplikacích je kladen důraz na flexibilitu těchto spojů a především životnost. Vytvoření flexibilních DPS bylo zajištěno pomocí tištění vodivých cest na polymerové substráty v podobě tenkých filmů. Obvody na bázi tkanin nabízejí mnohé výhody ve formě větší flexibility v ohybu i smyku, odolnost proti roztržení, stejně tak i větší odolnost proti mechanické únavě materiálu při opakované deformaci. [1, s. 239]

Mezi jednotlivé výrobní procesy podle literatury [1, s. 240] patří výroba obvodů pomocí vyšívání vodivých vláken na textilním substrátu. Dále tkaní a pletení vodivých, nevodivých vláken a tisk nebo nanášení pomocí chemického vzorování vodivých prvků.

2.6.1 Vyšívání

Při vyšívání se jednotlivé vzory tvoří pomocí určitého materiálu např. vodivých přízí nebo nití, které se následně všívají do vhodných substrátů. Obvody mohou být vytvořeny ručním šitím nebo pomocí počítačem řízeného vyšívacího stroje (např. Tajima, Bernina). Vhodné substráty pro vyšívání se tvoří s izolačních materiálů, které mohou být tkané, netkané nebo pletené. Jednou z velkých výhod procesu tvorby tkaniny obvodu na látce je vyšívání vláken do jakéhokoliv tvaru bez ohledu na dráhu příze ve tkanině. S tím je spojena další výhoda, a to nenáročnost počáteční příprava samotného strojového vyšívání. Na rozdíl od tkaného obvodu, kdy musí být před započítím tkaní vodivá vlákna vhodně umístěna ve směru osnovy. [1, s. 241]

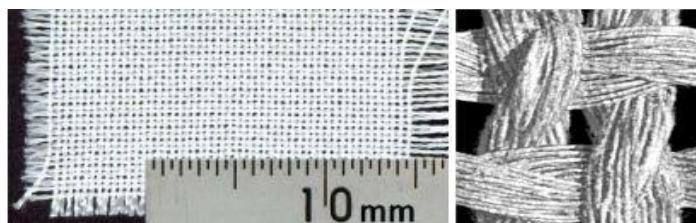
Vyšívání, jako textilní proces, je velice náchylné na různé mechanické namáhání, které vzniká při šití vodivých vláken na látku substrátu. Vodivá příze se setkává s různou úrovní namáhání a tření. To vyžaduje vyšívací nit s relativně vysokou pevností a pružností vzhledem k napětí, které vzniká jako důsledek ohybu a smyku. Zároveň musí být dodržen bezpečný

steh. [1, s. 241]. Pro snížení tření přes průvlaky se aplikuje na nitě a příze silikonová nebo parafínová preparace.

Jednou z hlavních nevýhod je, že při realizaci elektrického obvodu na substrátu vyšíváním, není možné vytvořit více vrstvou strukturu obvodu obsahující vodivá vlákna, která by procházela přes různé vrstvy. Průchod vodivých vláken příčně přes různé vrstvy umožňují metody, které se využívají při procesu tkaní a pletení. Mimo jiné, jak již bylo zmíněno výše, může docházet ke značnému namáhání, které by vedlo ke zničení vodivých cest. Vzniklé nehomogenity jsou u vyšívání obvodu nepřijatelné. Jak je uvedeno ve zdroji [1, s. 241], opravené nespojitosti sebou nesly problémy s případnou dodatečnou impedancí. S tím se bohužel můžeme setkat i u procesů vývoje obvodu jako je tkaní a pletení. Jsou ale méně časté ve srovnání s metodou šití.

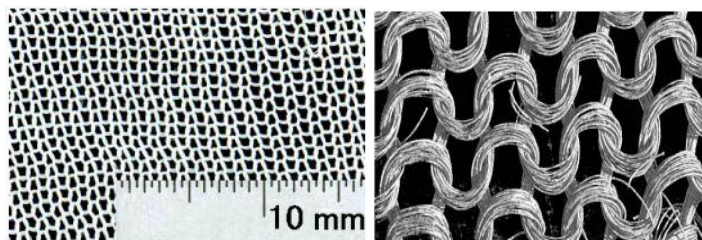
2.6.2 Tkaní a pletení

Vytvoření elektrického obvodu metodou tkaní se provádí tak, že se vodivá vlákna vetkají do textilie podélně spolu s nevodivými. V procesu tkaní máme dvě ortogonální sady vláken, osnovní a výplňová, které se vzájemně prokládají. Osnovní vlákna leží v podélném směru tkaniny a jsou rozdělena do dvou vrstev, čímž se vytvoří ortogonálně prokládaná cesta. Vzniklá cesta je poté připravená pro další sadu přízí (útek). Tkaní elektrických obvodů může být provedeno na běžných tkacích strojích, za předpokladu vhodné modifikace, díky které je možné vytvářet zmiňované tkané elektrické obvody. Následná úprava, musí být přizpůsobena tkaní s vodivými vlákny. Další důraz je kladen na vysoký stupeň kontroly v umístění vodivých prvků. Pro dané obvody tento nárok zajišťuje tzv. „*jacquard system*“, který kontroluje každou osnovní nit za účelem nejpřesnějšího proplétání. Tento systém umožňuje vytvoření komplexních vzorů na tkaninách obvodů automatizovaným způsobem. Jedním z omezení procesu tkaní pro výrobu elektrických obvodů je, že musí být vodivá vlákna umístěna na předem určených místech ve směru osnovy a zároveň i osnovní vál při seřizování stroje. [1, s. 242]



Obr. 2.8 Vzorek vyrobený procesem tkaní, převzato z [11]

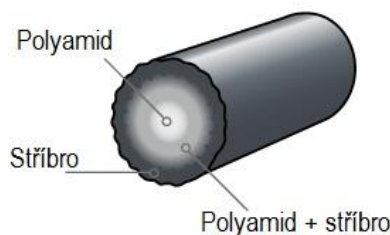
Pletení je vhodné pro tvorbu tkaniny na bázi elastického snímače, kdy dochází při mechanickém napětí na povrchu substrátu ke změně odporu v pletených vodivých přízích. Takovou změnu odporu lze velice jednoduše měřit a systém je možné dobře integrovat např. do prostěradla pro zjištění přítomnosti osoby. U běžných pletacích strojů mohou být vodivá vlákna vplétána do textilie jen v jednom směru, tj. přímém nebo kolmém. Z tohoto důvodu se přenosové cesty vytvoří pletením, jen když jsou proloženy nevodivými vlákny. Pletené materiály jsou ve většině případů pružné a předpokládá se, že budou vykazovat variabilitu impedanční charakteristiky vzhledem k otevírání a uzavírání vodivé smyčky. V zájmu zachování vodivosti prvku v pletené struktuře se může také vložit vodivé vlákno ve směru předmětu tak, že je vodivá příze vložena do tkaniny mezi dvěma substráty vytvořených z nevodivých vláken. [1, s. 244]



Obr. 2.9 Vzorek vyrobený procesem pletení, převzato z [12]

2.6.3 SilveR.STAT[®] monofilová lineární textilie

Textilní materiál SilveR.STAT je vodivé a antibakteriální vlákno, které je díky svým vlastnostem vhodné pro použití na textilní elektrody lineárních textilií. Vodivé vlákno je tvořené polyamidem s příměsí stříbra. Stříbro, jako ušlechtilý kov bílé barvy, se vyznačuje nejvyšší elektrickou a tepelnou vodivostí ze všech známých kovů. Díky těmto vlastnostem a dále také vlastnosti antiseptické se takto upravené tkaniny velice dobře hodí pro použití ve zdravotnictví. Vodivá vrstva stříbra navíc neovlivňuje původní vlastnost polyamidového vlákna. [13]



Obr. 2.10 Struktura SilveR.STAT vlákna, upraven a převzato z[13]

Aplikace polyamidového vlákna s příměsí stříbra má nepřeberné využití. Například se používá v ochranném oblečení k eliminaci statického náboje, dále jako sterilní lékařské textilie, průmyslové netkané textilie nebo pro elektromagnetické stínění.[13]

Přibližné parametry vlákna Silver.STAT 6.7 dTex, nevztahující se na finální produkt, jsou zobrazeny v tabulce 2.1.

Tab. 2.1: Vlastnosti vlákna Silver.STAT [13]

Proces	Zachování vlastností
Stárnutí	Po 1000h sušení při 60 °C a 70% relativní vlhkosti
Natahování	Dokud nedojde ke zničení
Praní	Po více než 50 pracích cyklech s normalizovaným pracím prostředkem, prané při teplotě vody 90 °C
Teplota	Závisí na polyamidu

3 Zhodnocení systémů pro detekci přítomnosti osob

Třetí kapitola se věnuje zhodnocením systémů pro detekci přítomnosti osob a diskutuje výhody a nevýhody použití jednotlivých systémů uvedených v teoretické části této diplomové práce. Hodnocení, které je zpracované i graficky v tabulce 3.1, je rozděleno na 3 základní systémy. Jde o detekci přítomnosti na bázi kapacitního a tenzometrického snímače, které jsou ještě doplněné o tzv. Smart koberec. Pro přehlednější vyhodnocení odpovídajících vlastností každého snímače je navíc tabulka rozdělena podle použité technologie výroby podrobněji obsažené v kapitole 2.6. Tabulka dále obsahuje již zmíněné důležité vlastnosti, na které je kladen veliký důraz při použití v praxi. Díky nim můžeme tyto systémy rozdělit do různých částí oborů, kde mohou být v závislosti na svém přednostech vhodně aplikovány. K vyhodnocení vzorků je použit škálový systém, který je navíc rozlišen barevně pro větší přehlednost.

3.1 Zhodnocení kapacitních snímačů

Kapacitní snímače tlaku jsou porovnány podle použité technologie výroby. Snímač může být vytvořen procesem vyšívání nebo pletení. Tyto následující technologie mají různé přístupy k tvorbě snímačů a implementace do tkaniny, díky kterým je lze vzájemně porovnat. U každé techniky jsou uvedeny základní rysy popisované technologie, jako je např. mechanická odolnost, odolnost vůči praní, integrace do textilie apod. U obvodů tvořených pomocí vyšívání je očekávaná mechanická pružnost a odolnost poměrně horší než u obvodů pletených, protože elektrody vyšívání mají značnou šířku, která ovlivňuje jejich odolnost. Náklady jsou také výrazně vyšší u metody vyšívání. Na druhou stranu má vyšívání výhodu v komplexnějším směřování jehly na šicím stroji. Dalším důležitým faktorem kapacitních snímačů je snadnost a komfort použití. Pokud budeme např. sledovat svalovou aktivitu lidského těla nebo snímat velikost tlaku při sezení, je potřeba, aby byly snímače lehké, pružné a pohodlné pro uživatele. Oba systémy se vyznačují dobrou detekcí přítomnosti osoby, ale mohou být ovlivněny vlhkostí lidské pokožky. To je také předmětem zkoumání při měření tohoto systému. [14]

3.2 Zhodnocení tenzometrů

Tenzometrické snímače jsou také porovnány podle použité technologie při jejich výrobě, která se dělí na vyšívání a pletení. Pokud budeme vzájemně pohlížet na tyto dva typy snímačů uvedené v tabulce hodnocení vlastností 3.1, zjistíme, že se rysy těchto systémů značně liší. Z tabulky jasně vyplývá, že jednotlivé vlastnosti vyšíváního snímače jsou v některých případech i o 2 škály hodnocení horší než u snímače pleteního. Je tomu tak např. u mechanické odolnosti, která je mnohem menší než u snímače z pleteniny. Komfort použití vyšíváního snímače je opět horší v porovnání se snímačem pleteným, protože povrch vyšíváního snímače bývá hrubší a při obsazení působí nekomfortním dojmem. Pletený snímač naopak vychází z uvedených vlastností nejlépe dokonce i v porovnání s kapacitními snímači. Ze všech zkoumaných rysů vychází výborně, a to se potvrdilo i při testování navrženého systému.

3.3 Porovnání použitých systémů

Do hodnocení snímačů pro detekci přítomnosti osob byly zahrnuty tyto systémy: kapacitní, tenzometrický a Smart koberec. Vyhodnocení bylo provedeno pomocí škálového systému uvedeného v tabulce 3.1. Kapacitní a tenzometrický systém, se kromě použitých vlastností, dále dělí podle technologie výroby snímače. Snímače mohou být vyrobeny procesem pletení nebo vyšívání. Tabulka je dále rozdělena na šest základních vlastností, které jsou důležité pro zkoumání plošných snímačů detekce přítomnosti. Hodnocení vychází jak z použité literatury, tak i ze zkušeností s měřením navržených systémů.

Z tabulky 3.1 je patrné, že nejlépe hodnoceným systémem pro detekci přítomnosti je pletený tenzometrický snímač. To se potvrdilo i při měření tohoto systému, který se jevil jako velice stabilní a navíc se u něj neprojevil vliv parazitní vlhkosti. Druhým systémem, který také vyšel velice dobře, je pletený kapacitní snímač. Z toho plyne, že pletené snímače mají lepší vlastnosti než snímače vyšívané a to z hlediska komfortu, ale i jejich odolnosti.

Třetím systémem je Smart koberec, který také vykazoval velice dobré vlastnosti, ale pokud se bude používat tento systém jako síť samostatně pracujících mikroprocesorů integrovaných do celé plochy koberce, tak se jeví jako nepřijatelný v odolnosti vůči praní. Tato jedna vlastnost sice podráží celkové hodnocení tohoto systému, ale protože je v praxi používán za jiných okolností, tak lze říci, že vykazuje velice dobré vlastnosti. Především pokud se jedná o přesnost detekce přítomnosti osob, která je pro tento systém klíčová.

Tab. 3.1: Hodnocení vlastností jednotlivých systémů pro detekci přítomnosti osob

System	Použitá technologie výroby snímače	Mechanická Odolnost	Odolnost vůči praní	Možnost integrace do textilií	Přesnost detekce přítomnosti	Snadnost použití	Komfort použití	Hodnocení (pořadí)
Kapacitní	Vyšívání	dobré	dobré	dobré	dobré	velmi dobré	dobré	5
	Pletení	vynikající	vynikající	velmi dobré	velmi dobré	vynikající	vynikající	2
Tenzometrický	Vyšívání	dobré	dobré	dobré	velmi dobré	velmi dobré	dobré	4
	Pletení	vynikající	vynikající	velmi dobré	vynikající	vynikající	vynikající	1
Smart koberec		velmi dobré	nepřijatelné	velmi dobré	vynikající	velmi dobré	vynikající	3

Pozn.: hodnocení systémů: 1 – vynikající, 2 – velmi dobré, 3 – dobré, 4 – přijatelné, 5 – nepřijatelné

4 Návrh systému pro detekci přítomnosti osob

Hlavním cílem této části diplomové práce bylo navržení a realizace systémů pro detekci přítomnosti osob. Při návrhu byly využity poznatky o jednotlivých systémech, které jsou uvedené v teoretické části této práce. Ve spolupráci s katedrou KET technologií a měření byly ověřeny vlastnosti třech systémů. Jednalo se o dva kapacitní a jeden tenzometrický snímač přítomnosti osob. Po realizaci jednotlivých snímačů se vyskytly drobné problémy, které měly vliv na správnou funkci snímače. U kapacitního snímače přítomnosti, který byl tvořen dvěma kusy pleteniny a oddělovací distanční vložkou z polyesterové pěny nastal problém s vodivým propojením jednotlivých cest, které byly realizované vláknem typu SilveR.STAT [13]. Navíc vývody od vodivých cest, našité na kusu tkaniny, byly zakončeny pouze zbytky vodivých nití. Ty samozřejmě nevyhovovaly pro následující měření, u kterého byla potřeba zajistit dobrého vodivého připojení měřicího přístroje na textilní elektrody tohoto systému. Problém byl vyřešen pomocí tzv. textilních druků, které byly připevněny do každého rohu textilie, kde se křížovaly vodivé cesty. Tímto jednoduchým postupem došlo ke zlepšení celkového propojení jednotlivých cest a vyřešil se i problém s připojením měřicího přístroje, protože na nově připevněné druky lze jednoduše připájet měřicí kabely. Stejný problém se vyskytl i u tenzometrického snímače, který je tvořen také již zmiňovaným SilveR.STAT vláknem. Samotné vlákno ale samozřejmě nemá vliv na tyto nedokonalosti. Popisovaný problém pravděpodobně vznikl při prošívání flexibilní textilie. Právě díky pružnosti použité textilie dochází ke složité manipulaci při vyšívání vodivých cest, a tím i v některých místech k nedokonalému vodivému spojení.

4.1 Systémy pro detekci přítomnosti osob pomocí kapacitního snímače

Jak již bylo předesláno, došlo k realizaci 2 typů kapacitních snímačů. Snímače tohoto typu je možné v praxi využít pro detekci přítomnosti osob. Velkou výhodou je jejich struktura, kterou lze velice dobře upravovat vzhledem k nejrůznějším požadavkům a nárokům na jejich umístění. Např. snímač vložený do sedadla hromadné dopravy může být navíc upraven tak, že při jeho zatížení (obsazení) dojde k aktivaci tepelného vyhřívání sedadla. Další možností těchto snímačů je vybavení vlhkostními čidly, která mohou snímat příslušnou vlhkost daného snímače. To je velice důležité, protože se kapacita snímačů může v závislosti na vlhkosti měnit. Zkoumání vlivu vlhkosti na kapacitní snímače je také jedním z cílů této diplomové práce.

První typ kapacitního snímače, který bude testován, je vytvořen z monofilové plošné textilie šedé barvy obsahující 30% SilveR.STAT, 30% Shieldex a 40% bavlny (obr. 4.1) Vzorek je vyroben textilně strojírenskou firmou VÚB a.s. sídlící v Ústí nad Orlicí. Textilie byla použita k příslušným elektrodám a polyuretanové pěně o šíři 1,9 cm jako distanční materiál mezi elektrody kapacitního snímače. Výhodou tohoto snímače je vodivá pletenina, u které není nutné vyvádět kabely pro měření. Měřicí svorky lze jednoduše připojit na kterékoli místo na tkanině.



Obr. 4.1 Kapacitní snímač z monofilové plošné textilie

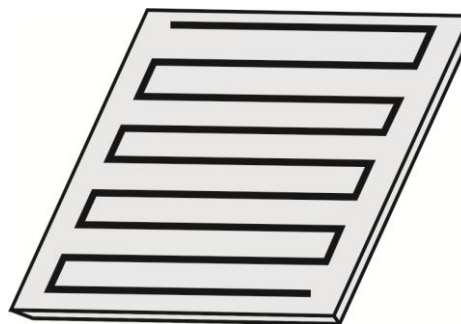
Druhým typem vzorku pro detekci přítomnosti, který byl realizován, byl 3 - vrstvý kapacitní snímač obr. 4.2. Jedná se o textilii složenou ze dvou pletenin, do kterých jsou vpleteny vodivé pruhy šedé barvy skládající se z pěti řádků vytvořených z vodivých monofilamentových vláken SilveR.STAT. Vodivé pruhy horní vrstvy jsou kolmé na vodivé pruhy spodní pleteniny. Každá z vrstev představuje elektrodu kapacitního snímače. Prostor mezi elektrodami je opět vyplněn pružnou distanční vložkou z polyuretanové pěny, tentokrát o šíři 4 mm. Pro různá použití lze uplatnit příslušné tloušťky tohoto materiálu. Po obvodu obou vrstev pleteniny jsou realizovány sběrné elektrody z hybridní šicí vodivé nitě na bázi mosazi. Pro účely měření byl vzorek opatřen vodivými, poniklovanými, nýtovacími druky. Schéma tohoto systému je jednoduše znázorněno na obrázku 2.6.



Obr. 4.2 3 – vrstvý kapacitní snímač

4.2 Systémy pro detekci přítomnosti osob pomocí tenzometrického snímače

Další realizace systému pro detekci přítomnosti je snímač, který pracuje na principu tenzometru. Tento testovací vzorek je vytvořen na bázi pleteniny, do které jsou vetkány vodivé pruhy z monofilamentového vlákna Silver.STAT vykazující významný tenzometrický efekt. Pro dosažení co největší změny odporu, bylo mezi jednotlivými pruhy realizováno prošití tak, aby vznikl vodivý motiv zobrazený na obr. 4.3. Tento snímač je založen na principu změny odporu při mechanickém namáhání. Při natažení textilie dochází k pružným změnám na povrchu materiálu, a tím ke snížení elektrického odporu. Pletenina vyrobená z jednoho kusu textilie je velmi elastická a díky tomu vhodná pro snímání mechanického namáhání.



Obr. 4.3 Schéma vodivého motivu

Nutno podotknout, že při natažení vodiče se odpor zásadně zvyšuje, ale u pleteniny, jako na obrázku 4.4, nedochází vlivem natažení ke zvětšení odporu, ale k jeho snížení. Tento jev nastává z jednoho důvodu. Pokud se podíváme na obr. 2.9, kde je znázorněna struktura vzorku vyrobeného procesem pletení, zjistíme, že struktura je tvořena propletenými oky, která se při zatížení vzájemně více stlačí a tím se významně sníží přechodový odpor mezi jednotlivými vlákny. Vpletená vodivá vlákna se tedy také vzájemně stlačí, a tím dojde ke zvýšení jejich vodivosti. Následujícím efektem pak je, že odpor zatěžované textilie klesne.



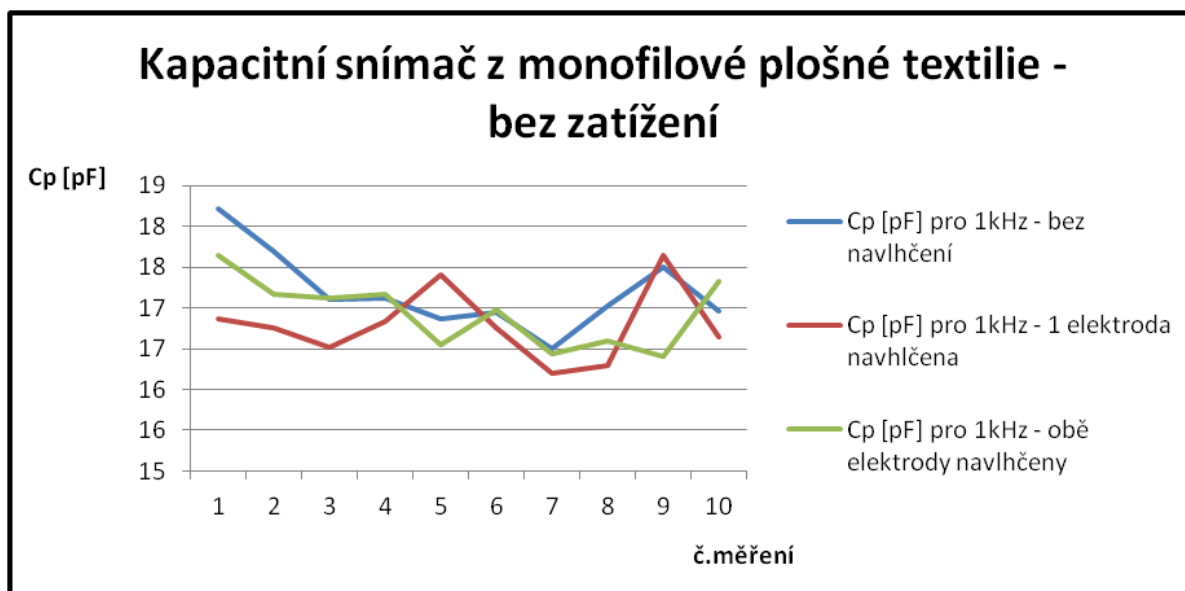
Obr. 4.4 Tenzometrický snímač přítomnosti

5 Testování a kritické zhodnocení navrženého řešení

Tato část je věnována testování a měření navržených systémů, které jsou obsažené v kapitole č. 4. Měření příslušných systémů bylo provedeno v laboratoři na Západočeské univerzitě v Plzni ve spolupráci s katedrou technologií a měření.

5.1 Testování navrženého systému a jeho optimalizace

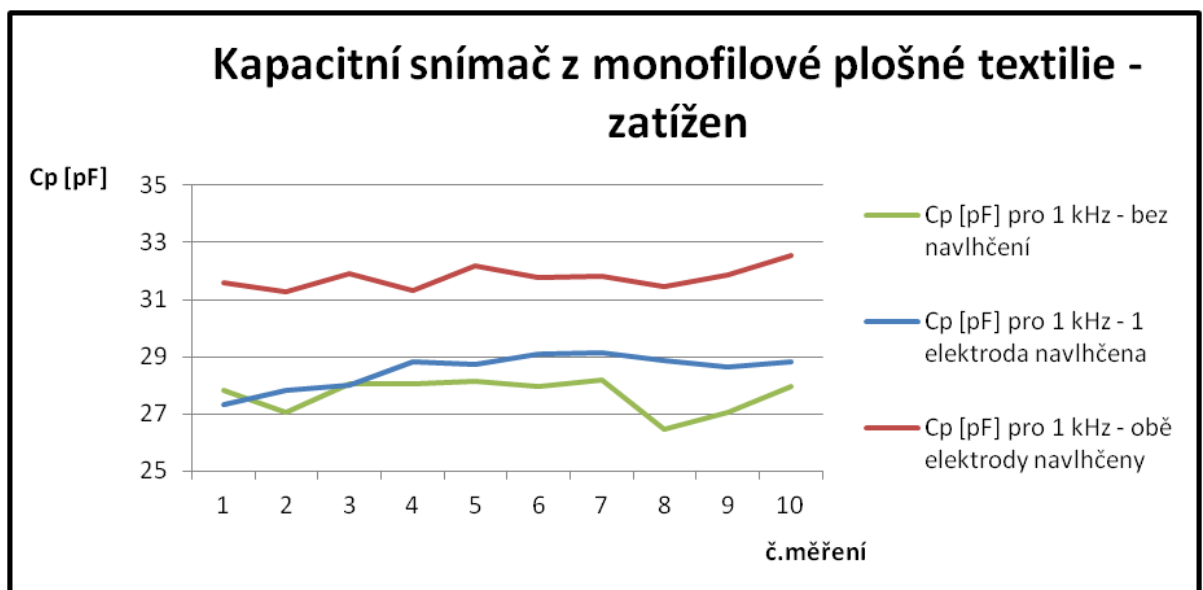
První měření bylo provedeno na kapacitním snímači z monofilové plošné textilie obr. 4.1. Snímač byl vystavován zátěži o hmotnosti 5 kg. Následně byly zaznamenány hodnoty kapacity a disipativní faktor při zatíženém a nezatíženém stavu kapacitního snímače. Měření proběhlo celkem 10x pro různé hodnoty frekvence. Frekvence byla zvolena v rozsahu 1 kHz, 10 kHz a 100 kHz. Takto sestavené schéma pracovního postupu bylo dále použito při zkoumání změny kapacity v závislosti na navlhčené pracovní ploše kapacitního snímače. Nejprve došlo k navlhčení horní elektrody snímače, která odpovídala velikosti plochy přibližně 4x4 cm a opět byl proveden celý postup měření pro všechny zvolené frekvence. Poté byla zkoumána změna kapacity stejným způsobem pro obě navlhčené elektrody. Výsledné hodnoty byly vzájemně porovnány a vyneseny do grafů.



Obr. 5.1 Graf nezatíženého kapacitního snímače z monofilové plošné textilie

V grafu na obr. 5.1 jsou patrné změny kapacit pro nenavlhčený a navlhčený snímač, který nebyl zatížen. Jednotlivé křivky představují naměřené hodnoty při 1 kHz. V grafu na

obr. 5.2, je již možné pozorovat hodnoty zatíženého snímače. Jak je vidět, hodnoty při nezatíženém a zatíženém stavu suchého snímače se statisticky liší o 10,86 pF. To je dostačená míra změny pro detekování obsazení snímače. Předmětem tohoto zkoumání byla především změna kapacity v závislosti na vlhkosti. Výsledné naměřené hodnoty po statistickém zpracování, které je obsažené v kapitole 6, se téměř neliší svojí velikostí, a proto navlhčení jednotlivých elektrod snímače z monofilové Silver.STAT textilie lidskou pokožkou nemůže nijak závažně ovlivnit jeho vlastnosti. Díky vlhkosti tedy nemůže dojít ke změně kapacity, která by mohla znemožnit správnou funkci při obsazení snímače.

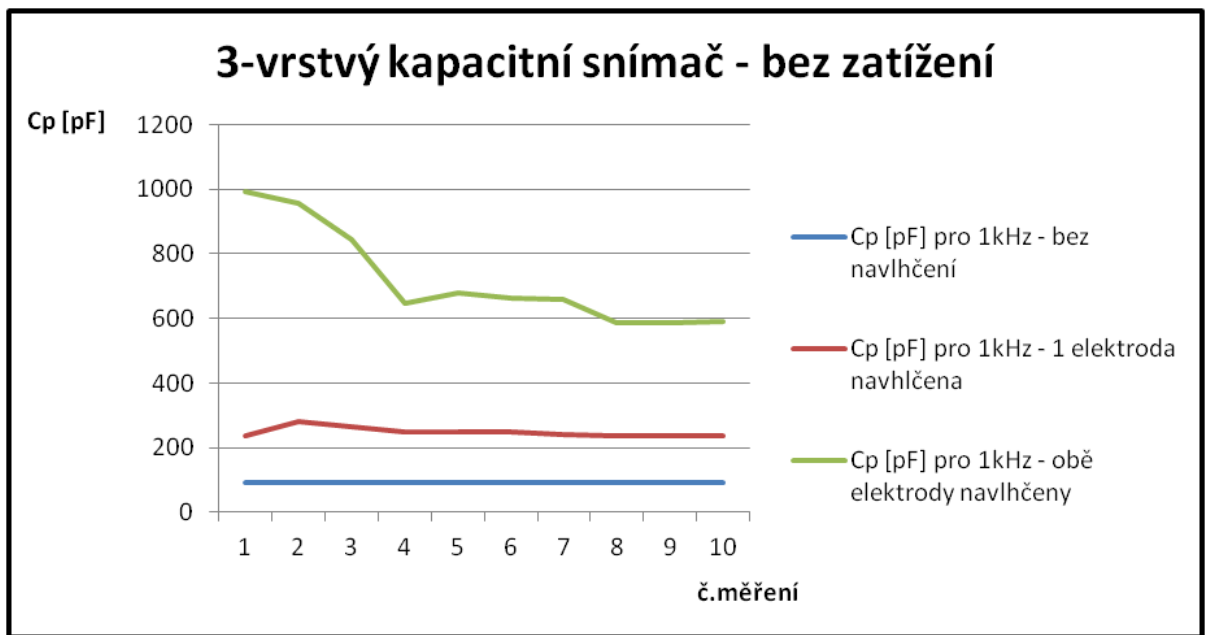


Obr. 5.2 Graf zatíženého kapacitního snímače z monofilové plošné textilie

Další měření bylo soustředěno na druhý kapacitní snímač přítomnosti obr. 4.2, který je, na rozdíl od snímače z plošné monofilové textilie, tvořen úpletem s vpletenými vodivými pruhy ze Silver.STAT vlákna. Distanční vložka z polyuretanové pěny má v tomto případě tloušťku pouze 4 mm. Měření proběhlo obdobným způsobem jako u prvního snímače. Rozdíl byl jenom ve velikosti navlhčené plochy, která byla 6x6 cm.

Zkoušený snímač byl zatěžován stejným způsobem jako u předchozího vzorku a naměřené hodnoty jsou opět vyneseny do grafu. Závislost naměřené kapacity nezatíženého suchého a navlhčeného snímače při 1 kHz se bohužel významně projevila. Jak je vidět ze statistického zpracování dat v tab. 6.2, průměrná hodnota kapacity nezatíženého suchého snímače je 90,71 pF. Při navlhčení z jedné strany se ale kapacita snímače změnila na hodnotu

241,60 pF a při navlhčení z obou stran dokonce až na hodnotu 661,29 pF. Na přiloženém grafu obr. 5.3 je zřejmý veliký rozestup jednotlivých křivek naměřené kapacity, který odpovídá změně vyvolané navlhčením snímače. Taková významná změna může nepříznivě ovlivnit správnou funkci měřicího systému a v některých případech zcela zkreslit naměřené údaje.

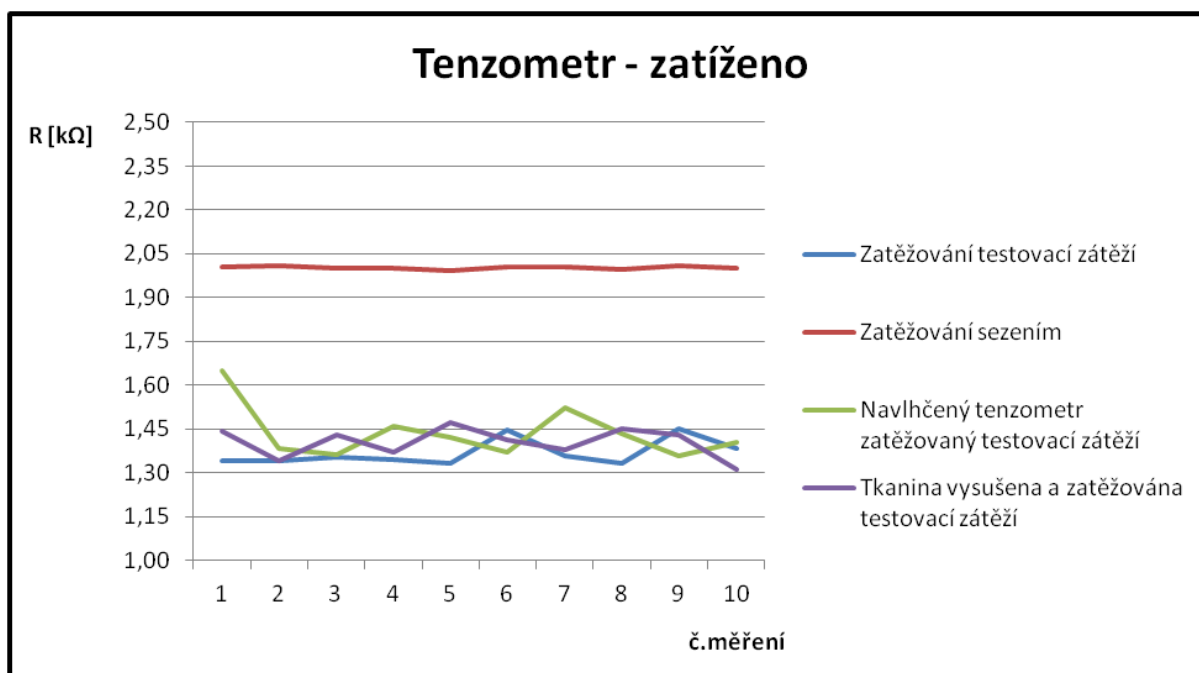


Obr. 5.3 Graf nezatíženého 3 - vrstvého kapacitního snímače

Posledním testovaným systémem je tenzometrický snímač detekce přítomnosti osob obr. 4.3. Jak je zmíněno v kapitole 4.2, jeho funkce je založena na principu změny odporu při mechanickém namáhání. Tuto změna odporu lze velice jednoduše změřit pomocí připojeného multimetru.

Na systému bylo opět provedeno 10 měření. Tenzometr byl měřen při zatěžování závaží o hmotnosti 5 kg, při sezení na židli, při navlhčeném snímači a nakonec byl navlhčený snímač vysušen a opět změřen. Tím bylo docíleno možnosti porovnat vlastnosti daného systému při vlivu vlhkosti a ověření zdali se funkčnost po vysušení nezměnila. Naměřené hodnoty přepočítané pomocí statistického souboru v tab. 6.3 ukazují, že průměrná hodnota nezatíženého suchého tenzometru je 2,13 kΩ, pro vlhký nezatížený tenzometr je hodnota 2,26 kΩ. Tato změna odporu je zanedbatelná a vlhkost snímače nemá vliv na jeho funkci. Mimo jiné průměrná hodnota odporu suchého, zatíženého, tenzometrického snímače

je 1,34 k Ω a vlhkého, zatíženého snímače 1,40 k Ω . Neměřené hodnoty vynesené do grafu obr. 5.4 ukazují, že daný tenzometr má menší rozlišení při zatížení sezením, oproti zatěžování testovací zátěží. Nicméně průměrná hodnota při nezatíženém a zatíženém snímači sezením se stále liší o 129,5 Ω , což by měla být dostatečná hodnota rozlišující obsazení či nikoli. Měření tedy prokázalo, že tenzometrický snímač je vhodný jako snímač pro detekci přítomnosti osob. Z třech realizovaných systémů vychází díky svým vlastnostem jako nejlepší a není ovlivněn parazitní vlhkostí při navlhčeném snímači.



Obr. 5.4 Graf zatíženého tenzometrického snímače

5.2 Doporučení pro další práce v této oblasti

Doporučením v oblasti zkoumání Smart textilií je prozkoumat různé typy kapacitních snímačů a důkladně ověřit jejich závislost na již zmiňované vlhkosti. Dále by bylo vhodné podrobit realizované systémy různým způsobům testování obsazení a zhodnotit jejich klady a zápory, popřípadě uvést výčet parazitních vlivů, které se objeví při jejich zkoumání. Dalším doporučením je navržení nových systémů, do kterých by se navíc mohly implementovat např. snímače vlhkosti, díky kterým by mohli být snímače více adaptibilní. Nedílnou součástí zkoumání systémů by mohly být i degradační testy a testy životnosti snímačů pro detekci přítomnosti osob. Toto je jen zlomek doporučení, kterým by mohly být inspirovány další

práce na poli zkoumání Smart systémů, jako jsou právě plošné snímače uvedené v této diplomové práci.

6 Statistické zpracování dat

Měření patří mezi základní způsoby získávání kvantitativních informací o stavu sledované veličiny. Vlivem omezené přesnosti měřících přístrojů a proměnnosti podmínek měření se ani na homogenním materiálu, kde je skutečná hodnota měřené veličiny konstantní, nezískají stejné výsledky. Každé měření představuje náhodnou veličinu, která obsahuje kromě informace také šum, tj. chyby měření [15].

6.1 Klasifikace chyb měření

Chyby měření mohou být způsobeny řadou faktorů. Podle místa vzniku v měřicím řetězci lze chyby rozdělit do čtyř základních skupin:

1. **Instrumentální chyby** jsou způsobeny konstrukcí měřicího přístroje a určují jeho kvalitu. U řady přístrojů jsou známy a garantovány výrobcem.

2. **Metodické chyby** souvisejí s použitou metodikou stanovení výsledků měření, jako je odečítání dat, organizace měření, eliminace vnějších vlivů atd.

3. **Teoretické chyby** souvisejí s použitým postupem měření. Jde zejména o principy měření, fyzikální modely měření, použité parametry, fyzikální konstanty atd.

4. **Chyby zpracování dat** jsou chyby numerické metody a chyby způsobené užitím nevhodných metod statistického vyhodnocení.

Podle příčin vzniku lze chyby rozdělit do tří skupin:

1. **Náhodné chyby**, které kolísají náhodně co do velikosti i znaménka při opakování měření, nedají se předvídat a jsou popsány určitým pravděpodobnostním rozdělením. Jsou způsobeny řadou příčin, které lze jen obtížně odstranit, popř. jejich vliv alespoň omezit.

2. **Systematické chyby** působí na výsledek měření předvídatelným způsobem. Bývají funkcí času nebo parametrů měřicího procesu. Mívají stejná znaménka. Konstantní systematické chyby snižují nebo zvyšují numerický výsledek všech měření o konstantní hodnotu. Často se navenek neprojevují a lze je odhalit až při porovnání s výsledky z jiného přístroje. Existují i systematické chyby s časovým trendem, způsobené stárnutím nebo opotřebováváním měřicího přístroje.

Systematické chyby měřicího přístroje se dělí na **aditivní** (chyba nastavení nulové hodnoty) a **multiplikativní** (chyba citlivosti). Typ a velikost chyby přístroje bývají garantovány výrobcem.

3. **Hrubé chyby**, označované jako vybočující, resp. odlehlé hodnoty, jsou způsobeny výjimečnou příčinou, náhlým selháním měřicí aparatury, nesprávným záznamem výsledku. Způsobují, že se dané měření výrazně liší od ostatních.

Systematické a náhodné chyby souvisejí s pojmy přesnosti a správnosti přístrojů.

Přesnost je definovaná jako rozmezí statistické nejistoty výsledků. Souvisí s náhodnými chybami a odpovídá reprodukovatelnosti měření. Vyjadřuje se jako rozptyl kolem střední hodnoty daného souboru n naměřených výsledků.

Správnost přístroje udává průměrnou vzdálenost výsledků od skutečné hodnoty a souvisí se systematickými chybami. Odpovídá odchýlení měření od teoretické hodnoty.

6.2 Průzkumová analýza jednorozměrných dat

Podstatou průzkumové analýzy jednorozměrných dat je odhalit i jejich zvláštnosti a potvrdit předpoklady pro následné statistické zpracování [15].

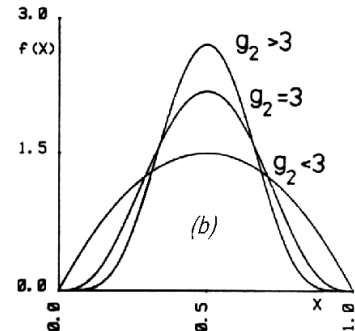
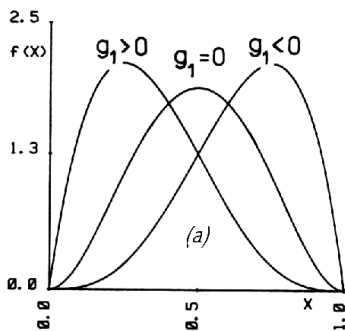
6.2.1 Metody průzkumové analýzy dat

Pro průzkumovou analýzu se užívají především grafické metody, které umožňují odhalení statistických zvláštností dat. Mezi které patří stupeň šikmosti (skew - g_1) a špičatosti (kurt - g_2) rozdělení dat obr. 6.1, lokální koncentrace dat a přítomnost vybočujících dat. Jednotlivé grafy poskytují informace o několika nebo pouze jedné statistické zvláštnosti. Tyto

metody jsou vhodné také pro zjednodušení popisu dat, identifikaci typu rozdělení výběru, konstrukci empirického rozdělení výběru a zlepšení rozdělení dat [15].

$$g_1 = \frac{\sqrt{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^3}{\left[\sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2 \right]^{\frac{3}{2}}} \quad (6.1)$$

$$g_2 = \frac{n \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^4}{\left[\sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2 \right]^2} \quad (6.2)$$



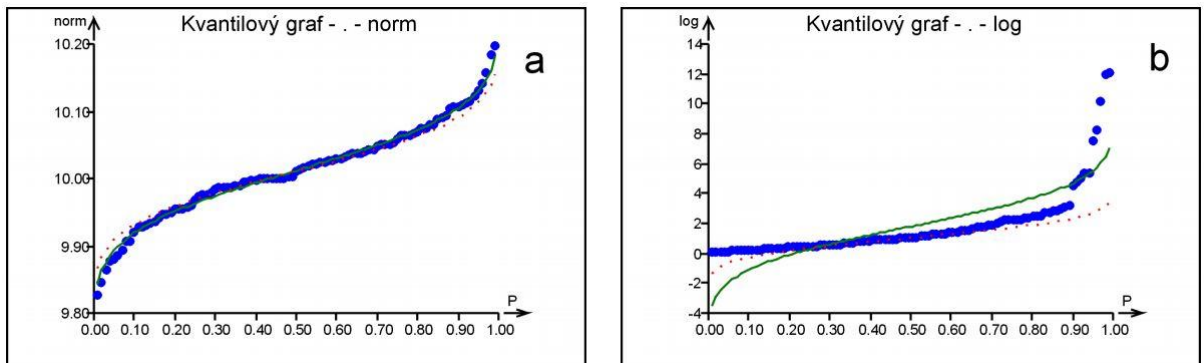
Obr. 6.1 Hustota pravděpodobnosti rozdělení s různými šikmostmi (a) a špičatostmi (b) převzato z[15]

Při průzkumové analýze se využívá především robustních kvantilových charakteristik, které umožňují sledování lokálního chování dat a které jsou vhodné pro malé a střední výběry. Vychází se z pořádkových statistik, což jsou vzestupně seřazené prvky výběru $x_{(1)} \leq x_{(2)} \leq \dots \leq x_{(n)}$. Platí, že střední hodnota i -té pořádkové statistiky je rovna $100 P_i$ procentnímu kvantilu výběrového rozdělení. Symbol

$$P_i = \frac{i}{n+1} \quad (6.3)$$

označuje pořadovou pravděpodobnost. Připomeňme, že $100 P_i$ procentní výběrový kvantil je hodnota, pod kterou leží $100 P_i$ procent prvků výběru. Optimální hodnoty P_i závisí na předpokládaném rozdělení výběru. **Medián** patří k nejstarším robustním odhadům parametrů polohy. Na rozdíl od řady dalších robustních odhadů má přesnou interpretaci jak pro symetrická, tak i nesymetrická rozdělení. Jde vždy o 50 % kvantil, kdy polovina prvků leží pod a polovina nad hodnotou mediánu. **Kvantilový graf** umožňuje přehledně znázornit data a snadněji rozlišit tvar rozdělení. Ten může být symetrický, zešikmený k vyšším hodnotám

nebo nižším hodnotám. Dále lze identifikovat lokální koncentrace dat, vybočující data atd.[15].



Obr. 6.2 Kvantilový graf (a) gaussova-normálního a (b)logaritmicko-normálního rozdělení převzato z [15]

Nejčastěji používaný model rozdělení spojité náhodné veličiny, používaný běžně v technické praxi je normální rozdělení. Při opakovaném měření téže veličiny za stejných podmínek způsobují náhodné, nekontrolovatelné vlivy odchylky od skutečné měřené veličiny. Tyto náhodné chyby se řídí obvykle zákonem normálního rozdělení.

Normálně rozdělená náhodná veličina vzniká složením (součtem) různých náhodných složek, vlivů a veličin, které jsou navzájem nezávislé, kterých je větší počet a každá z nich ovlivňuje výslednou veličinu jen malým příspěvkem.

Pro normální rozdělení $N(\mu, \sigma)$, kde μ je střední hodnota ($\mu = \bar{x}$ aritmetickému průměru) a σ směrodatná odchylka platí:

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (6.4)$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2 \quad (6.5)$$

6.2.2 Transformace dat

Pokud se na základě analýzy dat zjistí, že rozdělení výběru dat se příliš odlišuje od rozdělení normálního, vzniká problém, jak data vůbec vyhodnotit. V řadě případů lze nalézt vhodnou transformaci, která vede ke stabilizaci rozptylu, zesymetričtění rozdělení a někdy i k normalitě. Vychází se z představy, že zpracovávaná data jsou nelineární transformací normálně rozdělené náhodné veličiny x . Hledá se k nim pak inverzní transformace $g(x)$ [15].

1. **Stabilizace rozptylu** vyžaduje nalezení transformace $y = g(x)$, ve které je již rozptyl $\sigma^2(y)$ konstantní. Pokud je rozptyl původní proměnné x funkcí typu $\sigma^2(x) = f_1(x)$, lze rozptyl $\sigma^2(y)$ určit:

$$\sigma^2(y) \approx \left[\frac{dg(x)}{dx} \right]^2 \cdot f_1(x) = C \tag{6.6}$$

kde C je konstanta. Hledaná transformace $g(x)$ je pak řešením diferenciální rovnice:

$$g(x) \approx C \cdot \int \frac{dx}{\sqrt{f_1(x)}} \tag{6.7}$$

U řady instrumentálních metod analytické a fyzikální chemie je zajištěna konstantnost relativní chyby $\delta(x)$. To znamená, že rozptyl $\sigma^2(x)$ je dán funkcí $f_1(x) = \delta^2(x) \cdot x^2 = \text{konst} \cdot x^2$. Po dosazení do vztahu (6.7) vyjde $g(x) = \ln x$.

Optimální je pro tento případ logaritmická transformace původních dat. Z toho vyplývá také vhodnost použití geometrického průměru:

$$\bar{x}_G = \sqrt[n]{x_1 \cdot x_2 \cdot \dots \cdot x_n} = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n x_i} \tag{6.8}$$

Pokud je závislost $\sigma^2(x) = f_1(x)$ mocninná, bude optimální transformace $g(x)$ také mocninná. Jelikož pro normální rozdělení je střední hodnota na rozptylu nezávislá, bude transformace stabilizující rozptyl také zajišťovat přiblížení k normalitě.

2. **Zesymetřičtění rozdělení** výběru je možné provést jednoduchou mocninnou transformací

$$y = g(x) = \begin{cases} x^\lambda \\ \ln x \\ -x^\lambda \end{cases} \quad \text{pro} \quad \begin{cases} \lambda > 0 \\ \lambda = 0 \\ \lambda < 0 \end{cases} \tag{6.9}$$

Tato transformace však nezachovává měřítko, není vzhledem k hodnotě λ všude spojitá a hodí se pouze pro kladná data. Optimální odhad λ se hledá s ohledem na minimalizaci vhodných charakteristik asymetrie s využitím šikmosti popř. rankitového grafu.

6.2.3 Zpětná transformace dat

Pokud se podaří nalézt vhodnou transformaci, která vede k přibližné normalitě, lze určit \bar{y} , $s^2(y)$, interval spolehlivosti a provádět také i statistické testování. Problém však spočívá v tom, že všechny statistické charakteristiky je třeba určit pro původní proměnné [15].

Můžeme provést prostou zpětnou transformaci

$$x_R = g^{-1}(\bar{y}) \tag{6.10}$$

kdy pro jednoduchou mocninnou transformaci (6.9) vede zpětná transformace na obecný průměr definovaný vztahem:

$$\bar{x}_R = \bar{x}_\lambda = \left[\frac{\sum_{i=1}^n x_i^\lambda}{n} \right]^{\frac{1}{\lambda}} \tag{6.11}$$

Pro $\lambda = 0$ se v rovnici (6.11) místo x^λ používá $\ln x$ a místo $x^{1/\lambda}$ pak e^x . Tento způsob zpětné transformace vede často ke zkreslujícím výsledkům. Přesnější přístup k zpětné transformaci vychází z Taylorova rozvoje funkce $y = g(x)$ v okolí \bar{y} .

6.3 Zpracovaná data

Výsledky měření jsou uvedeny ve 3 následujících tabulkách. Naměřené hodnoty pro kapacitní a tenzometrický snímač odpovídají frekvenci 1 kHz. Průměrné hodnoty prošly statistickým zpracováním, jakým je krabicový test pro nalezení odlehlých hodnot měření a mocninná transformace pro soubory dat se skew větším než 1. Jako kvantil byl použit kvartil ($R_F = F_H - F_D = \tilde{\chi}_{0.75} - \tilde{\chi}_{0.25}$). Meze B_D a B_H byly spočítány podle vzorce [15]:

$$B_D = F_D - 1,5 R_F \tag{6.12}$$

$$B_H = F_H + 1,5 R_F \tag{6.13}$$

Díky zpracovaným datům mohly být porovnány vlastnosti jednotlivých systému pro detekci osob na smart textiliích.

Tab. 6.1: Statistické zpracování dat pro kapacitní snímač z monofilové plošné textilie

	1	2	3	4	5	6
Naměřená data Cp [pF]	18,21	17,40	17,65	27,80	27,30	31,60
	17,70	17,64	17,17	27,05	27,80	31,26
	17,10	16,51	17,12	28,05	28,01	31,90
	17,12	16,83	17,17	28,07	28,80	31,32
	16,86	16,86	16,54	28,16	28,73	32,20
	16,95	16,75	16,97	27,97	29,11	31,78
	16,50	16,20	16,43	28,20	29,15	31,81
	17,03	16,30	16,60	26,47	28,85	31,44
	17,50	16,75	16,40	27,03	28,65	31,86
	16,96	16,65	17,32	27,96	28,80	32,53
Average	17,19	16,79	16,94	27,68	28,52	31,77
Median	17,07	16,75	17,05	27,97	28,77	31,80
Skew	0,98	0,78	0,12	-1,18	-1,09	0,59
Kurt	1,09	0,34	-1,13	0,06	0,19	0,14
Krabicový test pro nalezení odlehlých hodnot (kvartil)						
B _H a B _D jsou meze, za kterými leží odlehlé hodnoty (vyznačeny červeně)						
F _D =x _{0,25}	16,95	16,55	16,56	27,24	28,17	31,48
F _H =x _{0,75}	17,41	16,85	17,17	28,07	28,84	31,89
R _F	0,45	0,31	0,62	0,83	0,67	0,41
B _D	16,27	16,08	15,63	26,00	27,17	30,87
B _H	18,08	17,31	18,09	29,31	29,84	32,51
Přepočítání statistických souborů bez odlehlých dat						
Average	17,08	16,61				31,69
Median	17,03	16,70				31,78
Skew	0,38	-0,80				0,07
Kurt	0,68	-0,86				-0,66
Mocnná transformace pro soubory dat se skew > 1						
λ				82,35	42,20	
Average				1,23E+119	3,34E+61	
Median				1,35E+119	3,67E+61	
Skew				0,00	0,00	
Kurt				-1,28	-0,84	
Zpětná transformace						
Average				27,9	28,7	
Median				28,0	28,8	
Hodnoty pro vyhodnocení snímačů [pF]						
Average	17,08	16,61	16,94	27,94	28,70	31,69

Sloupec č.1 hodnoty bez navlhčení elektrod - bez zatížení

Sloupec č.2 hodnoty s 1 navlhčenou elektrodou - bez zatížení

Sloupec č.3 hodnoty s navlhčením obou elektrod - bez zatížení

Sloupec č.4 hodnoty bez navlhčení elektrod – se zatížením

Sloupec č.5 hodnoty s 1 navlhčenou elektrodou - se zatížením

Sloupec č.6 hodnoty s navlhčením obou elektrod - se zatížením

Tab. 6.2: Statistické zpracování dat pro 3 - vrstvý kapacitní snímač

	1	2	3	4	5	6
Naměřená data C_p [pF]	91,53	279,70	990,70	113,40	425,80	2156,70
	90,75	237,60	956,70	113,30	433,40	2134,70
	90,54	264,80	844,70	112,90	426,80	1845,00
	90,60	250,80	647,20	113,80	430,40	1587,00
	90,57	249,90	680,40	114,30	432,60	1569,00
	90,67	247,10	663,20	114,50	432,60	1387,00
	90,96	242,20	658,40	113,80	431,30	1389,00
	90,98	237,60	586,90	114,10	428,40	1241,00
	90,56	235,50	585,70	114,30	435,10	1263,30
90,77	236,20	589,70	113,50	434,10	1191,00	
Average	90,79	248,14	720,36	113,79	431,05	1576,37
Median	90,71	244,65	660,80	113,80	431,95	1479,00
Skew	1,80	1,41	1,04	-0,26	-0,56	0,76
Kurt	3,59	1,59	-0,51	-0,89	-0,93	-0,83
Krabicový test pro nalezení odlehlých hodnot (kvartil)						
B_H a B_D jsou meze, za kterými leží odlehlé hodnoty (vyznačeny červeně)						
$F_D=X_{0,25}$	90,58	237,60	604,08	113,43	428,90	1294,23
$F_H=X_{0,75}$	90,91	250,58	803,63	114,25	433,20	1780,50
R_F	0,34	12,98	199,55	0,82	4,30	486,28
B_D	90,08	218,14	304,75	112,19	422,45	564,81
B_H	91,42	270,04	1102,95	115,49	439,65	2509,91
Přepočítání statistických souborů bez odlehlých dat						
Average	90,71	244,63				
Median	90,67	242,20				
Skew	0,76	1,18				
Kurt	-0,85	1,24				
Mocnná transformace pro soubory dat se skew > 1						
λ		23,50	5,01			
Average		9,94E-57	7,65E-15			
Median		9,37E-57	7,68E-15			
Skew		0,00	0,00			
Kurt		-1,85	-1,39			
Zpětná transformace						
Average		241,60	661,3			
Median		242,20	660,8			
Hodnoty pro vyhodnocení snímačů [pF]						
Average	90,71	241,60	661,29	113,79	431,05	1576,37

Sloupec č.1 hodnoty bez navlhčení elektrod - bez zatížení

Sloupec č.2 hodnoty s 1 navlhčenou elektrodou - bez zatížení

Sloupec č.3 hodnoty s navlhčením obou elektrod - bez zatížení

Sloupec č.4 hodnoty bez navlhčení elektrod – se zatížením

Sloupec č.5 hodnoty s 1 navlhčenou elektrodou - se zatížením

Sloupec č.6 hodnoty s navlhčením obou elektrod - se zatížením

Tab. 6.3: Statistické zpracování dat pro tenzometrický snímač

	1	2	3	4	5	6
Naměřená data R [kΩ]	2,197	2,127	2,263	1,449	2,005	1,651
	2,133	2,157	2,243	1,445	2,007	1,382
	2,127	2,135	2,247	1,352	2,002	1,362
	2,122	2,114	2,257	1,347	1,999	1,461
	2,121	2,157	2,269	1,331	1,994	1,421
	2,119	2,124	2,267	1,341	2,005	1,372
	2,142	2,195	2,269	1,356	2,006	1,521
	2,174	2,153	2,275	1,334	1,998	1,435
	2,151	2,145	2,277	1,343	2,007	1,359
	2,142	2,199	2,273	1,382	2,001	1,406
Average	2,14	2,15	2,26	1,37	2,00	1,44
Median	2,14	2,15	2,27	1,35	2,00	1,41
Skew	1,29	0,70	-0,89	1,39	-0,73	1,70
Kurt	1,12	-0,32	-0,34	0,48	-0,39	2,98
Krabicový test pro nalezení odlehlých hodnot (kvartil)						
B _H a B _D jsou meze, za kterými leží odlehlé hodnoty (vyznačeny červeně)						
F _D =X _{0.25}	2,12	2,13	2,26	1,34	2,00	1,37
F _H =X _{0.75}	2,15	2,16	2,27	1,38	2,01	1,45
R _F	0,03	0,03	0,01	0,03	0,01	0,08
B _D	2,09	2,09	2,24	1,29	1,99	1,25
B _H	2,19	2,20	2,29	1,43	2,02	1,57
Přepočet statistických souborů bez odlehlých dat						
Average	2,14			1,35		1,41
Median	2,13			1,35		1,41
Skew	1,17			1,41		1,04
Kurt	1,24			2,58		0,73
Mocinná transformace pro soubory dat se skew > 1						
λ	94,15			52,56		18,25
Average	1,11E-31			1,74E-07		2,17E-03
Median	1,06E-31			1,72E-07		1,99E-03
Skew	0,00			0,00		0,00
Kurt	-1,51			-0,29		-1,45
Zpětná transformace						
Average	2,13			1,34		1,40
Median	2,13			1,34		1,41
Hodnoty pro vyhodnocení snímačů R [kΩ]						
Average	2,13	2,15	2,26	1,34	2,00	1,40

Sloupec č.1 hodnoty bez navlhčení elektrody - bez zatížení

Sloupec č.2 hodnoty bez zatížení sezením

Sloupec č.3 hodnoty s navlhčenou elektrodou - bez zatížení

Sloupec č.4 hodnoty bez navlhčení elektrody – se zatížením

Sloupec č.5 hodnoty se zatížením sezením

Sloupec č.6 hodnoty s navlhčením obou elektrod - se zatížením

7 Závěr

Cílem diplomové práce bylo získat informace o možnostech detekce přítomnosti osob na plošných Smart textiliích.

Součástí studování možností plošných textilií je provedení lineární rešerše, která v teoretické části této práce popisuje principy vhodných systémů pro detekci přítomnosti osob. Třetí kapitola se zabývá hodnocením kapacitního a tenzometrické snímače spolu se Smart kobercem. Na základě zjištěných výhod a nevýhod zkoumaných systémů je provedeno jejich vzájemné porovnání.

Další kapitola se věnuje návrhu systému, který je vhodný pro integraci do plošných textilií. Pro tyto účely byly realizovány dva systémy. Jednalo se o tenzometrický snímač a dva typy snímačů kapacitních. Realizované snímače byly podrobeny testováním zátěží, ze kterého byl zjištěn následující stav. Jak je uvedeno v kapitole pět, realizované systémy pracovaly podle předpokladů. Z přiložených grafů naměřených dat a z výsledků jejich statistického zpracování je zřejmé, že nejlepší vlastnosti vykazuje tenzometrický snímač, který plně vyhovuje snímači pro detekci přítomnosti osob. Velmi stabilně detekuje obsazení a to i při navlhčených elektrodách. Vliv parazitní vlhkosti u toho snímače nebyl prokázán. Kapacitní snímač z monofilové plošné textilie také představuje velice vhodný systém k detekci přítomnosti osob, jelikož vykazoval stabilní průběh naměřených hodnot při zatížení. Vliv vlhkosti se u snímače také neprojevil. Problém s vlhkostí ale nastal u 3vrstvého kapacitního snímače, který při navlhčených elektrodách dosahoval velmi rozdílných naměřených hodnot. Tato skutečnost je podrobněji popsána v kapitole pět. U snímače byl sice prokázán vliv vlhkosti, ale lze ho vhodně upravit tak, aby se tomuto jevu předešlo. Otázkou však je, jestli by se nezměnily ostatní vlastnosti daného snímače, jako je například komfort při jeho obsazení, přesnost detekce, odolnost vůči praní atd. Proto je na místě mé doporučení pro další práce zkoumající vlastnosti kapacitních snímačů.

Všechna naměřená data byla zpracována pomocí statistických metod, díky kterým byly s větší přesností vyhodnoceny navržené systémy.

8 Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] *Intelligent textiles and clothing*. Cambridge: Woodhead, 2006, XVIII, 506 s. ISBN 18-456-9005-2.
- [2] LINZ, T., C. KALLMAYER, R. ASCHENBRENNER a H. REICHL. Embroidering Electrical Interconnects with Conductive Yarn for The Integration of Flexible Electronic Modules into Fabric. *Ninth IEEE International Symposium on Wearable Computers (ISWC'05)* [online]. IEEE, 2005:86-91 [cit. 7. 11. 2015]. DOI: 10.1109/ISWC.2005.19. ISBN 0-7695-2419-2. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=1550791>
- [3] DILS, Ing. Christian. *INSITEX project : Active Passenger Security through Technical Textiles: Textile Wire - to - Board Technology* [online]. 2011 : 1 [cit. 7. 11. 2015]. Dostupné z: http://www.izm.fraunhofer.de/de/abteilungen/system_integrationsinterconnectionstechnologien/arbeitsgebiete/elektronikintegrationalternativmaterialien/projekte/integration_von_elektroniktextilien.html
- [4] DILS, Ing. Christian a kol. *insitex.de* [online]. [cit. 17. 11. 2015]. Dostupné z: http://www.insitex.de/index2646.html?option=com_content&view=article&id=94&Itemid=146
- [5] GLASER, Rupert, Christl LAUTERBACH, Dominic SAVIO, Markus SCHNELL, Sinan KARADAL, Werner WEBER, Susanne KORNELY a Annelie STÖHR. *Smart Carpet: A Textile-based Large-area Sensor Network* [online]. 81739 München, Germany, 2007:8[cit. 17. 11. 2015]. Dostupné z: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.131.6174>
- [6] *www.infineon.com* [online]. [cit. 17. 11. 2015]. Dostupné z: <http://www.infineon.com/cms/en/about-infineon/press/press-releases/2004/132143.html>
- [7] MEYER, Jan. *Textile pressure sensor: design, error modeling and evaluation* [online]. Zürich: ETH, 2008 [cit. 30. 11. 2015]. Dostupné z: <http://e-collection.library.ethz.ch/view/eth:31118>
- [8] *Ústav počítačové a řídicí techniky: VŠCHT PRAHA* [online]. 2013 [cit. 22. 1. 2016]. Dostupné z: <http://uprt.vscht.cz/ucebnice/mrt/F4/F4k42-tlak.htm#k424>
- [9] *FSI Fórum* [online]. 2007 [cit. 22. 1. 2016]. Dostupné z: <http://www.fsiforum.cz/upload/soubory/databazepredmetu/6SM/TENZOMETRY.pdf>
- [10] BEJČEK, Ludvík a Jan VACULÍK. Snímače a měřicí technika: Snímače tlaku. AUTOMA [online]. 2011[cit. 22. 2. 2016]. Dostupné z: <http://automa.cz/res/pdf/42719.pdf>
- [11] SHINOHARA, Toshihiro, Jun-ya TAKAYAMA, shinji OHYAMA a Akira KOBAYASHI. Yarn Segmentation Based on Filament Direction in 3-D CT Images for Structure Analysis of Textile Fabric. In: *IECON 2006 - 32nd Annual Conference on IEEE Industrial Electronics* [online]. IEEE, 2006, s. 3338-3343 [cit. 12. 3. 2016]. DOI: 10.1109/IECON.2006.347927. ISBN 1-4244-0390-1. ISSN 1553-572x. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=4153291>
- [12] SHINOHARA, T. Expression of individual woven yarn for structure analysis of textile fabric based on fuzzy clustering of three dimensional CT image. In: *IECON 2011 - 37th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society* [online].

- IEEE, 2011, s. 2206-2211 [cit. 12. 3. 2016]. DOI: 10.1109/IECON.2011.6119651. ISBN 978-1-61284-972-0. Dostupné z:
<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6119651>
- [13] SilveR.STAT® fibre. *R.STAT - Technical Fibres* [online]. 2010 [cit. 18. 3. 2016]. Dostupné z: <http://www.r-stat.fr/uk/silveRstat-fibre.php>
- [14] SERGIO, M., N. MANARESI, M. TARTAGNI, R. GUERRIERI a R. CANEGALLO. A textile based capacitive pressure sensor. In: *Proceedings of IEEE Sensors* [online]. IEEE, 2002, s. 1625-1630 [cit. 20. 3. 2016]. DOI: 10.1109/ICSENS.2002.1037367. ISBN 0-7803-7454-1. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=1037367>
- [15] MELOUN, Milan a Jiří MILITKÝ. *Kompendium statistického zpracování dat: metody a řešené úlohy*. vyd. Praha: Academia, 2002. ISBN 80-200-1008-4.

9 Přílohy

9.1 Příloha A – fotografie z testování navržených systémů



Obr. 9.1 Fotografie z měření monofilové lineární textilie



Obr. 9.2 Fotografie z měření 3 – vrstvého kapacitního snímače



Obr. 9.3 Fotografie z měření tenzometrického snímače

9.2 Příloha B – Naměřené hodnoty navržených systémů

Tab. 9.1: Naměřené hodnoty pro kapacitní snímač z monofilové plošné textilie bez navlhčení

1) Měřeno bez navlhčení elektrod										
č.měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cp [pF] pro 1kHz (bez zatížení)	18,21	17,70	17,10	17,12	16,86	16,95	16,50	17,03	17,50	16,96
zatížený snímač	27,80	27,05	28,05	28,07	28,16	27,97	28,20	26,47	27,03	27,96
Disipativní faktor	0,0070	0,0120	0,0130	0,0121	0,0080	0,0090	0,0185	0,0127	0,0130	0,0133
Disipativní faktor	0,0083	0,0088	0,0086	0,0094	0,0120	0,0091	0,0091	0,0094	0,0090	0,0110
Cp [pF] pro 10kHz (bez zatížení)	17,55	16,75	16,59	16,57	16,56	17,46	16,66	16,86	17,02	16,91
zatížený snímač	27,80	27,90	29,56	29,67	28,01	29,69	29,24	29,22	27,07	29,30
Disipativní faktor	0,0023	0,0026	0,0032	0,0028	0,0032	0,0030	0,0025	0,0026	0,0029	0,0030
Disipativní faktor	0,0055	0,0058	0,0049	0,0055	0,0047	0,0057	0,0042	0,0049	0,0062	0,0058
Cp [pF] pro 100kHz (bez zatížení)	17,50	17,18	17,15	17,07	17,20	17,08	17,20	17,16	17,13	17,36
zatížený snímač	30,33	30,50	30,87	30,52	30,60	30,55	30,84	30,70	30,96	31,05
Disipativní faktor	0,0008	0,0006	0,0008	0,0004	0,0005	0,0005	0,0006	0,0008	0,0006	0,0007
Disipativní faktor	0,0021	0,0023	0,0026	0,0025	0,0023	0,0025	0,0030	0,0023	0,0029	0,0028

Tab. 9.2: Naměřené hodnoty pro kapacitní snímač z monofilové plošné textilie s 1 navlhčenou elektrodou

2) Měření s 1 navlhčenou elektrodou (velikost navlhčené plochy 4x4 cm)										
č.měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cp [pF] pro 1kHz (bez zatížení)	16,86	16,75	16,51	16,83	17,40	16,75	16,20	16,30	17,64	16,65
zatížený snímač	27,30	27,80	28,01	28,80	28,73	29,11	29,15	28,85	28,65	28,80
Disipativní faktor	0,0130	0,0125	0,0150	0,0133	0,0105	0,0120	0,0123	0,0106	0,0119	0,0126
Disipativní faktor	0,0135	0,0120	0,0152	0,0122	0,0126	0,0113	0,0106	0,0124	0,0131	0,0131
Cp [pF] pro 10kHz (bez zatížení)	16,51	16,55	16,26	16,61	16,32	16,04	16,07	16,04	16,03	16,26
zatížený snímač	30,69	30,50	31,07	30,80	31,14	30,86	30,71	30,68	30,37	30,50
Disipativní faktor	0,0030	0,0028	0,0026	0,0027	0,0036	0,0036	0,0028	0,0026	0,0030	0,0028
Disipativní faktor	0,0054	0,0050	0,0046	0,0071	0,0053	0,0056	0,0047	0,0050	0,0046	0,0049
Cp [pF] pro 100kHz (bez zatížení)	17,36	17,05	17,14	17,52	17,20	17,15	16,81	16,60	16,62	16,73
zatížený snímač	30,56	32,33	32,07	31,40	31,50	31,43	31,75	31,52	31,67	31,45
Disipativní faktor	0,0007	0,0004	0,0005	0,0005	0,0003	0,0004	0,0008	0,0005	0,0004	0,0003
Disipativní faktor	0,0027	0,0025	0,0028	0,0026	0,0030	0,0032	0,0030	0,0029	0,0028	0,0028

Tab. 9.3: Naměřené hodnoty pro kapacitní snímač z monofilové plošné textilie s navlhčením obou elektrod

3) Měření s navlhčením obou elektrod										
č.měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cp [pF] pro 1kHz (bez zatížení)	17,65	17,17	17,12	17,17	16,54	16,97	16,43	16,60	16,40	17,32
zatížený snímač	31,60	31,26	31,90	31,32	32,20	31,78	31,81	31,44	31,86	32,53
Disipativní faktor	0,0200	0,0270	0,0262	0,0225	0,0230	0,0190	0,0154	0,0132	0,0145	0,0170
Disipativní faktor	0,0150	0,0130	0,0112	0,0132	0,0110	0,0133	0,0101	0,0099	0,0112	0,0105
Cp [pF] pro 10kHz (bez zatížení)	17,52	16,77	16,38	16,40	16,30	16,23	16,70	16,34	16,29	16,34
zatížený snímač	32,70	32,05	32,45	32,47	32,23	32,27	32,63	32,14	32,45	32,81
Disipativní faktor	0,0049	0,0039	0,0036	0,0041	0,0034	0,0030	0,0045	0,0036	0,0033	0,0043
Disipativní faktor	0,0082	0,0068	0,0075	0,0080	0,0082	0,0075	0,0081	0,0088	0,0087	0,0090
Cp [pF] pro 100kHz (bez zatížení)	16,47	16,70	16,46	16,44	16,43	16,39	16,38	16,52	16,48	16,45
zatížený snímač	32,73	32,63	32,62	32,79	32,94	32,35	32,51	32,58	32,27	32,85
Disipativní faktor	0,0008	0,0008	0,0007	0,0008	0,0006	0,0011	0,0009	0,0080	0,0007	0,0010
Disipativní faktor	0,0050	0,0051	0,0052	0,0053	0,0005	0,0052	0,0053	0,0055	0,0054	0,0060

Tab. 9.4: Naměřené hodnoty pro 3 – vrstvý kapacitní snímač bez navlhčení elektrod

1) Měření bez navlhčení elektrod										
č.měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cp [pF] pro 1kHz (bez zatížení)	90,75	91,53	90,54	90,60	90,57	90,67	90,96	90,98	90,56	90,77
zatížený snímač	113,40	113,30	112,90	113,80	114,30	114,50	113,80	114,10	114,30	113,50
Disipativní faktor	0,0170	0,0167	0,0168	0,0163	0,0167	0,0170	0,0167	0,0177	0,0165	0,0167
Disipativní faktor	0,0188	0,0179	0,0180	0,0186	0,0177	0,0195	0,0185	0,0186	0,0187	0,0188
Cp [pF] pro 10kHz (bez zatížení)	89,65	89,79	89,56	90,02	90,11	89,83	89,93	90,81	90,43	91,09
zatížený snímač	112,70	112,50	112,70	112,10	112,40	112,30	112,70	112,50	112,80	112,70
Disipativní faktor	0,0088	0,0087	0,0082	0,0081	0,0082	0,0084	0,0081	0,0087	0,0079	0,0082
Disipativní faktor	0,0100	0,0103	0,0099	0,0094	0,0098	0,0101	0,0094	0,0091	0,0099	0,0097
Cp [pF] pro 100kHz (bez zatížení)	92,41	92,18	92,21	92,27	92,21	91,38	91,32	91,39	91,90	91,57
zatížený snímač	114,30	114,10	114,40	114,90	115,00	114,90	114,50	115,10	114,70	114,80
Disipativní faktor	0,0039	0,0041	0,0042	0,0039	0,0040	0,0039	0,0040	0,0039	0,0040	0,0041
Disipativní faktor	0,0059	0,0063	0,0062	0,0060	0,0061	0,0060	0,0060	0,0061	0,0061	0,0060

Tab. 9.5: Naměřené hodnoty pro 3 – vrstvý kapacitní snímač s 1 navlhčenou elektrodou

2) Měření s 1 navlhčenou elektrodou (velikost navlhčené plochy 6x6cm)										
č.měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cp [pF] pro 1kHz (bez zatížení)	237,60	279,70	264,80	250,80	249,90	247,10	242,20	237,60	235,50	236,20
zatížený snímač	425,80	433,40	426,80	430,40	432,60	432,60	431,30	428,40	435,10	434,10
Disipativní faktor	26,70	28,62	33,00	34,00	34,63	34,77	34,81	35,01	35,10	35,26
Disipativní faktor	44,38	39,20	41,67	41,11	42,11	41,30	41,69	41,35	41,72	34,92
Cp [pF] pro 10kHz (bez zatížení)	120,90	121,40	121,70	121,89	121,00	121,60	121,20	122,10	121,40	121,34
zatížený snímač	209,30	213,60	214,40	215,10	218,60	219,30	221,70	222,80	224,10	223,70
Disipativní faktor	6,91	6,95	7,02	7,05	7,11	7,23	7,09	7,12	7,06	7,21
Disipativní faktor	8,53	8,67	8,36	8,45	8,43	8,56	8,73	8,83	8,45	8,57
Cp [pF] pro 100kHz (bez zatížení)	110,10	110,70	110,60	110,60	110,50	110,60	111,20	111,50	112,10	111,50
zatížený snímač	178,60	182,30	181,70	181,30	183,40	183,90	186,60	185,60	184,70	186,70
Disipativní faktor	0,80	0,80	0,79	0,79	0,79	0,77	0,77	0,78	0,76	0,76
Disipativní faktor	1,11	1,13	1,14	1,08	1,10	1,07	1,10	1,08	1,08	1,09

Tab. 9.6: Naměřené hodnoty pro 3 – vrstvý kapacitní snímač s navlhčením obou elektrod

3) Měření s navlhčením obou elektrod										
č.měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cp [pF] pro 1kHz (bez zatížení)	990,70	956,70	844,70	647,20	680,40	663,20	658,40	586,90	585,70	589,70
zatížený snímač	2156,70	2134,70	1845,00	1587,00	1569,00	1387,00	1389,00	1241,00	1263,30	1191,00
Disipativní faktor	55,34	55,40	55,30	55,67	55,60	57,80	59,20	63,11	62,20	63,32
Disipativní faktor	34,50	37,88	48,60	47,80	48,70	49,45	51,23	53,54	53,22	54,30
Cp [pF] pro 10kHz (bez zatížení)	172,50	171,80	165,40	163,20	161,17	164,40	165,30	162,30	162,40	163,10
zatížený snímač	352,30	354,20	347,50	333,50	345,50	349,40	337,50	339,60	335,90	338,20
Disipativní faktor	21,25	21,34	21,87	21,33	21,22	20,90	20,77	20,55	20,40	20,37
Disipativní faktor	17,47	17,53	17,03	17,05	16,77	16,26	16,77	16,85	16,11	16,15
Cp [pF] pro 100kHz (bez zatížení)	131,40	128,90	130,20	136,10	134,20	134,30	135,10	132,80	133,20	133,50
zatížený snímač	247,50	248,80	250,10	254,40	248,50	246,80	245,30	246,80	248,20	247,50
Disipativní faktor	2,56	2,57	2,53	2,42	2,45	2,44	2,39	2,44	2,42	2,40
Disipativní faktor	2,26	2,24	2,24	2,24	2,16	2,11	2,24	2,23	2,21	2,22

Tab. 9.7: Naměřené hodnoty pro tenzometrický snímač s použitím testovací zátěže

1) Měření s použitím testovací zátěže										
č.měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R [kΩ] bez zatížení	2,142	2,133	2,127	2,122	2,121	2,119	2,197	2,174	2,151	2,142
R [kΩ] zatíženo	1,341	1,343	1,352	1,347	1,331	1,445	1,356	1,334	1,449	1,382

Tab. 9.8: Naměřené hodnoty pro tenzometrický snímač zatěžování sezením

2) Zatěžování sezením										
č.měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R [kΩ] bez zatížení	2,127	2,157	2,135	2,114	2,157	2,124	2,195	2,153	2,145	2,199
R [kΩ] zatíženo	2,005	2,007	2,002	1,999	1,994	2,005	2,006	1,998	2,007	2,001

Tab. 9.9: Naměřené hodnoty pro navlhčený tenzometrický snímač

3) Měření s navlhčením										
č.měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R [kΩ] bez zatížení	2,263	2,243	2,247	2,257	2,269	2,267	2,269	2,275	2,277	2,273
R [kΩ] zatíženo	1,651	1,382	1,362	1,461	1,421	1,372	1,521	1,435	1,359	1,406

Tab. 9.10: Naměřené hodnoty pro vysušený tenzometrický snímač

4) Vysušení tkaniny a opět změřeno										
č.měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R [kΩ] bez zatížení	2,210	2,150	2,080	2,085	2,101	2,137	2,091	2,136	2,156	2,062
R [kΩ] zatíženo	1,443	1,343	1,431	1,372	1,474	1,411	1,378	1,451	1,431	1,312