

Fakulta elektrotechnická
Katedra materiálů a technologií

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Plošné textilní senzory přítomnosti pro vyhřívané textilie

Autor práce: **Bc. Milan Boháček**
Vedoucí práce: **doc. Ing. Radek Soukup, Ph.D.**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2023/2024

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Milan BOHÁČEK**
Osobní číslo: **E22N0001P**
Studijní program: **N0713A060011 Materiály a technologie pro elektrotechniku**
Téma práce: **Plošné textilní senzory přítomnosti pro vyhřívané textilie**
Zadávající katedra: **Katedra materiálů a technologií**

Zásady pro vypracování

1. Popište problematiku smart textilií se zaměřením na plošné textilní senzory přítomnosti zejména pro jejich využití jako zpětnovazebných prvků v textilních vyhřívacích výrobcích.
2. Proveďte literární a patentovou rešerši dostupných řešení pro plošné textilní senzory přítomnosti, které jsou vhodné pro integraci do plošných textilií.
3. Navrhněte a realizujte plošný textilní senzor přítomnosti integrovaný do vyhřívané textilie. Pozor-
nost rovněž věnujte problematice spolehlivého kontaktování.
4. Otestujte navržený textilní senzor přítomnosti zejména vůči mechanickému namáhání a pravidelné
údržbě automatickým praním
5. Diskutujte dosažené výsledky a navrhněte další postup prací pro výzkum v této oblasti.

Rozsah diplomové práce: **40-60**
Rozsah grafických prací: **1-10**
Forma zpracování diplomové práce: **elektronická**



Seznam doporučené literatury:

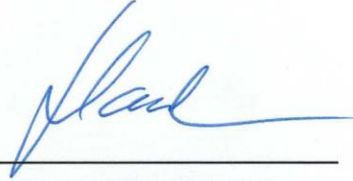
1. Derya Haroglu, Nancy Powell & Abdel-Fattah M. Seyam: A textile-based optical fiber sensor design for automotive seat occupancy sensing, The Journal of The Textile Institute, 108:1, 49-57, DOI: 10.1080/00405000.2015.1133756 (2017) .
2. Martínez-Estrada M, Gil I, Fernández-García R. Automotive Seat Occupancy Sensor Based on e-Textile Technology. Engineering Proceedings. 2023; 30(1):7. <https://doi.org/10.3390/engproc2023030007>.
3. A. Gaddam, S. C. Mukhopadhyay and G. S. Gupta: Intelligent bed sensor system: Design, experimentation and results, 2010 IEEE Sensors Applications Symposium (SAS), Limerick, Ireland, 2010, pp. 220-225, doi: 10.1109/SAS.2010.5439390.
4. Gehrke, I., Lutz, V., Schmelzeisen, D., Tenner, V., Gries, T.: (2019). Smart Textiles Production. MDPI. <https://doi.org/10.3390/books978-3-03897-498-7> (2019).
5. TAO, Xiaoming, ed. Handbook of Smart Textiles [online]. Singapore: Springer Singapore, 2015 ISBN 978-981-4451-44-4.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Radek Soukup, Ph.D.**
Katedra materiálů a technologií

Datum zadání diplomové práce: **7. října 2022**

Termín odevzdání diplomové práce: **24. května 2024**



Prof. Ing. Zdeněk Peroutka, Ph.D.
děkan


Prof. Ing. Aleš Hamáček, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 6. října 2023

Abstrakt

Tato práce se zabývá problematikou textilních senzorů přítomnosti pro vyhřívané textilie. V první části je představena oblast smart textilií a e-textilií, na které navazuje krátký průzkum trhu věnující se oblasti vyhřívaných textilií. V další kapitole je vypracována literární rešerše věnující se konkrétním technologiím pro realizaci senzorů přítomnosti, včetně jejich vzájemného porovnání. Následuje kapitola věnující se rešerši patentů na toto téma.

Praktická část práce se zabývá návrhem konkrétního senzoru na pleteném substrátu, který je následně testován jak z hlediska funkce, tak i mechanické odolnosti při automatickém praní. Na závěr je uvedena diskuse k zjištěným poznatkům s doporučením dalšího postupu pro výzkum v této oblasti.

Klíčová slova

Senzory přítomnosti, smart textilie, e-textilie, vyhřívané textilie, textilní senzory, textilní substráty, kontaktování textilních substrátů, testování textilních senzorů

Abstract

This paper deals with the issue of textile occupancy sensors for heated textiles. In the first part, the field of smart textiles and e-textiles is introduced, followed by a short market survey on heated textiles. In the next chapter, a literature search is conducted on specific technologies for the implementation of occupancy sensors, including their comparison with each other. This is followed by a chapter dedicated to a patent survey on the subject.

The practical part of the work deals with the design of a specific sensor on a knitted substrate, which is subsequently tested both in terms of function and mechanical resistance during automatic washing. Finally, a discussion of the findings is presented with recommendations for further research in this area.

Key Words

Presence sensors, smart textile, e-textile, heated textiles textile sensors, textile substrates, contacting of textile substrates, testing of textile sensors

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu práce doc. Ing. Radku Soukupovi, Ph.D. za odborné rady při zpracování diplomové práce a metodické vedení. Také bych chtěl poděkovat své rodině a přítelkyni za podporu během celého studia.

Obsah

Úvod	- 1 -
1 Smart textilie	- 2 -
1.1 Nositelná elektronika	- 2 -
1.2 E-textilie	- 3 -
2 Senzory přítomnosti.....	- 7 -
2.1 Kapacitní senzory	- 7 -
2.2 Optická vlákna	- 10 -
2.3 Senzory mechanického napětí	- 12 -
2.4 Teplotní senzor	- 13 -
2.5 Senzor vlhkosti	- 18 -
2.6 Shrnutí a vyhodnocení	- 20 -
3 Patentová řešení	- 22 -
3.1 Snímací zařízení na bázi textilu.....	- 22 -
3.2 Textilní kapacitní sensorová elektroda.....	- 23 -
3.3 Systém a metoda detekce kapalin v textilních výrobcích.....	- 23 -
3.4 Flexibilní snímač napětí z plně textilního materiálu	- 24 -
3.5 Odezva snímače	- 25 -
4 Technologie přípravy vyšíváných a pletených e-textilií	- 27 -
5 Návrh textilního senzoru přítomnosti	- 29 -
5.1 Vyšíváný vyhřívaný motiv	- 29 -
5.2 Vyšíváný senzor vlhkosti	- 30 -
5.3 Napájecí jednotka	- 31 -
5.4 Návrh pletené vyhřívané textilie	- 32 -
5.4.1 Návrh vyhřívaného motivu a senzoru mechanického napětí.....	- 33 -
5.4.2 Návrh vlhkostního senzoru.....	- 35 -
5.5 Testování navržených senzorů	- 36 -
5.5.1 Testování vyhřívané textilie	- 37 -
5.5.2 Testování senzoru mechanického napětí	- 38 -
5.5.3 Testování vlhkostního senzoru	- 44 -
5.5.4 Shrnutí výsledků testů	- 47 -
5.5.5 Testování navržených senzorů pracími cykly	- 47 -
6 Diskuse výsledků.....	- 51 -
7 Závěr.....	- 53 -

Seznam symbolů a zkratk

Značka	Popisek	Jednotka
<i>Tex</i>	Délková hmotnost vláken	g/km
<i>AgNW</i>	Stříbrné nanodráty	
<i>CNT</i>	Uhlíkové nanotrubičky	
[EMIM] [Tf2N]	1-Ethyl-3-methylimidazolium bis(trifluoromethylsulfonyl)imide	
<i>DC</i>	Direct current (stejnoseměrný proud)	
<i>AC</i>	Alternating current (střídavý proud)	
<i>OL</i>	Over limit	

Úvod

S neustálým technologickým pokrokem se v dnešní době můžeme setkat prakticky ve všech technických oborech. Souběžně s tímto ustavičným rozvojem dochází také ke vzniku řady nových technických oborů a disciplín, mezi které se řadí právě e-textilie. Jedná se o obor zabývající se integrací elektrických prvků do textilních struktur. Takovéto produkty využívající této technologie se v dnešní době těší stále větší oblibě, jelikož nabízejí možnosti a funkce dříve nedostupné. Integrací senzorů přítomnosti jsme však schopni těmto strukturám propůjčit i řadu dalších funkcí, mohou tak posloužit při sledování kvality spánku či zabránit vzniku proleženin u pacientů upoutaných na lůžko.

Není překvapivé, že i téma ekologie a životního prostředí proniká do tohoto oboru. Integrované senzory přítomnosti tak mohou posloužit i pro účely regulace napájení a díky tomu snižovat množství spotřebované elektrické energie.

Hlavním cílem této práce je navrhnout a vytvořit plošný textilní senzor přítomnosti integrovaný do textilie. Následně otestovat jeho funkčnost a odolnost vůči mechanickému namáhání vlivem automatického praní.

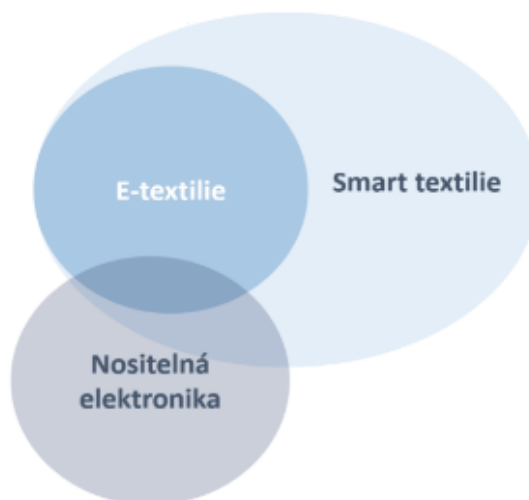
Pro dosažení tohoto cíle je nutné vytvořit přehled dostupných technologií a principů funkce textilních integrovaných senzorů, zjištěné informace vyhodnotit a zvolit vhodný postup pro dopracování se k vyhovujícímu výsledku. Důležité je také zvážit různé metody přípravy jako šití či pletení, jelikož způsob přípravy ovlivňuje výsledné mechanické vlastnosti e-textilie.

1 Smart textilie

Obecně se jedná o materiály se schopností měnit své vlastnosti v závislosti na reakci na vnější podněty, jako jsou mechanické, tepelné, chemické, elektrické, magnetické a jiné vlivy. Obecně se tak tento pojem může vztahovat k materiálům s integrovanými elektronickými prvky, s tvarovou pamětí nebo fázovou přeměnou. Označení „Smart“ se také může používat ve spojitosti s funkčními úpravami, jako je například nežehlivá úprava.

Ve spojitosti se „Smart“ textiliemi se také můžeme setkat s pojmy jako je nositelná elektronika, interaktivní textilie a e-textilie.

- Nositelná elektronika – Plně funkční, hotový elektronický výrobek speciálně navržený pro nošení na těle.
- Interaktivní textilie – Nositelná elektronika, která je integrována do oděvů a může být řízena integrovanými tlačítky nebo panely.
- E-textilie – Textilní struktura (vlákno, příze, tkanina nebo hotový výrobek) s trvalými elektrickými a / nebo elektronickými funkcemi.[1]



Obr.1: Vztah mezi nositelnou elektronikou, smart textiliemi a e-textiliemi (převzato z [1])

1.1 Nositelná elektronika

Nositelná elektronika představuje revoluci v tom, jak interagujeme s technikou v našich každodenních životech. Od chytrých hodinek a brýlí po fitness náramky a chytré oblečení, s nositelnou elektronikou se postupem času setkáváme stále častěji. Její vývoj zahrnuje nejen

technologický pokrok, ale také navýšení komfortu spojeného s jejich užíváním, zlepšení zdraví a efektivity každodenních aktivit.

Uplatnění nachází v nepřeberném množství oborů od módy až po průmyslové aplikace. Velmi aktuální jsou také technologie virtuální a rozšířené reality, které se kromě zábavy a vzdělávání mohou využít při návrhu nových zařízení či jako podpůrný nástroj při plánování podnikové výroby. [2] Kromě těchto příkladů jsou však další teoretické možnosti využití prakticky neomezené. Nositelná elektronika se tak pomalu stává naší nedílnou součástí.

Velmi perspektivní oblastí budoucího nasazení nositelné elektroniky představuje zdravotní péče. Především senzory se schopností sledovat zdravotní indikátory a odhalit nemoc ještě předtím, než pocítíme první příznaky a výrazně tak ulehčit následnou léčbu. Také dojde k značnému ulehčení diagnózy lékařem, jelikož bude mít k dispozici kompletní informace o pacientově stavu.

Důležitou součástí každé nositelné elektroniky představují napájecí zdroje, senzory, akční členy, integrované obvody, vodiče a případně antény. Pro další vývoj je však potřeba všechny tyto komponenty zhotovit tak, aby o nich uživatel prakticky nevěděl a zároveň byly mechanicky odolné. Často se tak jedná o protichůdné požadavky. Řešení řady těchto problémů se tak může skrývat právě v technologii e – textilií.

1.2 E-textilie

Jedná se o relativně nový předmět výzkumu, zabývající se možnostmi zakomponování plošných spojů a elektrických součástek do textilií. Díky tomu je možné vyrábět látky se schopností reagovat na vnější podněty, např. vlhkost nebo teplotu, nebo se jim přizpůsobovat. Setkat se s touto technologií můžeme v dnešní době především ve zdravotnictví, v pracovních oděvech či v oblečení určeným pro volnočasové a sportovní aktivity. V dnešní době mají lidé stále větší zájem o sledování svých tělesných funkcí, ať už ze zdravotních důvodů či za účelem sledování svých sportovních výkonů. Na základě toho, se nabízí využití technologie e-textilií na výrobu funkčního oblečení. Takové to oblečení je schopno převádět fyziologické informace nebo informace o okolním prostředí do podoby elektrického signálu, který je dále zpracovaný a může sloužit k poskytnutí zpětné vazby uživateli většinou v mobilním telefonu. Je tedy zřejmé, že jednou z nejdůležitějších částí e-textilií představují senzory. Hlavní překážkou řešenou v dnešní době, tak představuje integrace těchto sensorů do látky, tak aby bylo její nošení příjemné. Dále také stojí za zmínku odolnost vůči běžnému zatěžování textilie při užívání a odolnost vůči praní, a s tím spojeným mechanickým namáháním.

Na e-textilie jsou kladeny výrazné požadavky na toleranci nízkých i vysokých teplot a vlhkosti. Velký problém představuje také praní a obzvláště sušení, jelikož dochází při vysokých otáčkách k velkému mechanickému namáhání vodivých vláken. Dále také musí být odolné vůči lidskému potu a čistícím prostředkům.

Pro propojování jednotlivých elektrických součástek na textilním substrátu se používají speciální elektricky vodivé nitě. K tomuto účelu se v dnešní době nejčastěji využívají pokovené polyamidové nitě. Tyto materiály mají však celou řadu nevýhod: vysoký lineární odpor, nemožnost izolace atd. Daleko perspektivnějším materiálem v této oblasti jsou nitě hybridní. Ty jsou setkány z textilních filamentních vláken a metalických mikrodrátků, nejčastěji vyráběnými z postříbřené mědi, mosazi, bronzu a řady dalších kovů. Jejich výhoda spočívá ve vysoké mechanické odolnosti, což se hodí v případě automatického praní textílie, dále je také možné je izolovat. Ve srovnání s polyamidovými nitěmi se vyznačují nižším lineárním odporem. Zároveň je možné je využít pro všechny standardní textilní procesy pro vytváření vodivých cest. Kromě faktu, že nejsou vodivé po celém svém obvodu, představuje hlavní nevýhodu složitost jejich výroby. Kovové drátky způsobují zasekávání strojů, trpí průvlakly strojů, smyčkování drátků atd. Proto se i přes svoje výhodné vlastnosti používají pouze v malé míře. [1]

Kromě mikrodrátků se také používají vodivé stuhly. Ty se vyrábějí v pružném a nepružném provedení. Pružné vodivé stuhly poskytují zlepšený komfort při nošení, což je v případě nositelných smart textilií jedna z nejdůležitějších vlastností. [1]

Vyhřívání textílie

Jednu z nejvíce rozšířených podskupin e-textilií představují textílie vyhřívání. Tyto speciální materiály jsou navrženy tak, aby poskytovaly uživatelům teplo a komfort v chladných podmínkách, či při aktivitách vyžadujících dodatečné zahřátí. Uplatnění tak naleznou například při rekonvalescenci sportovců či v běžném životě. Díky tomuto širokému spektru využití se stávají velmi oblíbenou záležitostí u široké populace.

Nejvíce rozšířenými produkty na trhu, využívající tyto materiály jsou vyhřívání přikrývky, které jsou dnes dostupné v každém větším obchodě s elektronikou či dokonce supermarketech. K jejich rozšíření přispívá mimo jiné jejich jednoduchá funkce, kde je teplo vytvářeno během přeměny elektrické energie na teplo v topných prvcích. Z toho vyplývá, že jejich rovnoměrné rozložení v celé ploše textílie je důležitou podmínkou pro dosažení tepelné pohody.

Kromě těchto topných těles jsou nejmodernější vyhřívané textilie vybaveny řadou dalších komponent a funkcí. Základní funkcí je možnost nastavení požadované teploty ve formě předem nadefinovaných stupňů intenzit, jejich počet bývá v rozsahu tří až deseti úrovní. Dále je taky možné si nastavit dobu, po kterou má textilie hřát. Což vede ke snížení spotřeby elektrické energie.[3]

Velmi důležitou vlastností je také bezpečnost. Ať už se jedná o ochranu proti přepětí nebo přehřátí, vyhřívané textilie jsou vybaveny bezpečnostními prvky, které zamezí vzniku těchto stavů.[3]

V oblasti smart textilií se také často hovoří o možnosti automatického praní. Většinu vyhřívaných příkrývek je možné prát v pračce, díky možnosti odpojení napájecího kabelu a zvýšené odolnosti proti vodě. Doporučené je však používat jemný program s maximální teplotou 30°C. Při takovém to nastavení ale nemusí dojít k celkovému vyčištění i odolnějších nečistot.

Kromě již zmíněných příkrývek jsou na trhu dostupné i vyhřívané boty, rukavice, zimní bundy či podkolenky. Napájení tohoto oblečení se provádí přes připojenou powerbanku, která se umístí například do kapsy u bundy, nebo se vloží pod samotnou podkolenku. Toto řešení však představuje hlavní nevýhodu tohoto druhu oblečení, uložená powerbanka uvnitř podkolenky může způsobovat značný diskomfort během fyzické aktivity.

Vyhřívané textilie mají i přes řadu výhod velké množství nevýhod, pro účely této práce stojí za zmínku absence jakýchkoliv senzorů přítomnosti, jejímž prostřednictvím by bylo umožněno regulovat bez zásahu uživatele dodávaný výkon. Dále stojí za připomenutí velmi omezená možnost praní, jak již bylo zmíněno v textu. Velká nevýhoda dnes vyráběných vyhřívaných textilií spočívá také v tom, že jsou napájeny síťovým napětím. V případě poruchy izolace tak uživateli hrozí nebezpečný úraz elektrickým proudem.

V následující tabulce je vypracovaný stručný přehled vyhřívaných textilních výrobků volně dostupných na trhu se shrnutými informacemi.

Tab. 1: Přehled dostupných vyhřívaných textilií [3] [4] [5]

Produkt	Výrobce	Pratelnost	Technologie	Senzory přítomnosti
Vyhřívané triko	warmX	Do 30 °C	Textilní obvod	Ne
Elektrická deka CCH130	Gallet	Do 40 °C	Odporové drátky	Ne
Vyhřívaná bunda	W-TEC	Do 30 °C	Karbonová vlákna	Ne
Vyhřívané podkolenky	W-TEC	Do 30 °C	Karbonová vlákna	Ne
Elektrická deka EB-Q150BE	Siguro	Do 30 °C	Odporové drátky	Ne
Vyhřívaná deka 1813	TrueLife	Do 30 °C	Odporové drátky	Ne
Vyhřívané rukavice	W-TEC	Ne	Karbonová vlákna	Ne

Z tabulky je patrné, že senzory přítomnosti nedisponuje drtivá většina všech vyhřívaných textilií aktuálně nabízených na trhu. Z popisu jednotlivých produktů vyplývá, že k automatickému vypnutí dochází pouze po předem nastaveném časovém intervalu. Co se týče pratelnosti textilií, většinu dostupných produktů je možné prát v pračce ale pouze na jemný režim s maximální teplotou 30 °C, jak již bylo zmíněno, toto nastavení nemusí být dostatečné pro vyprání odolnějších nečistot.

2 Senzory přítomnosti

Jednou z nejdůležitějších součástí e-textilií představují senzory. Setkáme se tak se senzory fungujícími na principu kapacitním, indukčním, piezoelektrickým, optickým, chemickým anebo odporovým. Každý z těchto senzorů se dá použít na řadu různých aplikací. Tato práce se bude dále věnovat popisu senzorů, používaným pro detekci přítomnosti. [6]

2.1 Kapacitní senzory

Kromě detekce přítomnosti osob se kapacitní senzory používají i k detekci dotyku, tlaku nebo měření svalové aktivity. Fungují na stejném principu jako klasické kondenzátory, kde jsou dvě kovové elektrody odděleny dielektrikem. V případě smart textilií tvoří dielektrikum polymer, např. v podobě pěny, a elektrody. Ty mohou být vyrobeny řadou různých metod, jako je tkaní, vyšívání nebo tisk. Vlivem změny vzdálenosti mezi elektrodami dochází podle vztahu (1) ke změně kapacity, kterou jsme schopni měřit. [6]

$$C = \varepsilon * \varepsilon_0 * \frac{S}{d} \quad (1)$$

Nejčastěji se tyto senzory využívají v aplikacích souvisejících se zdravotní péčí, jsou tak nápomocné při vyšetřeních či rehabilitacích. V literatuře se například uvádí návrhy na speciální pás monitorující správné dýchání. V tomto případě jsou elektrody senzoru umístěny paralelně k hrudníku a vlivem jejich relativního posouvání dochází ke změně aktivní plochy kondenzátoru, v rovnici (1) označené jako S. Monitoruje se tak expanze a následná kontrakce hrudníku pacienta při dýchání. [7]

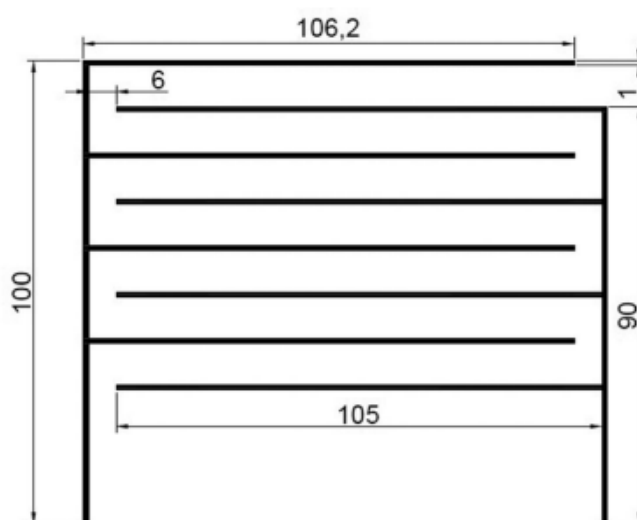
V další aplikaci se na místo polymerního dielektrika využívá přímo lidského těla. V tomto případě jsou elektrody umístěny okolo krku, hrudníku, zápěstí anebo horní části nohou a sledují se změny v lidském těle vyvolané pohybem svalů. Tento koncept se osvědčil při monitorování správného držení těla, pohybů rukou a hlavy. Kapacitní senzory se také dají využít k analýze potu během sportovní aktivity. V tomto případě dochází k prosakování potu do dielektrika a následné změně kapacity. [8]

Nevýhody kapacitních senzorů spočívají v tom, že vlastnosti dielektrika jsou závislé na vlastnostech okolního prostředí, především vlhkosti a vyžadují minimální plochu elektrod pro správnou funkčnost. [6]

Kapacitní senzory přítomnosti

Kromě výše zmíněných aplikací se kapacitní senzory dají použít i pro detekci přítomnosti. Uplatnění by tato technologie mohla nalézt v automobilovém průmyslu, kde by mohla nahradit rezistory citlivé na tlak k detekci přítomnosti osob na jednotlivých sedadlech v automobilu. Dále by se dala uplatnit v případě vyhřívaných podsedáků, kde by se díky detekci přítomnosti dalo regulovat samotné vytápění. Dosáhlo by se tak výrazné úspory energie.

Dále je popsán konkrétní případ výroby a testování kapacitního tkaného senzoru vlhkosti a přítomnosti. Senzor je založený na interdigitální struktuře, viditelné na následujícím obrázku. Za účelem této práce bude pozornost věnována pouze části věnující se aplikaci tohoto senzoru jako senzoru přítomnosti.



Obr.2: Rozměry tkaného senzoru v mm. (převzato z [9])

Princip funkčnosti senzoru spočívá na změně permitivity, způsobené okolní vlhkostí, v tomto případě se dá hovořit o senzoru vlhkosti.

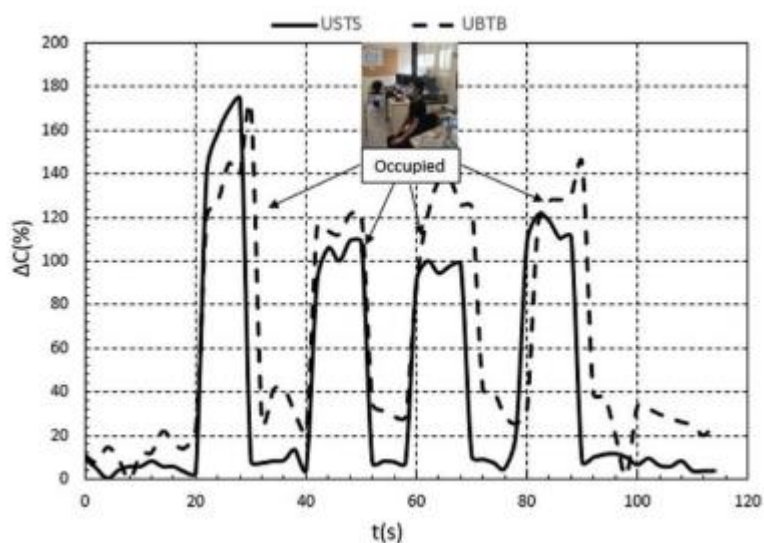
Senzor byl vyroben tkaním, což je proces, který spočívá v opakovaném provazování dvou navzájem kolmých soustav nití, kde horizontální nit se nazývá útek a vertikální osnova. V tomto případě byla nit použitá jako osnova vyrobená ze 100% bavlny a nit použitá jako útek z látky, kterou ze 35 % tvořila bavlna a ze 65 % polyester. Z těchto materiálů je utkán substrát, do kterého byl později integrován samotný senzor. Jelikož je tento substrát hydrofilní, dochází ke změnám jeho permitivity při absorpci vlhkosti z okolního prostředí.

Celkem byli při výrobě použity dva různé typy vodivých nití. Prvním druhem byla komerčně dostupná nit Shieldex 117/17 2-ply(S), vyrobená ze stříbra a polyamidu. Druhou nití byla Bekaert 20/2 Tex (B) z polyesteru a vláken z nerezové oceli s poměrem 60/40 %.

Obě nitě se vyznačují rozdílnými vlastnostmi, zatímco první nit má menší elektrický odpor a větší odolnost v tahu, druhá nit je pohodlnější a lehčí.

Pro účely senzoru, by měli vodivé nitě být zakomponovány jak do útku, tak do osnovy. Jelikož příprava nového osnovního paprsku je nákladná, části látky z použitého paprsku byly odstríženy a nahrazeny vodivými nitěmi. Tento proces pak byl zopakován pro každou vrstvu senzoru. Dále byla pak jako útek použita samotná vodivá nit. Tímto způsobem byly vyrobeny dva vzorky, jeden s využitím nitě Shieldex a druhý s nití Bakaert.

Pro kontrolu funkčnosti senzoru jako senzoru přítomnosti byl proveden prvotní praktický test. Při něm byl senzor položen na židli a člověk vážící 70 kg si na něj opakovaně sedal, vždy po 10 s a celkem byl tento postup opakován čtyřikrát. Stejný test byl poté proveden také s taškami vážícími 4 kg, 6 kg, 10 kg a 15 kg aby bylo prokázáno, že lze za pomoci tohoto senzoru rozlišovat, zda na něm spočívá člověk či pouze položený předmět. Během tohoto testu byla kapacita měřena v rozmezí 2 Hz až 2 kHz. Test byl proveden jak pro vzorek s nití Shieldex, tak pro variantu s nití Bakaert, výsledky testu jsou vyneseny v následujícím grafu.

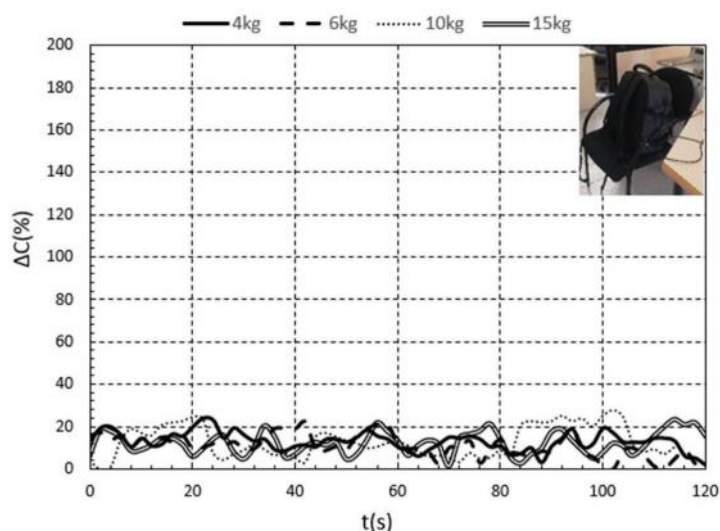


Obr. 3: Procentuální změna v kapacitě, během testu přítomnosti (převzato z [9])

Z grafu je viditelné, že posazení osoby na senzor způsobí zvýšení kapacity senzoru, které trvá po celou dobu zatížení. Mírné zvýšení kapacity přetrvává i mezi jednotlivými opakováními, toto zvýšení se však pohybuje do 15 % maximální hodnoty a v porovnání se zvýšením v zatíženém stavu je zanedbatelné. Senzor s nití Bakaert vykazuje větší procentuální navýšení kapacity i po opakovaném zatížení v porovnání se senzorem připraveném nití Shieldex.

V následujícím testu bylo zhodnoceno chování senzoru při zatížení lehčím břemenem, například taškou. Během tohoto testu docházelo k procentuálnímu navýšení kapacity do 20 %. Jak již bylo napsáno výše, test se prováděl s různě těžkými břemeny, navýšení kapacity však bylo ve všech případech stejné a jednotlivá závaží od sebe na základě testu nelze rozeznat.

Tím se dokazuje, že změnu permitivity způsobuje materiál tašky a senzor lze použít jako senzor přítomnosti. [9]



Obr.4: Procentuální změna kapacity, test zatížení (převzato z [9])

2.2 Optická vlákna

S optickými vlákny se běžně můžeme setkat ve sdělovací technice, tato technologie však již získává uplatnění i v oblasti smart textilií. Setkat se s ní můžeme převážně v oblasti zdravotnictví. Samotná optická vlákna jsou do textilního substrátu všity anebo vpleteny. Kromě dalších několika aplikací se optická vlákna mohou použít k detekci přítomnosti osoby na sedadle v automobilu.

Typické sedadlo v automobilu se skládá ze dvou částí, z konstrukční části, která je připevněná ke karoserii automobilu a výplňové části, kterou většinou tvoří několik vrstev polyuretanových, polyesterových a polyamidových pěn. Právě v této části je umístěné optické vlákno, na které po usazení osoby na sedačku, působí síla, která vytvoří v optickém vláknu mikro-ohyby. Dále také dojde ke vzniku tažné síly v okrajových místech, kde je optické vlákno připevněno k samotné sedačce. Na základě provedených testů se zjistilo, že k nejmenšímu zatížení sedačky dochází v oblasti stehen. [10] Kde maximální zatížení dosahuje hodnoty $0,4 \text{ N/cm}^2$. Dalším zjištěním bylo, že se jedná o oblast, kde dochází

k nejmenší variabilitě naměřených hodnot v závislosti na způsobu sezení sedící osoby a její anatomii těla. Na základě tohoto zjištění bylo rozhodnuto, že optické vlákno bude umístěno právě v této oblasti.

Konstrukce senzoru spočívá v optickém vláknu vetkaném do textilního substrátu, který je umístěn nad první pěnovou vrstvou. Textilní substrát byl vyroben z polyesteru, z důvodu jeho vysoké elasticity, aby bylo dosaženo dobrých mechanických vlastností. Dále se také jedná o hydrofobní materiál, což vylučuje možnost absorpce vlhkosti z okolního prostředí a změnu rozměrů.

Bylo také testováno, jaký druh optických vláken je pro tuto aplikaci nejvhodnější, konkrétně byla porovnávána vlákna Cytos-1 (62.5/ 750 μm) a Cytos-2 (62.5/490 μm). V obou případech se jedná o vlákna z polymerního materiálu. Pro tuto variantu bylo rozhodnuto z důvodu dobrých vlastností optických vláken vyrobených právě z tohoto materiálu. Konkrétně se jedná o odolnost vůči elektromagnetickému rušení, malé rozměry vláken, nízkou hmotnost a ohebnost.

Byly provedeny řady testů spočívajících v opakovaném zatěžování, ohýbání a zatěžování v tahu. Výsledkem testů bylo, že pro tuto konkrétní aplikaci se hodí spíše vlákno Cytos-1 (62.5/ 750 μm). Textilní substrát byl ušit způsobem, kdy se střídají jednovrstvé části látky s dvojitými, rozdvojené části látky poté tvoří jakýsi tunel, kterým bylo následně optické vlákno protaženo.

Následné testování se provádělo na speciálním přípravku vyrobeném za tímto konkrétním účelem, který byl postupně zatěžován až do váhy 113,398 kg (250 lb). Průměr zatěžovacího závaží byl 76,2 mm (3 in). Během testu se závaží pohybovalo rychlostí 4 mm/min. Jakmile bylo dosaženo cílové zátěže, závaží se ponechalo po dobu 45 minut v této poloze a byl změřen útlum světla reflektometrem. Takto dlouhá doba byla určena na základě faktu, že zátěž automobilových sedaček je ve většině případů dlouhodobé. Bylo tedy nutné otestovat, zda nedojde k nevratné deformaci této struktury. Poté se rychlostí 50 mm/min závaží opět zvedlo. Před dalším opakováním tohoto postupu se ponechalo 5 minut na zotavení materiálu a jeho navrácení do původního tvaru, ještě než došlo k opětovnému zatížení, byl znovu změřen útlum světla. Dále byl také tento test proveden s výplňovými pěny rozdílné tloušťky, aby byla ověřena funkcionálnost senzoru i v případě rozdílných konstrukcí autosedačky.

Závěrem této studie bylo zjištění, že senzor pracuje nejlépe při zatížení 0,18 N/cm² až 0,21 N/cm². Což vypovídá o tom, že nejideálnější umístění senzoru je oblast, kde se nachází stehna sedící osoby. Také bylo zjištěno, že v tomto případě je odezva senzoru nepřesnější a

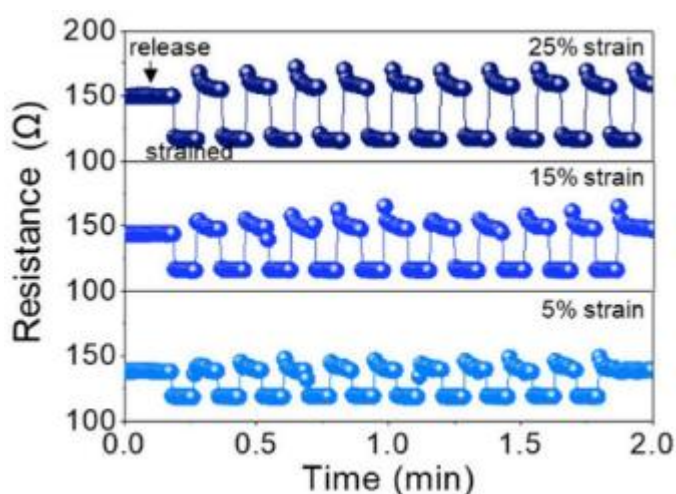
také poskytuje reprodukovatelné výsledky. Nevýhodou však může být, že výsledky jsou závislé na citlivosti použitého reflektometru. Dobrou zprávou pro budoucí komerční využití této technologie může být to, že rozdílné tloušťky výplňové pěny, stejně tak jako volba rozdílných potahových materiálů nemá větší vliv na funkci senzoru. [11]

2.3 Senzory mechanického napětí

Dalším způsobem, jak detekovat přítomnost osoby na textilním substrátu jsou senzory mechanického napětí. Tento senzor funguje na principu snížení odporu mezi vodivými nitěmi tvořícími strukturu textilie. Při natažení látky, ke které dochází vlivem prosednutí materiálu sedící osobou dochází zároveň k natažení jednotlivých vláken. To vede ke zvýšení vzájemné kontaktní plochy a snížení vzájemného odporu.

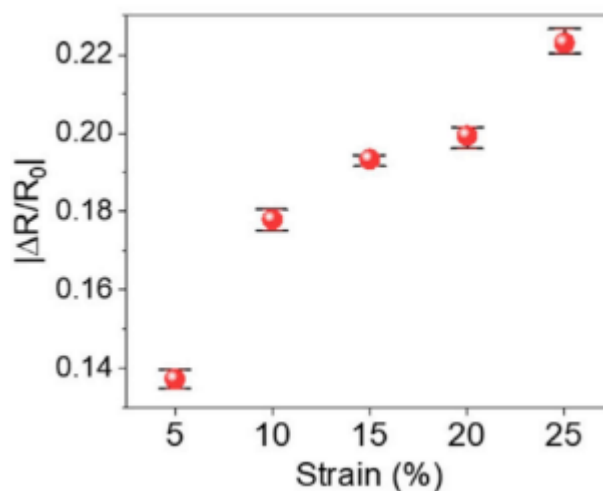
V jedné ze studií provedené na toto téma byl senzor vyroben z postříbřených nanodrátů (AgNW)/poly(3,4-ethylenedioxythiophene) a poly(styrenesulfonate) potažených vláken tvořící hybridní vlákno. To bylo následně vpleteno do textilního substrátu. Výsledný lineární elektrický odpor tohoto vlákna činil $\sim 18 \Omega \cdot \text{cm}^{-1}$.

Následně byl proveden test, při kterém byl senzor opakovaně natahován o 5 %, 10 % a 20 % své původní délky.

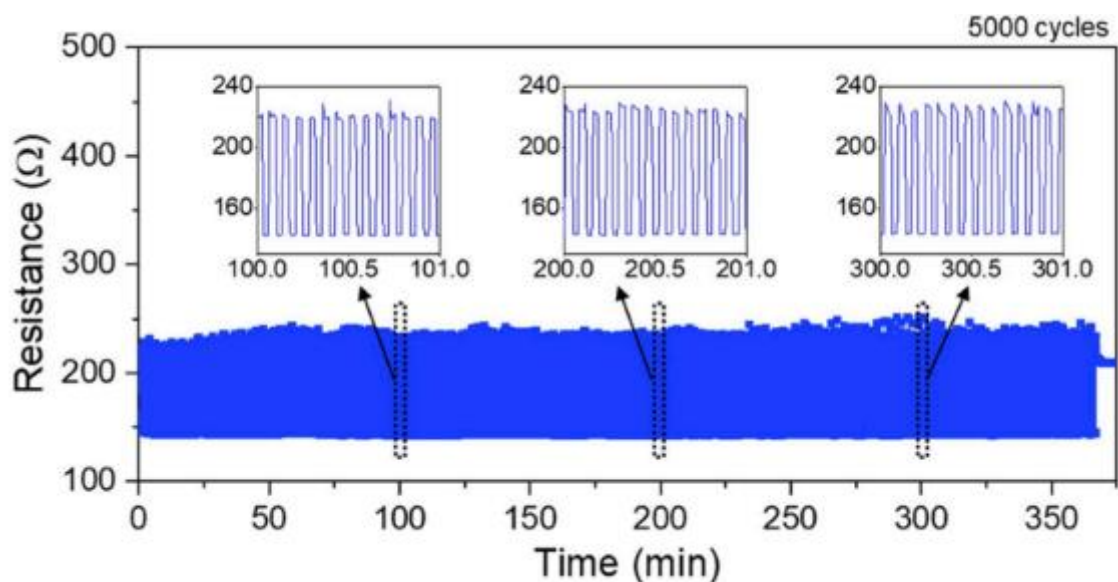


Obr.5: Změna odporu po natažení vzorku (převzato z [12])

Z grafu je patrné, že k výrazné změně odporu dochází i při relativně malému natažení substrátu. Senzor tak bude schopný detekovat přítomnost osoby či předmětu. Komplikované však bude tyto dva případy od sebe odlišit.



Obr.6: Relativní změna odporu při různých velikostech natažení (převzato z [12])



Obr.7: Test stability senzoru pro 5000 cyklů natažení (převzato z [12])

Následně byl proveden test, hodnotící stabilitu naměřených hodnot, při vysokém počtu opakování pro 20 % deformaci. Jak je z uvedeného grafu patrné, senzor si zachovává svoje vlastnosti a je tak spolehlivý i pro dlouhodobé používání. [12]

2.4 Teplotní senzor

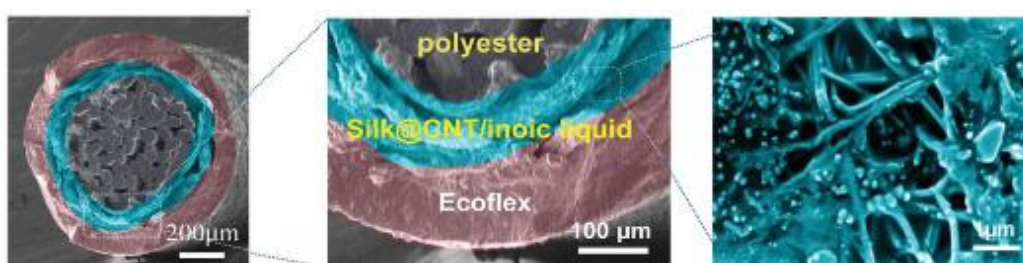
Dalším způsobem, jak by bylo možné detekovat přítomnost osob je pomocí teplotních senzorů. Hlavní výhodou spočívá v tom, že je možné je vytvořit z přírodních materiálů, konkrétně z hedvábí. To dodává hotové textilii prodyšnost, dobré mechanické vlastnosti, tepelnou vodivost a elektro izolační vlastnosti.

Samotný proces výroby spočívá v navíjení podpůrných polyesterových přízí hedvábnými vlákny. Takto připravená vlákna jsou následně potažena nanomateriály pro snímání teploty, konkrétně uhlíkovými nanotrubicemi (CNT) a iontovou kapalinou. V dalším kroku jsou nanoseny ochranné a dielektrické vrstvy (Ecoflex) a samotné splétání vláknitých senzorů do kombinované dvouvrstvé textilie.

Důležité je také dodat, že tímto způsobem je možné vyrobit také tlakový senzor. Jediný rozdíl spočívá v tom, že místo uhlíkových nanotrubic se použijí stříbrné. Oba tyto senzory se dají kombinovat do jedné struktury a vytvořit tzv. bimodální senzor. Prakticky tak získáme senzor napodobující svými schopnostmi lidskou pokožku.

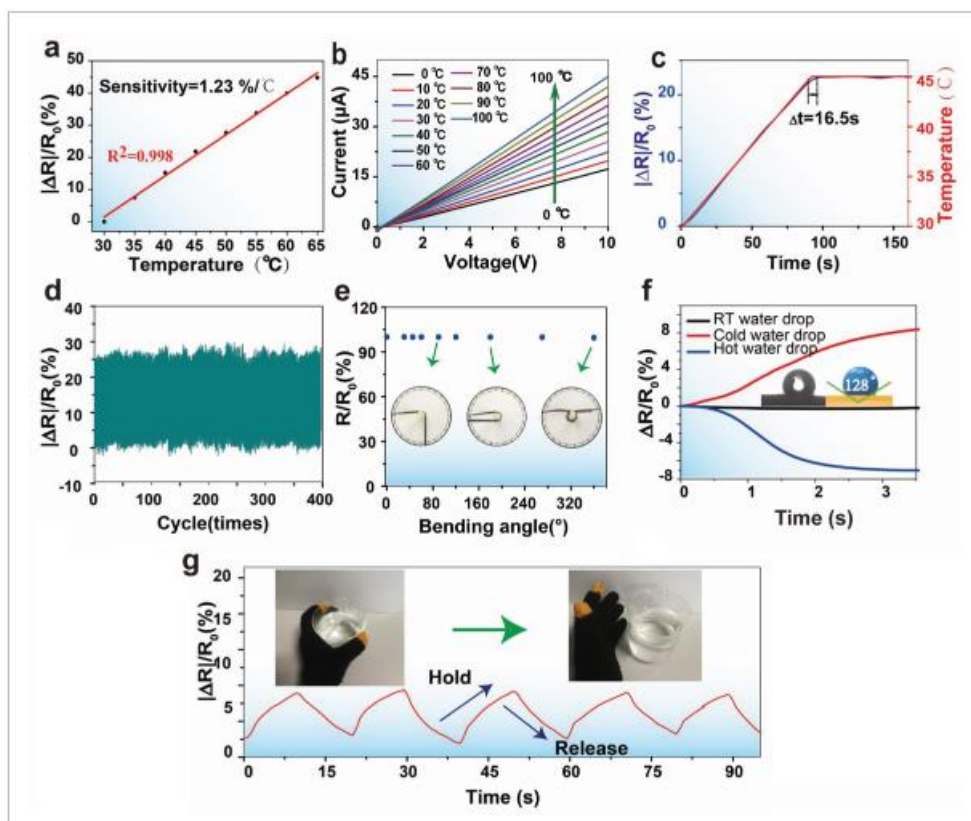
Detekce teploty spočívá na principu změny elektrického odporu, kde dochází k jeho poklesu zároveň s klesající okolní teplotou. Pro snímání tlaku v místě křížení tkaniny lze generovanou kapacitu účinně měnit zmenšením tloušťky potahových dielektrických vrstev při zatížení konkrétního místa.

Jako iontová kapalina byla zvolena [EMIM] [Tf2N], která v kombinaci s CNT mění svoji resistivitu o 23,3 k Ω za každý stupeň Celsia, což je o dva řády více než u tradičních kovových odporových detektorů teploty. Díky tomu nejsou potřeba zesilovače s vysokým zesílením a vysoce přesné A–D převodníky, což usnadňuje následnou integraci a snižuje výrobní náklady.



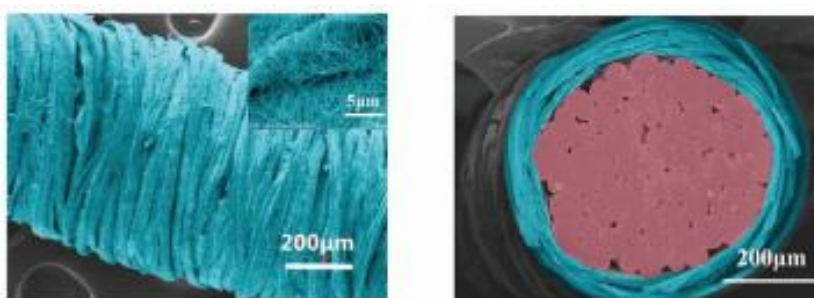
Obr.8: Pohled elektronovým mikroskopem na strukturu vlákna (teplotní senzor) (převzato z [13])

Pro ověření vlastností senzoru byla provedena celá řada testů. Na obrázku 8.a a 8.b je vidět lineární změna odporu vlákna v reakci na měnící se teplotu. Z těchto dvou grafů lze odvodit, že senzor dokáže spolehlivě reagovat na přiložené teploty a od sebe je odlišovat. Pro teoretické využití senzoru pro detekci přítomnosti jsou však nejdůležitější testy na obrázcích 8.d, 8.e a 8.g. Z těch je patrná vysoká stabilita měření i po vysokém počtu opakování, odolnost vůči mechanickému namáhání a rychlá reakce na změnu teploty.

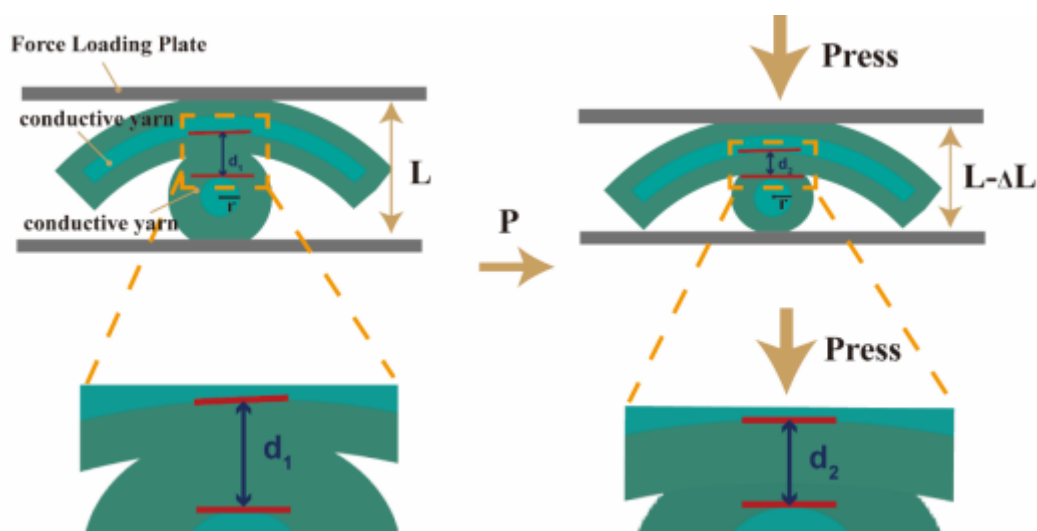


Obr.9: Série provedených testů pro senzor teploty (převzato z [13])

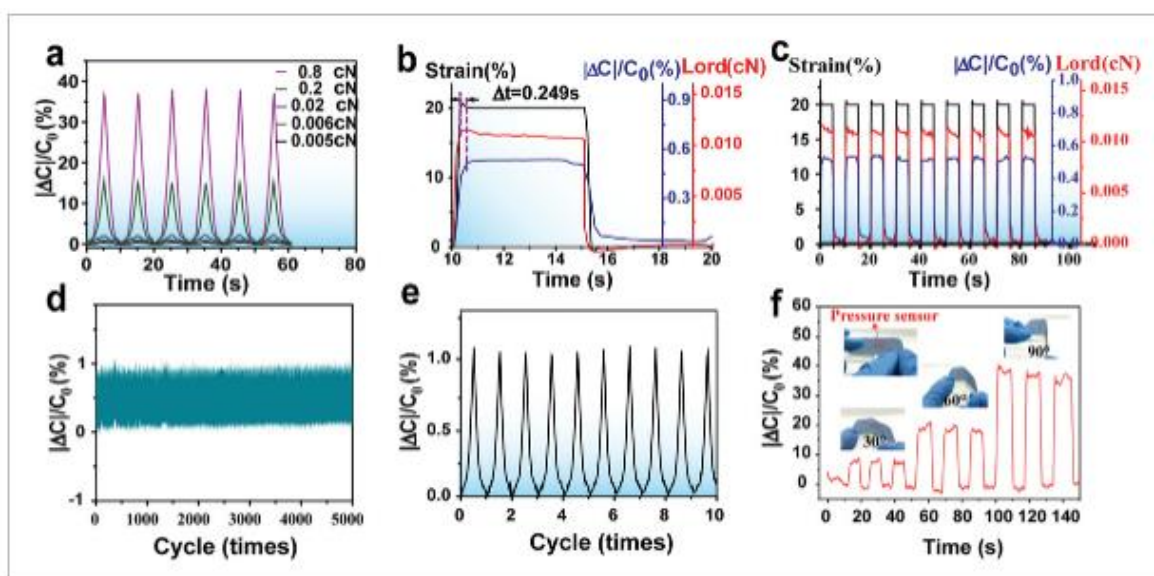
Jak již bylo zmíněno, výhoda tohoto senzoru spočívá v možnosti jeho kombinace se senzorem tlaku. Vzniklý bimodální senzor by se dal velmi efektivně využít jako senzor přítomnosti. Pokud bychom využili pouze schopnosti měřit teplotu, docházelo by k ovlivňování senzoru vlastním ohříváním textilu topnými prvky.



Obr.10: Pohled elektronovým mikroskopem na strukturu vlákna (senzor tlaku) (převzato z [13])



Obr.11: Princip funkce vláknového senzoru tlaku (převzato z [13])

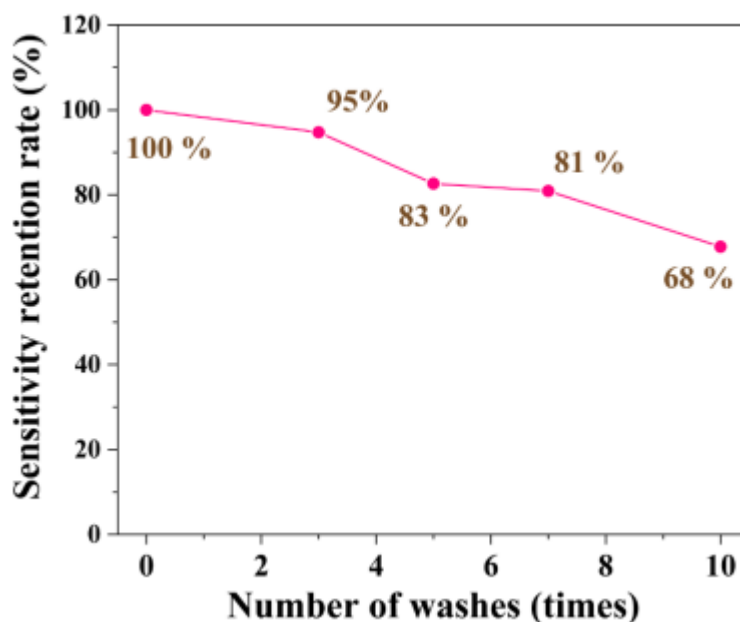


Obr.12: Série provedených testů pro senzor tlaku (převzato z [13])

Z provedených testů je patrná vyhovující schopnost senzoru reagovat na různé druhy zatížení. Za zmínku stojí především zachování vlastností i po vysokém počtu opakujících se cyklů zatěžování a téměř okamžitá reakce na stlačení senzoru.

Dalším provedeným testem byla ověřena schopnost zachování vlastností po více cyklech automatického praní obou zkoumaných senzorů. Kapacita tlakového senzoru zůstala po třech cyklech automatické praní prakticky nezměněná, to samé se dá říci i o senzoru teplotním. V tomto případě došlo k poklesu citlivosti na 95 % původní hodnoty. Po deseti pracích cyklech se již mechanické poškození vláken projevilo citelněji, v případě tlakového

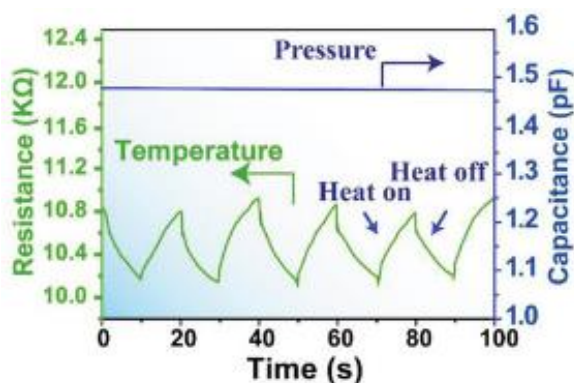
senzoru se kapacita snížila o 14 % a citlivost teplotního senzoru se snížila o 32 %. Za tuto změnu parametrů může poškození dielektrické vrstvy Ecoflex. Uvedené experimenty však dokazují, že povlaky Ecoflex dodávají vláknům mechanickou odolnost a stávají se voděodolnými.



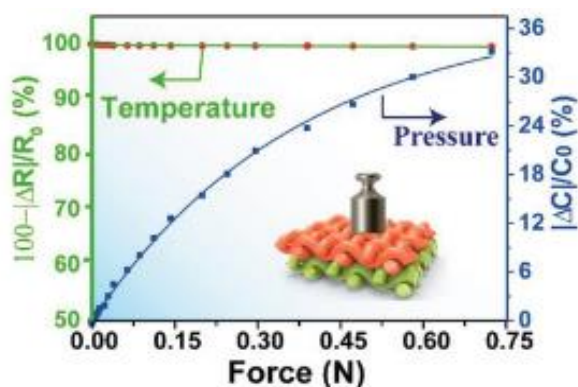
Obr.13: Zachování citlivosti během automatického praní (převzato z [13])

Bimodální senzor

Jak již bylo zmíněno, kombinací těchto dvou vláknových senzorů lze spojit jak schopnost reakce na změny teploty, tak na tlak. Lze toho docílit kombinovaným tkaním přízí snímajících oba parametry, čímž vznikne dvouvrstvá tkanina, jejíž vrchní vrstva slouží ke snímání teploty a spodní vrstva pro snímání tlaku. Oba snímače mohou tak pracovat nezávisle na sobě, bez toho, aby se navzájem svojí činností ovlivňovaly. Při testech bylo prokázáno, že vysoká teplota neovlivňuje tlakový senzor a tlak zase nepůsobí rušivě na senzor teploty. [13]



Obr.14: Odezva kombinovaného senzoru na změnu teploty (převzato z [13])

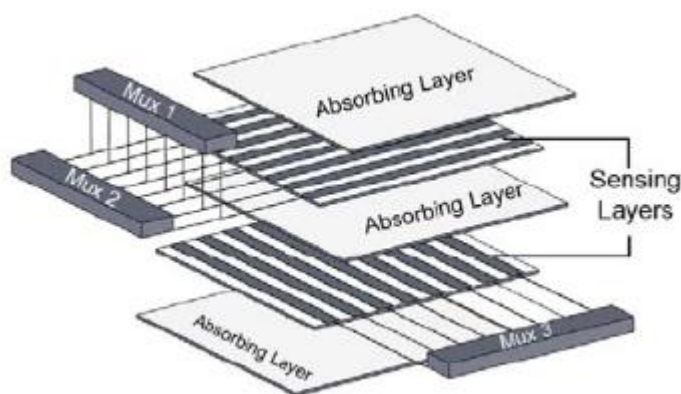


Obr.15: Odezva kombinovaného senzoru na přiložené závaží (převzato z [13])

2.5 Senzor vlhkosti

Využitím integrovaných senzorů vlhkosti v textilním substrátu se zabývá hned řada vědeckých článků. Navrhovaná oblast využití je velmi široká, od průmyslu až po zdravotnictví. I samotné principy detekce se velmi odlišují, většinou se však setkáme s principy založenými na měření kapacity či elektrického odporu. Princip kapacitního senzoru byl již zmíněn v kapitole 2.1. V této části bude věnován prostor druhému způsobu detekce, a to principu změny elektrického odporu.

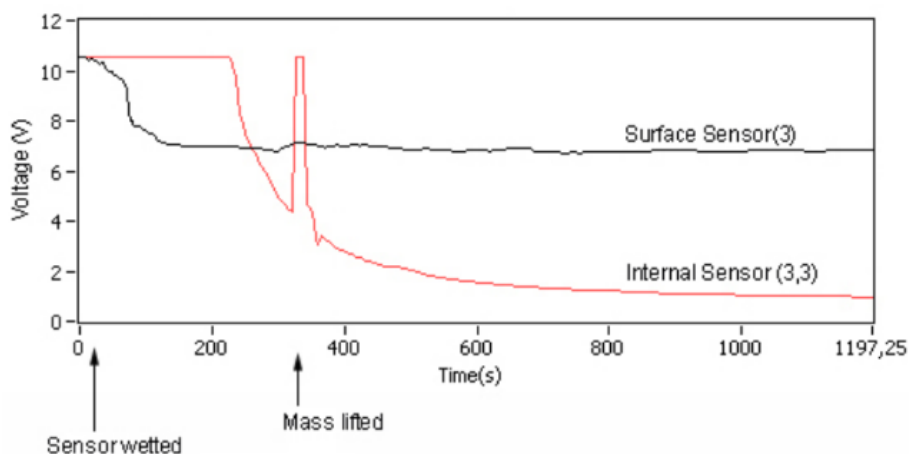
Vybraný článek pojednává o vývoji sensorové matice se schopností detekce vlhkosti na bázi textilních materiálů s vodivými přízemi. Samotný senzor se skládá ze dvou vrstev pruhované pleteniny, která byla utkána střídavě z bavlněné a elektricky vodivé příze, v tomto případě byla použita příze Bekintex 50/2. Celkově bylo na každé rovině vytvořeno sedm elektricky vodivých pruhů. Jednotlivé pleteniny byli vzájemně otočené o 90°, z důvodu zajištění schopnosti měřit rozložení a množství vlhkosti. Mezi, nad a pod tyto dvě vrstvy je následovně vložena vrstva absorpčního materiálu. Ke každé vrstvě s vodivými přízemi jsou připojeny dva multiplexory, je tak možné sledovat změny vlhkosti nejenom mezi vodivými vrstvami ale také na vrstvě samotné. Vyhodnocování signálů bylo provedeno v programu Labview.



Obr.16: Přehledové schéma senzoru (převzato z [14])

Během prvotního testování bylo zjištěno, že kromě vlhkosti má na velikost odporu mezi jednotlivými vrstvami vliv také jejich vzdálenost. Pro danou aplikaci, kterou je v tomto případě monitorování pacientů upoutaných na lůžko však tento fakt nepředstavuje problém. Pro jiné aplikace, ve kterých není zapotřebí zjišťovat povrchovou distribuci vlhkosti není nutné využívat dvouvrstvý senzor, tato potenciální nevýhoda tedy odpadá.

Pro další testy byl jako zdroj vlhkosti použitý roztok kuchyňské soli s vodou, z důvodu simulace lidského potu. Následně bylo místo, kde byl roztok nanesen zatěžkáno závažím o hmotnosti 5 kg, které bylo po uplynutí zhruba 6 minut odstraněno. Výsledky testu jsou znázorněny na následujícím obrázku:



Obr.17: Výsledky testu (převzato z [14])

Z uvedených výsledků je patrné, že k detekci vlhkosti prvotní vrstvou dochází prakticky okamžitě. K reakci spodní vrstvy dochází s výrazným zpožděním, které je způsobené vložení dodatečné absorpční vrstvy mezi obě textilie.

I když se jedná o senzor navrhnutý primárně pro zdravotnické účely, mohl by najít uplatnění i jako senzor přítomnosti. Hlavním hlediskem, které je nutné zvážit je, zda by

podobná konfigurace byla dostatečně citlivá pro detekci vlhkosti přirozeně uvolňované lidským tělem. [14]

2.6 Shrnutí a vyhodnocení

V následující tabulce je uvedeno porovnání všech dosud uvedených senzorů, které je možné integrovat do textilních substrátů. Jednotlivé kategorie jsou zvoleny na základě rozhodujících vlastností pro vyhřívané textilie.

Jako nejméně vhodným senzorem se jeví senzor využívající optická vlákna. Hlavním problémem představuje jeho složitá integrace do textilie. Především pak fakt, že pro jeho funkčnost je zapotřebí přesného reflektometru. Ani v dalších kategoriích se však nejeví jako vhodná volba. Neposkytuje dostatečný komfort pro uživatele a ani mechanická odolnost není taková, jako u jiných typů vybraných senzorů. I přesto se ale můžeme setkat se specifickými aplikacemi, kde jsou optická vlákna využívána jako senzory přítomnosti.

Teplotní senzory jsou mechanicky odolné, jejich integrace do textilie je jednoduchá, jsou spolehlivé při detekci přítomnosti a také je lze doplnit senzory mechanického napětí, a to pouhou změnou výrobního postupu. Logicky se však pro aplikaci ve vyhřívaných textiliích nehodí, dále i samotný výrobní postup je složitější v porovnání s ostatními senzory.

Na základě zvolených kritérií se jeví jako nejvhodnější senzory kapacitní, vlhkostní a mechanického napětí. Kapacitní senzory mají nevýhodu v tom, že je pro jejich provedení nutné použít distanční textilií. Čím se stávají o něco problematičtější pro integraci do textilní struktury, pokud však použijeme interdigitální strukturu, tento problém odpadá. Dále také může nastat problém s reprodukovatelností výsledků, jelikož se při zatížení struktury nemění vzdálenost elektrod rovnoměrně v celé ploše senzoru. Také je nutné mít senzor umístěn na tvrdém podkladu, aby došlo k protlačení distanční textilie při zatížení.

Pro potřeby návrhu vyhřívané textilie s integrovaným senzorem přítomnosti byly tedy zvoleny senzory mechanického napětí a vlhkosti. I když nevykazují tak vysokou přesnost detekce, lze jí vylepšit právě jejich kombinací. Dále jsou také mechanicky odolné, snadné na výrobu a také poskytují vyhovující komfort uživateli. Stejně tak jako ostatní druhy senzorů mají i svoje nevýhody. Za zmínku například stojí nutnost mít senzor mechanického napětí položený na měkké podložce, aby při jeho zatížení došlo k prověšení textilie a zlepšení elektrického kontaktu mezi jednotlivými vlákny pleteniny.

Tab. 2 Porovnání jednotlivých senzorů přítomnosti

Technologie	Mechanická odolnost	Odolnost při praní	Přesnost detekce přítomnosti	Možnost integrace do textilie	Snadnost výroby	Komfort pro uživatele
Kapacitní senzory	1	1	2	2	1	1
Optická vlákna	2	2	1	4	2	3
Senzory mechanického napětí	1	1	2	1	1	1
Teplovní senzor	1	1	1	1	3	1
Senzor vlhkosti	1	1	2	1	1	1

1 - Výborné

2 - Dobré

3 - Vyhovující

4 - Dostačující

5 - Nedostačující

3 Patentová rešerše

Další část diplomové práce se zaměřuje na rešerši vybraných patentů zabývajících se touto problematikou. Pro účely této práce je potřebné seznámit se i s tímto aspektem rozebíraného tématu a konkrétními způsoby řešení.

3.1 Snímací zařízení na bázi textilu

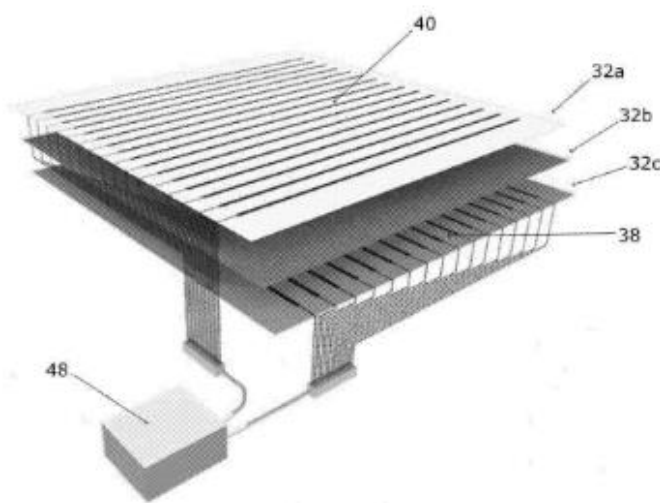
Žadatelé: Graphene Trace Limited

Vynálezce: Scott Dean; Christopher Castle; Vicente Orts Mercadillo; Pietro Steiner; Carlo Blu Steiner

Publikované jako: GB2602155A

Datum první publikace: 2022-06-22

Patent popisuje textilní snímací zařízení se schopností snímat polohu objektu nebo jeho pohyb. Toto zařízení se skládá z vrstvy textilu a množství elektrod na bázi vodivého inkoustu vytvořených na alespoň jednom z textilních povrchů anebo do něj zapuštěných, které vymezují první a druhou sadu elektrod. První sada elektrod je elektricky izolovaná od druhé sady a navzájem se prostorově protínají. Tím vzniká v prostoru množství průsečíků, v každém takovém průsečíku poté vzniká kapacitní snímač. V případě zatížení tyto snímače poskytují výstupní elektrický signál reagující na detekci přítomnosti předmětu nebo osoby.



Obr.18: Schéma zařízení (převzato z [15])

Na obrázku lze vidět praktické uspořádání tohoto zařízení, kde čísla 40 a 38 označují jednotlivé sady elektrod a čísla 32a, b, c označují jednotlivé vrstvy textilu. Číslem 48 je poté označena řídicí jednotka. Podobné zařízení se například může použít jako pokrývka matrace. [15]

3.2 Textilní kapacitní sensorová elektroda

Žadatelé: IEE International Electronics & Engineering S.A.R.L.

Vynálezce: Chabach, Driss; Maoujoud, Mohammed

Publikované jako: EP1927825A1

Datum první publikace: 2008-06-04

Tento konkrétní patent představuje textilní kapacitní senzor. V tomto případě je elektroda tvořena rovinnou kapacitně citlivou oblastí pro detekci kapacitních změn v okolí elektrody. Přičemž kapacitně citlivou oblast tvoří elektricky vodivá vlákna. Tímto způsobem jsou proti sobě vystaveny dvě takovéto elektrody, tvořící kondenzátor. V případě aplikace tohoto senzoru v automobilech může posloužit jako druhá elektroda samotná karoserie automobilu.

Tento senzor je například možné použít v automobilových sedačkách k detekci přítomnosti osob. Kromě této základní funkce je senzor také schopný rozlišit, zda je zatížený předmětem či osobou, dále je také schopný určit přibližnou velikost a váhu sedící osoby. Na základě těchto dat by se mohl inteligentní systém ovládání bezpečnostních pásů přizpůsobit konkrétní osobě a poskytnout větší bezpečnost v případě havárie. V případě této aplikace může posloužit jako druhá elektroda samotná karoserie automobilu, přičemž senzor může být umístěn jak v sedací ploše, tak v opěradle sedadla. [16]

3.3 Systém a metoda detekce kapalin v textilních výrobcích

Žadatelé: Welspun India LTD; Kodgule Apurv; Sharma Rajender; Tharakan Mili;

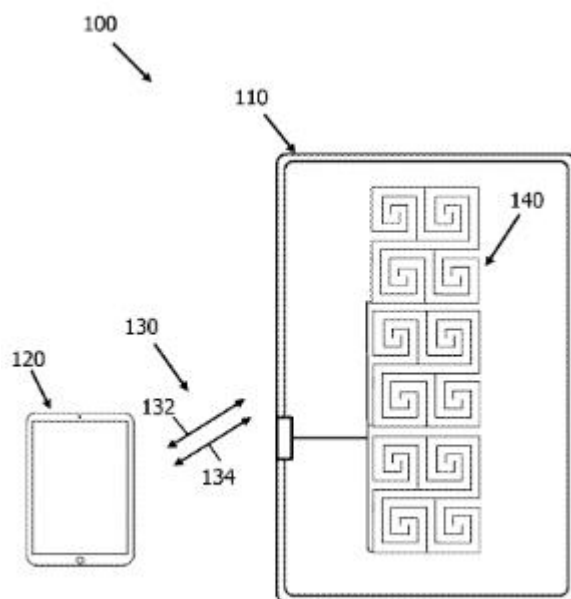
Vynálezce: Kodgule Apurv; Sharma Rajender Tharakan Mili; Goenka Dipali

Publikované jako: EP3353345A1

Datum první publikace: 2018-08-01

Patent popisuje systém pro detekci tekutiny v textilní struktuře, kterou může být například pokrývka postele. Detekce je zajištěna soustavou senzorů vlhkosti vyšitých pomocí vodivé nitě. Informace o přítomnosti tekutin jsou předávány do řídicí jednotky, která je následně posílá do libovolného zařízení kde jsou dostupné uživateli. V samotné řídicí jednotce jsou nastavené rozhodovací hladiny pro vyhodnocování stavu. Vlhkost je řídicí jednotkou vyhodnocována v závislosti na řadě různých parametrů, jako je vodivost, rezistivita, napětí, proud atd.

Potenciální oblastí pro využití tohoto senzoru je jak oblast zdravotnictví, tak i domácího použití. Výhoda tohoto zařízení spočívá v možnosti ho prát. [17]



Obr.19: Přehledové schéma zařízení (převzato z [17])

3.4 Flexibilní snímač napětí z plně textilního materiálu

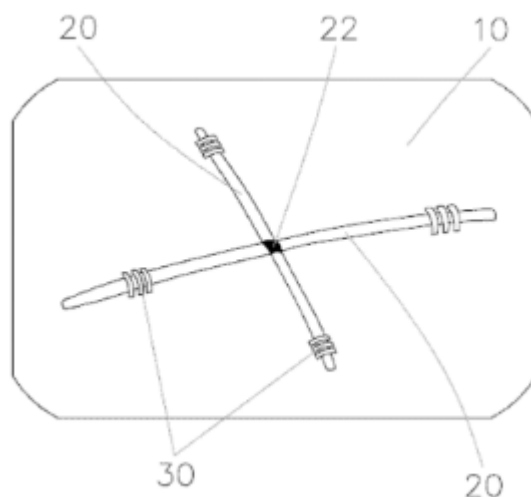
Žadatelé: Univ Wuyi

Vynálezce: Luo Jianyi; Huang Jingcheng; Hu Xiaoyan; Liang Baowen

Publikované jako: WO2019205193A1

Datum první publikace: 2019-10-31

Tento patent pojednává o textilním senzoru mechanického napětí, jehož struktura je zobrazena na následujícím obrázku.



Obr.20: Schéma zařízení (převzato z [18])

Senzor je složen ze dvou svazků elektricky vodivých vláken, které jsou na sebe vzájemně kolmé. Mohou být navzájem propletené nebo pouze na sobě položené. Podložku tvoří textilní substrát, ke kterému jsou jednotlivé svazky připevněny uzly. Substrát je možné vyrobit například z bavlny, hedvábí anebo jiných nevodivých textilních materiálů.

Při nezatíženém stavu existují mezi vlákny malé vzduchové mezery, po zatížení vnější silou dojde ke zmenšení těchto mezer a zvětší se plocha kterou může téct elektrický proud. Což má za následek pokles elektrického odporu mezi oběma svazky. [18]

3.5 Odezva snímače

Žadatelé: Eleksen LTD; Burkitt John; Sandbach David Lee; Walkington Stuart Mark; Crispin Phillipe Georges

Vynálezce: Burkitt John; Sandbach David Lee; Walkington Stuart Mark; Crispin Phillipe Georges

Publikované jako: WO2005091319A1

Datum první publikace: 2005-09-29

Patent popisuje senzor mechanického napětí skládající se ze tří vrstev. Horní a spodní vrstvu tvoří pletenina do které jsou vpletené elektricky vodivé nitě. Prostřední vrstvu tvoří materiál oddělující horní a spodní vrstvu. Jelikož jsou v oddělovací vrstvě přítomny otvory, dojde při zatížení senzoru k elektrickému kontaktu dvou krajních vrstev.

Nevýhodou tohoto senzoru je relativně velké riziko náhodných kontaktů obou vrstev, což tento způsob detekce vylučuje pro některé aplikace. Tento problém lze vyřešit výrobou senzoru z více vrstev, to má ale za následek zvýšení nákladů. [19]

4 Technologie přípravy vyšíváných a pletených e-textilí

Vyšívané e-textilie

Jedná se o tradiční techniku využívanou obvykle pro vytváření dekorativních motivů prošíváním vhodného substrátu vlákny. Ten může být zhotoven hned několika způsoby, buď pletením, tkaním anebo jako netkaná textilie. Hlavní výhodou této metody spočívá v tom, že je možné vyšívat jakékoliv libovolné motivy. Navíc se jedná o relativně jednoduchou techniku, která ani v případě strojového vyšívání nevyžaduje velké přípravy. [20]

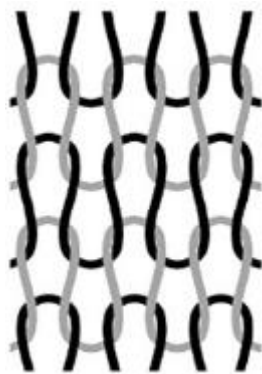
V dnešní době se spíše setkáme s vyšíváním strojovým, protože se jedná v případě ručního šití o časově náročný proces. Způsob vedení nitě je však v obou případech rozdílný. V případě ručního šití je nit vedena jehlou dvěma kusy látky z rubu na líc a zpět. Tento způsob je sice velmi jednoduchý, ale v případě automatizace velmi složitý na provedení. Z tohoto důvodu se používá steh smyčkový. Jehla šicího stroje proniká látkou jen na velmi krátkou vzdálenost a zastavuje se ihned pod ní. Zároveň se na niti vytvoří malá smyčka, která je zachycena mechanismem umístěným pod pracovní plochou. Dochází k jejímu obtočení kolem další niti anebo další smyčky vytvořené na stejné niti. Je tak možné vytvářet steh velmi rychle. [21]

Velkou nevýhodou však představuje fakt, že během vyšívání je nit vystavována velkému pnutí a tření, může tak v krajních případech dojít k přetrhnutí nitě. Případná přetrhnutá vlákna je sice možné přešít, to má ale za následek vznik dodatečné nežádoucí impedance. Je tedy nutné, aby vyšívaná nit měla poměrně vysokou pevnost a pružnost, jelikož výsledné stehy jsou vedeny klikatými dráhami. Další nevýhoda spočívá v tom, že není touto metodou možné vést vodivá vlákna různými vrstvami a vytvářet tak vícevrstvé obvody.

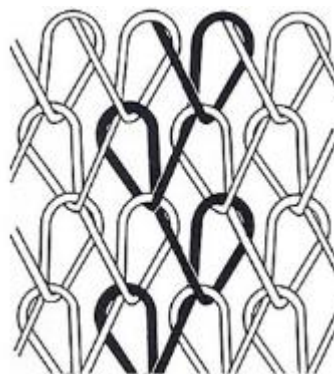
Touto metodou je možné vytvářet širokou škálu elektrických prvků na textilním substrátu. Za zmínku stojí vodivé podložky pro kontaktování, sběrnice propojující jednotlivá zařízení, snímače tlaku, či vyšívaná klávesnice. [20]

Pletené e-textilie

Jedná se o způsob výroby textilních struktur proplétáním smyček příze se smyčkami stejné nebo jiné příze. Výsledná plošná textilie se nazývá pletenina. Pleteniny se vyrábí na strojích, které se souhrnně nazývají pletařské stroje, výrobu je však možné také provádět ručně za pomoci minimálně dvou jehlic. Základní dělení pletařských strojů se uvádí na stroje okrouhlé a pletací. Dále lze stroje rozdělit na osnovní a zátažné. Tím se dostáváme ke dvěma základním druhům typologií, které jsou uvedené na následujících dvou obrázcích. [22,23]



Obr.21: Schéma zátažné vazby (převzato z [23])



Obr.22: Schéma osnovní vazby (převzato z [23])

V případě zátažné pleteniny jsou klíčky propojeny vedle sebe ve směru řádku, takto vytvořená vazba se vyznačuje tím, že se snadno párá. Druhým druhem pletenin jsou pleteniny osnovní, v tomto případě se vazba tvoří kolmým směrem z podélné soustavy nití, tzv. osnovy. Ta to vazba se na rozdíl od předchozího případu párat nedá.

Zátažná vazba se obecně vyznačuje svojí dobrou roztažností, ta může dosahovat až 100 %. Vazba osnovní naopak roztažná v takové míře není, je to dáno její odlišnou strukturou. Dále se tyto textilní struktury vyznačují prodyšností, nemačkovostí a náchylností ke žmolkování. [23]

Pleteniny se hojně využívají i pro potřeby e-textilíí, jelikož se při jejich výrobě dá využít různých druhů nití, není tak problém nahradit klasickou nit za elektricky vodivou. Tohoto principu se využívá například při výrobě elektricky vyhřívaných struktur. S ohledem na vysokou roztažnost pletenin se také nabízí možnost využít tyto látky jako senzory mechanického napětí. V tomto případě se využijí dvě elektricky vodivé nitě připojené na rozdílný potenciál. Princip senzoru si lze přiblížit pomocí obrázku č.17, kde šedivá nit a černá nit jsou elektricky vodivé a připojené na kladný a záporný pól. Při natažení látky tak dojde ke zvýšení kontaktní plochy a snížení vzájemného odporu. Tento princip bude dále testován v praktické části této diplomové práce.

5 Návrh textilního senzoru přítomnosti

Jak již bylo zmíněno, cílem této diplomové práce je navrhnout a otestovat textilní senzor přítomnosti. Důležitými vlastnostmi je mechanická odolnost, s tím spojená odolnost vůči automatickému praní a schopnost detekovat přítomnost osoby. Nejprve je nutné určit, jaký bude konkrétní způsob používání vyhřívané textilie, ve které bude senzor integrován. Na základě toho, je dále možné zvolit vhodný princip, na kterém bude senzor fungovat. Pro potřeby této práce byl uvažovanou aplikací zvolen elektricky vyhřívaný podsedák, jenž bude možné využít například v zimních zahradách či předzahrádkách restaurací.

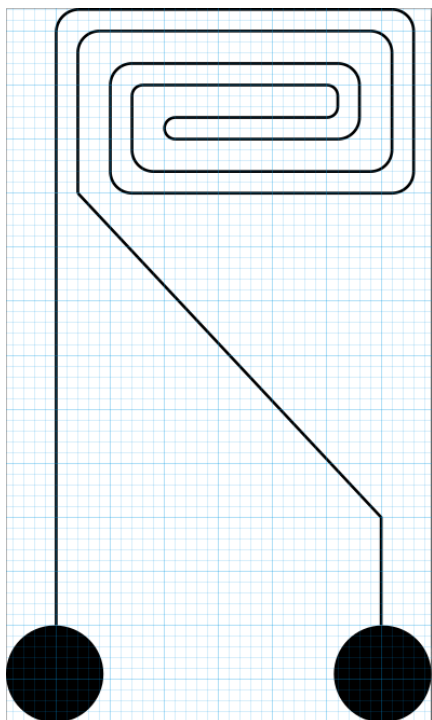
S ohledem na porovnání jednotlivých principů detekce přítomnosti na textilních substrátech v *Tab.2* a uvažovaném způsobu zatěžování zvolené vyhřívané textilie, byly jako vhodnými senzory zvoleny senzory vlhkosti a mechanického napětí. Z důvodů potřeby rozlišovat sedící osobu od těžkého předmětu je nutné tyto dva senzory zkombinovat a vytvořit tak bimodální senzor. Senzor mechanického napětí bude sledovat, zda je podsedák zatěžován těžkým předmětem a senzor vlhkosti bude sledovat vlhkost, která se přirozeně uvolňuje z lidské pokožky. Nutné je také zjistit, zda se uvolněná vlhkost nebude vlivem zvýšené teploty odpařovat a následkem toho jí nebude možné detekovat. Na druhou stranu zvýšená teplota povede také ke zvýšení rychlosti uvolňování vlhkosti lidským tělem.

5.1 Vyšívání vyhřívaný motiv

Prvotní praktická realizace vyhřívané textilie byla provedena pomocí automatického vyšívání vodivých motivů tzv. e-broidery. Samotný návrh byl vytvořen ve vektorovém grafickém editoru Inkscape za pomoci jeho rozšíření Inkstitch, které se používá pro generování souborů pro automatické šicí stroje. Tento krok sloužil převážně k seznámení se s grafickým editorem a automatickým vyšíváním pro potřeby další práce na textilních senzorech.

Samotný motiv byl vyšit hybridní elektricky vodivou nití HI COND CA art. 53 od firmy VÚB a. s. prodávaná pod značkou CleverTex. Tato nit má lineární elektrický odpor $6,50 \Omega/m$. Na základě zvoleného zdroje napětí, kterým je přenosná napájecí jednotka od firmy Belginova NV s výstupním napětím 7,4 V, bylo vypočteno, že délka vodivé nitě by měla být zhruba 0,5 m.

Na následujícím obrázku lze vidět navrhnutý motiv v programu Inkscape a již vyšitý vyhřívaný motiv na textilním substrátu. Samotné vyšití bylo provedeno na automatickém šicím stroji Brother NV2600.



Obr.23: Návrh vyšivaného vyhřívaného motivu

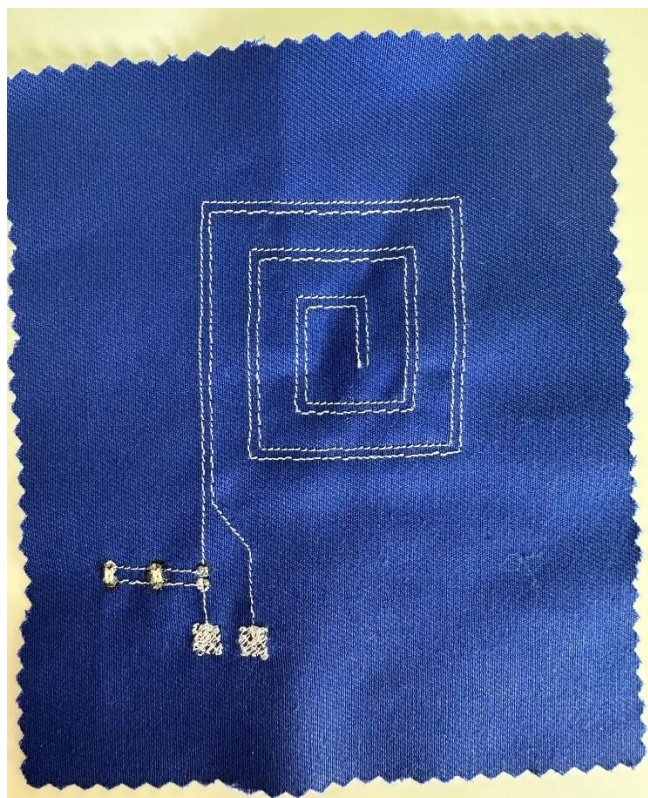


Obr.24: Vyšitý vyhřívaný motiv

5.2 Vyšivaný senzor vlhkosti

Stejným způsobem jako předchozí vyhřívaný motiv byl navrhnout také vyšivaný senzor vlhkosti, sloužící jako demonstrátor. Opět byl využit grafický editor Inkscape a jeho rozšíření Inkstitch.

Samotný princip funkce tohoto vyšivaného senzoru vlhkosti je velmi jednoduchý. V podstatě se jedná o vyšitou spirálovitou strukturu složenou ze dvou paralelních drah, které musí být na konci přerušené. Pokud dojde kdekoliv v celé délce spirály k navlhčení látky mezi oběma drahami, dojde k poklesu elektrického odporu a obvodem začne téct elektrický proud. Navíc je tento obvod v tomto případě doplněn o LED, aby bylo možné jednoduše sledovat přítomnost vlhkosti. Zároveň bylo možné si vyzkoušet kontaktování elektrických součástek na textilní substrát pomocí UV vytvrditelného lepidla. I tento obvod je možné napájet přenosnou napájecí jednotkou od firmy Belginova NV.



Obr.25: Vyšitý senzor vlhkosti

5.3 Napájecí jednotka

Při výběru způsobu napájení bylo nutné zvážit hned několik aspektů. Jak již bylo řečeno v rešerši dostupných vyhřívaných textilií, jedním z problému je fakt, že napájení je ve většině případů řešeno síťovým napětím. V případě poruchy tak může dojít k vážnému úrazu elektrickým proudem. Bylo tak nutné zvolit zdroj nízkého napětí. Norma ČSN 33 2000-4-41 stanovuje meze bezpečných malých napětí. Stanovené hodnoty jsou uvedeny v následující tabulce:

Tab. 3 Hladiny bezpečných malých napětí živých částí [24]

Prostory	Při dotyku částí	Bezpečné malé napětí živých částí [V]	
		AC	DC
Normální a nebezpečné	Živé	25	60
	Kryty	50	120
Zvlášť nebezpečné	Živé	X	X
	Kryty	12	25

Lze předpokládat že podsedák bude používán v normálních prostorech a v případě poruchy hrozí i dotyk s živou částí. Z tabulky tedy vyplývá, že hladina napětí pro AC musí být maximálně 25 V. V případě stejnosměrného zdroje napájení může být hladina napětí až 60 V. Pokud ale budeme uvažovat možnost, že textilie bude používána ve venkovním prostředí, tak se může v krajních případech jednat i o prostory zvláště nebezpečné. Například v případech, kdy dojde k navlhčení textilie vlivem přeháněk. Pro tyto případy bychom měli uvažovat maximální hladinu napětí pro DC 25 V a pro AC 12 V.

Dalším důležitým aspektem je také praktičnost daného řešení. Proto ani z tohoto důvodu nepřicházela v úvahu možnost síťového adaptéru. Lze předpokládat, že navržený vyhřívaný podsedák bude používán i v místech, kde nebude síťové připojení dostupné. Je tak nutné zvolit způsob napájení, který bude lehce přenosný a nebude zabírat ani mnoho místa. Dále je také nutné napájecí zdroj vybírat dle jeho velikosti a hmotnosti, aby byla případná manipulace s ním co nejjednodušší. Velmi důležitým parametrem je také v případě akumulátorů jejich kapacita, akumulátor s velkou kapacitou nebude nutné často dobíjet a tím pádem nebude také docházet k rychlé degradaci baterie.

Jako napájecí zdroj byla na základě uvedených parametrů zvolena přenosná napájecí jednotka od firmy Belginova NV. Tato napájecí jednotka disponuje lithium-iontovým akumulátorem o kapacitě 2600 mAh. Výhodou této jednotky je možnost nastavení intenzit vyhřívání ve čtyřstupňové stupnici. V následující tabulce jsou uvedené další parametry napájecí jednotky:

Tab. 4 Parametry zvolené napájecí jednotky [25]

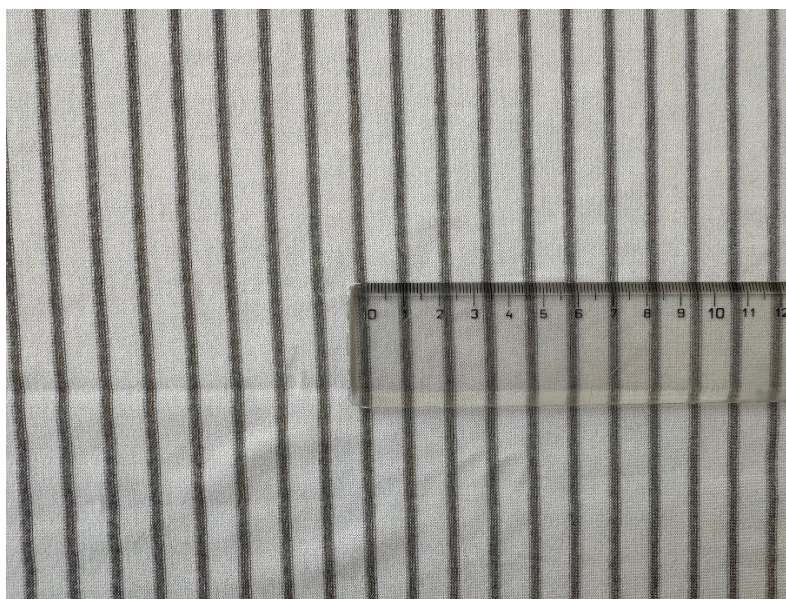
Kapacita	2600 mAh	
Výstupní napětí	7,4 V	
Výdrž baterie	Až 7 hodin	
Doba nabití	4 až 5 hodin	
Počet nabíjecích cyklů	min.1000	
Hmotnost	108,1 g	
Rozměry	70x42x22 mm	

5.4 Návrh pletené vyhřívané textilie

Jako substrát pro výslednou vyhřívanou textilií s funkcí detekce přítomnosti, byla vybrána pletenina. Pro tento typ látky bylo rozhodnuto na základě její vysoké míry

roztaznosti, která umožňuje další možnosti způsobu detekce přítomnosti, především principu senzoru mechanického napětí. Dále je také ve srovnání s textilií použitou pro vyšívané motivy uživatelsky příjemnější.

Použitá pletenina byla upletena ze dvou druhů nevodivých nití (modal a PES), doplněných o elektricky vodivá vlákna *Silver.STAT*. Jedná se o polyamidová vlákna chemicky pokovená stříbrem o tloušťce několika stovek nanometrů, vyráběná firmou *R.STAT*. Těmito vlákny byly na pletenině vytvořeny tmavé pruhy o šířce pěti vláken. Mezi jednotlivými pruhy jsou mezery o šířce 8 mm.



Obr.26: Pletenina s vlákny *Silver.STAT*

5.4.1 Návrh vyhřívaného motivu a senzoru mechanického napětí

Pro návrh vyhřívaného motivu je rozhodujícím parametrem celkový elektrický odpor motivu, který má být vyhříván a také napájecí napětí. Napájení bude zajištěno přenosnou napájecí jednotkou od firmy Belginova NV s výstupním napětím 7,4 V.

Prvním krokem návrhu tak bylo proměření elektrického odporu vodivých pruhů pro různé vzdálenosti. Dále bylo potřeba stanovit, jak velký má být vyhříváný motiv. Pokud budeme uvažovat teoretické využití této textile jako elektricky vyhřívaného podsedáku, lze jednoduše změřit rozměry běžně používaných židlí. Tímto způsobem byl zjištěn zhruba čtvercový půdorys o velikosti stran 40 cm až 50 cm. Následně bylo provedeno již zmíněné měření elektrického odporu za pomoci multimetru.

Tab. 5 Změřený elektrický odpor pro různé vzdálenosti elektrod

Vzdálenost měřících elektrod [cm]	Elektrický odpor [Ω]
10	39,1
20	76,1
30	113,3
40	148,9
50	187,7

Nutné je také podotknout, že jednotlivé vodivé pruhy nemají absolutně stejný elektrický odpor, bylo tedy potřeba ověřit, zde se od sebe jednotlivé pruhy významně neliší. Náhodně bylo vybráno 5 pruhů, u kterých byl změřen elektrický odpor pro vzdálenost elektrod 50 cm a následně porovnán.

Tab. 6 Elektrický odpor naměřen u náhodně zvolených pruhů

Pruh č.	1	2	3	4	5
Elektrický odpor [Ω]	154,7	185,8	196,3	197,3	192,1

Měřením bylo zjištěno, že se elektrický odpor jednotlivých pruhů může lišit až o 27,54 %, což je relativně velký rozdíl. Pokud však zohledníme malé napájecí napětí a velké hodnoty elektrického odporu, zjišťujeme, že bude nutné vytvořit paralelní kombinaci většího počtu pruhů, aby byl protékající proud dostatečně velký a tím pádem i dodávaný výkon. Tím pádem se nám rozdílné vlivy jednotlivých pruhů v celkové paralelní kombinaci minimalizují.

Na základě předchozích zkušeností s vyhříváními textiliemi bylo navrženo, aby výsledný motiv dosahoval celkového elektrického odporu o velikosti 5 Ω . Pomocí výpočtu pro paralelní kombinaci byl tedy určen požadovaný počet pruhů.

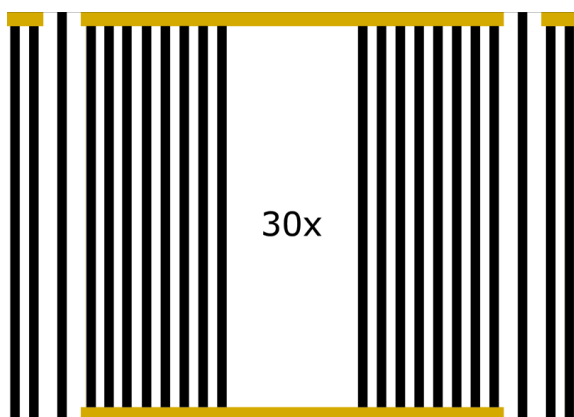
$$\frac{1}{R_{celk}} = n \times \frac{1}{R_{pruhu}} \Rightarrow n = \frac{1}{5} \times 150 = 30 \text{ pruhů} \quad (2)$$

Kde R_{celk} je požadovaný odpor výsledného motivu, R_{pruhu} je průměrná velikost odporu pruhu a n je počet pruhů.

Praktické provedení senzoru

Poté co jsme z výše uvedeného vzorce získali požadovaný počet pruhů bylo již možné začít se samotnou přípravou textilie. Nejprve bylo nutné si připravit kus látky, na které bude motiv vytvořen, ustříhnut byl kus ve tvaru čtverce o stranách 45 cm × 45 cm. Na kterém byly následně pomocí tkané pružné vodivé stuh vytvořeny tzv. sběrné elektrody, paralelním spojením 30 pruhů. Použité stuhy byly vyrobeny z polyesteru a dvaceti elektricky vodivých hybridních nití. Lineární elektrický odpor této konkrétní stuhy dosahuje hodnoty 0,5 Ω /m. Celkem se na tomto kusu látky nacházelo 38 pruhů. Díky tomu bylo možné do stejného kusu textilie také integrovat dva senzory mechanického napětí, každý na jeden konec. Ty byly vytvořeny opět za pomoci vodivé stuh spojením dvou sousedních pruhů na jedné straně vyhřívané pleteniny. Ty poté poslouží jako senzory přítomnosti těžkého břemene. Připevnění vodivých stuh bylo provedeno na automatickém šicím stroji nevodivou nití. Kromě šití je možné stuhy také k látce připevnit laminováním. Obecně se jedná o lepší způsob, v automatické pračce by se však stuha uvolnila, proto byly stuhy přišity.

Na následujícím obrázku je uvedena již realizovaná textilie s senzory mechanického napětí včetně přehledového schématu. Žlutě jsou vyznačeny elektricky vodivé stuhy.



Obr.27: Schéma vyhřívané textilie se senzory mechanického napětí

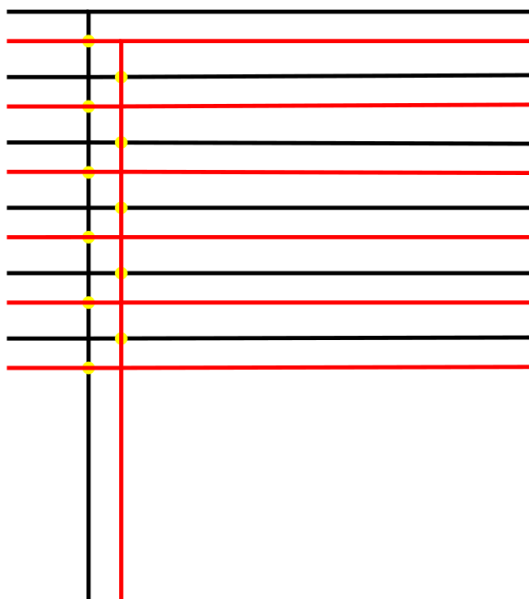


Obr.28: Realizace textilie

5.4.2 Návrh vlhkostního senzoru

Dalším krokem k vytvoření vyhřívané textilie se schopností detekce přítomnosti bylo navržení a zhotovení vlhkostního senzoru. Ten poté vytvoří v kombinaci se senzorem mechanického napětí bimodální senzor, výhody této kombinace byli již zmíněny v předchozích kapitolách. Vlhkostní senzor lze vytvořit jak na principu kapacitním, tak vodivostním, pro potřeby této práce byl zvolen princip vodivostní.

Pro vytvoření senzoru byla použita opět pletenina s upletenými pruhy z vláken *Silver.STAT*, tak jako v případě vyhříváné textilie. Jelikož vlhkostní senzor funguje na principu interdigitální struktury, její vytvoření na této konkrétní pletenině je velmi jednoduché. Byla opět použita elektricky vodivá stuha, v tomto případě ale taková, která má ve své struktuře dvě navzájem izolované vodivé dráhy. Pruhy pleteniny je tak možné střídavě kontaktovat na rozdílnou polaritu a vytvořit tak zmíněnou interdigitální strukturu, pro zpřehlednění je na dalším obrázku uvedené přehledové schéma.



Obr.29: Zjednodušené schéma vlhkostního senzoru



Obr.30: Realizace vlhkostního senzoru

5.5 Testování navržených senzorů

Předmětem této kapitoly je ověřit funkčnost navržených senzorů jako senzorů přítomnosti a také zjistit jejich provozní vlastnosti. Ohled přitom bude brán na opakované zatěžování a také vlhčení. Důležité je vyhodnotit, zda lze navržené senzory použít pro aplikace popsané v této práci. Z tohoto důvodu bude při testech kromě měření odezvy senzoru za pomoci závaží o známé hmotnosti, také probíhat zatížení sedící osobou. V případě vlhkostního senzoru bude důležité zjistit, zda pro jeho detekovatelné ovlivnění stačí vlhkost, přirozeně uvolňována z lidského těla.

Na závěr bude proveden test, při kterém budou senzory vystaveny pracím cyklům v automatické pračce. Následně bude opětovně zjištěna potenciální změna provozních parametrů. V tomto případě dojde s vysokou pravděpodobností k jistým odchylkám od

výchozího stavů, důležité však je, aby byla zachována schopnost detekce přítomnosti. Jedná se o důležitý test z hlediska budoucí praktické aplikace.

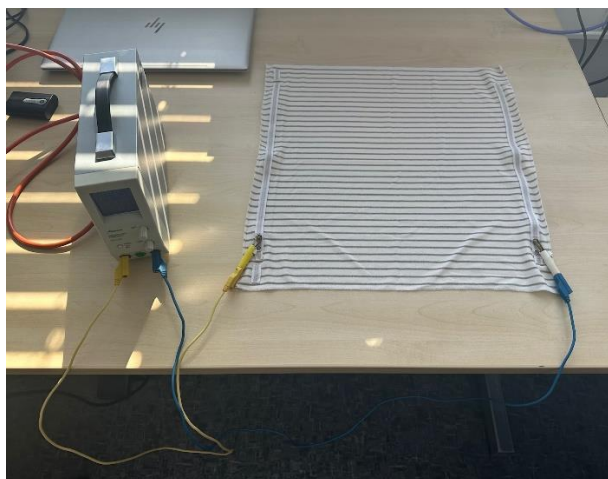
5.5.1 Testování vyhřívání textilie

Po zhotovení vyhřívání textilie přišlo na řadu otestování její správné funkčnosti, a to jak senzorů mechanického napětí, tak dosahované teploty vyhřívání. Před samotným měřením teploty bylo však nutné pomocí multimetru ověřit vypočtený odpor paralelní kombinace pruhů, měřením byla zjištěna hodnota elektrického odporu $5,1 \Omega$, což prakticky přesně odpovídá vypočtené hodnotě.

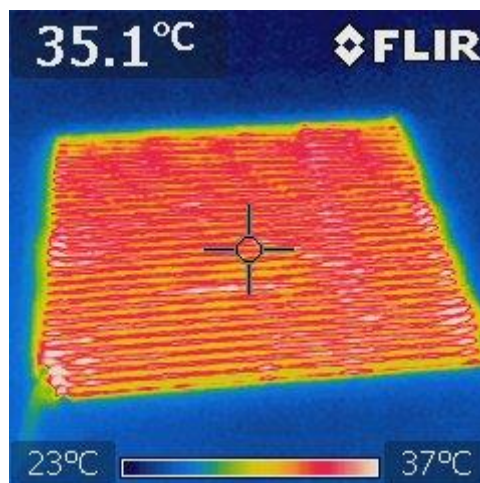
Pro připojení napájecích vodičů bylo také nutné přidělat připojovací kontakty ke stuhám. Pro zprostředkování tohoto spojení byli využity druky, které byli připevněny ke sběrným elektrodám v podobě elektricky vodivých stuh. Po připojení zmíněné napájecí jednotky a přivedení maximálního výstupního napětí $7,4V$ však nedocházelo ke znatelnému ohřátí motivu. Na vině byla velká plocha vyhřívání motivu a nízké napětí, dodávaný výkon tak nebyl dostatečný pro vyhřátí celé plochy. Dle *Tab. 3*, je však pro zvlášť nebezpečné prostory považované bezpečné malé napětí pro DC hodnota $25 V$. Takže je možné toto napětí se pokusit dále navýšit.

Abychom ověřili, zda se motiv bude zahřívát při vyšším napětí bylo nutné použít regulovatelný zdroj napájení. Po přivedení napětí $12 V$ již začalo docházet ke znatelnému ohřívání motivu i při dotyku ruky. Na následujícím obrázku je uvedeno zapojení použité při měření a snímek z termokamery. Při měření byl použit napájecí zdroj NSP-3630 od firmy Manson a termokamera IR CAM FLIR i7.

Na *Obr. 26* je možné si povšimnout, že nedochází k zahřívání elektricky vodivých stuh, které představují sběrné elektrody, to z toho důvodu, že mají několikanásobně menší elektrický odpor než vodivý motiv na textili. Měření bylo provedeno při nastavení emisivity $\varepsilon = 0,95$. Nastavení této hodnoty je rozhodující při určení teploty povrchu tělesa. Pro absolutně černé těleso je hodnota emisivity rovná jedné. V našem případě je však důležitější zjistit, zda je teplota rovnoměrně rozložena po povrchu textilie. Ze snímku termokamery vyplývá, že k rovnoměrnému rozložení teploty dochází. Absolutní hodnota teploty je tím pádem až vedlejší ukazatel.



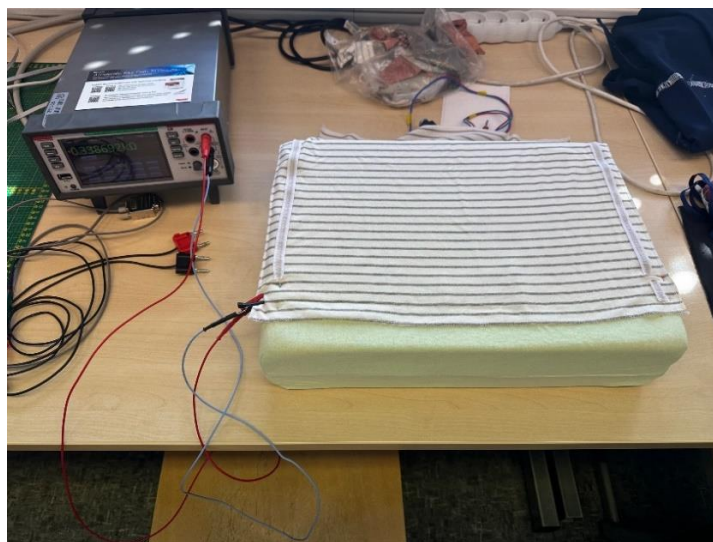
Obr.31: Zapojení při měření teploty

Obr.32: Snímek z termokamery ($\epsilon=0,95$)

5.5.2 Testování senzoru mechanického napětí

Dalším praktickým testem bylo ověření funkčnosti senzorů mechanického napětí na vyhřívané textilii jako senzorů přítomnosti. Zatěžování textilie však nemohlo probíhat na tvrdém podkladu, aby bylo možné sledovat změnu elektrického odporu, musí dojít k natažení látky vlivem jejího prověšení po zatěžkání. Zároveň také není možné látku jednoduše zavěsit do volného prostoru, i po zatížení lehkou vahou by mohlo dojít k jejímu přetržení. Bylo tak nutné látku položit na tvarově poddajný materiál, který se po zatěžkání zmáčkne. K tomuto účelu byla zvolena polyuretanová pěna ve tvaru kvádrů.

Textilie byla následně k polyuretanové pěně připevněna špendlíky tak, aby nedošlo k vyzkratování vodivých cest. Následně byly ke koncům senzoru mechanického napětí připevněny pomocí svorek elektrody použitého multimetru DAQ6510 od firmy Keithley. Výsledné zapojení je vyfoceno na obrázku níže.



Obr.33: Zapojení pro testování senzoru mechanického napětí

Během testu bylo na senzor mechanického napětí postupně pokládáno závaží v podobě kotoučů používaných při posilování. K dispozici byly kotouče o celkové hmotnosti 15 kg. Jelikož tuhost použité polyuretanové pěny byla relativně vysoká, výsledné prohnutí textilie nebylo tak výrazné.

Tab. 7 Změřený elektrický odpor při různých hmotnostech závaží

Hmotnost závaží [kg]	Elektrický odpor [Ω]
0	337
4	336
6	333
10	330
15	327
65	310

Z tabulky je patrné, že k výraznějšímu poklesu elektrického odporu v tomto případě dochází až při hmotnostech nad 15 kilogramů. Jelikož bude senzor mechanického napětí fungovat pro detekci sedících osob, v posledním kroku se na textilií posadila osoba vážící 65 kilogramů. V tomto případě už bylo promáčknutí pěny výrazné, což se projevilo i na změřeném elektrickém odporu. Je také nutné podotknout, že citlivost textilního senzoru mechanického napětí je velmi závislá na tuhosti podkladového materiálu. Pokud by byl při testu použit poddajnější materiál, mohlo by dojít k výrazné změně odporu již při nižších hmotnostech závaží.

Zatěžování sedící osobou

Dále byl senzor testován při opakovaném zatěžování sedící osobou. V tomto testu bylo důležité zhodnotit, jak výslednou hodnotu odporu ovlivňuje způsob sezení a jak rychle dochází k návratu hodnoty elektrického odporu do nezatíženého stavu. Zapojení bylo stejné jako v předchozím případě. Během testu si na senzor celkem pětkrát sednul člověk vážící 65 kilogramů. Odečítána byla hodnota elektrického odporu při zatížení a po zvednutí sedící osoby.



Obr.34: Testování senzoru mechanického napětí sedící osobou

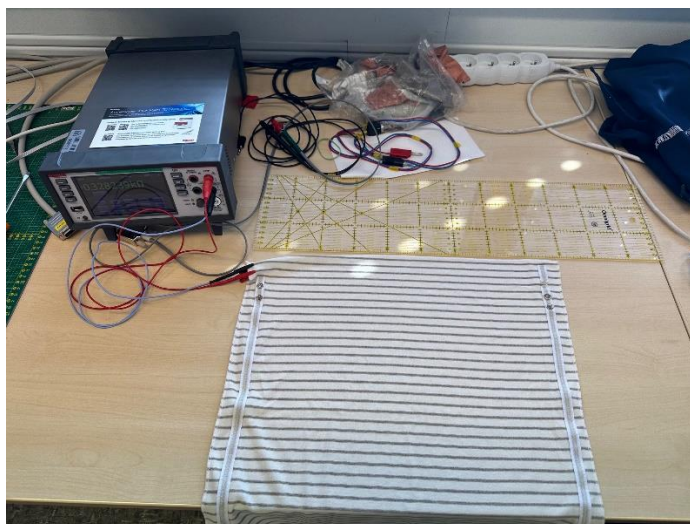
Tab. 8 Změřený elektrický odpor při zatěžování sedící osobou

Opakování	El. odpor v zatíženém stavu [Ω]	El. odpor po zvednutí sedící osoby [Ω]	Změna odporu [%]
1	317	340	6,8
2	305	342	10,8
3	319	342	6,7
4	298	341	12,6
5	310	342	9,4

Z testu je patrné, že při každém zatěžování senzoru dochází ke zřetelné změně odporu. A to i v případech, kdy sedící osoba sedí na celé ploše židle a nejenom na začátku sedící plochy, kde se senzor mechanického napětí nachází. I při opakovaném zatěžování se el. odpor vrací na prakticky stejnou hodnotu v nezatíženém stavu. Ke zvýšení odporu navíc dochází prakticky skokově po odlehčení textilie.

Natahování senzoru

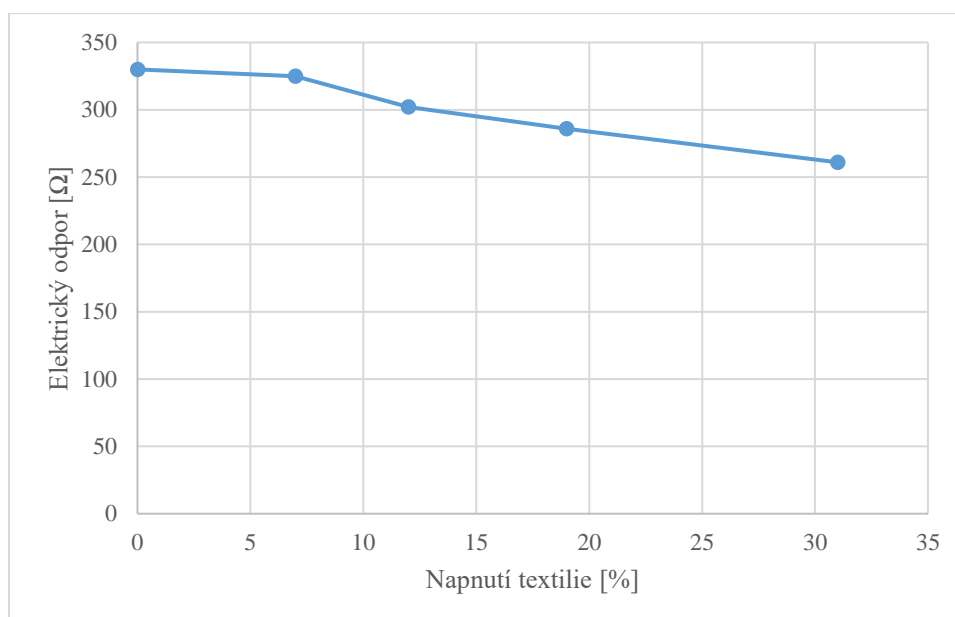
Jak již bylo řečeno, citlivost senzoru je silně závislá na volbě podkladového materiálu, aby byl tento vliv vyloučen, v posledním testu byla textilie se senzorem mechanického napětí ručně natahována. Zapojení testu bylo stejné jako v předchozích dvou případech, textilie ale tentokrát nebyla připevněna k polyuretanové pěně.



Obr.35: Testování senzoru mechanického napětí natahováním

Tab. 9 Změřený elektrický odpor při natahování textilie

Natažení látky [%]	Elektrický odpor [Ω]
0	330
7	325
12	302
19	286
31	261
Uvolnění	332



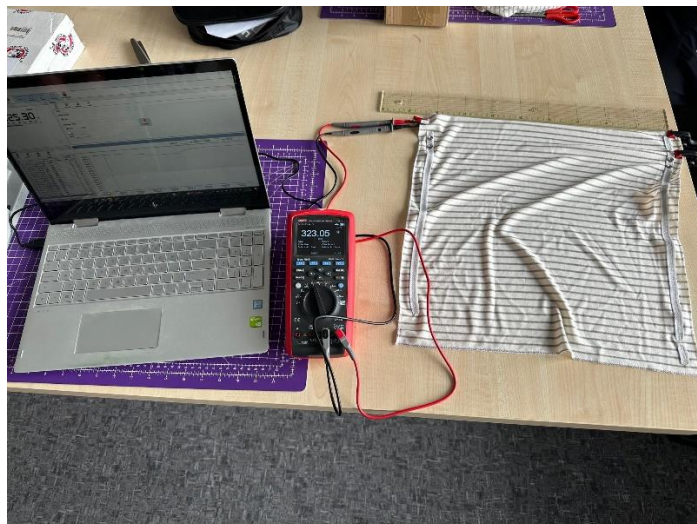
Obr.36: Závislost napnutí textilie na el. odporu

Z naměřených hodnot je patrné, že ke změně elektrického odporu stačí i relativně malé natažení textilního substrátu. Dá se však konstatovat, že k výraznější změně dochází až při prodloužení látky o 10 %. Dále je také možné si z uvedeného grafu povšimnout, že ke změnám el. odporu nedochází skokově při určitém stupni natažení látky. Ke snižování el. odporu však dochází téměř lineárně s napnutím textilie, kdy dochází k postupnému snižování el. odporu kontaktu (zvyšuje se přitlačná síly tím se zvyšuje plocha více α -oblastí kontaktu) mezi jednotlivými pokovenými vlákny.

Měření doby relaxace

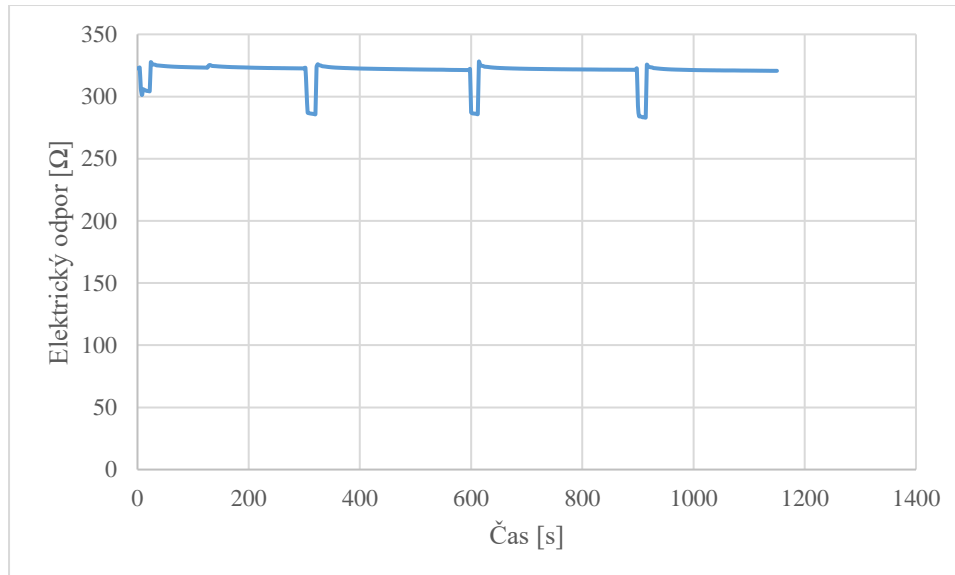
Pokud porovnáme hodnoty el. odporu změřené v případě zatížení senzoru mechanického napětí sedící osobou (*Tab. 7*) a hodnoty změřené při natahování textilie (*Tab. 8*). Dá se z tabulek vyčíst, že pokud je textilie zatížena sedící osobou, je natahována zhruba o 12 %. Díky této znalosti můžeme simulovat zatížení sedící osobou pouhým natažením senzoru. Dále také dochází k odstranění chyby vzniklé tím, že si člověk nesedá pokaždé na stejné místo a rozložení hmotnosti těla, může být v jednotlivých případech rozdílné.

V tomto testu bude zjištěno, jak vypadá průběh změny el. odporu během natahování a následném uvolnění textilie. Dále bude také ověřeno, jak se projevuje doba relaxace mezi jednotlivými zatěžovacími cykly.

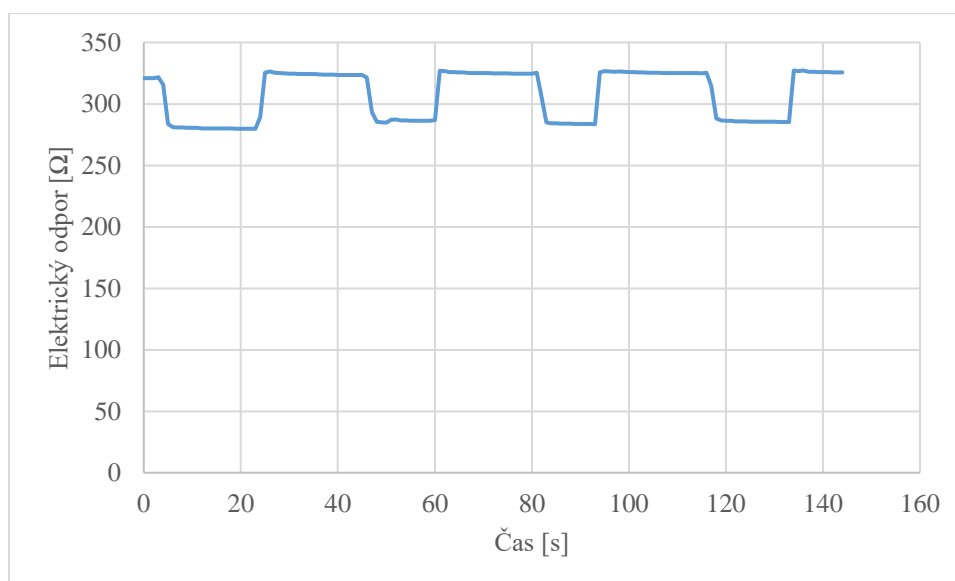


Obr.37: Měření doby relaxace

Samotný test byl proveden ve dvou variantách, při prvním testu byla textilie natažena o 12 % své délky a ponechána v nataženém stavu po dobu 20 vteřin, poté byla ponechána v uvolněném stavu po dobu 5 minut, ve druhé variantě byl postup prakticky stejný. V tomto případě byla však textilie ponechána v uvolněném stavu po dobu pouhých 20 sekund. Pro měření el. odporu byl použit digitální multimetr UT181A od firmy UNI-T.



Obr.38: Průběh el. odporu s dobou relaxace 20 minut



Obr.39: Průběh el. odporu s dobou relaxace 20 sekund

Z uvedených grafu je zřejmé, že relaxační doba textilie mezi jednotlivými zatěžovacími cykly je velmi krátká, k jistým nepatrným změnám v el. odporu sice dochází během celé relaxační doby 20 minut, ale na funkci senzoru mechanického napětí to nemá prakticky žádný vliv. Dále si je také možné povšimnout, že k navrácení el. odporu k hodnotě v nezatíženém stavu dochází v podstatě okamžitě. Oba grafy jsou uvedené s počátkem osy y v nule, aby byl lépe zřetelný pokles odporu při zatížení senzoru.

5.5.3 Testování vlhkostního senzoru

V případě vlhkostního senzoru je nutné otestovat několik aspektů. Nejdůležitější je zjistit, zda je vlhkost uvolňovaná lidským tělem v klidovém stavu taková, aby došlo k vodivému propojení dvou sousedních elektrod interdigitální struktury. Další test bude zaměřen na zjištění, jak rychle dochází k vysušení textilie a detekci, že sedící osoba již není přítomna. Tento test bude proveden jak při vypnutém vyhřívání, tak při zapnutém, v tomto případě by mělo být vysoušení rychlejší.

V neposlední řadě je také nutné ověřit, zda vlivem vyhřívání textilie, která se bude nacházet pod vlhkostním senzorem nebude docházet k jejímu sušení i za přítomnosti sedící osoby. Můžeme však předpokládat, že k vysušení docházet nebude, jelikož bude na povrchu senzoru značně omezeno proudění vzduchu, které by vlhkost odvádělo.

Test detekce vlhkosti lidského těla

Tento test byl ve svém principu velmi jednoduchý, vlhkostní senzor byl položen na rovnou podložku a připojen k multimetru UT181A, který byl použit i v případě testování

relaxační doby. Následně se člověk posadil na co největší plochu senzoru a sledovala se změna el. odporu na multimetru.

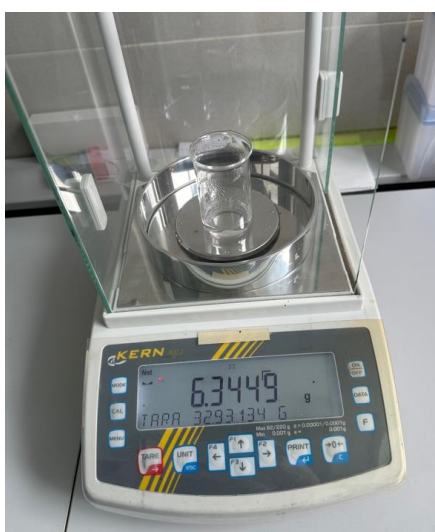
Bohužel po celou dobu sezení multimetr ukazoval na svém displeji hodnotu *OL*, což je zkratka signalizující, že byl překročen limit maximálního měřitelného odporu, který je v tomto případě 60 M Ω . Ani po sezení trvajícím 10 minut nedošlo k měřitelné detekci vlhkosti.

Na vině je tak nízká citlivost senzoru, která je způsobená relativně velkou mezerou sousedících elektrod, jejíž šířka je zhruba 8 mm. Dále je také důležité, v jakém oblečení si člověk na senzor sedá, v rámci tohoto testu měla na sobě sedící osoba rifle se zadními kapsami. Vlhkost by tak musela projít přes minimálně dvě textilní vrstvy, včetně vzduchové mezery.

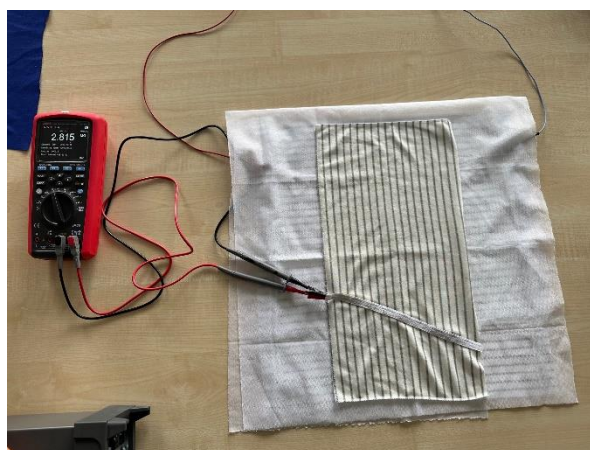
Test rychlosti vysušení senzoru

Cílem tohoto testu bylo zjistit, jak rychle dojde k vysušení povrchu senzoru po jeho namočení. Zapojení bylo stejné jako u předchozího testu, v tomto případě však bylo potřeba nanést známé množství kohoutkové vody. K tomu posloužil běžně dostupný rozprašovač, u kterého bylo nutné zjistit množství rozprášené vody při jednom stříknutí. K tomu byla použita laboratorní váha, do které byla položena nálevka, do které se následně desetkrát stříklo a změřila se výsledná hmotnost.

Výsledná hmotnost činila 6,34 g, z toho vyplývá že jedním stříknutím je zhruba rozprášena voda o hmotnosti 0,634 g. Pokud budeme uvažovat, že při stříknutí ze vzdálenosti 20 cm od textilie dopadne 90 % vody na její povrch. Jedním stříknutím tedy nanese množství vody o hmotnosti 0,571 g.



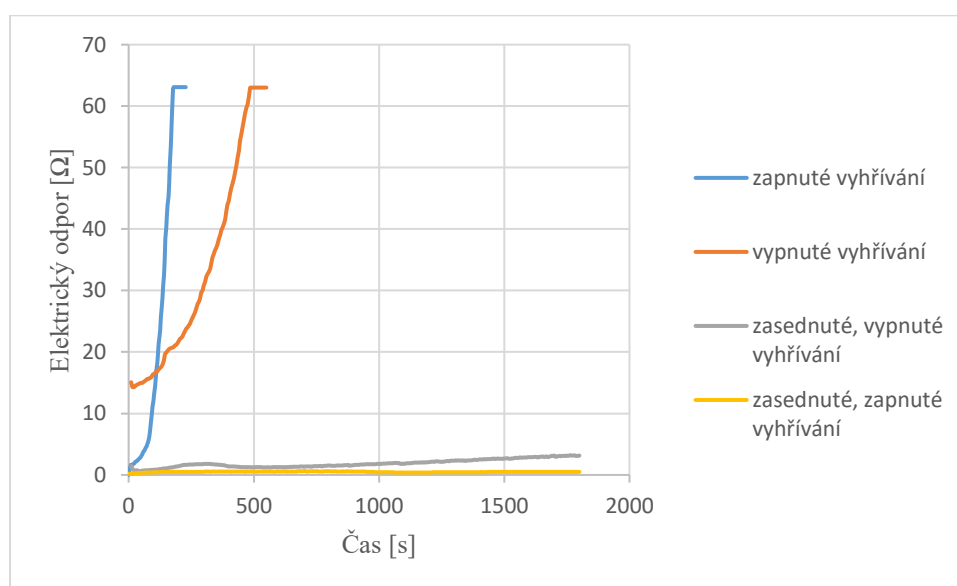
Obr.40: Měření hmotnosti



Obr.41: Měření rychlosti vysušení

Před nastříkáním vody na senzor, bylo také nutné pod něj umístit vyhřívanou textílii se senzorem mechanického napětí. Aby nedošlo k možnému vyzkratování těchto dvou textilií byla mezi ně umístěna pletenina z nevodivého materiálu. Poté bylo na textílii rovnoměrně rozprášeno potřebné množství vody, aby došlo ke spojení sousedních elektrod. K vysušení a ukončení testu došlo, když multimetr ukazoval hodnotu *OL*.

Takto byl test proveden celkem třikrát, v prvním případě bez zapnutého vyhřívání, ve druhém případě se zapnutým vyhříváním a průměrnou povrchovou teplotou 30 °C a ve třetím opět bez zapnutého vyhřívání a sedící osobou. V každém případě bylo potřeba nanést celkem 3 nástřiky vody, celková hmotnost nanesené vody tedy činila 1,713 g.



Obr.42: Měření rychlosti vysušení

Z uvedeného grafu je zřetelné, že při zapnutém vyhřívání dochází k vysušení zhruba 3krát rychleji než při vypnutém. Po nanesení vody však v případě vypnutého vyhřívání neklesla hodnota odporu tak nízko jako v ostatních dvou případech, je tak možné, že by vysušení trvalo ještě déle. Dále si můžeme povšimnout, že k vysoušení při zasednutí senzoru prakticky nedochází, a to jak při vypnutém vyhřívání, tak i při zapnutém. To je způsobené zamezením proudění vzduchu sedící osobou, dále také dojde k většímu namočení textílie vlivem vsáknutí miniaturních kapek, které by jinak zůstaly na povrchu a na zvyšování vodivosti se prakticky nepodílely.

5.5.4 Shrnutí výsledků testů

Testy senzoru mechanického napětí

Celkem byly provedeny čtyři různé testy, ve kterých byla zjištěna vyhovující funkce senzoru pro použití jako senzoru přítomnosti osoby. V prvním testu zatížení senzoru mechanického napětí s polyuretanovou podložkou bylo zjištěno, že výsledná změna odporu je silně závislá na poddajnosti podkladového materiálu, což může být i jak výhoda, tak i nevýhoda. Teoreticky by bylo možné zvolit podložku takovou, aby k jejímu potřebnému promáčknutí došlo až při zatížení hmotností např. 50 kilogramů. Otázkou však je, zda by taková podložka byla pohodlná pro uživatele.

Další důležitou vlastností zjištěnou při provedených testech, je fakt, že k obnově funkce detekce dochází prakticky okamžitě po odstranění zatížení. Také doba relaxace nehraje prakticky žádnou roli ve funkci senzoru.

Testy vlhkostního senzoru

Jak již bylo zmíněno, přes běžně nošené oblečení neprostupuje vlhkost lidského těla v takové míře, abychom byli schopni jí v našem případě spolehlivě detekovat. Proto by mohlo být potenciální využití tohoto senzoru jako detekce přítomnosti vyhřívaného posedačku problematická. Řešením by mohlo být navrhnout senzor s menší roztečí elektrod, což povede ke zvýšení citlivosti. Pro jiné aplikace, by však mohl být navržený senzor dostačující, například elektricky vyhřívané prostěradlo. V tomto případě bude člověk na prostěradle spočívat pouze v tenkém pyžamu, navíc zakrytý dekou, což ještě více zvýší množství uvolňované vlhkosti z těla.

Posledním testem jsme ověřili, že k detekci vlhkosti bude docházet prakticky po celou dobu, co bude senzor okupován a nebude docházet k jeho vysušení.

5.5.5 Testování navržených senzorů pracími cykly

Pro potenciální praktickou aplikaci těchto senzorů je důležité ověřit, zda je možné je vystavit pracímu cyklu v automatické pračce bez toho, aby následně došlo ke změně jejich funkcionality. Praní je pro e-textilie zvláště mechanicky náročné, jelikož dochází během poslední fáze pracího cyklu k odstředování. Vlivem toho se z textilie vytrhávají vlákna a může dojít až k tomu, že vodivé motivy přestanou plnit svojí základní funkci. Po jednotlivých cyklech je tak nutné kontrolovat měnící se parametry vodivých cest.

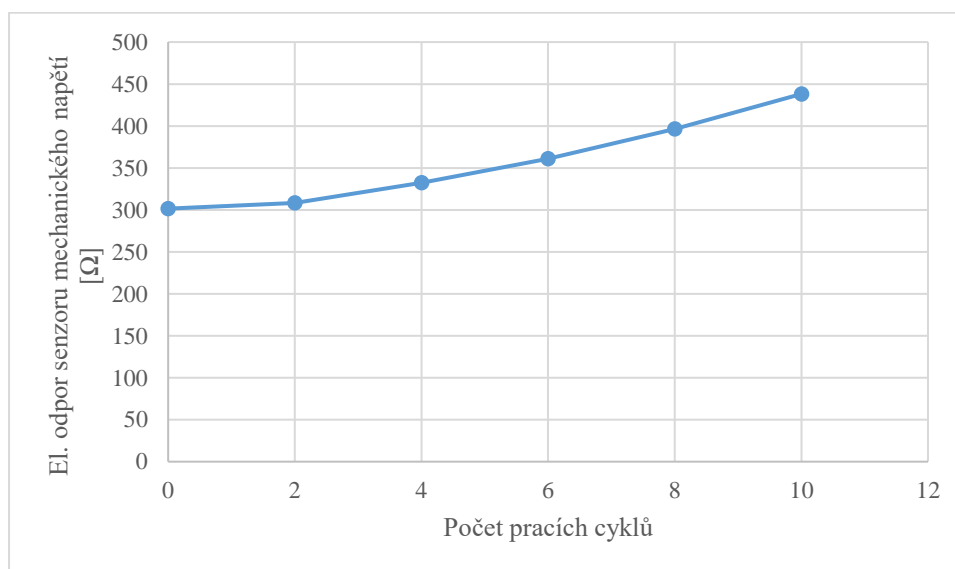
Na základě použitých technologií při výrobě e-textilie se také odvíjí očekávaný počet pracích cyklů, které by měla e-textilie vydržet. Na základě toho, se pak může uvažovat o

konkrétní praktické aplikaci. U různých textilních výrobků se očekává odlišná frekvence a potřeba je prát.

Vzorky byly vystaveny celkem deseti pracím cyklům v automatické pračce, použit byl program na jemné prádlo. Praní probíhalo celkem 50 minut při teplotě 40 °C, během ždímání byl maximální počet otáček nastaven na 400 za minutu. Po každých dvou pracích cyklech byly vzorky vysušeny v závěsu a poté byly přeměřeny sledované parametry na obou textiliích. Byla zjišťována změna celkového odporu vyhřívaného motivu, elektrického odporu senzoru mechanického napětí a zachování funkce vlhkostního senzoru. Ke každému pracímu cyklu byly navíc přidány kusy látek, aby celková hmotnost praného prádla byla alespoň 2 kilogramy (práno v souladu s normou ISO 6330 pro domácí praní).

Tab. 10 Změřené parametry po automatickém praní

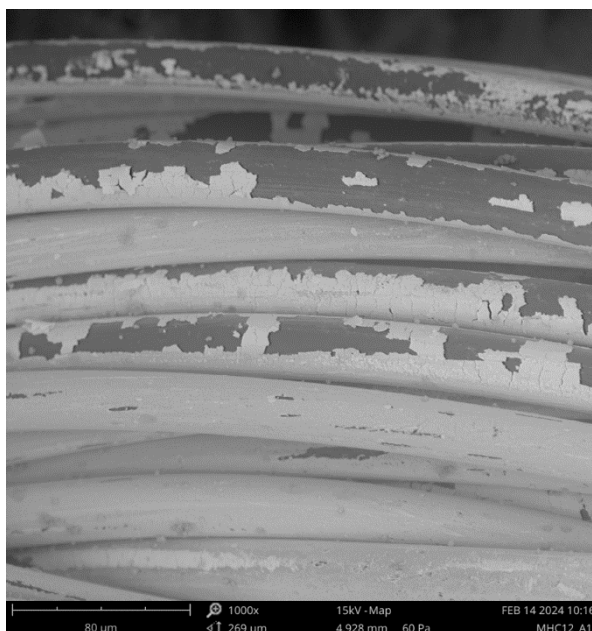
Počet pracích cyklů	El. odpor vyhřívaného motivu [Ω]	El. odpor senzoru mechanického napětí [Ω]	Zachování funkce vlhkostního senzoru
0	5,1	301,5	Ano
2	5,2	308,2	Ano
4	5,6	332,4	Ano
6	6	360,8	Ano
8	6,5	396,5	Ano
10	6,9	438,1	Ano



Obr.43: Měření vlivu automatického praní na el. odpor

Z naměřených hodnot je očividné, že vlivem praní dochází ke zvyšování hodnoty elektrického odporu ve struktuře textilie. Tento jev je způsoben právě smýváním pokovené stříbrné vrstvy z nylonových vláken a jejich vytrháváním. Pro názornou ukázkou je tento jev vyfocen na *Obr. 43* umístěném níže (nejedná se o fotku těchto konkrétních praných vzorků). Degradace stříbrné vrstvy představuje problém zejména v případě vyhřívaného motivu, jelikož po větším počtu pracích cyklů dojde k navýšení el. odporu na tak vysokou hladinu, že již nebude možné motiv vyhřívat pomocí bezpečné hladiny napětí. V případě senzoru mechanického napětí to až takový problém nepředstavuje, jelikož textilie reaguje na natažení stále stejnou změnou el. odporu jako před praním.

Funkce vlhkostního senzoru byla zachována i po deseti pracích cyklech, tím jsme ověřili mechanickou odolnost zvoleného způsobu kontaktování elektricky vodivé stuhy.



Obr.44: Pohled na strukturu polyamidového vlákna (foceno na katedře KET)

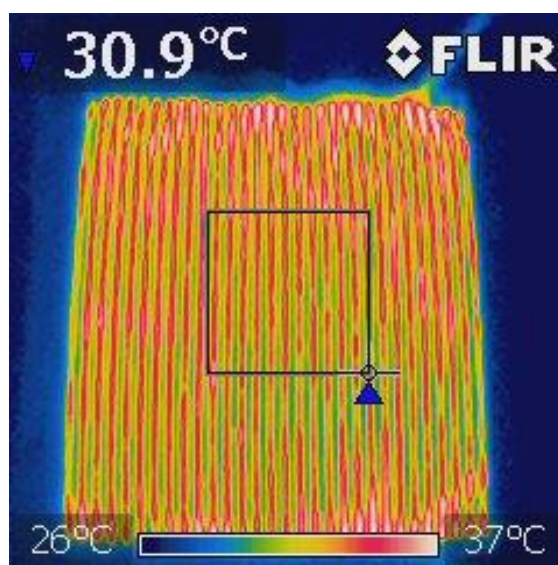


Obr.45: Sušení vzorků v závěsu



Obr.46: Automatická pračka použitá při tomto testu

Po dokončení deseti pracích cyklů, byl opět proveden test rovnoměrného vyhřívání textilie, tak jako v kapitole 5.5.1. Opět byl použit napájecí zdroj NSP-3630 a termokamera IR CAM FLIR i7. Stejně tak jako v prvním testu, byla textilie napájena napětím 12 V. Jak si můžeme z níže uvedeného obrázku všimnout, rozložení teploty je i po deseti pracích cyklech až na některé menší odchylky rovnoměrné.



Obr.47: Snímek z termokamery ($\epsilon=0,95$)

6 Diskuse výsledků

V rámci této práce byla navržena textilie s integrovaným elektricky vyhřívaným motivem a dvěma senzory mechanického napětí. Zamýšlená aplikace této textilie byla jako elektricky vyhřívaný podsedák. Následné testy prokázaly s jistými omezeními vyhovující provozní vlastnosti a budoucí potenciál využití textilie jako senzoru přítomnosti osob.

Při testování vyhřívaného motivu, bylo zjištěno dostatečné vyhřátí povrchu textilie, a především rovnoměrné rozložení teploty po celé ploše motivu. Vlivem nízkého odporu přírodních stuh v porovnání s vyhřívaným motivem nedochází k jejich nechtěnému zahřívání.

Předmětem dalších testů byly senzory mechanického napětí, ty byly testovány jak z hlediska zatěžování, tak i natahování a relaxační doby. Při těchto testech byla zjištěna závislost citlivosti senzoru na volbě podkladového materiálu v případě zatěžování sedící osobou. Orientačně dochází ke změně elektrického odporu o 10 % při natažení senzoru o 12 %, což je pro následné vyhodnocení dostatečné. Za zmínku také stojí zjištěná rychlost relaxace textilie, ke které dochází prakticky okamžitě po odstranění zatížení. Již zmíněná závislost na podkladovém materiálu se může zdát jako nevýhoda, jelikož zvolený materiál musí mít správnou tloušťku, aby umožnil prověšení a s tím spojené natažení textilie. Zároveň také musí být pohodlný pro uživatele. Na druhou stranu je možné, zvolením materiálu o správné tuhosti vyloučit možnou chybnou detekci sedící osoby, při zatěžování senzoru například těžkou taškou.

S uvážením všech uvedených faktů se dá konstatovat, že využití tohoto senzoru přítomnosti v kombinaci s vyhřívaným motivem pro teoretickou aplikaci vyhřívaného podsedáku je možné.

Dalším předmětem testů byl vlhkostní senzor založený na principu interdigitální struktury vyrobené pomocí elektricky vodivých stuh. Tyto testy byly zaměřeny na zjištění citlivosti senzoru a změření rychlosti jeho vysychání v různých situacích. Nejdůležitější bylo zjistit, zda je vlhkost lidského těla dostatečná pro spolehlivou detekci, a to i přes několik vrstev oblečení. Dále bylo také nutné stanovit, zda nebude docházet vlivem vyhřívání textilie umístěné pod vlhkostním senzorem k jeho vysoušení v případě přítomnosti sedící osoby.

Během testů bylo zjištěno, že vlhkost lidského těla není uvolňována v takovém množství, aby byla detekovatelná senzorem i přes několik vrstev oblečení. Tento fakt je nejspíše způsoben relativně velkými izolačními mezerami v interdigitální struktuře. Při testech

vysoušení bylo zjištěno, že v případě zatížení senzoru sedící osobou a zapnutém vyhřívání nedochází ve větší míře k vysoušení povrchu senzoru.

Pokud zvážíme zjištěné vlastnosti vlhkostního senzoru, není jeho využití pro vyhřívání podsedák úplně vhodné, a to z důvodu jeho nedostatečné citlivosti. Pro jiné aplikace jako například vyhřívání prostěradlo s detekcí přítomnosti by možná vhodný byl. V tomto případě lze předpokládat, že uživatel na sobě nebude mít několik vrstev oblečení. Navíc lze usoudit, že i množství uvolňované vlhkosti lidským tělem bude po přikrytí příkrývkou větší.

V posledním testu byly obě uvedené textilie vystaveny deseti pracím cyklům. Po každých dvou cyklech byla u vyhřívání textilie změřena hodnota elektrického odporu vyhříváního motivu. V případě senzoru mechanické napětí byl také změřen elektrický odpor a v případě vlhkostního senzoru bylo zjištěno zachování jeho funkce.

Ke změnám elektrického odporu došlo v obou případech, zvláště problematické je to v případě vyhříváního motivu, jelikož je tím omezována schopnost vyhřívání. V případě senzoru mechanického napětí to takový problém není, jelikož nás zajímá změna odporu při jeho natažení, a nikoliv jeho absolutní hodnota. U vlhkostního senzoru nedošlo k poškození stehu spojovacího elektricky vodivou stuhu s textilií, funkce byla tedy zachována.

Samozřejmě je také nutné podotknout, že požadovaný počet pracích cyklů, které by měla textilie vydržet se liší na základě její aplikace. Lze očekávat, že některé textilní výrobky jsou prané častěji, jako například konfekce než jiné. Je tak potřeba při stanovení požadavku na počet pracích cyklů tento fakt zohledňovat.

V budoucnu by bylo vhodné se zaměřit na zlepšení citlivosti vlhkostního senzoru, aby byl použitelný i v případech, kdy má na sobě sedící osoba více vrstev oblečení. Pravděpodobně by bylo potřeba zmenšit izolační mezery mezi elektrodami v interdigitální struktuře. Dále je potřeba se zaměřit na odolnost vodivých vrstev na textilním substrátu během automatického praní, změny el. odporu mezi jednotlivými cykly jsou pro praktické využití stále relativně vysoké.

7 Závěr

Na úvod práce byla popsána problematika smart textilií se zaměřením na e-textilie a popsány výhody plynoucí z využití integrovaných textilních senzorů přítomnosti, především v textilních vyhřívaných výrobcích. Z provedeného průzkumu trhu vyplynulo, že prakticky žádné výrobky v dnešní době touto technologií nedisponují.

Dále byla provedena literární a patentová rešerše dostupných řešení. Z té bylo zjištěno, že existuje velké množství technologií na jejichž základu lze textilní senzor přítomnosti zhotovit. Každá z uvedených technologií má své výhody i nevýhody, jednotlivé vlastnosti byly shrnuty do přehledné tabulky a vyhodnoceny. Jako nejlepšími variantami vyšly senzory měřící mechanické napětí a senzory vlhkosti.

V praktické části této práce byly navrženy a realizovány dva textilní vzorky, pro teoretické využití jako senzory přítomnosti pro vyhřívaný podsedák. Na prvním testovacím vzorku byly realizovány dva textilní senzory mechanického napětí s vyhřívaným motivem uprostřed a na druhém testovaném vzorku textilní senzor vlhkosti. Jako sběrné elektrody byly využity v obou případech elektricky vodivé stuhy, které byly k textilnímu substrátu tvořeném pruhy z pokoveného stříbra přišity nevodivou nití šicím strojem. Tento postup byl zvolen s ohledem na budoucí testy mechanického namáhání a s tím spojeným automatickým praním a spolehlivé kontaktování.

Při následných testech byla zjištěna vyhovující funkce obou realizovaných senzorů. Za zmínku stojí především rychlá relaxace senzoru mechanického napětí a odolnost vůči vysoušení vlhkostního senzoru, hlavním nedostatkem je však jeho relativně nízká citlivost. Dále byly senzory také otestovány automatickým praním, při tomto testu byl zjištěn trend zvyšování elektrického odporu vodivých motivů, komplikující funkci vyhřívaného motivu, tento fakt je dále nutné zvážit v případě praktického využití těchto senzorů.

V poslední kapitole je uvedena diskuse dosažených výsledků a doporučení postupu prací pro další výzkum, týkající se především odstranění uvedených nedostatků zkoumaných senzorů.

Literatura

- [1] Soukup, R., Smart textilie – definice, požadavky, standardy. Technologie pro Flexibilní elektrotechniku. Fakulta elektrotechnická. Západočeská univerzita v Plzni. 2023
- [2] Mourtzis, Dimitris; Siatras, Vasilis a Zogopoulos, Vasilios. Augmented reality visualization of production scheduling and monitoring. Online. *Procedia CIRP*. 2020, roč. 88, s. 151-156. ISSN 22128271. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.05.027>. [cit. 2023-11-28].
- [3] Vyhřívání deky, polštáře a boty. Dostupné z: <https://www.alza.cz/vyhrivane-deky-polstare-boty/18877616.htm>. [Cit. 27.11.2023]
- [4] Vyhřívání oblečení a doplňky. Dostupné z: <https://www.insportline.cz/vyhrivane-obleceni>. [Cit. 27.11.2023]
- [5] Vyhřívání oblečení. Dostupné z: https://www.warmx.de/shop/index.php?main_page=index&cPath=2. [Cit. 27.11.2023]
- [6] TAO, Xiaoming (ed.). *Handbook of smart textiles*. Singapore: Springer Reference, [2015]. ISBN isbn978-981-4451-44-4.
- [7] Tae-Ho Kang; Merritt, C.; Karaguzel, B.; Wilson, J.; Franzon, P. et al. Sensors on Textile Substrates for Home-Based Healthcare Monitoring. Online. In: *1st Transdisciplinary Conference on Distributed Diagnosis and Home Healthcare, 2006. D2H2*. IEEE, 2006, s. 5-7. ISBN 1-4244-0058-9. Dostupné z: <https://doi.org/10.1109/DDHH.2006.1624783>. [cit. 2023-11-27].
- [8] Cheng, Jingyuan; Amft, Oliver A Lukowicz, Paul. Active Capacitive Sensing: Exploring a New Wearable Sensing Modality for Activity Recognition. Online. In: FLORÉEN, Patrik; KRÜGER, Antonio a SPASOJEVIC, Mirjana (ed.). *Pervasive Computing*. Lecture Notes in Computer Science. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2010, s. 319-336. ISBN 978-3-642-12653-6. Dostupné z: https://doi.org/10.1007/978-3-642-12654-3_19. [cit. 2023-11-27].
- [9] Martínez-Estrada, Marc; Ventura, Heura; Gil, Ignacio A Fernández-García, Raúl. A Full Textile Capacitive Woven Sensor. Online. *Advanced Materials Technologies*. 2023, roč. 8, č. 1. ISSN 2365-709X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/admt.202200284>. [cit. 2023-11-27].
- [10] Ebe, Kazushige A Griffin, Michael J. Factors affecting static seat cushion comfort. Online. *Ergonomics*. 2010, roč. 44, č. 10, s. 901-921. ISSN 0014-0139. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/00140130110064685>. [cit. 2023-11-27].
- [11] Haroglu, Derya; Powell, Nancy A Seyam, Abdel-Fattah M. A textile-based optical fiber sensor design for automotive seat occupancy sensing. Online. *The Journal of The Textile Institute*. 2016, roč. 108, č. 1, s. 49-57. ISSN 0040-5000. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/00405000.2015.1133756>. [cit. 2023-11-27].
- [12] Kyobin Keum, Sung Soo Cho, Jeong-Wan Jo, Sung Kyu Park, Yong-Hoon Kim, Mechanically robust textile-based strain and pressure multimodal sensors using metal

- nanowire/polymer conducting fibers, *iScience*, Volume 25, Issue 4, 2022, ISSN 2589-0042. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.isci.2022.104032>. [cit. 2023-11-27].
- [13] Ronghui Wu, Liyun Ma, Chen Hou, Zhaohui Meng, Wenxi Guo, Weidong Yu, Rui Yu, Fan Hu, Xiang Yang Liu, Silk Composite Electronic Textile Sensor for High Space Precision 2D Combo Temperature–Pressure Sensing. Online. *Nano Micro small*, Volume 15, Issue 31. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/sml.201901558>. [cit. 2023-11-28].
- [14] Pereira, T.; Silva, P.; Carvalho, H. A Carvalho, M. Textile moisture sensor matrix for monitoring of disabled and bed-rest patients. Online. In: *2011 IEEE EUROCON - International Conference on Computer as a Tool*. IEEE, 2011, s. 1-4. ISBN 978-1-4244-7487-5. Dostupné z: <https://doi.org/10.1109/EUROCON.2011.5929343>. [cit. 2024-02-19].
- [15] Graphene Trace Ltd. Textile-based sensing device. Vynálezci: Scott Dean; Christopher Castle; Vicente Orts Mercadillo; Pietro Steiner; Carlo Blu Steiner. GB2602155A. IPC: A61B5/103; G06F3/044. Přihl.: 2022-06-22. Dostupné z: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/074221407/publication/GB2602155A?q=GB2602155A>
- [16] Iee Sarl. Textile capacitive sensor electrode. Vynálezci: Chabach, Driss; Maoujoud, Mohammed. EP1927825A1. IPC: G01D3/08; G01D5/24; B60R21/015. Přihl.: 2008-06-04. Dostupné z: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/038080988/publication/EP1927825A1?q=EP1927825A1>
- [17] Welspun India Limited; Kodgule, Apurv; Sharma, Rajender; Tharakan, Mili. System And Method For Liquid Detection In Textile Articles. Vynálezci: Kodgule, Apurv; Sharma, Rajender; Tharakan, Mili; Goenka, Dipali. EP3353345A1. IPC: A47G9/00; A61B5/00; A61F13/42; D06P5/30; H05K3/12. Přihl.: 2018-08-01. Dostupné z: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/057178445/publication/EP3353345A1?q=EP3353345A1>
- [18] Wuyi University. Flexible Stress Sensor Made Of Fully Textile Material. Vynálezci: Luo, Jianyi; Huang, Jingcheng; Hu, Xiaoyan; Liang, Baowen. WO2019205193A1. IPC: G01L1/20. Přihl.: 2019-10-31. Dostupné z: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/068294365/publication/WO2019205193A1?q=WO2019205193A1>
- [19] Eleksen Limited; Burkitt, John; Sandbach, David, Lee; Walkington, Stuart, Mark; Crispin, Phillipe, Georges. Sensor Response. Vynálezci: Burkitt, John; Sandbach, David, Lee; Walkington, Stuart, Mark; Crispin, Phillipe, Georges. WO2005091319A1. IPC: G06F3/033; H01H3/14. Přihl.: 2005-09-29. Dostupné z: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/032117928/publication/WO2005091319A1?q=WO2005091319A1>
- [20] Mattila, H.R. *Intelligent Textiles and Clothing*. North America: Woodhead Publishing Limited, 2006.

- [21] Černoch, Karel. *Jak pracují šicí stroje?*. Online. In: sici-stroj.cz, 30.6.2009. Dostupné z: <https://sici-stroj.cz/jak-pracuji-sici-stroje/>. [Cit. 14.02.2024]
- [22] Štočková, Hana. *Textilní zbožížnalství: pleteniny*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2006. ISBN 80-7372-114-7.
- [23] N-I-S.CZ. *Pleteniny* [online]. Dostupné z: <https://www.n-i-s.cz/cz/pleteniny/page/456/> [Cit. 19.02.2024]
- [24] Šika, Michal. *Bezpečné elektrické napětí a proud*. Online. In: kutiluv-zapisnik.cz, 25.7. 2020. Dostupné z: <https://kutiluv-zapisnik.cz/bezpecne-elektricke-napeti-a-proud/> [Cit. 10.03.2024]
- [25] *Rechargeable Battery – Removable technology- Baselayer/softshell*. 30seven heated clothing. Online. Dostupné z: <https://www.30seven.com/collections/accessories/products/li-ion-battery-for-jacket>. [Cit. 10.03.2024]