

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA TECHNOLOGIÍ A MĚŘENÍ**

# **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Textilní senzory natažení**

# ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

## Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2018/2019

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Michaela RADOUCHOVÁ**  
Osobní číslo: **E16B0116P**  
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**  
Téma práce: **Textilní senzory natažení**  
Zadávací katedra: **Katedra technologií a měření**

### Zásady pro vypracování

1. Proveďte rešerši textilních senzorů pro chytré textilie a uveďte jejich aplikace.
2. Popište konstrukci textilních senzorů natažení a možnosti jejich využití.
3. Změřte elektrické parametry vybraných textilních senzorů natažení a proveďte kritické zhodnocení naměřených dat.

Rozsah bakalářské práce: **30 – 40 stran**  
Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**  
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

#### Seznam doporučené literatury:

1. KONCAR, Vladan, ed. Smart Textiles and Their Applications. Woodhead Publishing, 2016. ISBN 9780081005743
2. Smart textiles. New York, NY: Springer Berlin Heidelberg, 2017. ISBN 978-3-319-50123-9
3. LANGENHOVE, Lieva van. Advances in smart medical textiles: treatments and health monitoring. Waltham, MA: Elsevier, 2015. ISBN 978-178-2423-799

Vedoucí bakalářské práce: **Doc. Ing. Tomáš Blecha, Ph.D.**  
Katedra technologií a měření

Datum zadání bakalářské práce: **5. října 2018**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **13. června 2019**

V Plzni dne 5. října 2018

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



  
\_\_\_\_\_  
Doc. Ing. Aleš Hamáček, Ph.D.  
vedoucí katedry

## **Abstrakt**

Tato bakalářská práce je zaměřena na textilní senzory pro chytré textilie. Práce se zabývá nejen textilními senzory natažení, kterým je v práci věnovaná samostatná část včetně praktické části, ale i dalšími textilními senzory jako je například senzor srdečního tepu, vlhkosti, teploty, pH, či mechanického tlaku. Jsou zde uvedeny materiály, technologie a konstrukce, které se používají pro výrobu textilních senzorů. Dále jsou zde uvedeny možné aplikace použití daných textilních senzorů. Praktická část je zaměřena na měření vzorků textilních senzorů natažení integrovaných převážně v ponožkách.

## **Klíčová slova**

Chytré textilie, e-textilie, textilní senzor, senzor natažení, vodivé hybridní nitě, vodivá vlákna

**Abstract**

This bachelor thesis is focused on textile sensors for smart textiles. Thesis deals not only with textile strain sensors which have a separate part and a practical part but with other textile sensors such as heart rate sensor, humidity sensor, temperature sensor, pH sensor or mechanical pressure. There are presented materials, technologies and constructions used to create textile sensors. Possible applications of the use of the textile sensors are also mentioned here. The practical part is focused on measurement of samples of textile strain sensors, which are integrated in socks.

**Key words**

Smart textiles, e-textiles, textile sensor, strain sensor, hybrid conductive thread, conductive fibre

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při vypracování této bakalářské práce, je legální.

.....

podpis

V Plzni dne 11.6.2019

Michaela Radouchová

## **Poděkování**

Tímto bych ráda poděkovala svému vedoucímu práce doc. Ing. Tomáši Blechovi, Ph.D. za cenné rady, připomínky a odborné vedení mé práce. Dále bych chtěla poděkovat za cenné rady Ing. Janu Skřivanovi, pod jehož vedením jsem s touto bakalářskou prací začínala.

# Obsah

ÚVOD .....	8
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK .....	9
<b>1 SMART TEXTILIE .....</b>	<b>10</b>
1.1 DĚLENÍ.....	10
1.2 MATERIÁLY.....	10
1.2.1 Polymerní vlákna.....	10
1.2.2 Optická vlákna.....	12
1.2.3 Fotochromní materiály.....	13
1.2.4 Materiály s látkovou přeměnou .....	14
1.2.5 Kovová vlákna .....	15
1.2.6 Vodivé inkousty.....	15
1.3 POUŽÍVANÉ TECHNOLOGIE .....	16
1.3.1 Tkaní.....	16
1.3.2 Pletení.....	17
1.3.3 Netkané textilie .....	17
1.3.4 Zvlákňování .....	17
<b>2 TEXTILNÍ SENZORY .....</b>	<b>19</b>
2.1 TEXTILNÍ SENZOR DETEKCE SRDEČNÍHO TEPU A DECHU .....	19
2.2 TEXTILNÍ TEPLOTNÍ SENZOR .....	20
2.3 TEXTILNÍ SENZOR VLHKOSTI .....	22
2.4 TEXTILNÍ SENZOR OHYBU .....	25
2.5 TEXTILNÍ BIOCHEMICKÉ SENZORY .....	26
2.6 TEXTILNÍ SENZOR PLYNU .....	27
2.7 TEXTILNÍ TLAKOVÝ SENZOR.....	30
2.8 TEXTILNÍ PH SENZOR .....	33
2.9 TEXTILNÍ SENZOR PRO DETEKCI ŘEZU A BODNUTÍ .....	35
<b>3 TEXTILNÍ SENZORY NATAŽENÍ .....</b>	<b>37</b>
3.1 TEXTILNÍ SENZOR NATAŽENÍ S POLYMERNÍMI OPTICKÝMI VLÁKNY .....	37
3.2 ODPOROVÝ TEXTILNÍ SENZOR NATAŽENÍ .....	38
3.3 TEXTILNÍ SENZOR NATAŽENÍ S VODIVÝMI POLYMERY A ELASTOMERY.....	38
3.4 TEXTILNÍ DÉLIČ NAPĚTÍ.....	41
3.5 PLETENÝ TEXTILNÍ SENZOR NATAŽENÍ S VODIVOU PŘÍZÍ .....	42
3.6 TEXTILNÍ SENZOR NATAŽENÍ S VODIVÝMI NANOMATERIÁLY .....	42
<b>4 APLIKACE TEXTILNÍCH SENZORŮ .....</b>	<b>48</b>
4.1 ZDRAVOTNICTVÍ A DOMÁCÍ PÉČE .....	48
4.2 SPORT A REHABILITACE.....	50
4.3 STAVEBNICTVÍ .....	51
4.4 OCHRANNÉ ODĚVY .....	52
<b>5 MĚŘENÍ VZORKŮ TEXTILNÍCH SENZORŮ NATAŽENÍ.....</b>	<b>54</b>
5.1 MĚŘENÉ VZORKY .....	54
5.2 POMŮCKY PRO MĚŘENÍ.....	57
5.3 POSTUP MĚŘENÍ.....	57
5.4 ZÁVISLOST ODPORU NA NATAŽENÍ.....	59
5.5 ZÁVISLOST SÉRIOVÉ INDUKČNOSTI A PARALELNÍ KAPACITY NA NATAŽENÍ.....	60
5.6 VÝSLEDKY MĚŘENÍ .....	63
<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>65</b>
<b>SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ.....</b>	<b>68</b>
<b>PŘÍLOHY .....</b>	<b>75</b>
PŘÍLOHA A – ZÁVISLOST ODPORU NA NATAŽENÍ.....	75
PŘÍLOHA B – ZÁVISLOST INDUKČNOSTI NA NATAŽENÍ .....	78
PŘÍLOHA C – ZÁVISLOST KAPACITY NA NATAŽENÍ.....	80

## Úvod

Tato bakalářské práce se zabývá textilními senzory. Jedná se o ohebné, flexibilní, komfortně nositelné senzory aplikované převážně v chytrých textiliích. Chytré textilie se stávají velkým trendem pro mnoho výrobců, kteří se snaží zaujmout své zákazníky, pomoci lidem a usnadnit jim život.

Textilní senzory mohou snímat nejen srdeční tep, teplotu, vlhkost, chemické látky, pH, ale i působení sil, jako je tlak, ohyb či natažení. Z tohoto důvodu mají senzory širokou oblast využití nejen v průmyslu, ale i ve zdravotnictví. Textilní senzory natažení se používají například ve zdravotnictví pro monitorování lidského těla, zdravotního stavu nebo flexibility končetin.

Tato práce je rozdělena do pěti kapitol. První je věnována chytrým textiliím (smart textiliím), jejich dělení, používaným materiálům a technologiím sloužících převážně pro výrobu textilních senzorů. Ve druhé kapitole jsou popsány různé druhy textilních senzorů včetně jejich konstrukce a možného využití. Třetí kapitola se zabývá pouze textilními senzory natažení. Ve čtvrté kapitole jsou uvedeny aplikace textilních senzorů ve zdravotnictví, sportu, stavebnictví či jako ochranné oděvy. Poslední kapitola je věnována měření vzorků textilních senzorů natažení a jejich zhodnocení. V závěru práce jsou shrnuty získané poznatky.



## Seznam symbolů a zkratek

CB .....	Uhlíkové saze (carbon black)
CE .....	Vodivý elastomer (conductive elastomer)
CNTs .....	Uhlíkové nanotrubičky (carbon nanotubes)
CY .....	Bavlněná příze (cotton yarn)
FBG .....	Optická Braggova mřížka (fiber bragg grating)
FOMBS .....	Senzor mikroohybů s optickými vlákny (fiber optic micro bend sensor)
GF .....	Koeficient deformační citlivosti (gauge factor)
GNP .....	Uhlíkové nanočástice (graphene nanoplatelets)
GO .....	Oxid grafenu (graphene oxide)
ICPs .....	Vodivé polymery (inherently conductive polymers)
KPF .....	Pletená piezorezistivní látka (knitted piezoresistive fabric)
LDS .....	Přímé strukturování pomocí laseru (laser direct structuring)
MWCNT .....	Vícevrstevné uhlíkové nanotrubičky (Multi-Walled Carbon Nanotubes)
PA .....	Polyamidová vlákna – nylon
PAC .....	Polyacetylen
PANI .....	Polyanilin
PBO .....	Poly(p-fenylen-benzobisoxazol)
PCMs .....	Materiály s látkovou přeměnou (phase change materials)
PDMS .....	Polydimetylsiloxan
PE .....	Polyethylen
PEDOT .....	Polyethylen dioxythiofen
PET .....	Polyethylentereftalát
POF .....	Polymerní optická vlákna (polymer optical fibers)
PPy .....	Polypyrol
PTBpH .....	Textilní potenciometrický pH senzor (potentiometric textile-based pH)
PTFE .....	Polytetrafluoretylen
PTh .....	Polythiofen
PU .....	Polyuretan
PVA .....	Polyvinylalkohol
PVC .....	Polyvinylchlorid
RGO .....	Redukovaný oxid grafenu (reduced graphene oxide)
SSM .....	Sítovina z nerezové oceli (stainless steel mesh)
UHMW-PE .....	ultravysokomolekulární polyetylen (ultra-high-molecular-weight)

# 1 Smart textilie

Smart textilie se definují jako textilie, které dokáží vnímat a reagovat na změny ve svém prostředí [1], [2]. Místo termínu „smart textilie“ se používají i jiné, jako jsou například: inteligentní textilie, chytré textilie, e-textilie. Těmito textiliemi se zabývá průmysl se zaměřením na vytváření a zkoumání nových generací vláken a oděvních systémů, které se mohou přizpůsobovat a reagovat na vnější podněty [3]. Nejčastěji bývají podněty elektrického, teplotního, chemického, mechanického či magnetického původu [2], [4]. Tyto textilie se skládají ze tří základních komponent: senzoru, akčního členu (aktuátoru) a řídicí jednotky [2].

## 1.1 Dělení

Chytré textilie lze rozdělit na 3 generace: pasivní, aktivní a velmi inteligentní textilie [2], [5]. Pasivní textilie nereagují na změnu, pouze ji snímají. Druhá generace textilií, aktivní, snímá a reaguje, mění své funkce a vlastnosti působením vnějších změn, podnětů [6]. Poslední, velmi inteligentní textilie, dokáží vnímat, snímat a přizpůsobovat se změnám [2].

Dále se mohou dělit podle závislosti na transformační funkci, schopnosti měnit vlastnosti, energii, velikost, umístění nebo podle schopnosti zpětného procesu (reverzibility) [6].

## 1.2 Materiály

Materiálů pro vytvoření inteligentních textilií je celá řada. Záleží na účelu, ke kterému budou sloužit. Nejčastěji používané materiály a vlákna využívající se v textilních senzorech jsou rozebrány podrobněji v následujících podkapitolách. Dalšími materiály jsou například materiály s tvarovou pamětí.

### 1.2.1 Polymerní vlákna

Obvyklá syntetická vlákna jsou krystalickými polymery, zpravidla nevodivými. Mezi nevodivé polymery patří například PVA, PU, PVC nebo PET.

Do skupiny vodivých polymerů (ICPs) patří polyacetylen (PCA), polypyrrol (PPy), polyanilin (PANI) [2], [3], [7]. Jedná se o materiály se zvýšenou odolností vůči kyslíku, s dobrou zpracovatelností a snadnou změnou elektrické vodivosti pomocí dopingových činidel [7]. ICPs mají dobré elektrické, mechanické a elektrochemické vlastnosti, díky

kterým se například využívají v chemických, plynových, biologických senzorech, kompozitních membránách pro separaci plynů, nabíjecích bateriích, elektrochromních displejích, ochranách proti korozi, mikrovlnném stínění nebo elektrokatalyzátorech [3].

V oblasti chytrých textilií se ICPs používají v nositelných senzorech monitorující lidské pohyby nebo v rukávě, který pomáhá zlepšovat tok lymfy rozpoznáním otoků a následným stlačením [3].



Obr. 1 Rukáv pro zlepšení toku lymfy (převzato z [3])

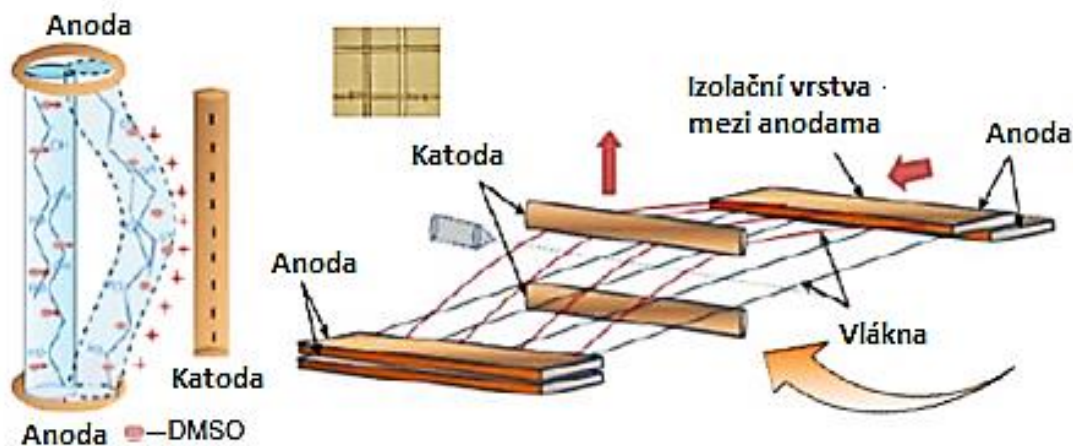


Obr. 2 Senzor monitorující lidský pohyb (převzato z [3])

K vytvoření vláken se využívá mokrého zvlákňování, znázorněno na Obr. 11, tekutého PANI, PPy, PTh nebo PEDOT. Kratší vlákna jsou vyráběna elektrochemickou polymerací [3].

Pro zlepšení mechanických nebo elektrických vlastností se ICPs dopují [7], přidávají se například uhlíkové nanotrubičky [3].

S jednotlivými mikro a nanovlákný se špatně manipuluje, hrozí riziko mechanického porušení, z tohoto důvodu se z nich pletou textilie. Mikro a nanovlákná lze splétat pomocí vychylování jednotlivých filamentů elektrickým polem (Obr. 3) [3].



Obr. 3 Splétání vláken pomocí elektrického pole (převzato z [3])

### 1.2.2 Optická vlákna

Optická vlákna se rozdělují na vlákna skleněná a polymerní (POF). V optických vláknech se využívá mechanismů pro přenos světla (totální odraz, index lomu, step-index vláken, jedno a mnohovidová vlákna) [3].

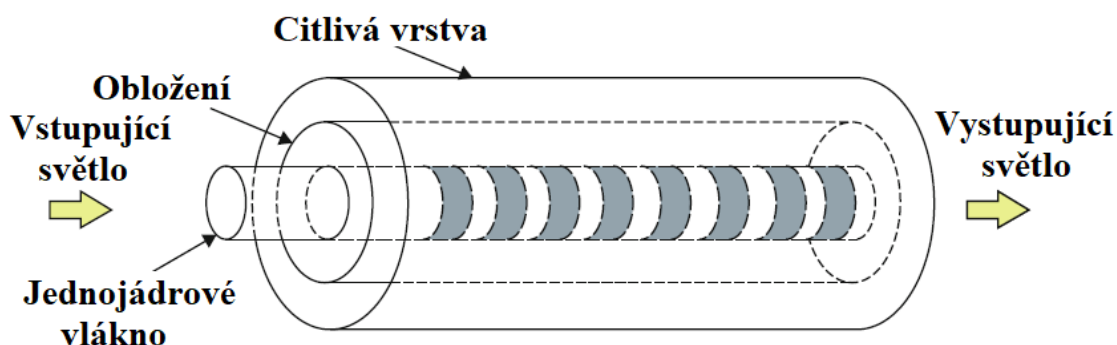
Jedná se o vlákna citlivá na mechanické namáhání a ohýbání. Pokud dojde v překročení povoleného poloměru ohybu, vznikají mikrotrhliny. Poloměr ohybu se obvykle pohybuje maximálně v řádu několika milimetrů [3].

Zpracování polymerních optických vláken do textilních výrobků umožňuje tenké a lehké konstrukce [3]. Dále POF nezpůsobují elektromagnetické rušení, jsou pružné a nepotřebují elektrickou izolaci [7]. Pro integraci vláken se používá technologie tkaní, pletení nebo vyšívání. Flexibilita látky je ovlivněna uspořádáním a typem používaných vláken.

Optická vlákna se aplikují nejen v datové komunikaci, ale i v osvětlení [2] a různých senzorech (natažení, teploty, plynů, tlaku, proudu, napětí, rotací, vibrací, zrychlení, ohybu, kroucení, polohy...) [3], [7].

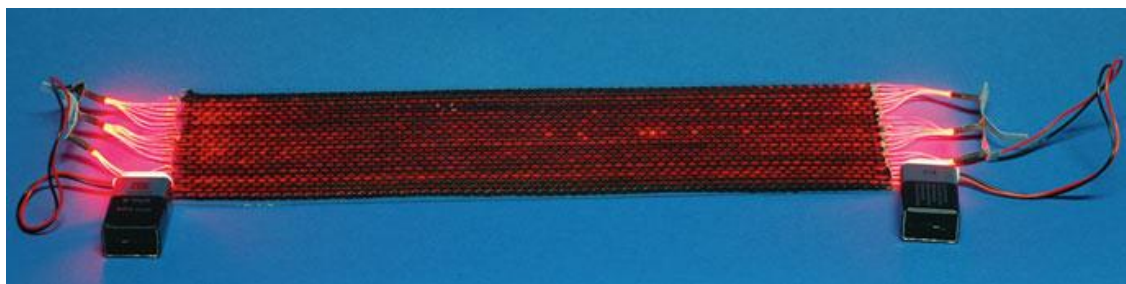
V senzorech se používá převážně optická Braggova mřížka (FBG). FBG senzory lze nahradit dosavadními tenzometry [8]. Přeměňují mechanickou energii na optickou a

elektrickou. Jedná se o optická vlákna obsahující uvnitř difrakční mřížku, která odráží dopadající světlo určité vlnové délky ve směru vzniku [7].



Obr. 4 Schéma FBG senzoru (převzato z [3])

V oblasti medicíny a zdravotní péče se objevují při světelných terapiích, fototerapiích a v biosenzorech (voda, vzduch, pH, glukóza...) [3]. Dále se používají při snímání namáhání budov a konstrukcí [8].



Obr. 5 Tkaný textilní světelný difuzér (převzato z [3])

### 1.2.3 Fotochromní materiály

Fotochromní materiály spadají pod chromní materiály, které mění svoji barvu v závislosti na vnějších podmínkách. Rozlišují se podle podnětu na: fotochromní (reagující na světelné záření), termochromní (reagující na teplo), elektrochromní (reagující na elektřinu), piezochromní (reagující na mechanický tlak) a solvatochromní (reagující na kapalinu nebo plyn) [2], [9].



Obr. 6 Látka před a po ozáření UV světlem (převzato z [3])

Při výrobě se fotochromní sloučenina (barvivo) pomalu přenáší na textil nebo se textil vkládá po nezbytnou dobu do barvicí lázně ohřívané na potřebnou teplotu. Polyesterová vlákna se barví například pod velkým tlakem, při 120 °C po dobu 4 hodin, nylon a triacetát celulózy („umělé hedvábí“) při 100 °C po dobu 1,5 hodiny. Po barvení se vlákna opláchnou vodou, mýdlovým roztokem, uhličitanem sodným a opět vodou, aby se odstranila zbytečná barva. Následně jsou vlákna ponechána na vzduchu, aby oschla [3].

Další metodou pro barvení je sítotisk nebo elektrostatické zvlákňování. Před samotným elektrostatickým zvlákňováním se do polymerního roztoku přidá fotochromní barvivo [3].

Tyto vlákna se aplikují v módním průmyslu, UV senzorech nebo jako bezpečnostní prvky štítků a identifikačních karet [3].

Thiol-halogenové fotochromní vlněné tkaniny vykazují rychlý čas vyblednutí po ozáření UV světlem a vynikající odolnost proti únavě. Mají dobrou stálost a schopnost reakce po opakovaném vyprání [10].

#### 1.2.4 Materiály s látkovou přeměnou

Materiály s látkovou přeměnou (PCMs) jsou materiály reagující na teplotu prostředí uvolněním nebo skladováním tepla bez změny jejich vlastní teploty. Jsou široce rozšířeny v teplotně regulujících textiliích, inteligentních domech, zemědělských sklenících, solárních elektrárnách nebo při tepelné ochraně elektrických zařízení či využívání odpadního tepla [3], [7].

Do vláken se vkládají mikro kapsle například s parafinovým voskem. Vosk buď absorbuje teplo a z pevného skupenství se stává kapalné, nebo naopak uvolňuje teplo a z kapalné fáze se stává pevným skupenstvím. Na základě tohoto procesu pociťuje uživatel zahřívání nebo ochlazování [7].

### 1.2.5 Kovová vlákna

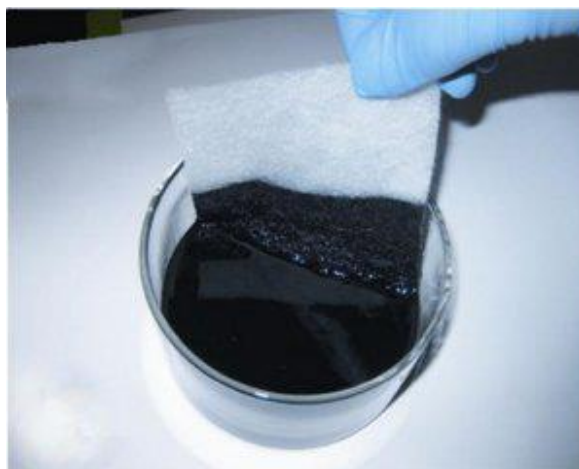
Velmi tenká kovová vlákna se vytváří tažením drátu, či svazku, zvlákňováním taveniny nebo hoblováním kovu [11].

Využívá se například nerezová ocel, měď, hliník, či stříbro a zlato. Vlákna se následně splétají do nití nebo přízí. V této formě se dále mohou vplétat nebo vtkat do textilie a vytvořit tak vodivé cesty. Využívají se například jako elektrody pro monitorování elektrické aktivity srdce [2].

Kovová vlákna jsou skvělými elektrickými vodiči, ale pro textilní aplikace mají poměrně vysokou hmotnost a cenu, nízkou flexibilitu, jsou tuhé, nekomfortní a jejich implementace do textilie bývá náročná [11]. Další nevýhodou je nutnost chránit kovy před korozí.

### 1.2.6 Vodivé inkousty

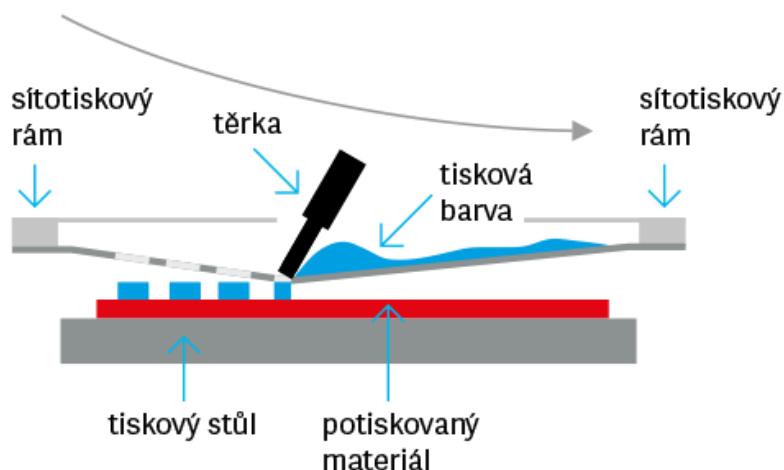
Jinou možností zajištění elektrické vodivosti je použití vodivých inkoustů. Vodivé částičky z uhlíku [12], mědi, stříbra, niklu či zlata jsou přidávány do tiskařské barvy [2]. Využívá se převážně pro tištěnou elektroniku.



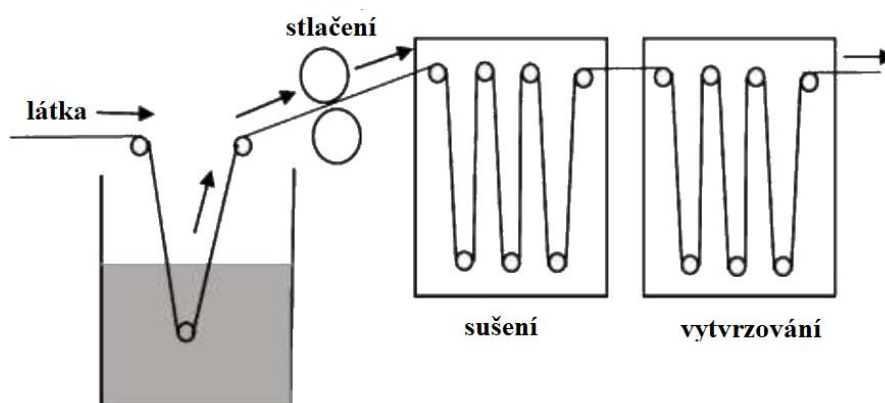
Obr. 7 Vodivý inkoust (převzato z [2])

### 1.3 Používané technologie

Aby se textilie dala používat jako senzor, je zapotřebí do ní nebo na ni integrovat vodivé cesty. Pro integraci vodivých nití do textilie se používá nejčastěji vyšívání, tkaní či pletení. Pokud se nanášejí vodivé cesty na textilii (i netkanou) nebo jiný substrát, používá se například sítotisk, šablonový tisk, inkoustový tisk, metoda Aerosol jet nebo ponořování. Poté přichází na řadu ve většině případů sušení, mytí či chemická úprava.



Obr. 8 Schéma sítotisku (převzato [13])



Obr. 9 Schéma metody Pad-dry (převzato [14])

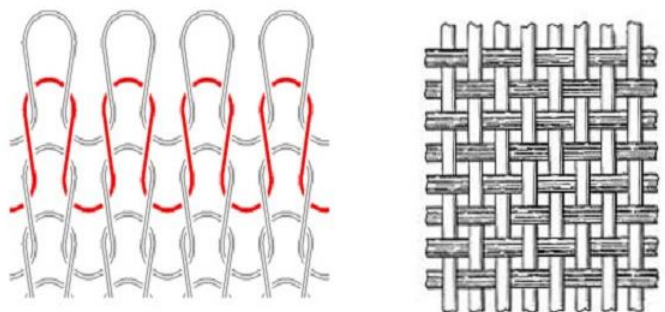
#### 1.3.1 Tkaní

Tkaní je nejstarší metoda pro výrobu látek z vláken. Dva kolmé sety vláken, příčný útek a podélná osnova, se navzájem proplétají. Provádí se na tkalcovském stavu. Pro získání vodivých schopností se vkládají vodivá nebo polymerní vlákna. Tkané látky jsou odolnější a drží lépe tvar v porovnání s pletenými [4].



### 1.3.2 Pletení

Pletené látky vykazují vysokou pružnost a roztažitelnost, jsou velmi pohodlné při nošení na těle, mají dobrou prodyšnost, tepelnou retenci a ucházející odvod vlhkosti. Z nitě se tvoří očka, která se vzájemně spojují. Používá se kruhový nebo plochý pletací stroj. Opět se vkládají (vplétají) speciální vlákna (kovová, polymerní, z uhlíkových nanotrubic) pro získání vodivých schopností [4].



Obr. 10 Schéma pletení a tkaní (převzato z [15])

### 1.3.3 Netkané textilie

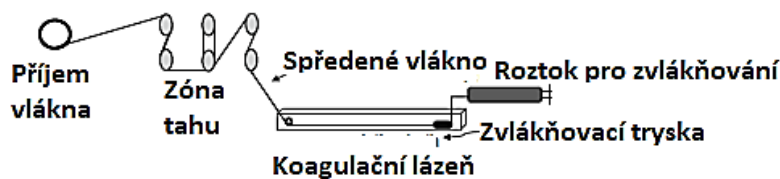
Jedná se o textilie z vláken, která nejsou spletená do příze. Přírodní, PP, PET nebo skleněná vlákna jsou spojovány teplem nebo chemickými procesy [4].

Elektrická vodivost textilie se zajistí nastříkáním vodivých cest pomocí technologie LDS, přímé strukturování pomocí laseru [4], [16]. Místa, na kterých jsou vyžadovány vodivé vlastnosti, jsou vystavena laserovému záření. Dalším krokem jsou chemické procesy a následné pokovování těchto míst tenkou vrstvou kovu [4].

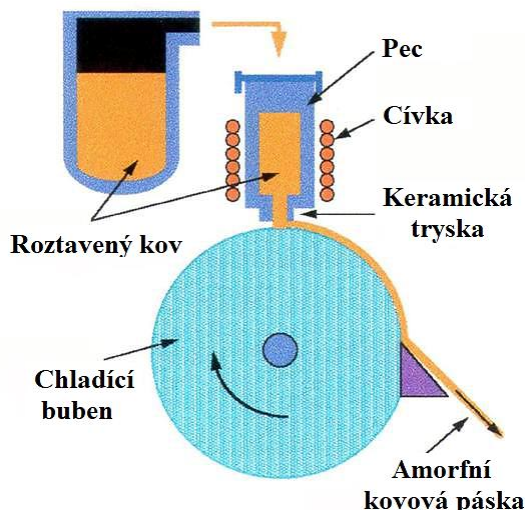
### 1.3.4 Zvlákňování

Metoda zvlákňování se hojně používá pro přípravu vláken pro chytré textilie, pomocí ní se připravují různá vlákna či nanovlákna.

Existuje mnoho druhů zvlákňování, například: mokré zvlákňování (wet spinning), zvlákňování taveniny (melt spinning) a elektrostatické zvlákňování (electrospinning).

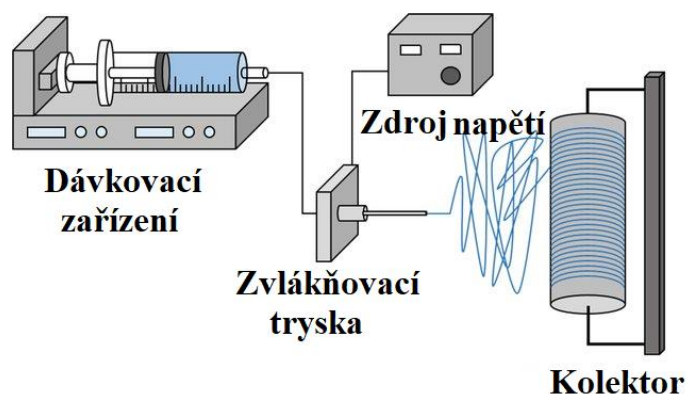


Obr. 11 Schéma mokrého zvlákňování (wet spinning) (převzato z [3])



Obr. 12 Schéma zvlákňování taveniny (melt spinning) (převzato z [17])

Elektrostatickým zvlákňováním se připravují polymerní nanovlákná. Zařízení pro elektrostatické zvlákňování se skládá z dávkovacího zařízení s roztokem, dvou elektrod, zdroje a uzemněné sběrnice (kolektoru). Polymerní roztok je dávkován do zvlákňovací trysky, která je připojena ke zdroji napětí. Tryska tedy funguje jako elektroda. Vlivem vysokého napětí se vytváří na špičce trysky Taylorův kužel a proud polymeru je přitahován k druhé elektrodě, uzemněnému kolektoru. V průběhu přesunu z jedné elektrody na druhou dojde k vypaření rozpouštědla a na kolektor dopadne čisté polymerní nanovlákná [18], [19].



Obr. 13 Schéma elektrostatického zvlákňování (electrospinning) (převzato z [20])

## 2 Textilní senzory

Senzor je funkční člen nacházející se v přímém kontaktu s měřeným prostředím. Snímá fyzikální, chemické nebo biologické hodnoty, které pak převádí nejčastěji na elektrické signály (např. napětí, proud, kapacita) [21], [22].

Senzory integrované do textilií odolávají namáhání, působení tlaku nebo ohýbání. Obsahují textilní elektrody, elektrické obvody a baterie. Tyto prvky jsou převážně vyšívány vodivými nitěmi na textilie, nebo jsou vodivé nitě vplétány do textilie [4].

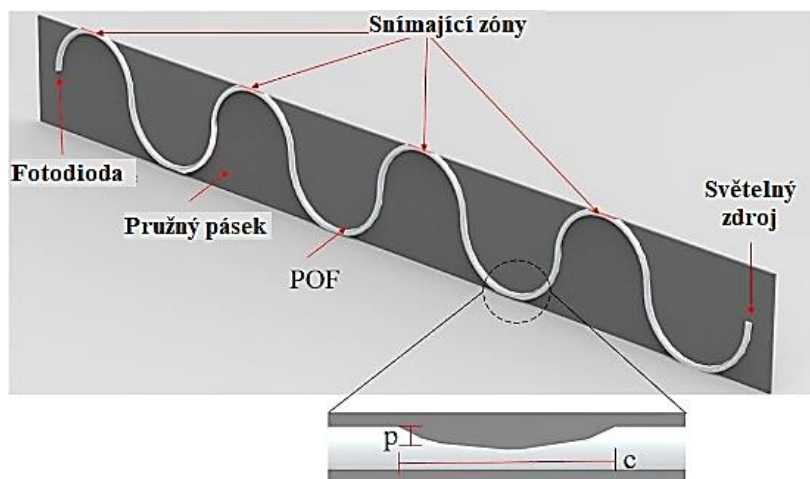
### 2.1 Textilní senzor detekce srdečního tepu a dechu

Senzor obsahuje elektrody umístěné na specifická místa těla, kde se dobře zaznamenají elektrické impulzy generované srdcem. Textilní elektrody mohou být utkané z vodivých PEDOT vláken a nevodivých roztažitelných polyuretanových vláken pomocí tkacího zařízení [3].



Obr. 14 Tkaní textilních elektrod z PEDOT vláken (převzato z [3])

Další možností je textilie na bázi POF [23]. Senzory z této textilie sledují vibrace a změny indexu lomu vyvolané dýcháním a srdečním tepem v různých oblastech hrudníku. Ke změně indexu lomu dochází roztažením pružného pásku při dýchání a mikro posuny vyvolanými tepem. Měření srdečního tepu lze provádět při periodických činnostech, jako je chůze, z toho důvodu je senzor vhodný i pro vzdálené monitorování pacientů bez úpravy jejich každodenní činnosti. Nevýhodou je, že každá senzorová jednotka musí mít vlastní zdroj světla a detektor.



Obr. 15 Schéma textilního senzoru na bázi POF (převzato z [23])

Firma Textronics<sup>TM</sup> uvedla na trh v roce 2005 sportovní podprsenku snímající srdeční aktivitu z kolekce NuMetrex<sup>TM</sup> [24], [25]. Senzor je vpleten do spodního lemu a snímá elektrické pulzy srdce. Pulzy se vysílají přes malý vysílač Polar WearLink, připínající se k podprsence, na chytré náramkové hodinky. Uživatel se zobrazí jeho tepová frekvence přibližně po třech minutách [26].



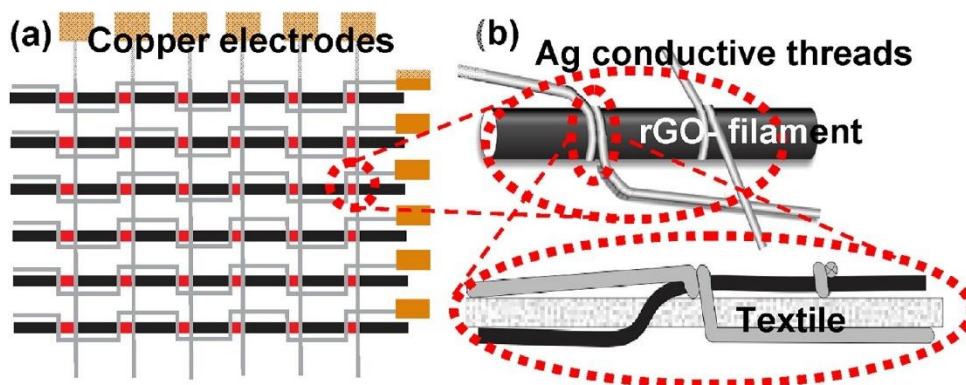
Obr. 16 NuMetrex sportovní podprsenka snímající srdeční aktivitu (převzato z [27])

## 2.2 Textilní teplotní senzor

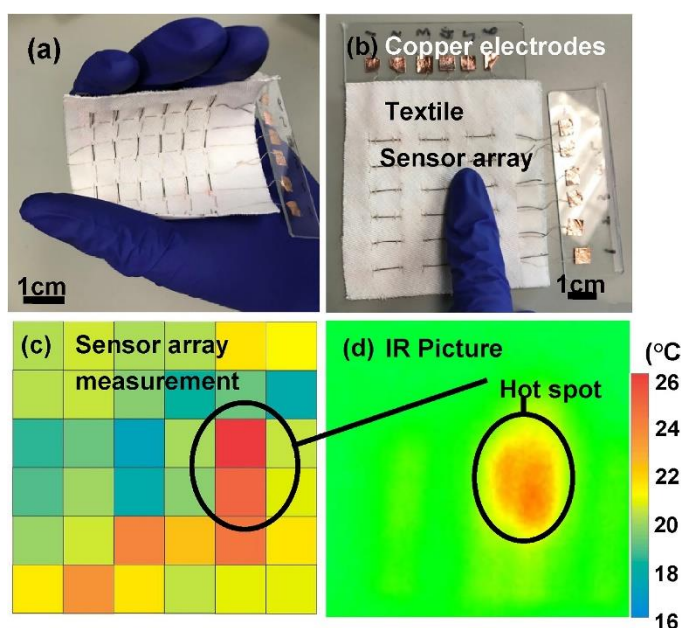
Textilní teplotní senzor, měřící například teplotu těla, se může skládat z FBG integrovaných do tkané látky. Teplotní výsledky jsou určovány ze závislosti vlnových délek a teplotních změn. Na základě termooptického efektu dochází ke změnám indexu lomu a také se mění tepelná roztažnost optického vlákna vlivem teploty [3].

Pro prostorové mapování teploty kůže byl navrhnout senzor z nylonových vláken potažených redukováným oxidem grafenu (RGO) a vodivých Ag nití vsítých do

polyesterové látky tak, aby bylo vytvořeno pole (6x6) z individuálních snímacích prvků. RGO se vyznačuje negativním teplotním koeficientem, s rostoucí teplotou se snižuje odpor, a byl nanášen rovnoměrně metodou inkoustového tisku. Ohýbaní senzoru menší než 34° a natahování menší než 4 % nezpůsobilo znatelné a nevratné změny vrstvy RGO [28].

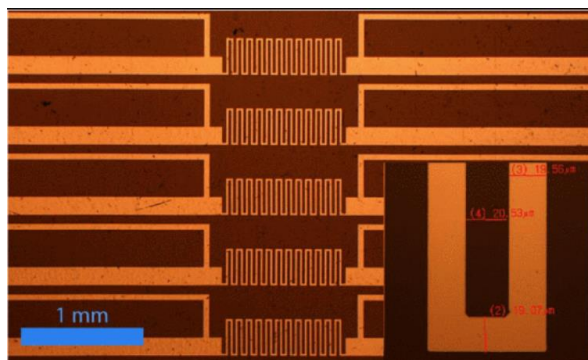


Obr. 17 a - pole s 6x6 snímacími prvky, b - detailní schéma uspořádání vláken (převzato z [28])



Obr. 18 Teplotní monitorování pole senzorem (c) a IR kamerou (d) při dotyku palce (převzato z [28])

Pro měření teploty lze také použít vtkaní odporových snímacích proužků do textilie. Snímací proužek je ze substrátu Kapton s meandrovitě tvarovanou vrstvou platiny a je pokryt silikonovou vrstvou, jeho délka je 67,5 mm a šířka 500  $\mu\text{m}$ . Senzor je na snímacím proužku umístěn uprostřed. Při natažení větším než 4 % dochází ke vzniku prasklin a proužky s Pt vrstvou ztrácí svoji vodivost. Při použití více tvárných kovů (Au, Cu, Ag) by se mohlo riziko vzniku prasklin snížit [29].



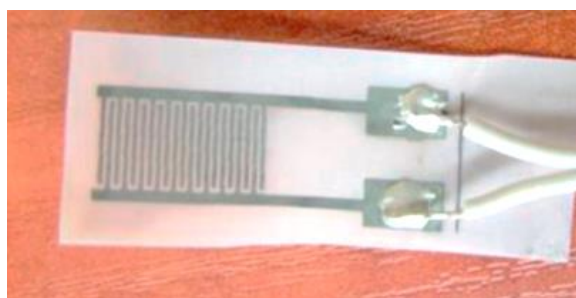
Obr. 19 Substrát s teplotními senzory před rozřezáním na jednotlivé proužky (převzato z [29])



Obr. 20 Fáze výroby textilního senzoru tepla z jednotlivých snímacích proužků (převzato z [29])

### 2.3 Textilní senzor vlhkosti

Vlhkostní senzory na textilní bázi lze vytvořit hned několika technologiemi, mezi které se řadí spřádání, vyšívaní, tisk, sítotisk nebo potahování [30], [31]. Aplikují se pro detekci pocení či inkontinenci.



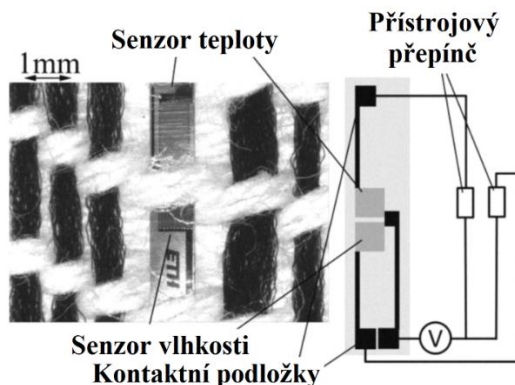
Obr. 21 Textilní senzor vlhkosti s tištěnými elektrodami pomocí inkoustu s Ag nanočásticemi (převzato [30])

Monitorování vlhkosti pomocí odporového měření nejsou výhodná z důvodu mechanickému ovlivňování elektrického odporu materiálů a citlivosti na teplotu. Pro větší spolehlivost měření vlhkosti se v senzorech používá kapacitních mechanismů. Obecně se kapacitní senzory vlhkosti realizují pomocí dvou izolovaných elektrod, které mají mezi

sebou hygroskopickou látku [31]. Adsorpcí molekul vody se mění permitivita (dielektrická konstanta).

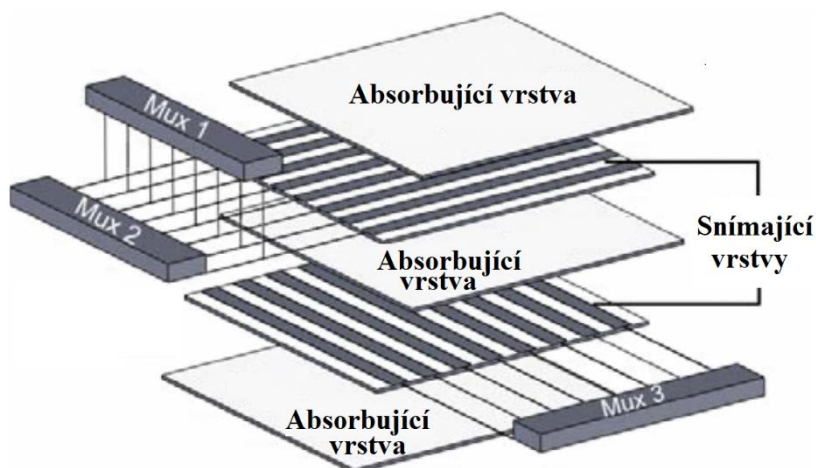
Příklady možných realizací:

- vlákna potažená PEDOT [30], [32], [33],[34];



Obr. 22 Odporový senzor vlhkosti a teploty - substrát Kapton® s PEDOT vrstvou (převzato z [32])

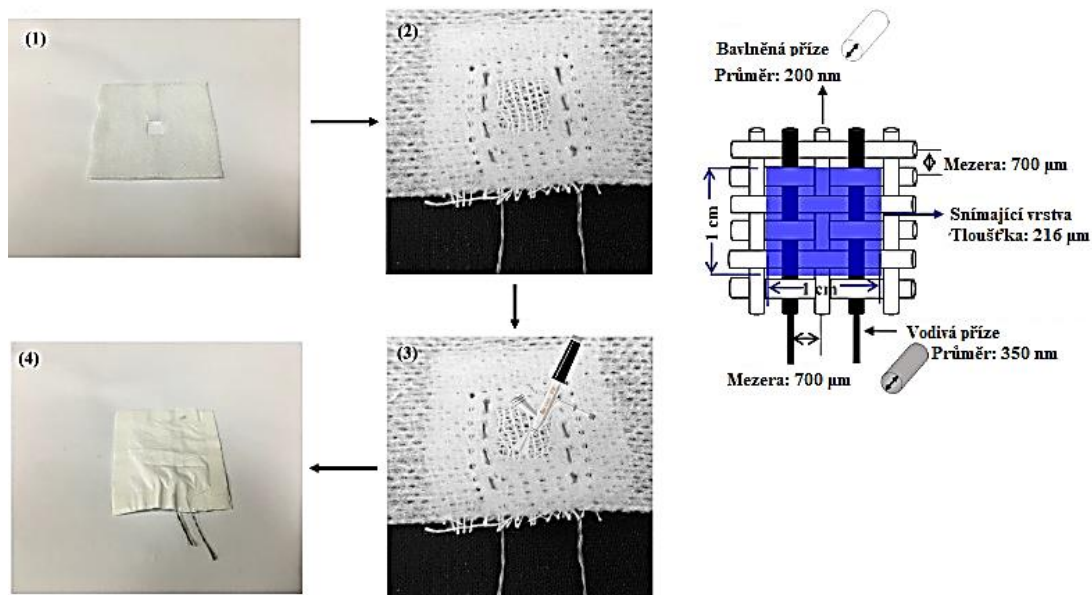
- vtkaní drátů z nerezové oceli či vodivé příze Bekintex 50/2 (2-vrstvá příze, 20%polyester, 80% nerezová stříž) do bavlněné látky, pomocí tohoto senzoru se monitoruje jak obsah vlhkosti, tak i její prostorové rozložení [35];



Obr. 23 Schéma senzoru s vodivými přízemi (převzato z [35])

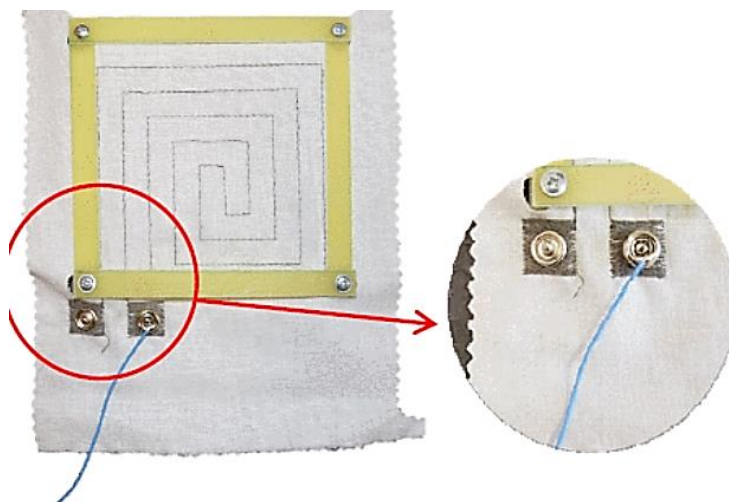
- polylaktid (PLA) s uhlíkovými nanotrubicemi (CNTs) [36];
- PANI nanovlákna, tyto vlákna vykazují dynamické adsorbční a desorbční chování, senzor tedy zaznamená vysoce citlivé změny impedance způsobené absorpcí vody [37];

- textilní substrát z bavlněné tkaniny s párem elektrod z vodivých přízí potažený kopolymerem poly-MMA-MAPTAC, tato vrstva kopolymeru slouží pro snímání vlhkosti, jedná se o impedanční snímač [38];



Obr. 24 Výrobní proces senzoru s vrstvou poly-MMA-MAPTAC a jeho schéma (převzato z [38])

- bavlněná tkanina s povlakem na bázi vícevrstevných uhlíkových nanotrubic (MWCNT), tento senzor monitoruje vlhkost i teplotu [39];
- vyšití senzoru pomocí vodivých přízí SilveR.STAT [40].

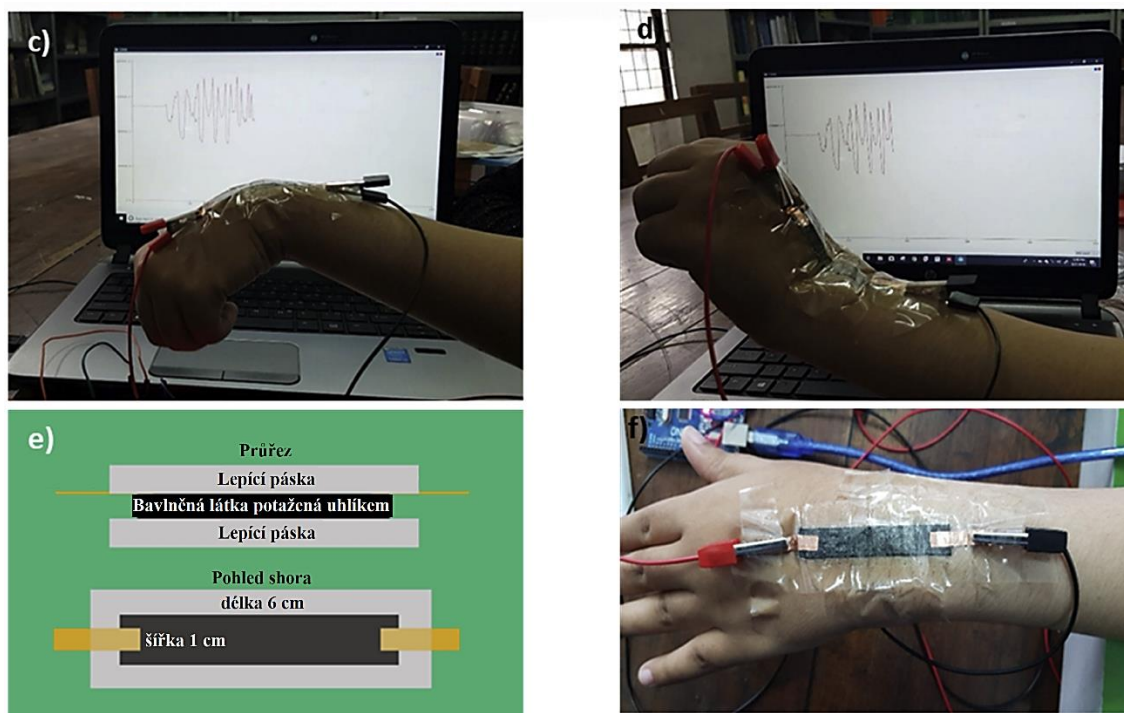


Obr. 25 Vyšitý senzor teploty a vlhkosti pomocí vodivých nití (převzato z [40])



## 2.4 Textilní senzor ohybu

Pro textilní senzor ohybu se používají látky potažené uhlíkem. Tyto látky jsou odolné, spolehlivé a jsou schopny detekovat i velmi malý úhel. Inkoust z uhlíkových sazí (CB) s pojivem PVA se aplikuje na textilii. Lze použít různé metody: potahováním ponorem, elektrospinning, sítotisk, inkoustový tisk, pad-dry metoda či obyčejné malování štětcem [41].



Obr. 26 Uhlíkový textilní senzor ohybu (převzato z [41])

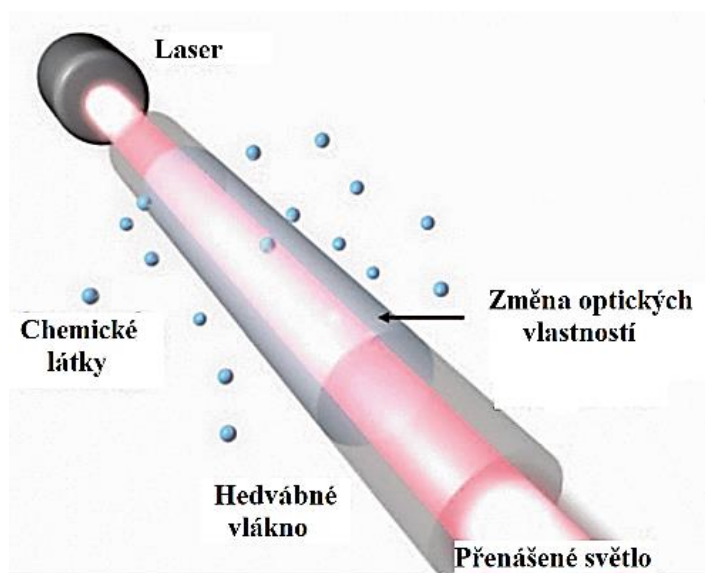
Na Obr. 26 je znázorněn textilní senzor ohybu. Skládá se z bavlněné látky, která je potažená uhlíkem, umístěné mezi lepicí pásky. Lepicí pásky zabraňují ze spodu kontaktu senzoru s pokožkou a z vrchu brání látku před vlhkostí a vzduchem. Konce látky jsou připojeny k systému Arduino Nano pro zachycení údajů o změně odporu během ohýbání [41].

Senzor mikro ohybů s optickými vlákny (FOMBS) snímá mechanické působení, dokáže tedy monitorovat i dýchání, při kterém se člověku zvedá hrudník. Vlivem vnějšího faktoru dochází ke změně intenzity přenosu světla optického vlákna [42].

## 2.5 Textilní biochemické senzory

Při použití optických vláken jako biochemický senzor je nejdůležitější jeho plášť, který reaguje s okolními chemikáliemi [3].

Pro snímání chemických veličin se dá využít i hedvábí. Hedvábí je bio-materiál se zvláštními vlastnostmi, které umožňují jeho využití při měření relativní vlhkosti prostředí nebo přítomnosti některých kyselin v okolí. Pokud se hedvábí navíjí za správných podmínek přímo z pavoučích vajíček, může být zformováno do hedvábné sítě s hladkým povrchem a pravidelným cylindrickým tvarem. Nedotčené vlákno vede dobře světlo, podobně jako optický kabel, jehož jádro je tvořeno sklem [43].

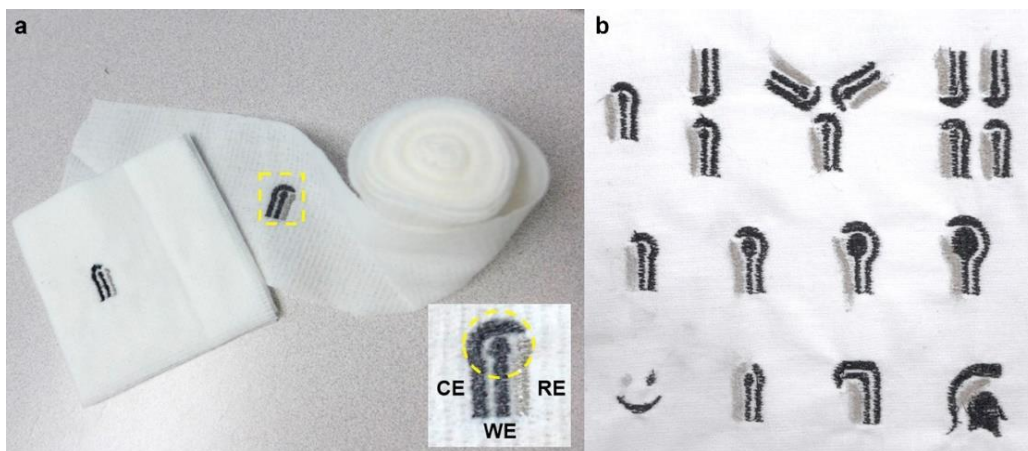


Obr. 27 Schéma přenosu pavoučím hedvábím (převzato z [43])

Pokud se do blízkosti vlákna dostane nějaká kyselá nebo jiná látka, změní se jeho optické vlastnosti. Například při kontaktu s vlhkým prostředím proniknou do vlákna molekuly vody, které způsobí kontrakci, tím se změní intenzita světla vycházejícího ven z vlákna. Tato vlákna jsou flexibilní a poměrně citlivá, jejich nevýhodou je potřeba optoelektrického převodníku (pro různé látky potřeba dokonce i spektrometru). Tato zařízení mohou být neflexibilní a poměrně rozměrná, proto je nutné je uložit na vhodné místo pro použití v textilích [43].

Další látkou, kterou lze snímat je kyselina močová. Kyselina močová se vyskytuje v místech s poraněními, její monitorování umožňuje identifikovat infekce v ránách. Senzor pro detekci kyseliny močové v ránách je vyšíty na gáze (Obr. 28). Skládá se ze tří elektrod

(CE, WE, RE). Jedna je vyrobena z polyesterové nitě s Ag/AgCl inkoustem, další dvě jsou z polyesterové nitě s uhlíkem [44].

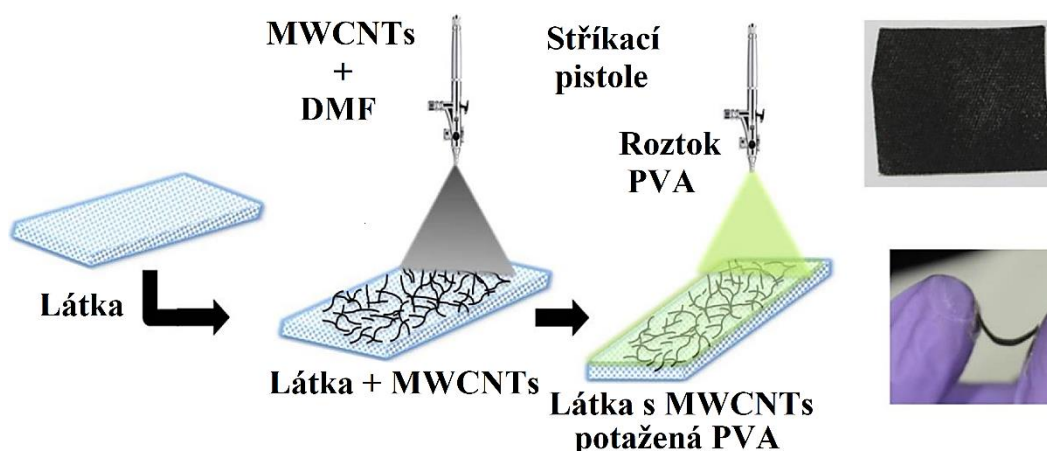


Obr. 28 Elektrochemický senzor snímající kyselinu močovou vyšíty na gáze (převzato z [44])

## 2.6 Textilní senzor plynu

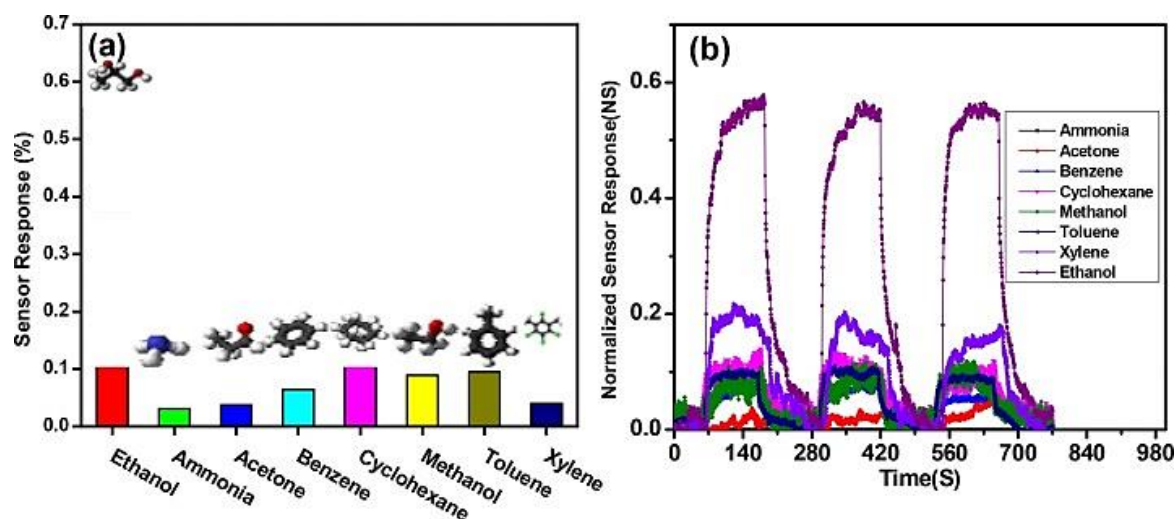
Senzory plynu se integrují do textilií, aby jejich nositel odhalil včas nebezpečné látky v ovzduší a předešel zdravotním problémům. Také analyzují životní prostředí. Vdechování acetaldehydu, či kontakt s ním, může způsobit hned několik zdravotních problémů (podráždění očí, bolesti hlavy, nevolnost, dýchací potíže) a působí karcinogenně. Vdechování amoniaku také způsobuje dýchací problémy a zavodňování plic.

Pro detekci etanolových výparů při pokojových teplotách se používají komerčně dostupné bavlněné látky s MWCNTs nebo s PVA/MWCNTs (látky s vrstvou MWCNTs a PVA) [45].



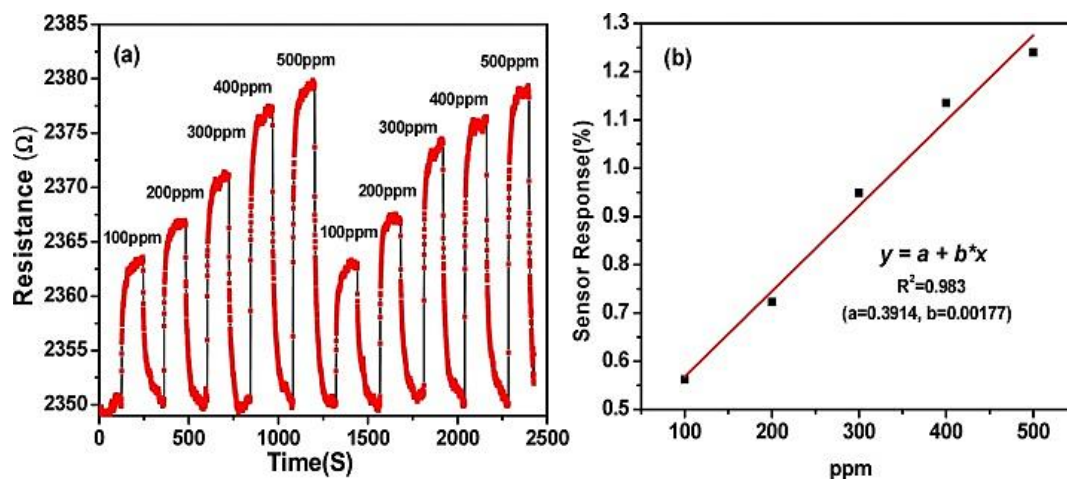
Obr. 29 Schéma výroby PVA/MWCNTs senzoru metodou stříkání (převzato z [45])

MWCNTs potažené PVA vykazují lepší odezvu ve srovnání s nahým MWCNTs. Tento senzor je také velmi flexibilní, vydrží ohnutí až  $\pm 60^\circ$ . Dále vykazuje vyšší selektivitu ve snímání etanolu ve srovnání s parami amoniaku, acetonu či toulenu [45].



Obr. 30 Odezvy PVA/MWCNTs senzoru na různé chemické látky (převzato z [45])

Odezva senzoru je 24 sekund ( $\pm 2$  s) a doba regenerace 29 sekund ( $\pm 3$  s). Plyny jsou snímány na základě změny odporu mezi trubkami PVA/MWCNTs, která je způsobená interakcí PVA s etanolovými párami, vrstvy PVA nabobtnají [45].

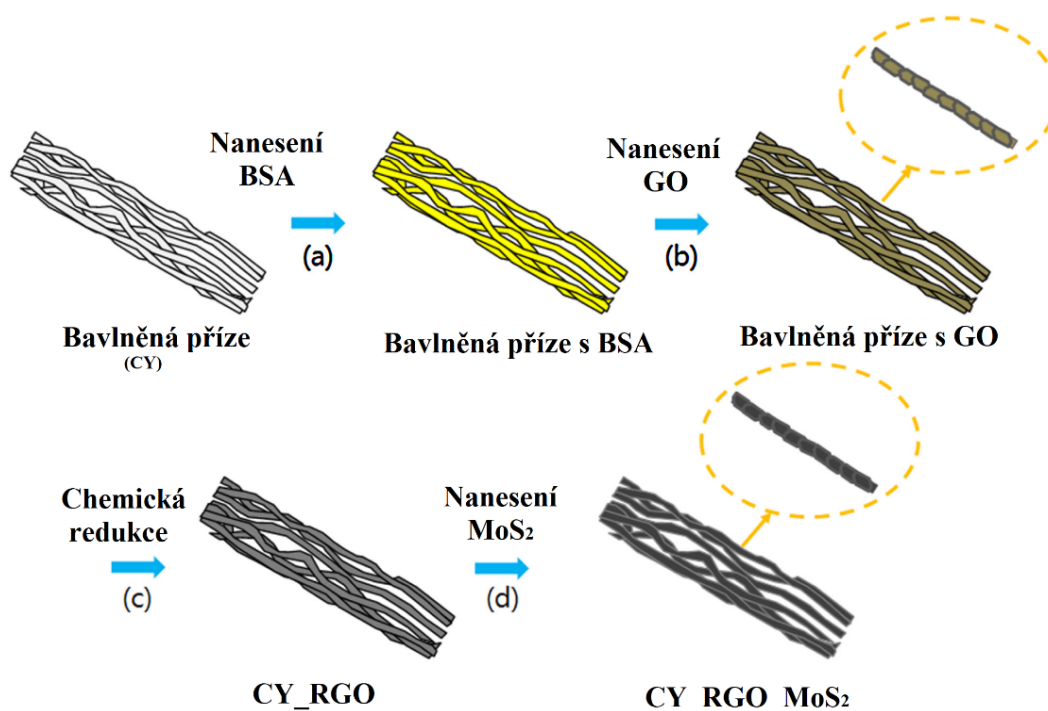


Obr. 31 PVA/MWCNTs senzor - závislost odporu na čase pro různé koncentrace etanolu (převzato z [45])

Další senzor, který se používá pro detekci par a plynů etanolu, amoniaku či acetaldehydu je složen s bavlněné látky a ZnO. Na látku je metodou magnetronového naprašování (sputtering) a metodou sol-gel nanesena vrstva ZnO [46].

Dále se používají senzory plynu na bázi PANI, které jsou citlivé na těkavé organické sloučeniny (etanol, chloroform, toluen, aceton). Na netkané textilie z polypropylenových vláken se metodou potahování ponorem nanese tenký povlak PANI. Doba odezvy je přibližně 10 sekund [47].

Vysokou odezvu na plyn  $\text{NO}_2$  má textilní senzor plynu  $\text{CY\_RGO\_MoS}_2$  [48]. Ten je připravený z bavlněných přízí (CY), které jsou potaženy GO a poté  $\text{MoS}_2$ . Jedná se o ultra přesný, omyvatelný a flexibilní plynový senzor dosahující velmi vysoké přesnosti detekce oxidu dusičitého ( $\text{NO}_2$ ) při pokojové teplotě. Zároveň senzor vydrží až 100 omytí beze ztráty citlivosti a přečkal i 1000 extrémních ohýbacích testů, senzor je tudíž velmi mechanicky odolný. Dalším pozitivem je velice dobrá komerční dostupnost látek na výrobu senzoru. Senzor funguje na polovodičovém principu - jeho vnitřní odpor je závislý na teplotě, ohybu a na koncentraci  $\text{NO}_2$  v okolí senzoru. Pomocí chemické reakce s molybdenovou vrstvou se snižuje vodivost grafenové vrstvy, která je lineárně závislá na koncentraci  $\text{NO}_2$ . Výhodou tohoto senzoru je jeho opakovatelná použitelnost, mechanická odolnost a velická přesnost [48].



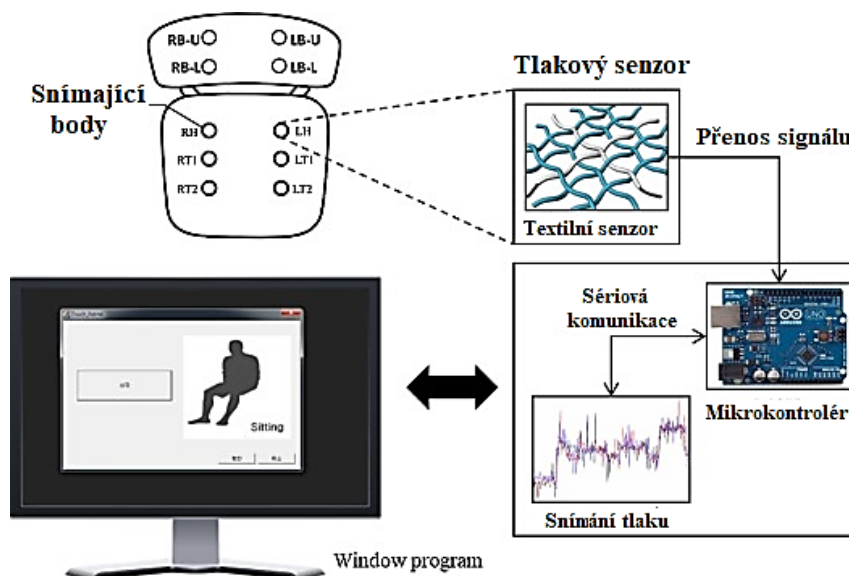
Obr. 32 Proces výroby textilního senzoru plynu  $\text{CY\_RGO\_MoS}_2$  (převzato z [48])

## 2.7 Textilní tlakový senzor

Tyto senzory fungují na různých principech. Patří mezi ně princip piezorezistivní, piezoelektrický, piezomagnetický, kapacitní, magnetický nebo optický. Jednotlivé senzory jsou uspořádány do dvourozměrné mřížky a mapování tlakové síly je realizováno adresováním jednotlivých prvků [4].

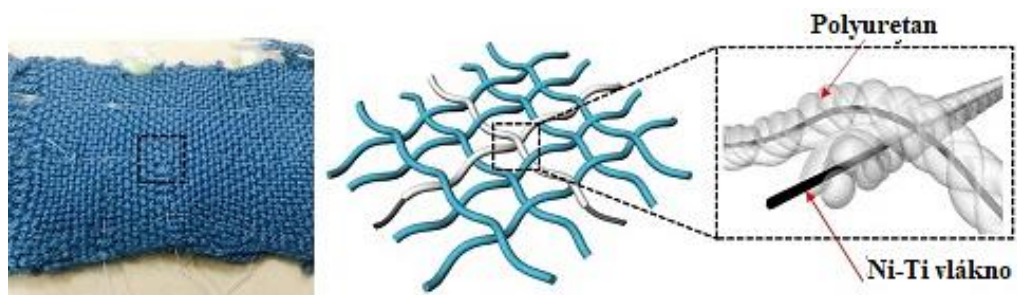
Většina tlakových senzorů, převážně pro komerční využití, je založená na změně elektrických parametrů materiálů, obvykle elektrického odporu. Parametry se mění v důsledku působení vnější deformační síly [4].

Pro monitorování sedmi poloh sezení (stání, vzpřímené sezení, sezení s nohou přes nohu, sezení s oběma nohama nadzvednutými, opírání se vlevo dozadu, opírání se vpravo vzadu a hrbení se) se používá vysoce odolný a omyvatelný textilní senzor tlaku s Ni-Ti vlákny. Snímá se tlak v oblasti kyčlí, stehen a zad. Snímající pole je připojené k Arduino Uno s mikrokontrolérem pro měření tlaku, pro přenos signálu se používá sériová komunikace (po jednotlivých bitech) [49].



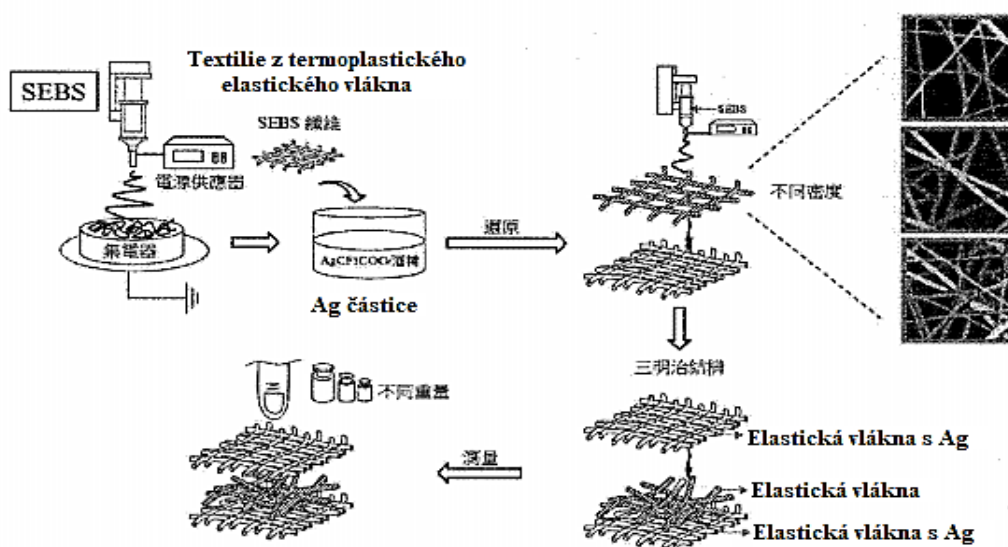
Obr. 33 Znáornění systému pro sledování polohy sezení s tlakovými senzory (převzato z [49])

Senzor je utkán z vlny a vodivých vláken z Ni-Ti slitiny obtočených třemi polyuretanovými vlákny. V místě křížení dvou vláken (znázorněno na Obr. 34) je struktura kov – izolátor – kov, působícím tlakem se mění vzdálenosti mezi vlákny, využívá se tedy princip kondenzátoru. Zmenšením izolační vrstvy roste kapacita [49].



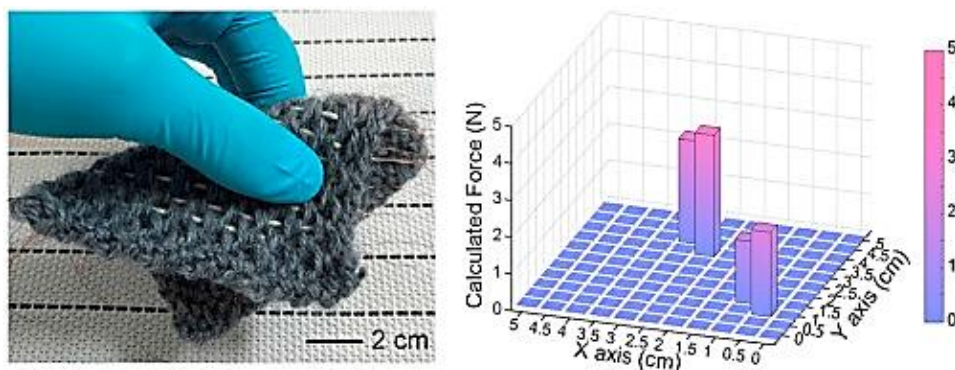
Obr. 34 Textilní tlakový senzor s Ni-Ti a jeho schéma (převzato z [49])

Další textilní senzor tlaku obsahuje termoplastická elastická vlákna vyrobená elektrostatickým zvlákněním a kovové (stříbrné) částice potažené na jejich povrchu. Struktura vláknité sítě zvyšuje specifickou plochu kovových částic, odolnost vůči namáhání a natažení [50].



Obr. 35 Schéma výroby textilního senzoru tlaku s termoplastickými elastickými vlákny s Ag (převzato z [50])

Mezi textilní senzory tlaku bezpochyby patří i textilní senzory dotyku, které snímají také tlak. Stavební vlákna textilních senzorů dotyku mohou přesně detekovat tlak při různých poloměrech zakřivení a rozpoznat dotykové polohy.



Obr. 36 Textilní senzor dotyku a znázornění působící síly na místa dotyku (převzato z [51])

Textilní senzor dotyku obsahuje například jádrovou elektrodu, z materiálu s tvarovou pamětí se spirálovitě navinutým měděným drátem, vloženou do plášťové elektrody vytvořené ze spirálovitě navinutých CNT potažených PU (Obr. 37) [51].

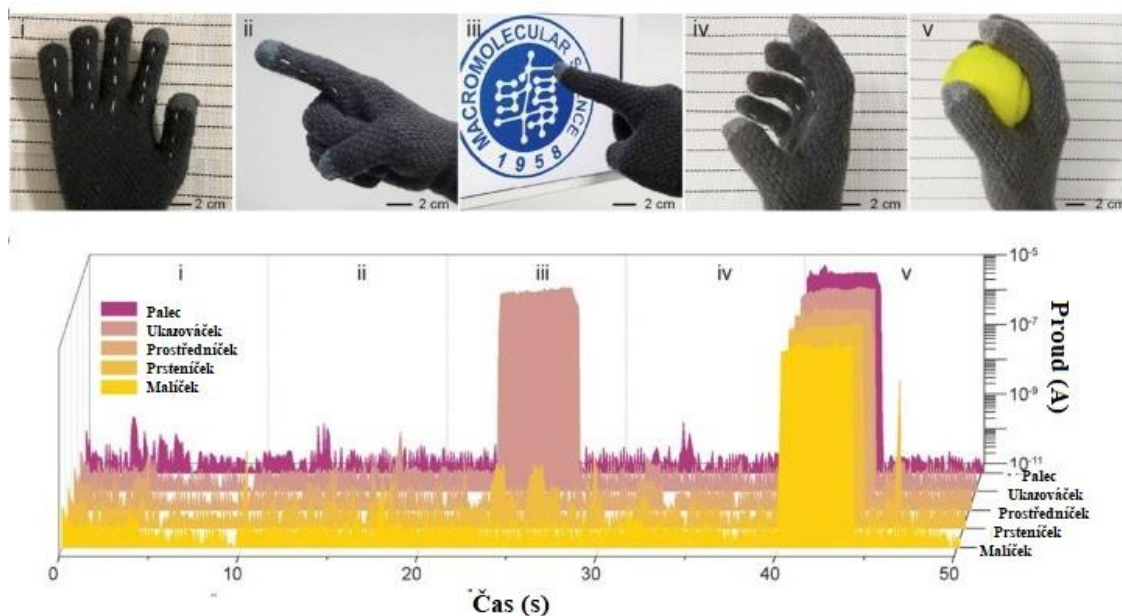


Obr. 37 Schéma textilního senzoru dotyku s jádrovou a plášťovou elektrodou (převzato z [51])



Obr. 38 Inteligentní rukavice s nositelným digitálním ovládacím panelem (převzato z [51])





Obr. 39 Inteligentní rukavice monitorující dotyk jednotlivých prstů (převzato z [51])

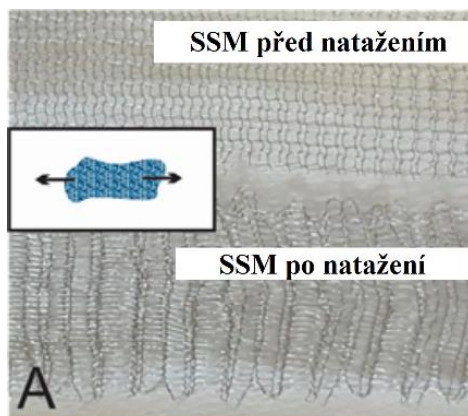
## 2.8 Textilní pH senzor

Tělo každého jedince vylučuje pot, ze kterého lze získat mnoho informací týkajících se jeho fyziologického stavu. Jedním parametrem je i pH potu. Pomocí změn pH lze monitorovat hydrataci, užívání drog, stavy ran či kožní onemocnění (dermatitida, ichtyóza, plísňové infekce) [52], [53], [54].

Textilní pH senzory se skládají z:

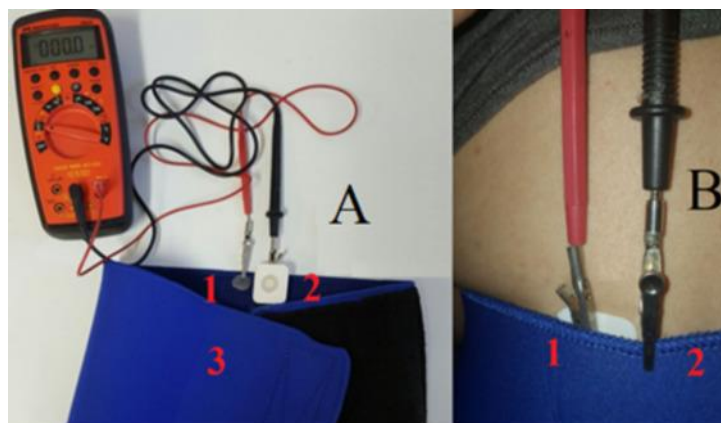
- bavlněné tkaniny ošetřené organicky modifikovaným silikátem ORMOSIL (lakmusové barvivo získávané z lišejníků, 3-glycidoxypropyltrimethoxysilan, netoxický indikátor pH), nízkoenergetického citlivého barevného senzoru, vestavěného procesoru a rozhraní Bluetooth [52];
- textilie, na které je nanosené organické a netoxické halochromní barvivo metodou sol-gel, a elektroniky sledující barvu látky, tím nepřímě pH [53];
- vodivé tkaniny (Argenmesh, Ripstop, SSM), která má nanosenou vrstvu oxidu iridia ( $\text{IrO}_2$ ) elektrodepozicí, neboli elektrolytickým pokovováním [54].

Vodivá tkanina Argenmesh je z nylonu, z toho je 55% nylonových vláken potažených stříbrem; tkanina Ripstop je také z nylonu, ale všechny nitě jsou potažené stříbrem; síťovina z nerezové oceli (SSM) je celá z chirurgických nití z nerezové oceli [54].



Obr. 40 Tkanina SSM (převzato z [54])

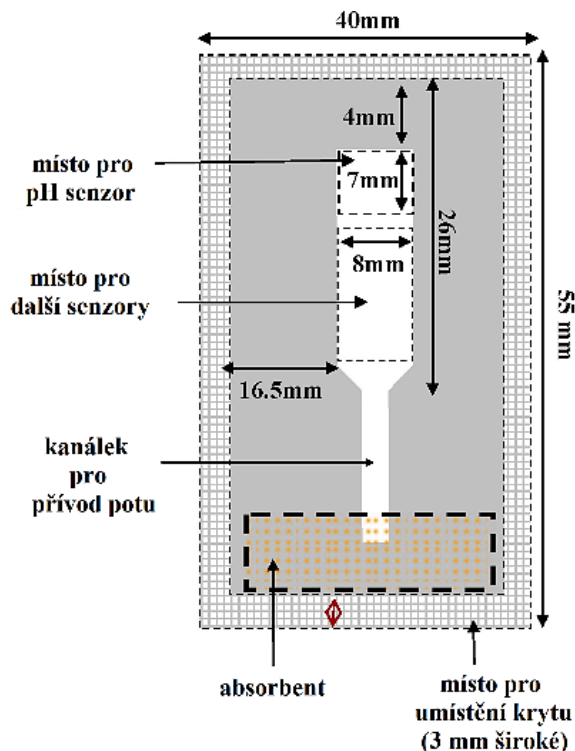
Textilní potenciometrický pH senzor (PTBpH) s  $\text{IrO}_2$  na SSM tkanině vykazuje nejlepší odezvu ve srovnání s Argenmesh a Ripstop. Mezi hlavní výhody těchto senzorů patří nízké náklady, jednoduché hardwarové požadavky, velká nabídka SSM tkanin na trhu a také omyvatelnost ( $\text{IrO}_2$  je pevně spojen s tkaninou) [54].



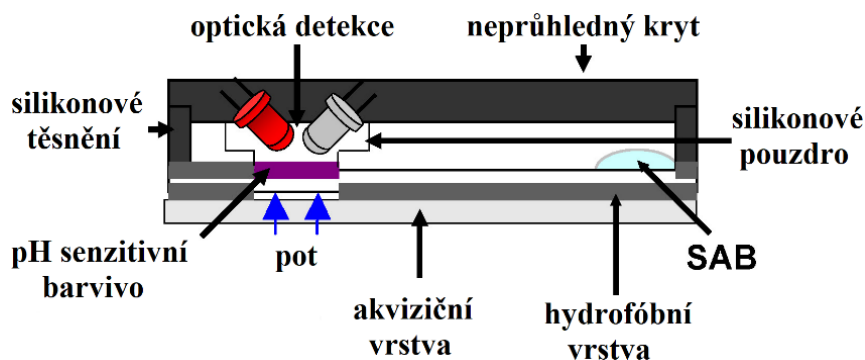
Obr. 41 Bederní pás s PTBpH senzorem – (1) senzor, (2) elektroda, (3) bederní pás (převzato z [54])

Další textilní senzor pH využívá speciální textilní látky, které jsou schopny odvádět pot. Látky ze směsi polyesteru a Lycry shromažďují pot a odvádí jej ke snímači. Snímač obsahuje barvivo citlivé na pH, změna barvy je monitorována optickým detektorem. Celý systém včetně senzoru je v neprůhledném krytu. Pro kontinuální proudění potu se používá

absorbent Absorbtext skládající se absorpčních částic vložených mezi dva listy absorpčního papíru [55], [56].



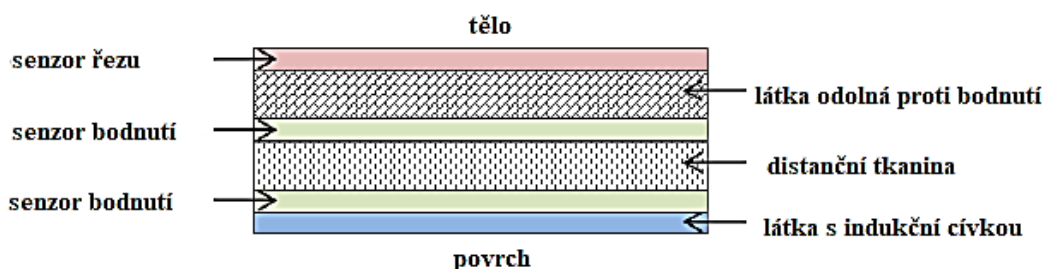
Obr. 42 Schéma systému přivádějící tekutinu k pH senzoru (převzato z [55])



Obr. 43 Schéma pH senzoru s optickým detekčním systémem (převzato z [55])

## 2.9 Textilní senzor pro detekci řezu a bodnutí

Pro detekci říznutí nebo bodnutí existují textilní senzory, které jsou integrovány do oděvů. Říznutí se detekuje většinou změnou odporu a bodnutí působením tlaku, které se dobře zaznamenává změnou kapacity. Mezi materiály odolné proti bodnutí, patří UHMW-PE (Dyneema, Spectra), aramid (Kevlar, Twaron, Nomex) nebo PBO (Zylon) [37].



Obr. 44 Schéma textilního senzoru pro detekci řezu a bodnutí (převzato z [57])

Senzor pro detekci řezu je meandr pletený vodivou přízí ve zničitelné tkanině. Jako vodivá příze se používá ocelové střížové vlákno, Bekinox, Shieldex® (příze potažená stříbrem), Amberstrand (Ag + Ni). Při proříznutí vodivé příze se detekuje změna odporu a spustí se alarm. Vícevrstevná tkanina z UHMW-PE se používá jako látka odolná proti bodnutí. Senzor bodnutí má strukturu kondenzátoru: dvě polyesterové tkaniny s tištěnými vodivými pruhy, které jsou na sebe kolmé, od sebe oddělené distanční tkaninou. Látka s vyšítou měděnou indukční cívkou na vnější straně slouží pro nabíjení zařízení, které vyhodnocuje řezy a tlaky způsobené bodáním a spouští alarm. Z oděvu se před praním vyndává vložka se senzory, aby se prodloužila životnost a předešlo se častým kalibracím [57].

### 3 Textilní senzory natažení

Textilní senzor natažení se v anglickém jazyce uvádí jako „strain sensor“ nebo „stretching sensor“. Slovo strain mám mnoho překladů, například napětí, namáhání, tlak nebo napnutí. „Stretch“ se překládá jako natáhnout, vytáhnout nebo rozpínat. V odborných článcích se ale převážně používá pojem „strain sensor“ pro senzor, který zaznamenává různé mechanické změny, deformace a namáhání, které jsou obvykle doprovázeny natahováním senzorů.

Mezi počátky snímání stlačení, natažení a jiných mechanických deformací můžeme považovat vynalezení tenzometru roku 1938. Tenzometr slouží k nepřímému měření mechanického napětí na povrchu potřebných objektů pevného skupenství pomocí měření deformace [58], [59].

Většina textilních senzorů natažení mění svůj elektrický odpor, indukčnost, kapacitu nebo optické vlastnosti vlivem mechanického působení (natažení, ohnutí). [4]

Textilní senzory natažení mohou být konstruovány použitím různých vodivých a nevodivých vláken či materiálů. Buď se vpletou, nebo vtakají do textilie. Také se nevodivá vlákna potahují vodivou vrstvou nebo naopak. Používají se polymerní optická vlákna; skleněná vlákna; piezorezistivní materiály; vodivé i nevodivé polymery (PPy, PANI, UHMW-PE); elastomery (přírodní kaučuk, guma); textilie z Lycry, PU, PAN, nylonu (PA vlákna); kovové či uhlíkové nanočástice a nanotrubic.

#### 3.1 Textilní senzor natažení s polymerními optickými vlákny

V textilním senzoru natažení, který měří mechanické napětí a namáhání, se můžeme opět setkat s optickými vlákny. Pomáhají při monitorování konstrukcí, geologických útvarů či zdravotního stavu (pohyb, dýchání). Snímání je založeno na mechanických deformacích pláště POF. Deformace ovlivní průchod světelného paprsku jádrem vlákna. Změnou fyzikální parametrů lze vypočítat namáhání způsobené okolím [3].



Obr. 45 Snímač dechu (převzato z [3])

### 3.2 Odporový textilní senzor natažení

Snímač měří změnu elektrického odporu působením deformace, založeno na piezorezistivním jevu. Při piezorezistivním jevu se nevytváří žádný náboj, pouze se mění elektrický odpor. Citlivost senzoru je reprezentována koeficientem deformační citlivosti (GF), jedná se o poměr relativní změny odporu a relativního prodloužení [3].

$$GF = \frac{\Delta R/R_0}{\varepsilon} = \frac{\Delta R/R_0}{\Delta L/L_0} \quad (1)$$

kde  $R_0$  je počáteční hodnota odporu,  $\Delta R$  odpor při deformaci,  $\varepsilon$  je relativní prodloužení způsobené deformací,  $L_0$  je počáteční vzdálenost a  $\Delta L$  vzdálenost při deformaci.

Používají se flexibilní vodivé polymery, neelastická vodivá vlákna, jejichž flexibilitu umožňují elastické struktury vzniklé například pletením či potahováním, nebo ohebné piezorezistivní kompozity. Tyto kompozity vznikají vkládáním vodivých částic do elastické matrice, která je následně integrována do textilií [3].

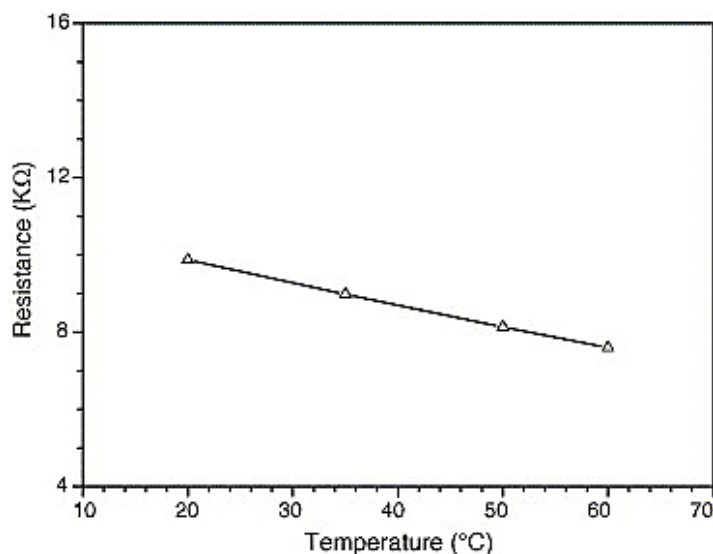
### 3.3 Textilní senzor natažení s vodivými polymery a elastomery

Vnitřně vodivé polymery (ICPs), jako jsou například PPy nebo PANI, jsou křehké a málo elastické, proto se kombinují s flexibilními substráty, aby se mohly využít v nositelných senzorech. PPy se potahuje například na Lycru, nylon, polyester [3].

Pro snímání pohybu lidského těla při neurologické rehabilitaci se využívá nanosení vrstvy vodivého elastomeru (CE) na látku pomocí sítotisku. Do většiny plastů a elastomerům

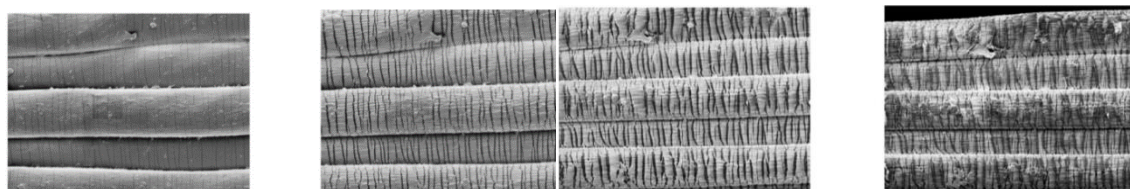
se může přidat vodivý materiál (kovové částice, uhlíkové saze, CNTs, uhlíkový prášek). Přidáním vodivého materiálu se jejich elektrický odpor sníží. Odpor se také sníží působením mechanických sil, vlivem piezorezistivního jevu [3].

Na hladkou pleteninu s Lycrou se pomocí chemických procesů nanese PPy vrstva. Mezi chemické procesy patří: ponoření látky do  $\text{FeCl}_3$ , poté do  $\text{NaCl}$ , přidání roztoku s PPy, polymerace ve vakuu, mytí deionizovanou vodou. Vodivost PPy je obvykle ovlivněna teplotou (Obr. 46) a také mírně vlhkostí. PPy vrstva dokáže adsorbovat vlhkost a mírně snížit odpor snímače [60].



Obr. 46 Vliv teploty na odpor tkanin s PPy (převzato z [60])

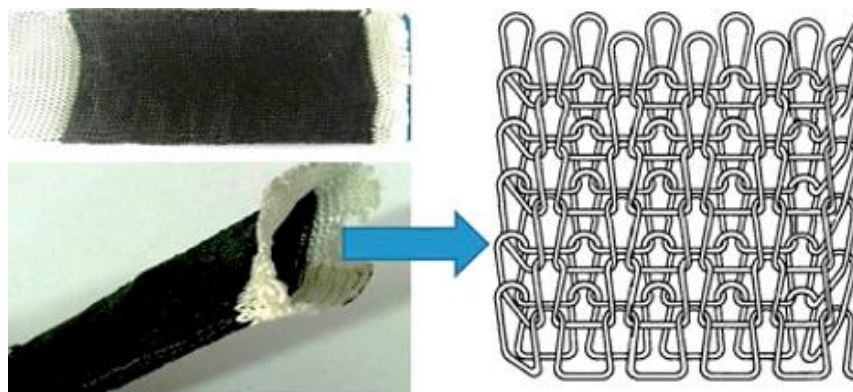
Během namáhání Lycra vláken s PPy dochází ke vzniku mikrotrhlin, které způsobují změny elektrického odporu. Při snímání namáhání hraje velkou roli šířka a délka mikrotrhlin [61].



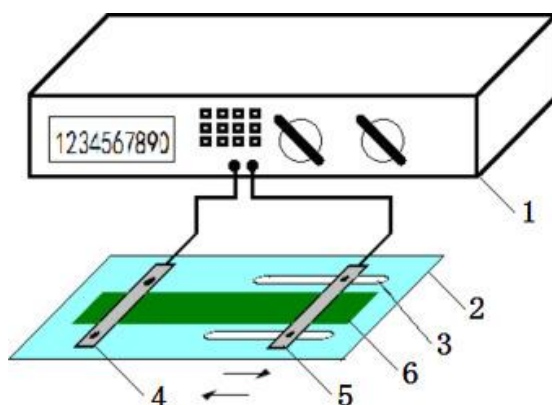
Obr. 47 Mikrografie Lycra vláken potažených PPy s rostoucím namáháním (převzato z [61])

Také se na nylonové nitě potahuje stříbro, tyto vodivé nitě jsou obvykle pružnější, měkčí a pohodlnější v textiliích, než vodivé příze na bázi nerezových ocelí [3].

Vláknité příze UHMW-PE se modifikují pro zlepšení jejich povrchové energie pomocí chemických procesů a roztoku anilinových monomerů na UHMW-PE/PANI. Tyto příze se následně pletou s polyuretanovými nitěmi pro zlepšení regenerační schopnosti (Obr. 48). Pletenina vykazuje velkou deformaci pod malým namáháním s vynikající regenerační schopností [62].



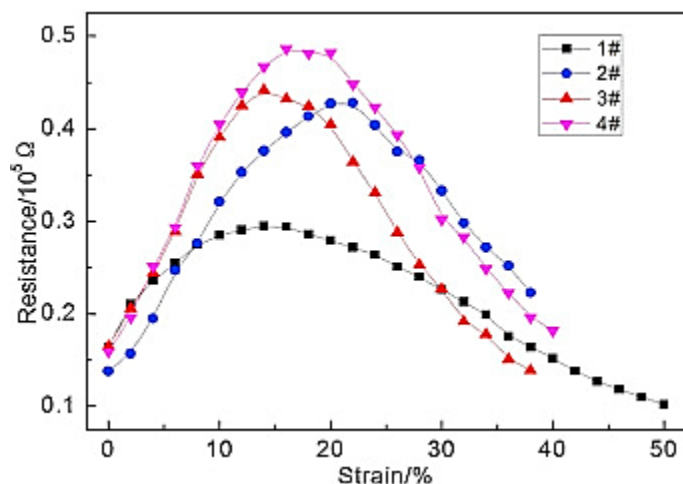
Obr. 48 Textilní senzor natažení na bázi UHMW-PE/PANI a schéma pletení (převzato z [62])



Obr. 49 Systém pro měření změn odporu vlivem natažení (1 - měřicí přístroj, 2 - deska, 3 - kolejničky pro pohyb svorky, 4 - pevně upevněná svorka, 5 - pohyblivá svorka, 6 - vodivá tkanina) (převzato z [62])

Tkanina s UHMW-PE/PANI vykazuje vynikající linearitu, citlivost a opakovatelnost za podmínek malého namáhání. Dále se zvyšováním hustoty útkové pleteniny vzrůstá linearita, citlivost a opakovatelnost (Obr. 50) [62].

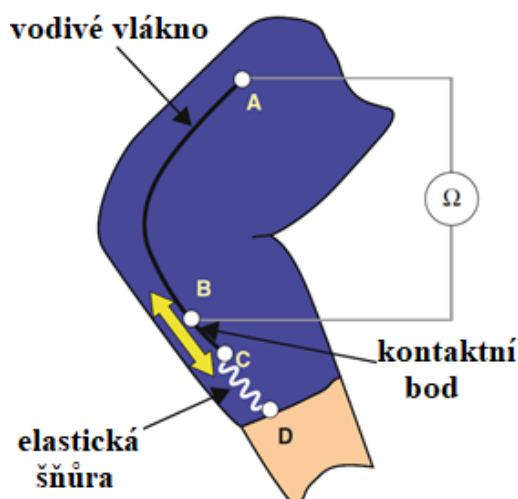




Obr. 50 Závislost odporu na natažení pro 4 různé hustoty pleteniny (převzato z [62])

### 3.4 Textilní dělič napětí

Jako textilní senzor natažení lze také použít dělič napětí. Ten se skládá z vodivého vlákna a elastické šňůry reagující na pohyb (Obr. 51). V bodě A je trvale připevněné vodivé vlákno k nevodivé textilii. V bodě B je pevně připojený kontakt dotýkající se vodivého vlákna. V bodě C je spojen konec vodivého vlákna s elastickou šňůrou. V bodě D je elastická šňůra trvale připevněná k textilii. Při pohybu se změní délka elastické šňůry a vodivé vlákno klouže kolem kontaktního místa B, tím pádem se mění délka vodivého závitu, tedy elektrický odpor. Tato metoda je vhodná pro sledování pohybu kyčle a kolene [63].



Obr. 51 Nositelné snímací zařízení pohybu provedené děličem napětí (převzato z [63])

### 3.5 Pletený textilní senzor natažení s vodivou přízí

Tento senzor může být vyroben vpletením vodivých uhlíkových vláken do textilie. Snímač zaznamená změnu elektrického odporu vlivem natahování, při kterém dochází ke změně kontaktního odporu mezi smyčkami [3].

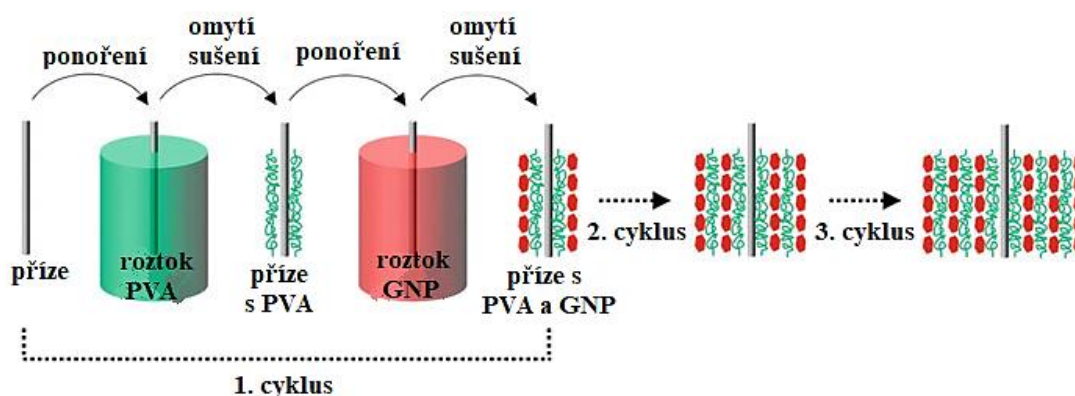
Dále lze použít pletenou vodivou látku z více vláknové příze z nerezové oceli a uhlíkových vláken na bázi PAN [3].

Další možností pro detekci pohybů lidského těla jsou pletené piezorezistivní látky (KPF). KPF představují zlepšení oproti CE v době odezvy, redukci hysterezí a jsou vhodnější pro nositelné aplikace pro snímání pohybu [4].

Mezi výrobce KPF patří firma Smartex, která plete textilie z 75% elektricky vodivých vláken Belltron® a z 25% elastických vláken Lycra® na kruhovém pletacím stroji. Belltron® vlákna se skládají z dvousložkové vláknové příze z polyamidu (nylon) obohaceným vodivými částčkami uhlíku. [4]

### 3.6 Textilní senzor natažení s vodivými nanomateriály

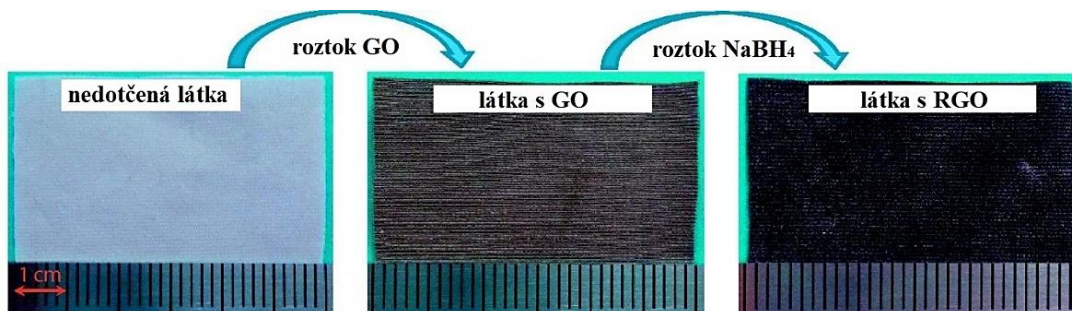
Jako vodivý nanomateriál se hojně používá uhlík. Uhlíkové nanočástice (GNP) lze potahovat na různé druhy roztažitelných přízí (např. nylon, vlna) v různých tloušťkách. U nylonových vláken potažených GNP se elektrický odpor s namáháním zvyšuje, u vlněných přízí s GNP je tomu naopak. Při velkém namáhání dochází k vzniku mikrotrhlin vrstvy GNP. Aplikují se pro monitorování pohybů hrdla, hrudníku, ohybů paže a ruky [3].



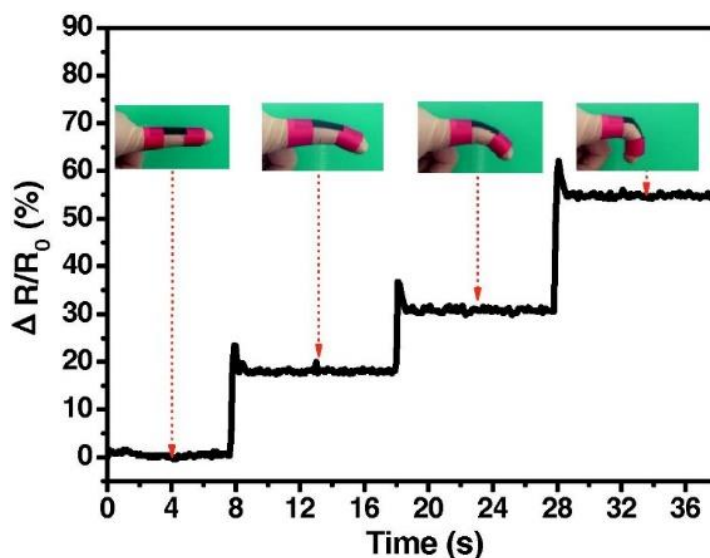
Obr. 52 Proces výroby a schéma senzoru na bázi příze s GNP (převzato z [3])

Vodivé stříbrné nanodrátky se například vkládají mezi dvě vrstvy silikonu PDMS [3].

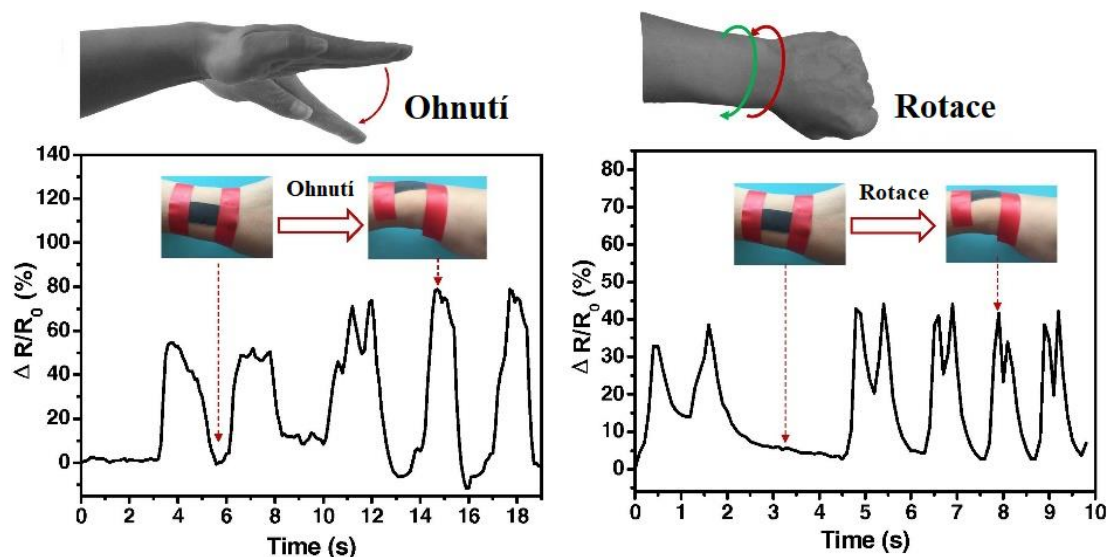
Ohebné a nositelné látky se snímáním natažení se vyrábí i nanosením nanočástic GO na bílou pletenou látku nylon/PU (nylon 97 %, PU 3 %) (Obr. 53). Následuje redukce GO pomocí  $\text{NaBH}_4$ . Nanovlákná s RGO jsou absorbována do elastické tkaniny (změna barvy látky z bílé na hnědou) a dodávají látce elektrickou vodivost. Tento senzor se používá opět pro monitorování pohybu lidí (ohyb prstů, flexe a rotace zápěstí) [64].



Obr. 53 Příprava tkaniny s GO pro snímání natažení (převzato z [64])

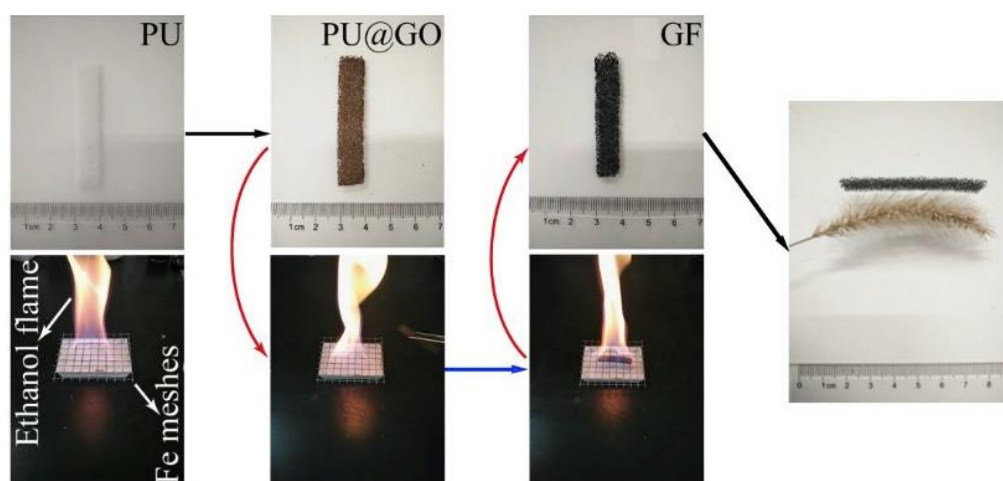


Obr. 54 Změna odporu při ohýbání prstu (převzato z [64])

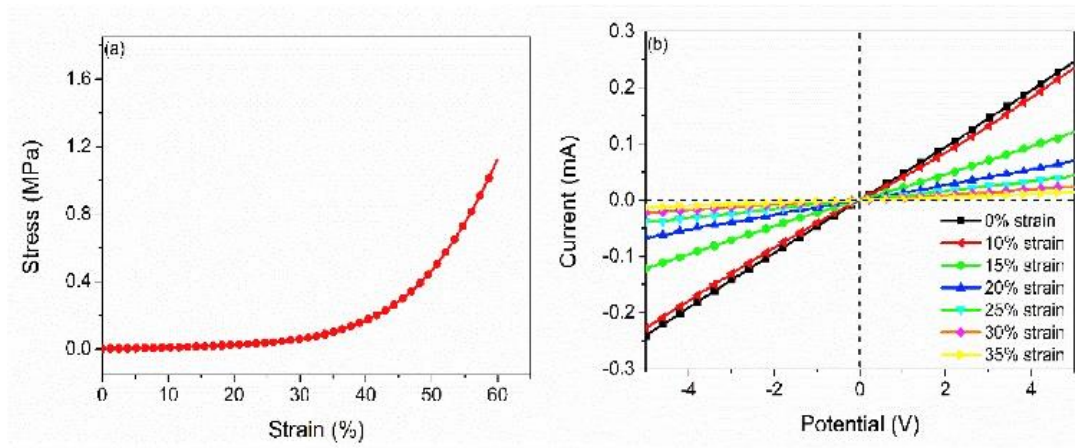


Obr. 55 Monitorování pohybů zápěstí pomocí změny odporu (převzato z [64])

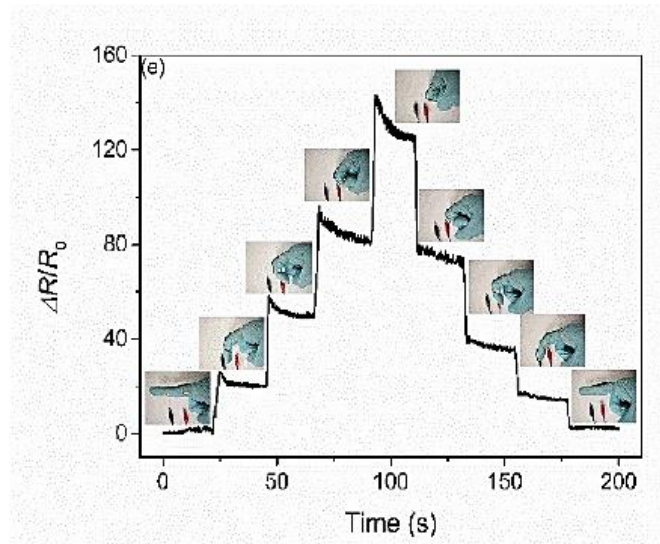
Dále se používá elastický senzor na bázi přírodní kaučuk/uhlíková pěna (Obr. 56). Na samotný pěnový PU se potahuje GO. Po umístění do etanolového plamene vznikne uhlíková pěna, která se položí na skleněný substrát, stříbrnou pastou se k ní přilepí dva měděné dráty a celé se to zakápně kapalným přírodním kaučukem. Poté se to vloží sušit do pece na 40 °C na přibližně 12 hodin, dokud není vzorek zcela suchý. Poté se vytvrzený systém sejme ze skleněného substrátu a používá se jako elastický senzor na bázi přírodní kaučuk/uhlíková pěna. Příkladem využití může být detekce chůze či pohybu lidských kloubů [65].



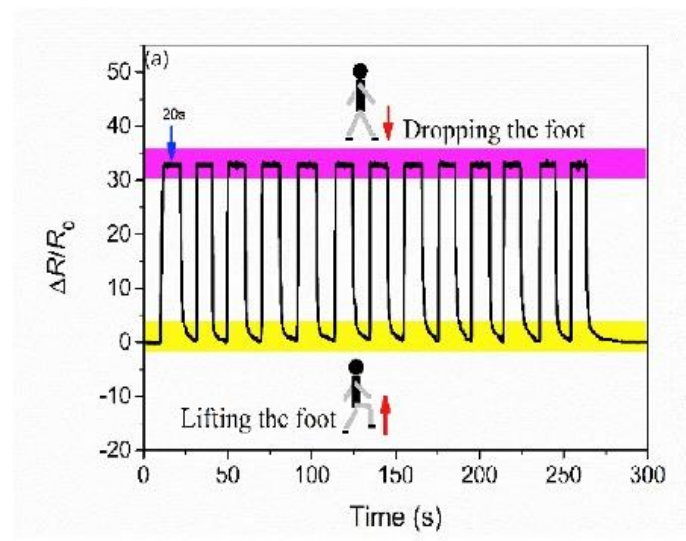
Obr. 56 Výroba uhlíkové pěny (GF) (převzato z [65])



Obr. 57 Závislost tlaku na natažení a V-A charakteristika pro různé veliké namáhání (převzato z [65])

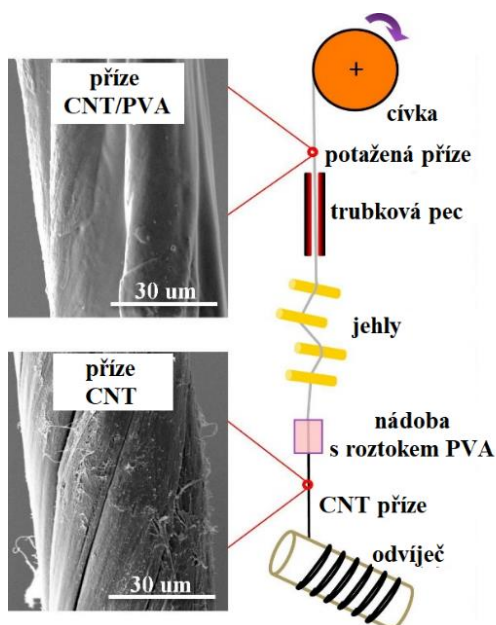


Obr. 58 Změna odporu při ohýbání prstu (převzato z [65])



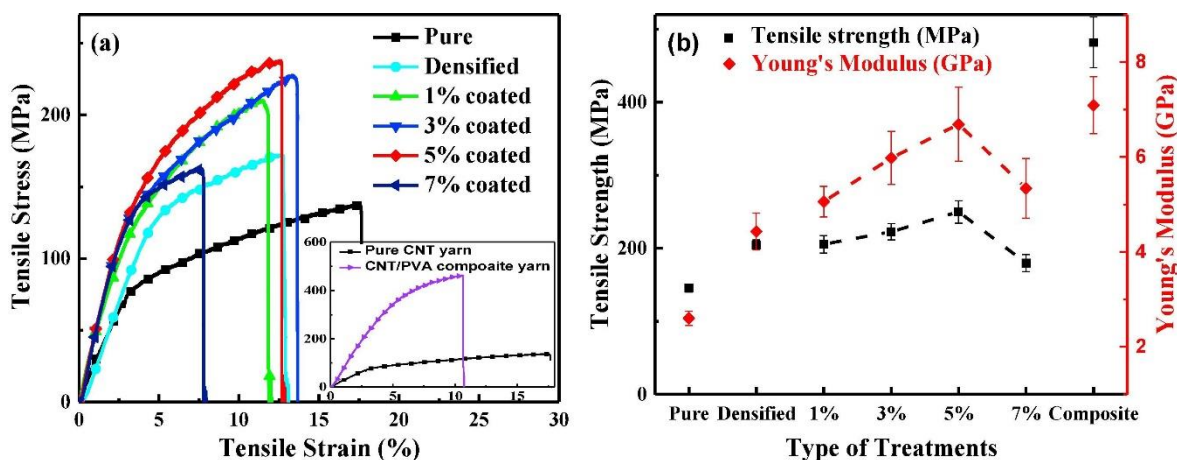
Obr. 59 Změna odporu při chůzi (převzato z [65])

Další ohebný snímač namáhání, který lze integrovat do chytrých textilií pomocí tkaní nebo pletení pro detekci pohybů lidí či trhlin, je příze z CNT/PVA. Jádrem z CNT se táhne polymerním roztokem PVA při 30 °C rychlostí 5 cm/min, poté se pomocí jehel vytlačí přebytečný polymerní roztok. Potažená příze CNT/PVA je nakonec sušena při 100 °C a navinutá na cívku (Obr. 60) [66].



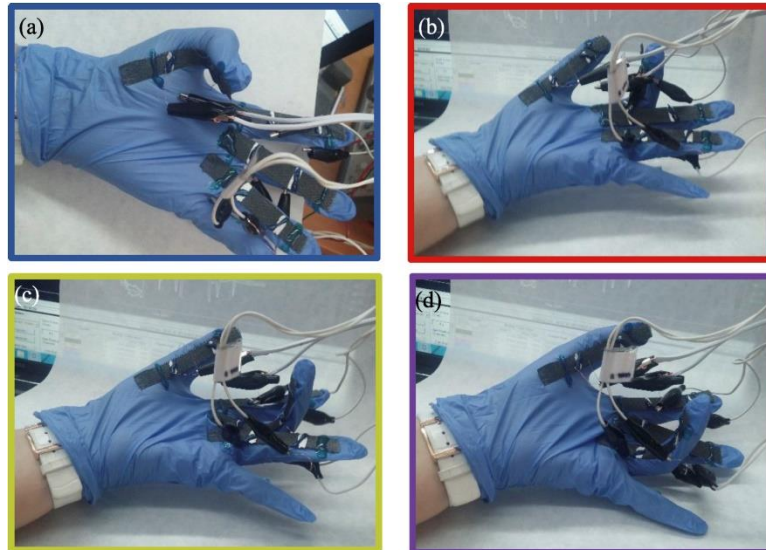
Obr. 60 Schéma výroby příze CNT/PVA (převzato z [66])

Ve srovnání s čistou CNT přízí má příze potažená povlakem PVA zlepšenou pevnost v tahu o 71,8 %, modul pružnosti v tahu o 157,3 %, odolnost proti otěru o 100 %, zvýšenou stabilitu po opakovaném zatížení a menší průměr přízí (CNT – 57,6 μm, CNT/PVA – 48,5 μm) [66].



Obr. 61 Závislost napětí v tahu na namáhání při různých koncentracích PVA v roztoku (převzato z [66])

Tkaná látka ze skleněných vláken HexForce® je potažená vrstvou obsahující prášek z uhlíkových nanočástic (GNP). Vytvořením vodivé vrstvy na povrchu skleněných vláken je tato látka schopna monitorovat mechanické namáhání v tahu. Během natahování se sousední skleněná vlákna s GNP oddalují a elektrický odpor se zvyšuje [67].



Obr. 62 Monitorování pohybu prstů (převzato z [67])

## 4 Aplikace textilních senzorů

### 4.1 Zdravotnictví a domácí péče

U stárnoucí populace se může zdravotní stav sledovat pomocí smart textilií, které společně se senzory, chytrými telefony a servery umožňují dlouhodobý sběr informací, dat o pacientech. Textilní senzory integrované do běžných oděvů snímající stavy lidského těla usnadňují práci lékařům a zdravotnickému personálu. Pacient je dlouhodobě monitorován i bez přítomnosti odborného personálu a v případě komplikací se personálu, nebo jiné pověřené osobě, odešle oznámení o zhoršení zdravotního stavu.

Sleduje se srdeční tep, dech, teplota, množství potu, jeho pH a složení, stav ran nebo mechanický tlak, zda je přiložena bandáž, či obvaz dostatečně utažená.

Chytré pletené prostěradlo monitorující přítomnost osob na lůžku a vlhkost prostěradla [68] pomáhá zdravotnickému personálu s pacienty upevněnými na lůžko či hendikepovanými osobami. Prostěradlo zaznamenává polohu osob na lůžku díky sensorům mechanického namáhání (natažení, tlak) a umožňuje předejít případným proleženinám.

Pro dlouhodobé monitorování pacientů s edémem dolních končetin se používají ponožky s integrovanými senzory natažení. Senzory umožňují monitorování otoku na základě tenzometrického efektu a jsou vyrobeny vpletením vodivých nití do textilu [69].



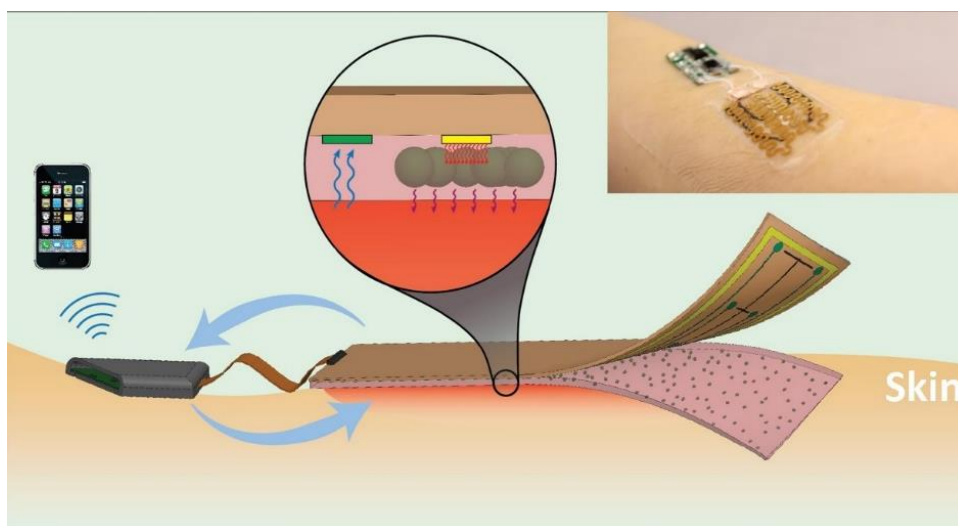
Obr. 63 Chytrá ponožka pro monitorování edémů (převzato z [69])





Obr. 64 Bandáž monitorující edémy (převzato z [70])

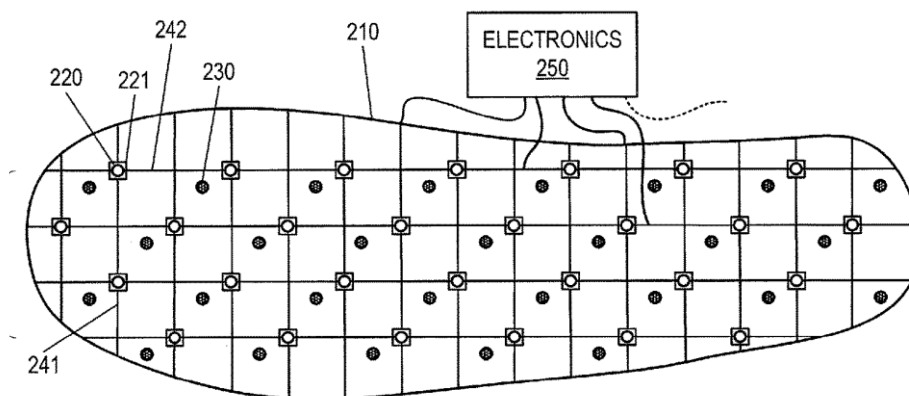
V léčbě chronických nehojivých ran najdou také textilní senzory (biochemické, pH, teploty, vlhkosti) své uplatnění. Do obvazů se integrují pružné, flexibilní, netoxické a odolné senzory snímající exsudáty rány a další parametry. Z exsudátů rány se snímá pH, obsah proteinů, enzymů, kyslíku, také se snímá teplota v oblasti rány a vlhkost rány. Monitorování stavu ran pomáhá odhalit nežádoucí infekce způsobující nehojení a obsah léčivých látek v ráně. Následným nasazením specifické léčby se urychlí proces léčby a předejde se vzniku nežádoucích nevzhledných jizev [71].



Obr. 65 Schéma vícevrstvého obvazu snímající teplotu a pH rány, při zvýšení teploty vlivem zánětu se uvolňují antibiotika (převzato z [71])

K nejčastějším komplikacím u diabetických pacientů patří syndrom diabetické nohy. Jedná se o zhoršení prokrvení dolních končetin způsobené ucpáváním cév, které může vést až k diabetickým vředům, v pokročilých fázích se často přistupuje i k amputaci [72].

Pro předpovídání rizika vzniku diabetických (bércový) vředu se používají chytré ponožky nebo vložky, které v sobě mají integrovány snímače tlaku a teploty. Na základě získaných plantárních parametrů tlaku a teploty se stanovuje předpoklad pro vzniku vředů. Přijímačem a vyhodnocovacím zařízením snímajících parametrů jsou chytrá komerční zařízení (hodinky, telefon), která bude poskytovat uživateli oznámení o jeho fyzickém stavu [73].



Obr. 66 Schéma obvodu s rozmístěnými senzory pro předpověď rizika vzniku diabetických vředů (převzato z [73])

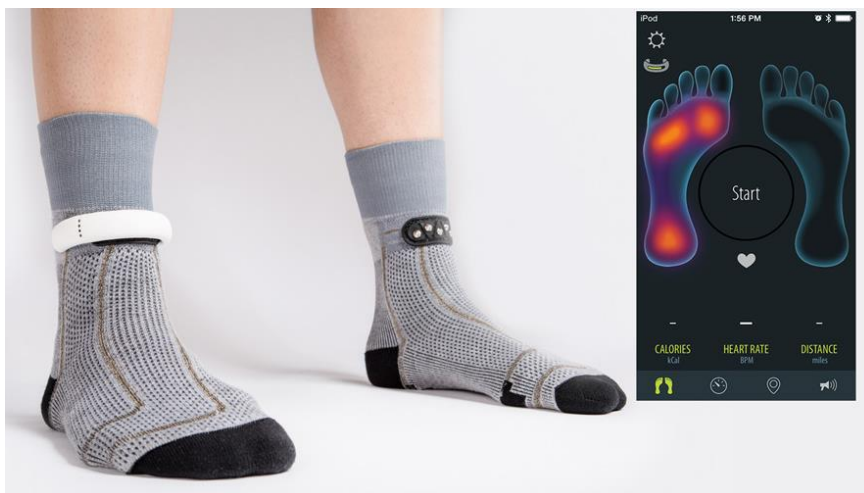
Pro předcházení ucpávání cév a lepší hojení bércových vředů se používají kompresní punčochy, které mají integrovaný textilní senzor natažení monitorující míru komprese.

## 4.2 Sport a rehabilitace

Aby předešli sportovci dehydrataci a kolapsům, používají chytré oděvy s textilními senzory, které snímají tep a pH potu.

Dále lze pomocí senzorů namáhání, natažení, tlaku či dotyku monitorovat pohyby těla, chůzi, flexibilitu končetin a kloubů. Sledování lidských pohybů má velké uplatnění ve fyzioterapii a rehabilitaci. Uživatel dostává oznámení o nevhodných pohybech, kterých se má vyvarovat a fyzioterapeut se snáze zaměří na problémy pacienta.

Pro monitorování ramene baletek se používá například chytré tričko s integrovanými textilními senzory mechanického namáhání, které zachycující pohyb ramene při tanci a umožňují i poskytnutí vizuální zpětné vazby na obrazovce zařízení pro zpracování elektronických dat [75].



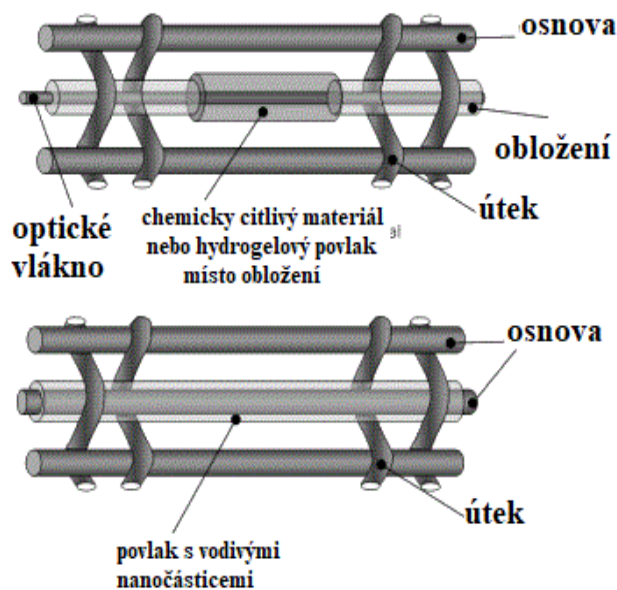
Obr. 67 Ponožky s tlakovými senzory zaznamenávající rozložení váhy (převzato z [74])

### 4.3 Stavebnictví

Textilie se senzory lze uplatnit i v oblasti stavebnictví, kde se používají geotextilie k měření namáhání chodníků nebo stability budov. Dále k monitorování sesuvů půdy, přírodních útvarů (skály, jeskyně) a zemětřesení.

Do železobetonových staveb se vkládá inteligentní textilie pro jejich bezpečnostní monitorování. Textilie je vyrobena z uhlíkových vláken, na které jsou přilepeny elektrody. Díky této textili se detekují dynamické změny odporu způsobené namáháním betonové konstrukce [77].

Dále se používají multifunkční technické textilie, vyvinuté během projektu POLYTECT, pro použití ve stavebnictví a zemních pracích. Textilie slouží k zvýšení houževnatosti a strukturní pevnosti, monitorování mechanického napětí, deformací, kolísání výšky vodní hladiny, detekci přítomnosti kapalin nebo chemikálií a vyhodnocování technického stavu. Mezi použité technologie patří pletené výztuhy mřížkového nebo lanového typu, optická vlákna a senzory do textilií. Textilní materiály lze použít jako nosné části budov, pro stabilizaci a monitorování [78].



Obr. 68 Struktura multifunkční technické textilie (převzato z [78])

Kombinace technických geotextilií a optických vláken se používá pro měření teploty a namáhání v chodnících. Výsledky ukázaly velmi vysokou citlivost, díky které jsou schopny měřit natažení menší než 10 mikro tenzí a rychlé dynamické pohyby až do 1000 Hz. Senzory se využívají k zjištění provozního zatížení, pro hodnocení, analýzu a údržbu komunikací. Je prokázána velmi dobrá životnost, odolnost vůči vysokým teplotám a mechanickému namáhání. Instalace probíhá před pokládkou asfaltu [79].



Obr. 69 Instalace geotextilních proužků pod 8cm asfaltu (převzato z [79])

#### 4.4 Ochranné oděvy

Textilní senzory slouží také jako identifikátory případného nebezpečí. Upozorňují uživatele na toxické chemické látky v ovzduší, záření, teplo nebo také na bodání či napadení nožem.

Tyto aplikace senzorů v obyčejných textiliích usnadňují práci integrovanému záchrannému systému. Hasiči využívají při hašení požárů textilní senzory teploty či toxických plynů, aby předešli zdravotním komplikacím. Pokud dojde ke zranění policisty během policejního zásahu, textilní senzor bodnutí či řezu zaznamená útok a odešle oznámení veliteli.

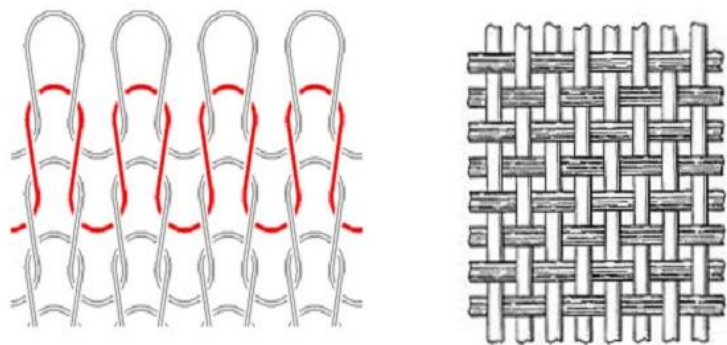
Textilní senzory z fotochromných materiálů slouží například k detekci UV záření nebo teploty. Při pohybu v místech s vysokou teplotou nebo silným UV zářením se textilie zbarví podle intenzity a upozorní uživatele na nebezpečné podmínky [76].



Obr. 70 Nítě reagující na osvit baterkou změnou svoji barvy (převzato z [76])

## 5 Měření vzorků textilních senzorů natažení

V praktické části této práce byly zkoumány vzorky textilních senzorů natažení. Jednalo se o vzorky ponožek, podkolenek a pružných stuh. Uvedené vzorky mají do komerční textilní látky vpletené vodivé nitě, které vytváří vodivé pruhy. Vlivem natahování dochází ke změně velikosti oček a kontaktu mezi nimi, dochází tedy ke změně parametrů. Proto bylo možné měřit jejich parametry, hlavně odpor, v závislosti na natažení, okrajově také sériová indukčnost a paralelní kapacita.



Obr. 71 Schéma pletení a tkaní (převzato z [15])

### 5.1 Měřené vzorky

K dispozici pro měření bylo 8 odlišných vzorků textilních senzorů natažení. Níže se nachází detailní popis daných vzorků.

#### 1. R.STAT

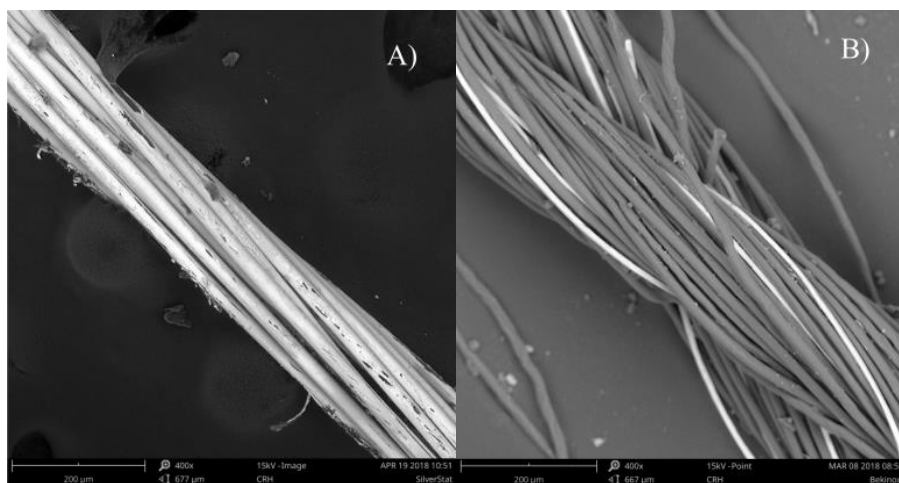
- černá podkolenka – 2 řádky vodivé příze R.STATS / ba 42tex, 662 z / m
- příze R.STAT je tvořena z polyesteru a kovové stříže

#### 2. SilveR.STAT

- bílá ponožka – Bavlna / Lycra (7 %) SilveR.STAT 110 dtex / f24
- struktura nití založena na postříbřené polyesterové přízi

#### 3. R.STAT – RSB

- bílá ponožka – 4 řádky vodivé příze: 50 % R.STAT/S + 50 % polyester, RSB, 220 tex; 32 řádků nevodivá niť bavlna 25 tex + Lycra (7 %); vzdálenost proužků: 20 mm
- jedná se o R.STAT pletený pomocí technologie RSB



Obr. 72 Struktura přize a - SilveR.STAT, b – Bekinox (převzato z [69])

#### 4. R.STAT – Platt

- bílá ponožka – 4 řádky vodivé přize: 50 % R.STAT/S + 50 % polyester, Platt, 22 tex; 32 řádků nevodivá niť polypropylen 72dtex / f25 + Lycra (7%); vzdálenost proužků: 20 mm
- jedná se o R.STAT pletený pomocí technologie Platt

#### 5. Bekinox

- bílá ponožka – 4 řádky vodivé přize: 20 % Bekinox / 80%polyester, 40 tex; 14 řádků nevodivá niť bavlna 25 tex + Lycra (7 %); vzdálenost proužků: 10 mm
- do polyesterové přize jsou vloženy 2 cm dlouhé stříbrné pruhy
- komerčně dostupná niť

#### 6. Bekinox s pružnými stuhami

- bílá ponožka s pružnými stuhami – 4 řádky vodivé přize: 20 % Bekinox / 80%polyester, 40 tex; 14 řádků nevodivá niť bavlna 25 tex + Lycra (7 %); vzdálenost proužků: 10 mm

#### 7. Neizolované pružné stuh

- hybridní vodivá niť: polyester + Cu - Ag (postříbřené měděné vlákno)

#### 8. Izolované pružné stuh

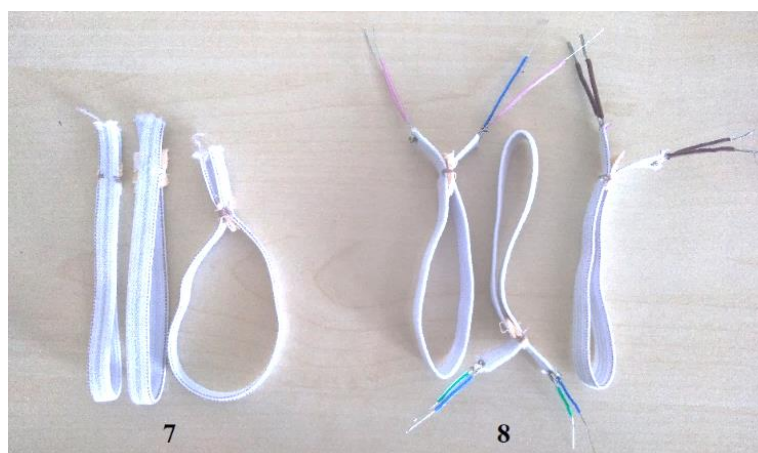
- hybridní vodivá niť: polyester + Cu - Ag (postříbřené měděné vlákno)
- izolace: pěnový polyuretan (PUR)



Obr. 73 Vzorky: R.STAT, SilveR.STAT, R.STAT – RSB , R.STAT – Platt, Bekinox (zdroj vlastní)



Obr. 74 Vzorek: Bekinox s pružnými stuhami (zdroj vlastní)

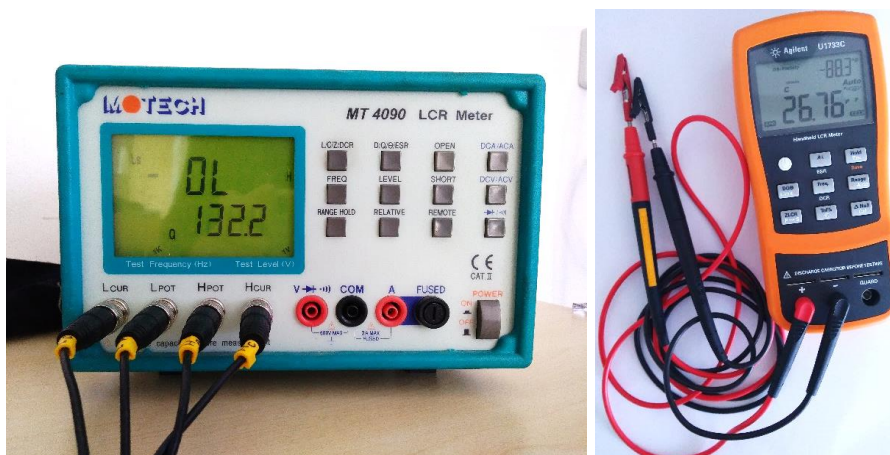


Obr. 75 Vzorky: neizolované pružné stuhy, izolované pružní stuhy (zdroj vlastní)



## 5.2 Pomůcky pro měření

Pro měření byl zapotřebí RCL měřič, systém pro natahování vzorků a metr pro měření natažení. Jako RLC měřič byl použit Motech MT 4090 RLC Meter a Handheld LCR Meter Agilent U1733C.



Obr. 76 Použité RLC měřiče (zdroj vlastní)

Pro natahování vzorků byly použity dva systémy. Vzorky se navlékaly na plastové trubky (průměry: 50 mm, 80 mm a 110 mm) nebo na nafukovací vak tenzometru.



Obr. 77 Použité systémy sloužící k natahování vzorků - trubky a upravený tonometr (zdroj vlastní)

## 5.3 Postup měření

Vzorek textilního senzoru natažení byl navlečen na jeden ze systémů sloužící pro jejich natažení. Zaznamenal se obvod vzorku. Na zvoleném RLC metru se zvolil parametr (DCR, Ls, Cp), který se chtěl měřit, a jeho svorky se připojily naproti sobě k vodivému

pruhu na vzorku. Poté se zvýšilo natažení, opět se zaznamenal obvod, a znovu se měřil potřebný parametr.



Obr. 78 Ukázka průběhu měření (zdroj vlastní)



Obr. 79 Nenatažený a natažený vzorek na tonometru (zdroj vlastní)

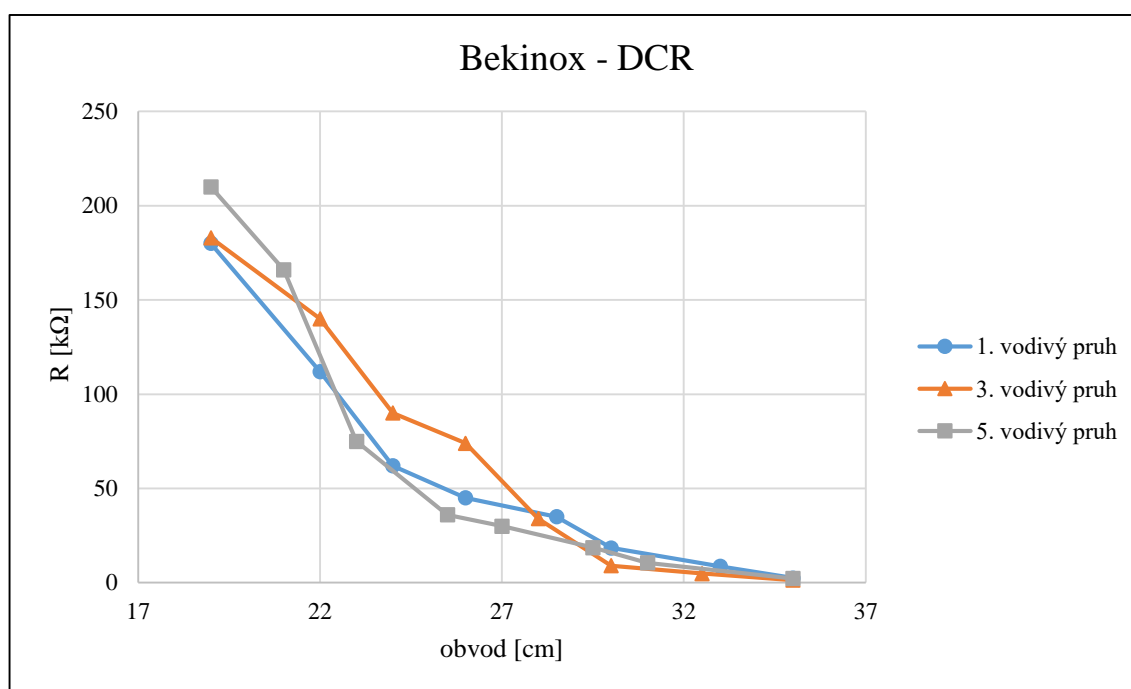
Měření probíhalo ve čtyřech fázích. První fáze zahrnovala měření odporu jednotlivých vzorků navlečených na plastové trubky. Vzorky se natáhly pouze na trubkách 80 mm a 110 mm, na nejmenší trubce (50 mm) byl vzorek v původním (nenataženém) stavu. Ve druhé fázi se opět měřil odpor, vzorky se navlékly na tonometr a plynule se natahovali. Ve třetí fázi se zjišťovalo, při jaké frekvenci je nejvhodnější provádět měření indukčnosti a kapacity. Během poslední fáze se měřily všechny parametry (R, L, C) v závislosti na natažení na tonometru.



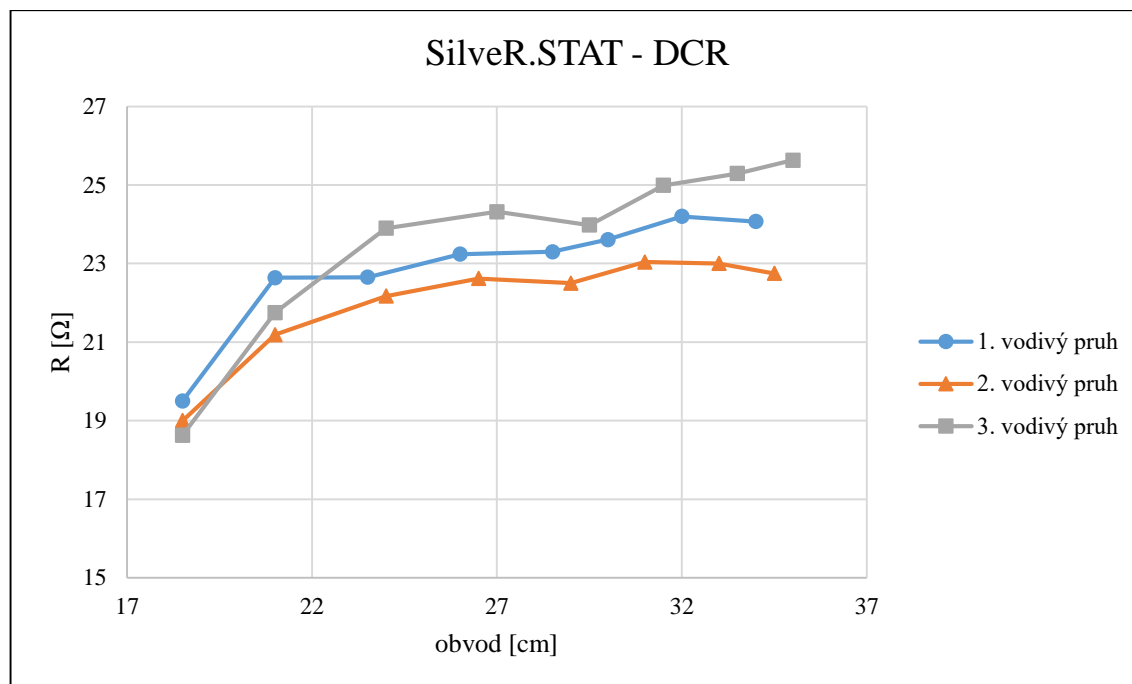
Obr. 80 Připravené neizolované pružné stuhy na tonometru (zdroj vlastní)

#### 5.4 Závislost odporu na natažení

Všechny zkoumané vzorky podkolenek a ponožek vykazují jasnou závislost odporu na natažení. Níže na Obr. 81 a Obr. 82 se nacházejí charakteristiky pro Bekinox a SilveR.STAT. Charakteristiky pro další vzorky jsou v příloze: Příloha A – Závislost odporu na natažení.



Obr. 81 Závislost odporu na natažení vzorku Bekinox

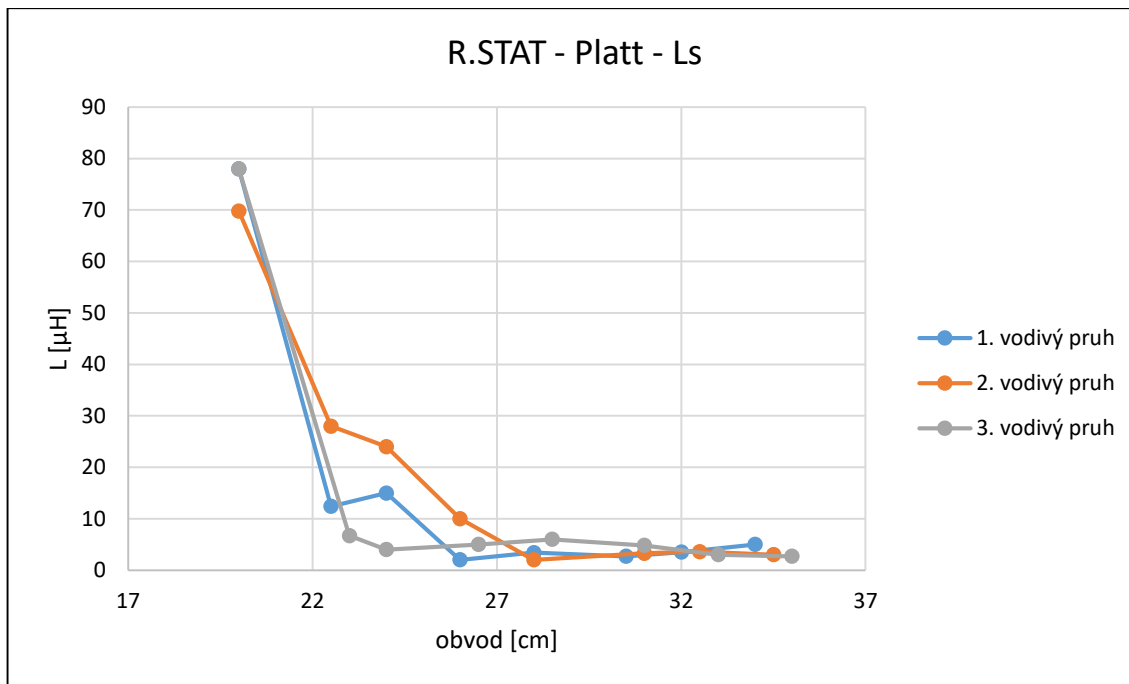


Obr. 82 Závislost odporu na natažení vzorku SilveR.STAT

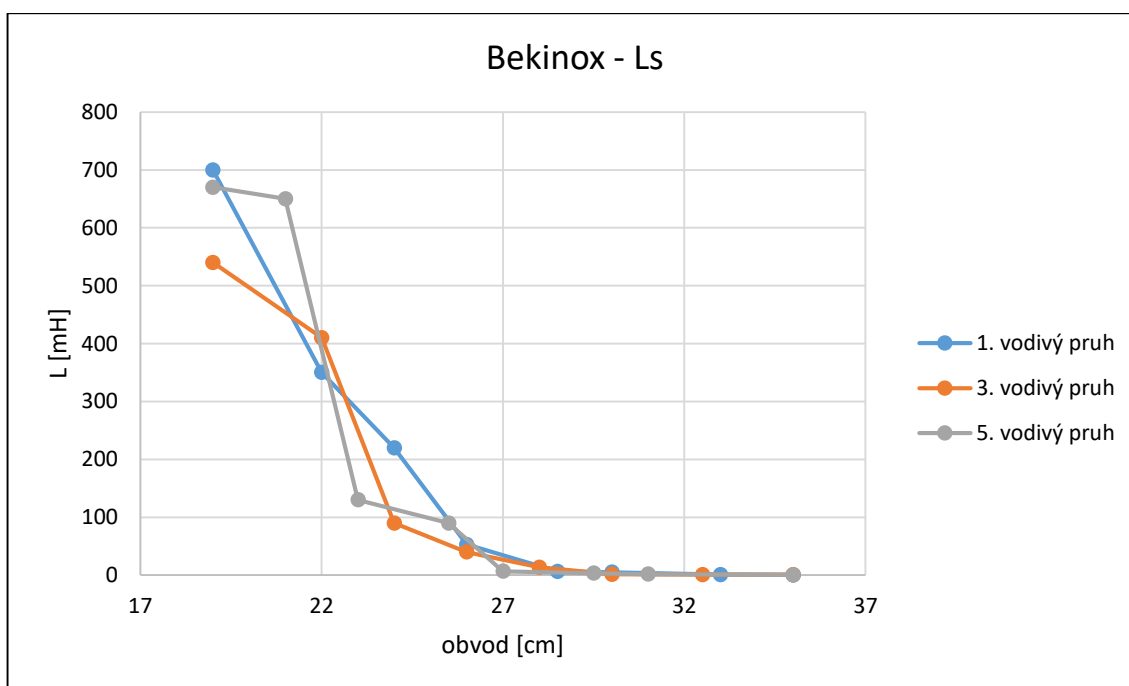
## 5.5 Závislost sériové indukčnosti a paralelní kapacity na natažení

Sériová indukčnost a paralelní kapacitu daných vzorků byla měřena pro frekvence 1 kHz, 10 kHz a 100 kHz. Při 1 kHz se nedařilo u všech vzorků naměřit požadované parametry. Hodnoty naměřené při 100 kHz byly také nevyhovující. Pro další měření byla tedy zvolena frekvence 10 kHz.

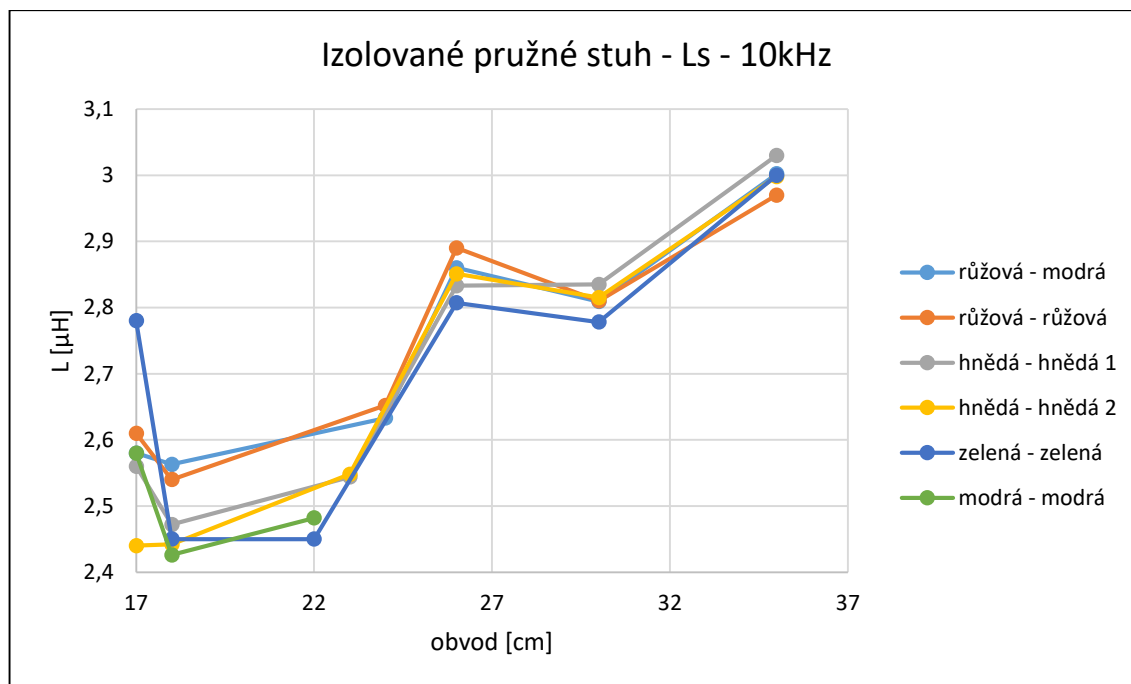
Níže na Obr. 83, Obr. 84 a Obr. 85 jsou uvedeny charakteristiky závislosti sériové indukčnosti na natažení vzorku R.STAT - Platt, Bekinox a izolované pružné stuhy. Další charakteristiky vzorků jsou uvedeny v příloze: Příloha B – Závislost indukčnosti na natažení.



Obr. 83 Závislost indukčnosti na natažení vzorku R.STAT - Platt při 10 kHz

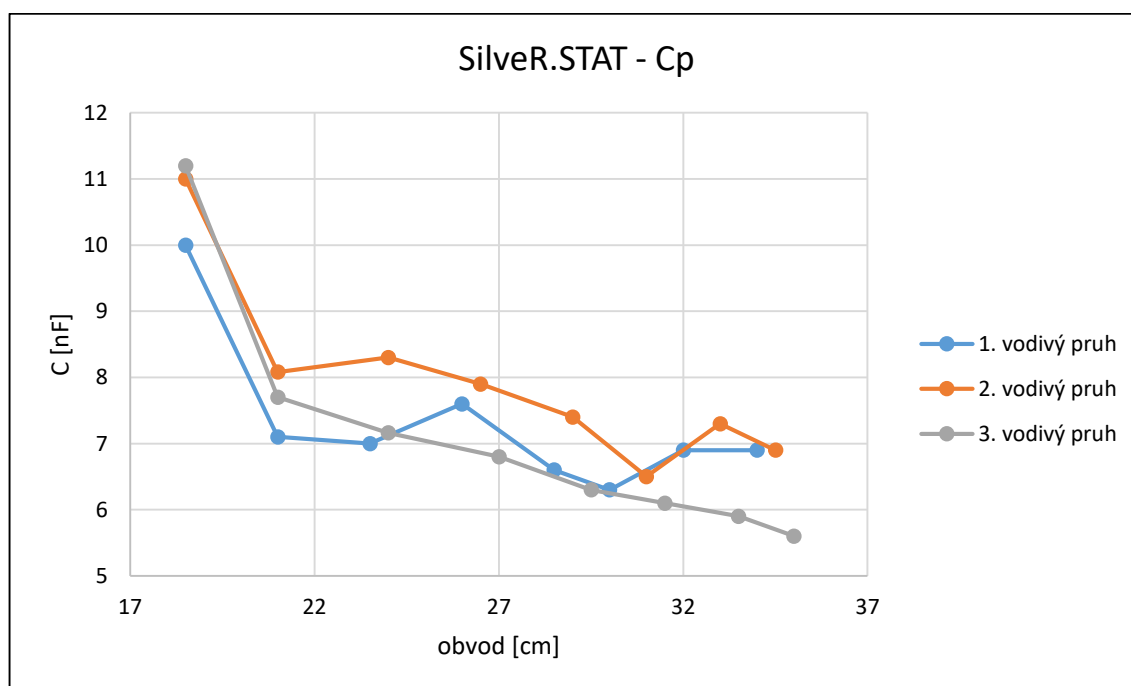


Obr. 84 Závislost indukčnosti na natažení vzorku Bekinox při 10 kHz

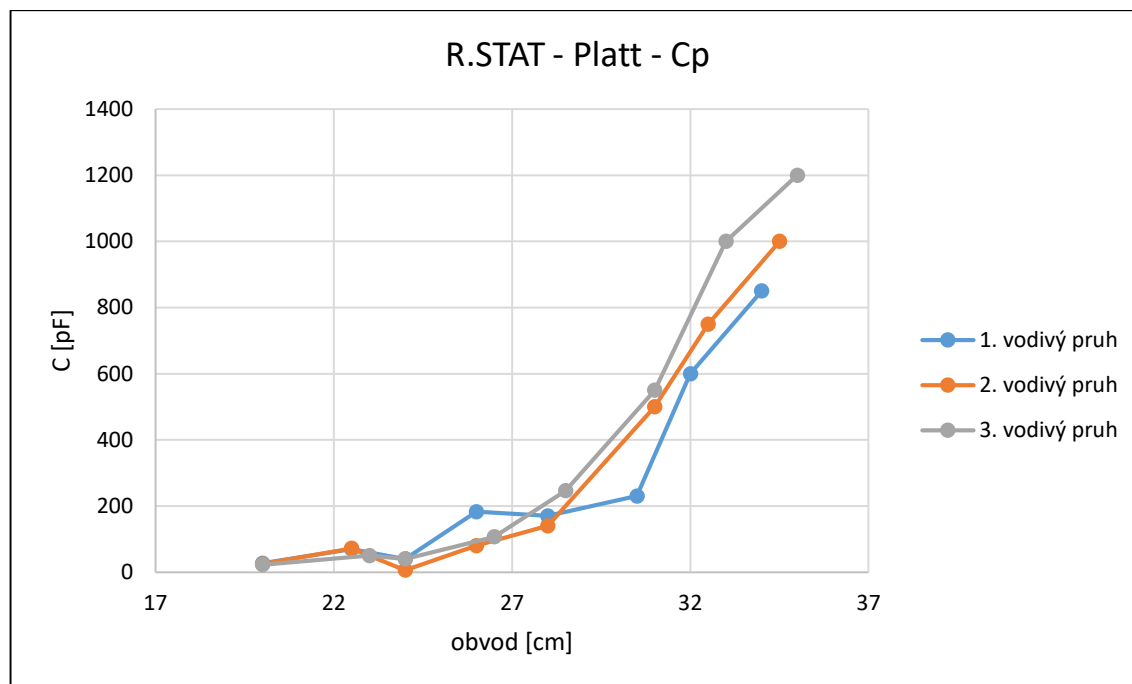


Obr. 85 Závislost indukčnosti na natažení vzorků izolovaných pružných stuh při 10 kHz

Níže na Obr. 86 a Obr. 87 jsou uvedeny charakteristiky závislosti paralelní kapacity na natažení vzorků Silver.STAT a R.STAT - Platt. Další charakteristiky vzorků jsou uvedeny v příloze: Příloha C – Závislost kapacity na natažení.



Obr. 86 Závislost kapacity na natažení vzorku Silver.STAT při 10 kHz



Obr. 87 Závislost kapacity na natažení vzorku R.STAT - Platt při 10 kHz

## 5.6 Výsledky měření

Natahování vzorků probíhalo převážně od obvodu 17 cm po 35 cm. Obvod cca 17 cm měly vzorky v původním stavu, bez natažení. Při 35 cm se blížilo překročení meze pružnosti daných vzorků a vodivé pruhy se špatně připojovaly do svorek.

U R.STAT, R.STAT - RSB, R.STAT - Platt a Bekinox klesá odpor s natažením. U vzorku SilveR.STAT je charakteristika opačná, odpor roste s natažením. Hodnoty odporů se pohybují převážně ve stovkách či desítkách k $\Omega$ , jen u vzorku SilveR.STAT se pohybují hodnoty v jednotkách  $\Omega$ .

Jako textilní senzory, které by snímaly natažení změnou odporu, bych volila SilveR.STAT, Bekinox a R.STAT - Platt kvůli jejich stálým průběhům. Vzorky R.STAT a R.STAT - RSB byly mírně nestálé během natahování, mohlo to být způsobeno nedokonalým kontaktováním měřících svorek. Vzorek R.STAT měl nejtenčí vodivé pruhy ze všech zkoumaných vzorků a R.STAT - RSB měl některé své vodivé pruhy kontaktované druky, které mohly neviditelně narušit vodivé nitě. Viditelné narušení vodivé cesty drukem je patrné na výše uvedeném Obr. 79.

U měření závislosti indukčnosti a kapacity na natažení musíme brát v úvahu pohyby jednotlivých smyček způsobené natahováním pletené struktury. Tyto pohyby způsobují

změny kontaktních míst vodivých nití a ovlivňují dané parametry. Z tohoto důvodu nemá závislost indukčnosti a kapacity na natažení dobrou vypovídací schopnost.

Možné odchylky a chyby mohly být způsobené narušenými vodivými pruhy, či jednotlivými vlákny nebo špatným kontaktováním měřících svorek. Při velkém natažení nešly svorky k vodivému pruhu přichytit a při pouhém přiložení docházelo k mírným pohybům svorek, či látky vlivem lidského faktoru.



## Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo seznámit se s textilními senzory používanými v chytrých textiliích, uvést jejich aplikace a provést kritické zhodnocení naměřených parametrů textilních senzorů natažení.

Chytré textilie jsou v dnešní době velkým trendem. Do obyčejných textilií se vlétají nebo vtávají materiály, jako jsou například polymerní, optická či kovová vlákna nebo se na ně nanášejí vodivé inkousty. Vzniklé systémy si udržují svoji flexibilitu, pružnost, pohodlnost a omyvatelnost, dokáží snímat různé změny a fungují jako textilní senzory. Jednotlivá vlákna jsou náchylná na mechanické namáhání, z tohoto důvodu se splétají do nití nebo přízí. Bavlněná, nylonová nebo jiná elastická vlákna jsou potahována vodivými kovovými a uhlíkovými nanočásticemi. Vodivá vlákna jsou potahována látkami, které buď vodivé vlákno chrání, nebo reagují s okolím.

Textilní senzory detekující srdeční tep nebo dech fungují například na bázi polymerních optických vláken. Textilní teplotní senzor lze vytvořit pomocí optických vláken, vlivem tepla se mění tepelná roztažnost vlákna a mění se jeho vlastnosti, nebo pomocí nylonových vláken potažených redukováným oxidem uhlíku, ten s rostoucí teplotou snižuje svůj odpor. Vlhkostní senzory fungují převážně na kapacitním principu, hygroskopická látka slouží jako dielektrikum mezi dvěma elektrodami. Jako textilní senzor ohybu se převážně používají látky potažené uhlíkem či optická vlákna. U biochemických senzorů je nejdůležitější plášť, který musí reagovat na chemické látky, přírodní hedvábné vlákno je citlivé na přítomnost některých kyselin a vede světlo podobně jako optický kabel. Jako senzor plynu detekující etanol a jiné plyny se používá bavlněná látka s povlakem PVA/MWCNTs, ZnO, nebo PANI, povlak ve styku s plynem změní svůj odpor (PVA ve styku s etanolem nabobtná). Pro monitorování tlaku se také využívá principu kondenzátoru, dvě Ni-Ti vlákna potažená polyuretanem jsou na sebe kolmá, nebo je mezi elastické látky potažené Ag vložena obyčejná elastická látka. Pro detekci pH se využívají absorpční textilie s optickými detektory, které snímají změnu barvy barviva citlivého na pH.

Textilní senzory natažení existují také na bázi polymerních optických vláken, vodivých polymerů a elastomerů, či na bázi vodivých přízí a nanomateriálů. Snímání pomocí optického vlákna je založeno na změně průchodu světelného paprsku, ta je způsobena mechanickými deformacemi pláště během natahování. Dále se při snímání natažení využívá

piezorezistivního jevu, působením deformace se mění odpor. Na elastická vlákna se hojně nanáší i uhlíkové či jiné vodivé nanočástic, vlivem natahování pletených látek se opět mění odpor.

Textilní senzory v chytrých textiliích mají své uplatnění v mnoha odvětvích. Využijeme je ve zdravotnictví, při domácí péči, při sportu, k ochraně těla, ale také ve stavebnictví a v průmyslu. Slouží k ulehčení a zpříjemnění života při každodenních činnostech. Ve zdravotnictví se využívají senzory vlhkosti, teploty, srdečního tepu, dechu, biochemické senzory, tlaku i natažení. Pomocí chytrých obvazů a náplastí se monitorují chemické látky v ráně, její vlhkost a teplota ran, aby se urychlila léčba. Chytrá trička a podprsenky dokáží pomocí textilních senzorů natažení monitorovat srdeční tep a dech. Chytrá prostěradla snímají vlhkost a pohyb pacienta na lůžku díky tlakovým senzorům. Dále lze pomocí textilních senzorů natažení monitorovat otoky nohou a kontrolovat komprese obvazů či punčoch. Textilní senzory natažení, tlaku a dalších sil se uplatňují i při monitorování stylu chůze, v oblasti fyzioterapie či sportu. V oblasti stavebnictví a průmyslu se používají geotextilie, které snímají různá mechanická namáhání, teplotu nebo vlhkost staveb či jiných objektů.

Neopomenutelnou částí práce je měření parametrů (odpor, indukčnost a kapacita) osmi vzorků textilního senzoru natažení. Jednalo se o 6 ponožek (podkolének) a 2 typy pružných stuh. Textilie měly vpletených několik vodivých přízí tvořící vodivé pruhy. Jako vodivé příze byly použity polyesterová vlákna s kovovou stříží (R.STAT), postříbřené polyesterové příze (SilverR.STAT), polyesterová příze se stříbrnou stříží (Bekinox), hybridní vodivé nitě z polyesterových vláken a postříbřených měděných vláken (neizolované pružné stuhy, izolované mají přidanou izolaci z polyuretanu). Vzorky se lišily v průměru vláken, počtu použitých vodivých vláken, hustotě smyček, ve vzdálenosti jednotlivých vodivých pruhů a v technologiích pletení.

Předpoklad, že vzorky textilních senzorů natažení budou mít závislý odpor na natažení, byl potvrzen u ponožek. Při natahování pružných stuh docházelo jen k nepatrné změně odporu, to je výhodné pro jiné aplikace, kde je zapotřebí propojení elektrických obvodů beze změny elektrického odporu při natažení. Hypotéza, že by se vlivem natahování mohla měnit indukčnost i kapacita, byla také správná, ale nelze z ní vyvodit přesná závislost indukčnosti a kapacity na natažení. Při natahování dochází vlivem pohybu smyček a změn dotykových ploch jednotlivých vodivých vláken k ovlivňování parametrů.

K monitorování natažení pomocí textilního senzoru natažení je vhodné měření odporu. Měření indukčnosti a kapacity připadá v úvahu, jen pokud k tomu bude vhodně upletená textilie, aby nedocházelo k nežádoucímu ovlivňování měření pohybem smyček. Dále je důležité zvolit ideální frekvenci pro měření indukčnosti a kapacity.

## Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] KONCAR, Vladan, ed. *Smart Textiles and Their Applications*. 1st vyd. Cambridge: Woodhead Publishing, 2016. ISBN 978-0-08-100574-3.
- [2] PATWARY, Sarif Ullah, Kaniz FARHANA a Sharif AHMED. Smart Textiles and Nano-Technology : A General Overview. *Journal of Textile Science & Engineering* [online]. 2015, (August). Dostupné z: doi:10.4172/2165-8064.1000181
- [3] TAO, Xiaoming, ed. *Handbook of Smart Textiles*. Singapore: Springer, 2015. ISBN 9789814451444.
- [4] SCHNEEGASS, Stefan a Oliver AMFT, ed. *Smart Textiles - Fundamentals, Design, and Interaction*. 1st vyd. New York, NY: Springer Berlin Heidelberg, 2017. ISBN 978-3-319-50124-6.
- [5] DADI, Henock Hunde. *Literature over view of Smart textiles* [online]. Boras: University of Boras, Swedish School of textiles. 2010. Dostupné z: [http://bada.hb.se/bitstream/2320/7731/1/2010.7.4 .pdf](http://bada.hb.se/bitstream/2320/7731/1/2010.7.4.pdf)
- [6] SADDAMHUSEN, Jamadar. Applications of Smart and Interactive Textiles. *Textile Learner* [online]. 2013 [vid. 2019-04-09]. Dostupné z: <https://textilelearner.blogspot.com/2013/04/applications-of-smart-and-interactive.html>
- [7] MATTILA, H., ed. *Intelligent textiles and clothing*. Cambridge: Woodhead Publishing, 2006. ISBN 9781855735460.
- [8] GROUP, Bohemian Technology. *Fiber Bragg Grating (FBG)* [online]. [vid. 2019-04-22]. Dostupné z: <https://www.boteg.cz/en/fiber-bragg-grating/>
- [9] GULRAJANI, M.L., ed. *Advances in the Dyeing and Finishing of Technical Textiles* [online]. Cambridge: Woodhead Publishing, 2013 [vid. 2019-04-22]. ISBN 9780857094339. Dostupné z: doi:10.1533/9780857097613.1.3
- [10] FAN, Ji, Wei WANG a Dan YU. Preparation of photochromic wool fabrics based on thiol-halogen click chemistry. *Dyes and Pigments* [online]. 2018, **151**, 348–355 [vid. 2019-04-22]. ISSN 0143-7208. Dostupné z: doi:10.1016/J.DYEPIG.2018.01.019
- [11] SHIOYA, M. a T. KIKUTANI. *Textiles and Fashion - Materials, Design and Technology* [online]. Cambridge: Woodhead Publishing, 2015 [vid. 2019-04-22]. ISBN 9781845699314. Dostupné z: doi:10.1016/B978-1-84569-931-4.00007-6
- [12] LIU, Feixiang, Xinbin QIU, Jianfeng XU, Jianhua HUANG, Danqing CHEN a Guohua CHEN. High conductivity and transparency of graphene-based conductive ink: Prepared from a multi-component synergistic stabilization method. *Progress in Organic Coatings* [online]. 2019, **133**, 125–130 [vid. 2019-04-22]. ISSN 0300-9440. Dostupné z: doi:10.1016/J.PORGOAT.2019.04.043
- [13] *Tiskové techniky* [online]. [vid. 2019-05-22]. Dostupné z: [https://www.polygraficketahaky.cz/tiskove\\_techniky](https://www.polygraficketahaky.cz/tiskove_techniky)
- [14] SIVASUBRAMANIAN. Study on application of reduced Graphene Oxide on cotton fabric for Breathable Waterproof finish. *Textile School* [online]. 2019 [vid. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.textileschool.com/4858/study-on-application-of-reduced-graphene-oxide-on-cotton-fabric-for-breathable-waterproof-finish/>
- [15] *Difference Between Woven Fabric And Knit Fabric* [online]. [vid. 2019-05-22]. Dostupné z: <http://www.dressed.so/blog/2014/07/15/woven-and-knit/>
- [16] DPS ELEKTRONIKA OD A DO Z. *LDS – nové možnosti výroby 3D plošných spojů* [online]. 2012 [vid. 2019-04-22]. Dostupné z: <https://www.dps-az.cz/vyroba/id:9400/lds-nove-moznosti-vyroby-3d-plosnych-spoju>

- [17] ALEXANDER I., Gusev. *Glossary of nanotechnology and related terms* [online]. [vid. 2019-04-29]. Dostupné z: <http://eng.thesaurus.rusnano.com/wiki/article3657>
- [18] ZAHŘÁDKOVÁ, Simona. Příprava nanovlákných vrstev pomocí electrospinningu [online]. 2012. Dostupné z: [http://www1.fs.cvut.cz/stretech/2012/sbornik\\_2012/31.pdf](http://www1.fs.cvut.cz/stretech/2012/sbornik_2012/31.pdf)
- [19] Elektrostatické zvlákňování. *ÚSTAV PRO HYDRODYNAMIKU Akademie věd České republiky*, v. v. i. [online]. [vid. 2019-05-20]. Dostupné z: <https://www.ih.cas.cz/vyzkum/reologie/elektrostaticke-zvlaknovani/>
- [20] HAN, Dong, Leonard TIJING, Sherub PHUNTSO, Ralph GONZALES, Ho SHON a Myoung PARK. Modification of Nanofiber Support Layer for Thin Film Composite forward Osmosis Membranes via Layer-by-Layer Polyelectrolyte Deposition. *Membranes* [online]. 2018, **8**(3), 70. ISSN 2077-0375. Dostupné z: [doi:10.3390/membranes8030070](https://doi.org/10.3390/membranes8030070)
- [21] MARTÍNEK, Radislav. *Senzory v průmyslové praxi*. Praha: BEN - technická literatura, 2004. ISBN 80-7300-114-4.
- [22] MAZHARUL, Islam Kiron. Application of Sensor Technology in Textiles. *Textile Learner* [online]. 2013 [vid. 2019-04-22]. Dostupné z: <https://textilelearner.blogspot.com/2013/05/application-of-sensor-technology-in.html>
- [23] LEAL-JUNIOR, Arnaldo G., Camilo R. DÍAZ, Cátia LEITÃO, Maria José PONTES, Carlos MARQUES a Anselmo FRIZERA. Polymer optical fiber-based sensor for simultaneous measurement of breath and heart rate under dynamic movements. *Optics & Laser Technology* [online]. 2019, **109**, 429–436 [vid. 2019-05-09]. ISSN 0030-3992. Dostupné z: [doi:10.1016/J.OPTLASTEC.2018.08.036](https://doi.org/10.1016/J.OPTLASTEC.2018.08.036)
- [24] TOLMIE, Nicole. Textronics(TM) Introduces Heart Sensing Sports Bra; NuMetrex(TM) Sports Bra Monitors Heart Rate with Innovative Built-in Heart Monitor. *Business Wire* [online]. 2005 [vid. 2019-05-09]. Dostupné z: <https://www.businesswire.com/news/home/20051212005334/en/Textronics-TM-Introduces-Heart-Sensing-Sports-Bra>
- [25] Textronics™ Expands Into UK With NuMetrex™ Clothes That Monitor Body. *TextileWeb* [online]. 2006 [vid. 2019-05-09]. Dostupné z: <https://www.textileweb.com/doc/textronics-expands-into-uk-with-numetrex-clot-0001>
- [26] *NuMetrex Heart Rate Monitor Sports Bra* [online]. 2017 [vid. 2019-05-09]. Dostupné z: <https://www.snewsnet.com/news/numetrex-heart-rate-monitor-sports-bra>
- [27] *NuMetrex Heart Sensing Bra* [online]. [vid. 2019-05-09]. Dostupné z: <https://cz.pinterest.com/pin/400890804302087718/>
- [28] JIN, Yiqian, Eric P. BOON, Linh T. LE a Woo LEE. Fabric-infused array of reduced graphene oxide sensors for mapping of skin temperatures. *Sensors and Actuators A: Physical* [online]. 2018, **280**, 92–98 [vid. 2019-05-21]. ISSN 0924-4247. Dostupné z: [doi:10.1016/J.SNA.2018.06.043](https://doi.org/10.1016/J.SNA.2018.06.043)
- [29] KINKELDEI, Thomas, Christoph ZYSSET, Kunigunde CHERENACK a Gerhard TROESTER. Development and evaluation of temperature sensors for textile integration. *Proceedings of IEEE Sensors* [online]. 2009, 1580–1583. Dostupné z: [doi:10.1109/ICSENS.2009.5398488](https://doi.org/10.1109/ICSENS.2009.5398488)
- [30] WEREMCZUK, Jerzy, Grzegorz TARAPATA a Ryszard JACHOWICZ. Humidity Sensor Printed on Textile with Use of Ink-Jet Technology. *Procedia Engineering* [online]. 2012, **47**, 1366–1369 [vid. 2019-05-21]. ISSN 1877-7058. Dostupné z: [doi:10.1016/J.PROENG.2012.09.410](https://doi.org/10.1016/J.PROENG.2012.09.410)

- [31] GRETHE, Thomas, Sina BORCZYK, Katharina PLENKMANN, Marina NORMANN, Maike RABE a Anne SCHWARZ-PFEIFFER. Textile humidity sensors. *Symposium on Design, Test, Integration and Packaging of MEMS/MOEMS, DTIP 2018* [online]. 2018, 1–3. Dostupné z: doi:10.1109/DTIP.2018.8394188
- [32] KINKELDEI, T., C. ZYSSET, K. H. CHERENACK a G. TROSTER. A textile integrated sensor system for monitoring humidity and temperature. *2011 16th International Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems Conference, TRANSDUCERS'11* [online]. 2011, 1156–1159. Dostupné z: doi:10.1109/TRANSDUCERS.2011.5969238
- [33] PANAPOY, Manop, Witawat SINGSANG a Bussarin KSAPABUTR. Electrically conductive poly(3,4-ethylenedioxythiophene)–poly(styrene sulfonate)/polyacrylonitrile fabrics for humidity sensors. *Physica Scripta* [online]. 2010, **T139**, 014056 [vid. 2019-05-21]. ISSN 0031-8949. Dostupné z: doi:10.1088/0031-8949/2010/T139/014056
- [34] DAOUD, Walid A., John H. XIN a Yau S. SZETO. Polyethylenedioxythiophene coatings for humidity, temperature and strain sensing polyamide fibers. *Sensors and Actuators B: Chemical* [online]. 2005, **109**(2), 329–333 [vid. 2019-05-21]. ISSN 0925-4005. Dostupné z: doi:10.1016/J.SNB.2004.12.067
- [35] PEREIRA, Tiago, Pedro SILVA, Helder CARVALHO a Miguel CARVALHO. Textile moisture sensor matrix for monitoring of diSabled and bed-rest patients. *EUROCON 2011 - International Conference on Computer as a Tool - Joint with Conftele 2011* [online]. 2011, 1–4. Dostupné z: doi:10.1109/EUROCON.2011.5929343
- [36] DEVAUX, Eric, Carole AUBRY, Christine CAMPAGNE a Maryline ROCHERY. PLA/Carbon Nanotubes Multifilament Yarns for Relative Humidity Textile Sensor. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics* [online]. 2018, **6**(3), 155892501100600. ISSN 1558-9250. Dostupné z: doi:10.1177/155892501100600302
- [37] LIN, Qianqian, Yang LI a Mujie YANG. Investigations on the sensing mechanism of humidity sensors based on electrospun polymer nanofibers. *Sensors and Actuators B: Chemical* [online]. 2012, **171–172**, 309–314 [vid. 2019-05-21]. ISSN 0925-4005. Dostupné z: doi:10.1016/J.SNB.2012.03.082
- [38] SU, Pi-Guey a Chun-Fu CHANG. Fabrication and electrical and humidity-sensing properties of a flexible and stretchable textile humidity sensor. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers* [online]. 2018, **87**, 36–43 [vid. 2019-05-21]. ISSN 1876-1070. Dostupné z: doi:10.1016/J.JTICE.2018.03.050
- [39] ROSACE, Giuseppe, Valentina TROVATO, Claudio COLLEONI, Michele CALDARA, Valerio RE, Marco BRUCALE, Elpida PIPEROPOULOS, Emanuela MASTRONARDO, Candida MILONE, Giovanna DE LUCA a Maria Rosaria PLUTINO. Structural and morphological characterizations of MWCNTs hybrid coating onto cotton fabric as potential humidity and temperature wearable sensor. *Sensors and Actuators B: Chemical* [online]. 2017, **252**, 428–439 [vid. 2019-05-21]. ISSN 0925-4005. Dostupné z: doi:10.1016/J.SNB.2017.05.175
- [40] SOUKUP, Radek, Ales HAMACEK, Lukas MRACEK a Jan REBOUN. Textile based temperature and humidity sensor elements for healthcare applications. *Proceedings of the 2014 37th International Spring Seminar on Electronics Technology, ISSE 2014* [online]. 2014, 407–411. Dostupné z: doi:10.1109/ISSE.2014.6887634
- [41] ISLAM, Rashedul, Nipa KHAIR, Dewan Murshed AHMED a Hasan SHAHARIAR. Fabrication of low cost and scalable carbon-based conductive ink for E-textile applications. *Materials Today Communications* [online]. 2019, **19**, 32–38

- [vid. 2019-05-09]. ISSN 2352-4928. Dostupné z: doi:10.1016/J.MTCOMM.2018.12.009
- [42] HU, Hai-feng, Si-jia SUN, Ri-qing LV a Yong ZHAO. Design and experiment of an optical fiber micro bend sensor for respiration monitoring. *Sensors and Actuators A: Physical* [online]. 2016, **251**, 126–133 [vid. 2019-05-22]. ISSN 0924-4247. Dostupné z: doi:10.1016/J.SNA.2016.10.013
- [43] HEY TOW, Kenny, Desmond M. CHOW, Fritz VOLLRATH, Isabelle DICAIRE, Tom GHEYSSENS a Luc THÉVENAZ. Towards a new generation of fibre optic chemical sensors based on spider silk threads. *25th International Conference on Optical Fiber Sensors* [online]. 2017, **10323**, 103231E. Dostupné z: doi:10.1117/12.2264438
- [44] LIU, Xiyuan a Peter B. LILLEHOJ. Embroidered electrochemical sensors on gauze for rapid quantification of wound biomarkers. *Biosensors and Bioelectronics* [online]. 2017, **98**, 189–194 [vid. 2019-05-27]. ISSN 0956-5663. Dostupné z: doi:10.1016/J.BIOS.2017.06.053
- [45] MAITY, Debasis, Krishnamoorthy RAJAVEL a Ramasamy Thangavelu Rajendra KUMAR. Polyvinyl alcohol wrapped multiwall carbon nanotube (MWCNTs) network on fabrics for wearable room temperature ethanol sensor. *Sensors and Actuators B: Chemical* [online]. 2018, **261**, 297–306 [vid. 2019-05-22]. ISSN 0925-4005. Dostupné z: doi:10.1016/J.SNB.2018.01.152
- [46] SUBBIAH, Dinesh Kumar, Ganesh Kumar MANI, K. Jayanth BABU, Apurba DAS a John Bosco BALAGURU RAYAPPAN. Nanostructured ZnO on cotton fabrics – A novel flexible gas sensor & UV filter. *Journal of Cleaner Production* [online]. 2018, **194**, 372–382 [vid. 2019-05-22]. ISSN 0959-6526. Dostupné z: doi:10.1016/J.JCLEPRO.2018.05.110
- [47] QI, Ji, Xinxin XU, XiaoXia LIU a King Tong LAU. Fabrication of textile based conductometric polyaniline gas sensor. *Sensors and Actuators B: Chemical* [online]. 2014, **202**, 732–740 [vid. 2019-05-22]. ISSN 0925-4005. Dostupné z: doi:10.1016/J.SNB.2014.05.138
- [48] YUN, Yong Ju, Won G. HONG, Do Yeob KIM, Hae Jin KIM, Yongseok JUN a Hyung-Kun LEE. E-textile gas sensors composed of molybdenum disulfide and reduced graphene oxide for high response and reliability. *Sensors and Actuators B: Chemical* [online]. 2017, **248**, 829–835 [vid. 2019-05-22]. ISSN 0925-4005. Dostupné z: doi:10.1016/J.SNB.2016.12.028
- [49] KIM, Minjeong, Hyoungjun KIM, Jinwoo PARK, Kwang-Koo JEE, Jung Ah LIM a Min-Chul PARK. Real-time sitting posture correction system based on highly durable and washable electronic textile pressure sensors. *Sensors and Actuators A: Physical* [online]. 2018, **269**, 394–400 [vid. 2019-05-20]. Dostupné z: doi:10.1016/J.SNA.2017.11.054
- [50] KUO CHI CHING, KU HAU JEN, CHO CHIA JUNG, Chen Wen Chang. Textile elastic conductible fiber membrane, textile pressure sensor and smart switch comprising thereof. TW201741512 (A). 2017. Taiwan.
- [51] DENG, Jue, Wen ZHUANG, Luke BAO, Xiaoying WU, Jingbo GAO, Bingjie WANG, Xuemei SUN a Huisheng PENG. A tactile sensing textile with bending-independent pressure perception and spatial acuity. *Carbon* [online]. 2019, **149**, 63–70 [vid. 2019-05-20]. Dostupné z: doi:10.1016/J.CARBON.2019.04.019
- [52] CALDARA, Michele, Claudio COLLEONI, Emanuela GUIDO, Valerio RE a Giuseppe ROSACE. Optical monitoring of sweat pH by a textile fabric wearable sensor based on covalently bonded litmus-3-glycidoxypropyltrimethoxysilane coating. *Sensors and Actuators B: Chemical* [online]. 2016, **222**, 213–220

- [vid. 2019-05-15]. ISSN 0925-4005. Dostupné z: doi:10.1016/J.SNB.2015.08.073
- [53] CALDARA, M., C. COLLEONI, M. GALIZZI, E. GUIDO, V. RE, G. ROSACE a A. VITALI. Low power textile-based wearable sensor platform for pH and temperature monitoring with wireless battery recharge. *Proceedings of IEEE Sensors* [online]. 2012, 3–6. Dostupné z: doi:10.1109/ICSENS.2012.6411146
- [54] ZAMORA, M.L., J.M. DOMINGUEZ, R.M. TRUJILLO, C.B. GOY, M.A. SÁNCHEZ a R.E. MADRID. Potentiometric textile-based pH sensor. *Sensors and Actuators B: Chemical* [online]. 2018, **260**, 601–608 [vid. 2019-05-15]. ISSN 0925-4005. Dostupné z: doi:10.1016/J.SNB.2018.01.002
- [55] MORRIS, Deirdre, Shirley COYLE, Yanzhe WU, King Tong LAU, Gordon WALLACE a Dermot DIAMOND. Bio-sensing textile based patch with integrated optical detection system for sweat monitoring. *Sensors and Actuators B: Chemical* [online]. 2009, **139**(1), 231–236 [vid. 2019-05-22]. ISSN 0925-4005. Dostupné z: doi:10.1016/J.SNB.2009.02.032
- [56] COYLE, Shirley, Deirdre MORRIS, King-Tong LAU, Dermot DIAMOND, Fabio DI FRANCESCO, Nicola TACCINI, Maria Giovanna TRIVELLA, Daniele COSTANZO, Pietro SALVO, Jacque-Andre PORCHET a Jean LUPRANO. Textile sensors to measure sweat pH and sweat-rate during exercise. *Proceedings of the 3d International ICST Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare* [online]. 2009, 1–6. Dostupné z: doi:10.4108/ICST.PERVASIVEHEALTH2009.5957
- [57] GRASSMANN, C, M OBERMANN, E LEMPA, T BACHE, P K SIEGEL, T FREYER, S PASCHKO, T BEYER, M KIRSCHKE a A SCHWARZ-PFEIFFER. Textile sensors for stab and cut detection. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* [online]. 2017, **254**, 072009. ISSN 1757-8981. Dostupné z: doi:10.1088/1757-899X/254/7/072009
- [58] Tenzometr. *Wikipedie* [online]. [vid. 2019-05-20]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Tenzometr>
- [59] VOJÁČEK, Antonín. Odporové tenzometry. *Automatizace.hw* [online]. 2017 [vid. 2019-05-20]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/foliove-odporove-tenzometry-princip-provedeni-pouziti-historie.html>
- [60] LI, Y., X.Y. CHENG, M.Y. LEUNG, J. TSANG, X.M. TAO a M.C.W. YUEN. A flexible strain sensor from polypyrrole-coated fabrics. *Synthetic Metals* [online]. 2005, **155**(1), 89–94 [vid. 2019-05-21]. Dostupné z: doi:10.1016/J.SYNTHMET.2005.06.008
- [61] WANG, J.P., P. XUE a X.M. TAO. Strain sensing behavior of electrically conductive fibers under large deformation. *Materials Science and Engineering: A* [online]. 2011, **528**(6), 2863–2869 [vid. 2019-05-20]. Dostupné z: doi:10.1016/J.MSEA.2010.12.057
- [62] HONG, Jianhan, Zhijuan PAN, ZHEWANG, Mu YAO, Jianguang CHEN a Yexing ZHANG. A large-strain weft-knitted sensor fabricated by conductive UHMWPE/PANI composite yarns. *Sensors and Actuators A: Physical* [online]. 2016, **238**, 307–316 [vid. 2019-05-20]. Dostupné z: doi:10.1016/J.SNA.2015.12.028
- [63] GIBBS, Peter T. a H. Harry ASADA. Wearable conductive fiber sensors for multi-axis human joint angle measurements. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation* [online]. 2005, **2**, 1–18. ISSN 17430003. Dostupné z: doi:10.1186/1743-0003-2-7
- [64] CAI, Guangming, Mengyun YANG, Zhenglin XU, Jianguang LIU, Bin TANG a Xungai WANG. Flexible and wearable strain sensing fabrics. *Chemical Engineering Journal* [online]. 2017, **325**, 396–403 [vid. 2019-05-20]. Dostupné

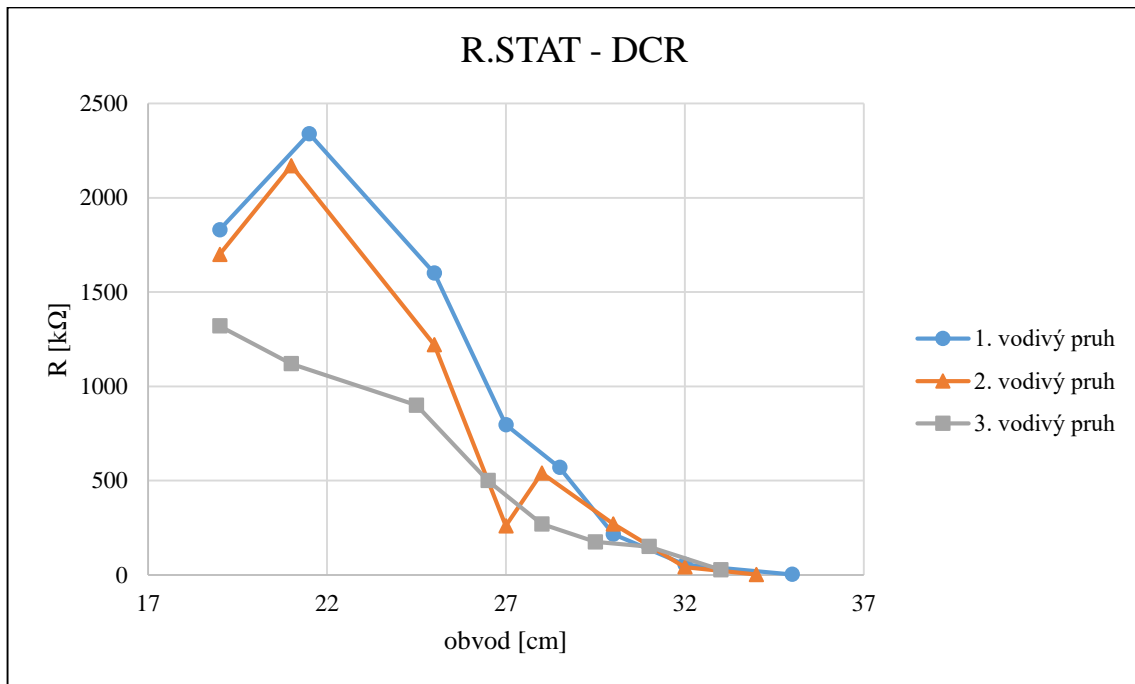


- z: doi:10.1016/J.CEJ.2017.05.091
- [65] ZHANG, Wanqi, Biao YIN, Jing WANG, Amel MOHAMED a Hongbing JIA. Ultrasensitive and wearable strain sensors based on natural rubber/graphene foam. *Journal of Alloys and Compounds* [online]. 2019, **785**, 1001–1008 [vid. 2019-05-20]. Dostupné z: doi:10.1016/J.JALLCOM.2019.01.294
- [66] LI, Wei, Fujun XU, Wei LIU, Yang GAO, Kun ZHANG, Xiaohua ZHANG a Yiping QIU. Flexible strain sensor based on aerogel-spun carbon nanotube yarn with a core-sheath structure. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* [online]. 2018, **108**, 107–113 [vid. 2019-05-20]. Dostupné z: doi:10.1016/J.COMPOSITESA.2018.02.024
- [67] MORICHE, R., A. JIMÉNEZ-SUÁREZ, M. SÁNCHEZ, S.G. PROLONGO a A. UREÑA. Graphene nanoplatelets coated glass fibre fabrics as strain sensors. *Composites Science and Technology* [online]. 2017, **146**, 59–64 [vid. 2019-05-20]. Dostupné z: doi:10.1016/J.COMPSCITECH.2017.04.019
- [68] ŘEBOUN, J., Radek SOUKUP, Tomas BLECHA, P. KAŠPAR, Ales HAMACEK, T. BYSTRICKÝ, L. MRAČEK a D. MORA VCOVÁ. Chytré prostředradlo [online]. 2016. Česká republika. Dostupné z: <https://rice.zcu.cz/cz/publications.html?id=43916695>
- [69] SKRIVAN, Jan, Tomas BLECHA, Radek SOUKUP, Jan REBOUN a Vladimír RESL. Sensors in Textiles for Monitoring Patients with Edema. *Proceedings of the International Spring Seminar on Electronics Technology* [online]. 2018, **2018-May**, 1–5. ISSN 21612536. Dostupné z: doi:10.1109/ISSE.2018.8443667
- [70] Edema stocking. *Edema* [online]. [vid. 2019-05-20]. Dostupné z: <http://www.edema.dk/>
- [71] DERAKHSHANDEH, Hossein, Sara Saheb KASHAF, Fariba AGHABAGLOU, Ian O. GHANAVATI a Ali TAMAYOL. Smart Bandages: The Future of Wound Care. *Trends in Biotechnology* [online]. 2018, **36**(12), 1259–1274 [vid. 2019-05-20]. Dostupné z: doi:10.1016/J.TIBTECH.2018.07.007
- [72] Diabetická noha. *MTE* [online]. [vid. 2019-05-20]. Dostupné z: <https://www.mte.cz/pohyb/rizika/diabeticka-noha>
- [73] NAJAFI, Bijan, David ARMSTRONG a Manish BHARARA. Smart Textile to Predict Risk of Diabetic Foot Ulcer [online]. US20180249945A1. 2018. Dostupné z: doi:US20180249945A1
- [74] Sensoria Fitness Bundle. *Ergodesk* [online]. [vid. 2019-05-20]. Dostupné z: <https://www.ergodesk.cz/cs/produkty/nositelne-elektroniky/sensoria-fitness-bundle>
- [75] GUNA SEMJONOVA. Smart shirt with textile strain sensors as experimental method for ballerina shoulder girdle motion control. *Journal of Novel Physiotherapies* [online]. 201n. 1. Dostupné z: doi:10.4172/2165-7025-c1-021
- [76] KOČÁRKOVÁ, J. Představili jsme unikátní textilie. Mění barvu jako chameleon. *Online zpravodaj Technické univerzity v Liberci* [online]. 2014 [vid. 2019-05-20]. Dostupné z: <http://tuni.tul.cz/rubriky/univerzita/id:66341>
- [77] 尹红宇荀勇吴发红支正东马宏朝孙飞任志鹏. Self-monitoring intelligent textile reinforced concrete and manufacturing method thereof.pdf. CN103808765B. 2014. Čína.
- [78] SAFIBRA, D'APPOLONIA DAPP, STFI, APC COMPOSITES, KARL MAYER, MALIMO TEXTILMASCHINENFABRIK GMBH, SELCOM S.R.L., IfMB Karlsruhe a další. Polyfunkční technické textilie chránící před přírodními riziky. *Safibra, s.r.o.* [online]. [vid. 2019-05-20]. Dostupné z: <http://www.safibra.cz/polytectcz>

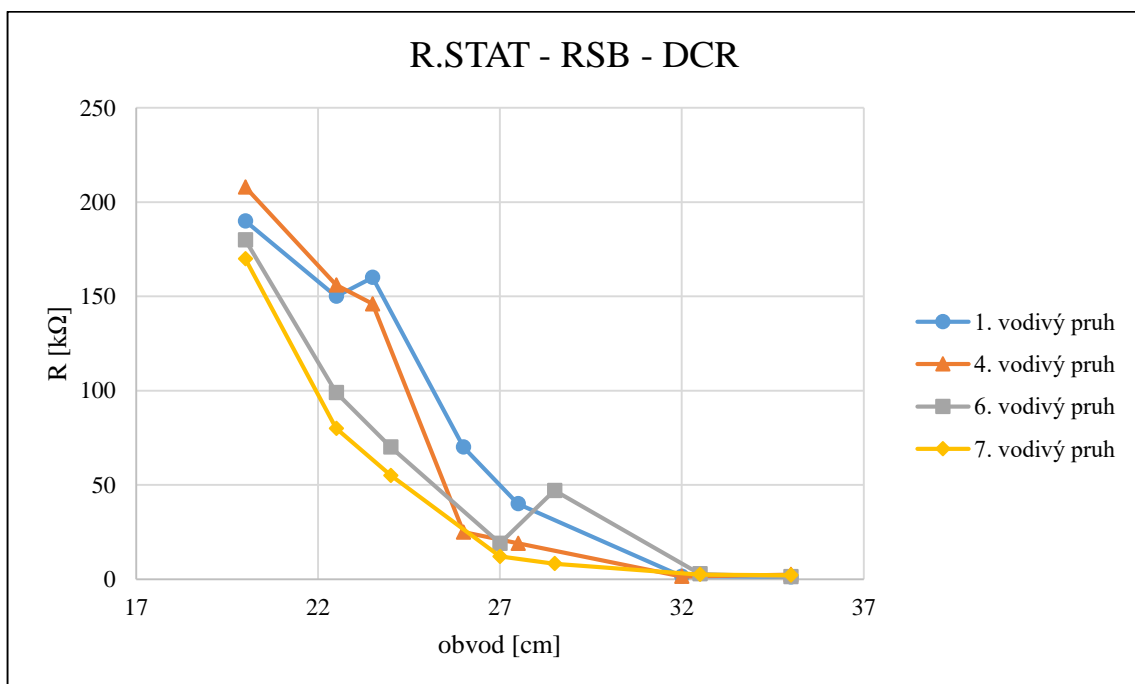
- [79] ARTIÈRES, Olivier, Matteo BACCHI, Paolo BIANCHINI, Pierre HORNYCH a Gerrit DORTLAND. Strain Measurement in Pavements with a Fibre Optics Sensor Enabled Geotextile. *7th RILEM International Conference on Cracking in Pavements* [online]. 2012, 201–210. Dostupné z: doi:10.1007/978-94-007-4566-7\_20

## Přílohy

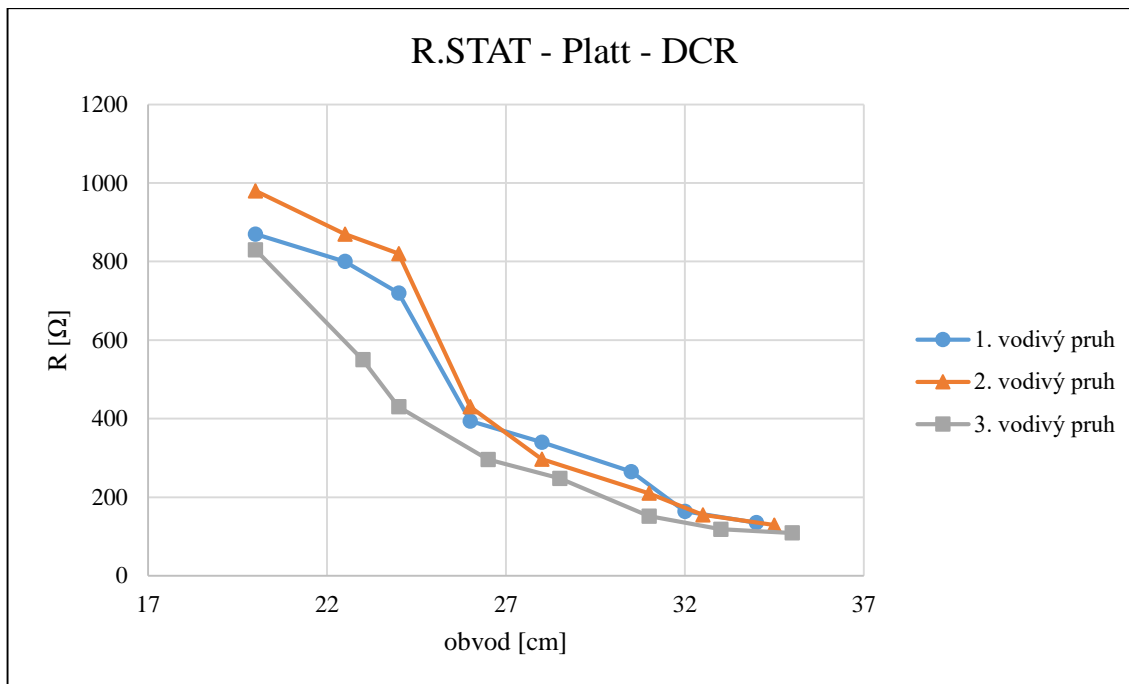
### Příloha A – Závislost odporu na natažení



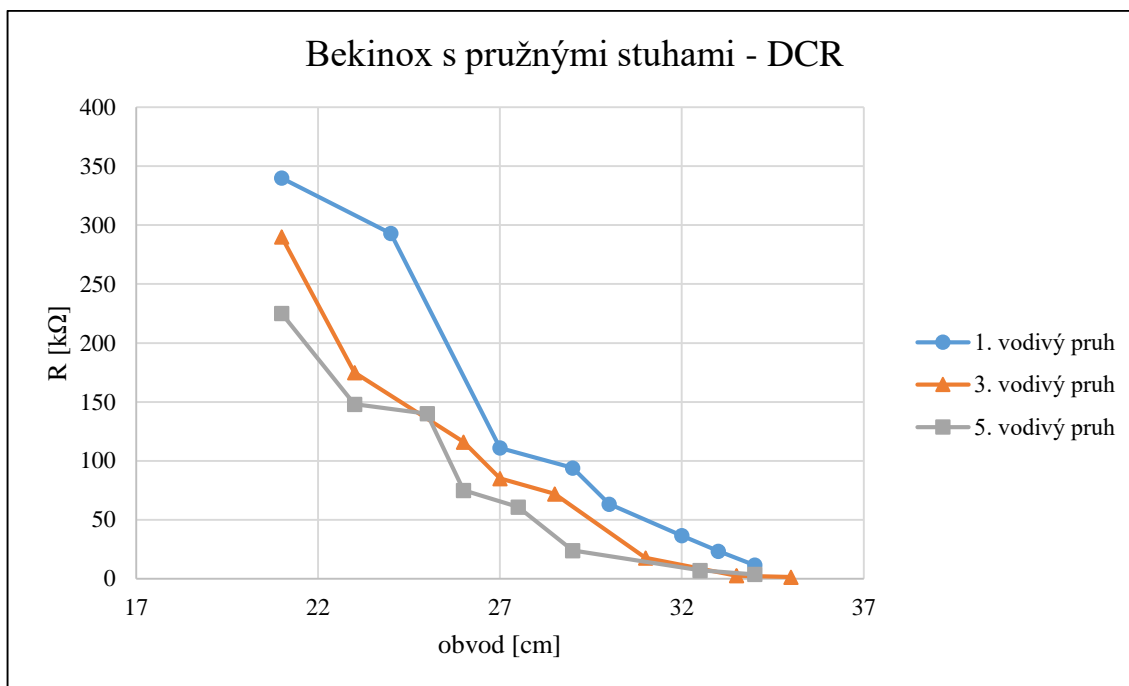
Obr. 88 Závislost odporu na natažení vzorku R.STAT



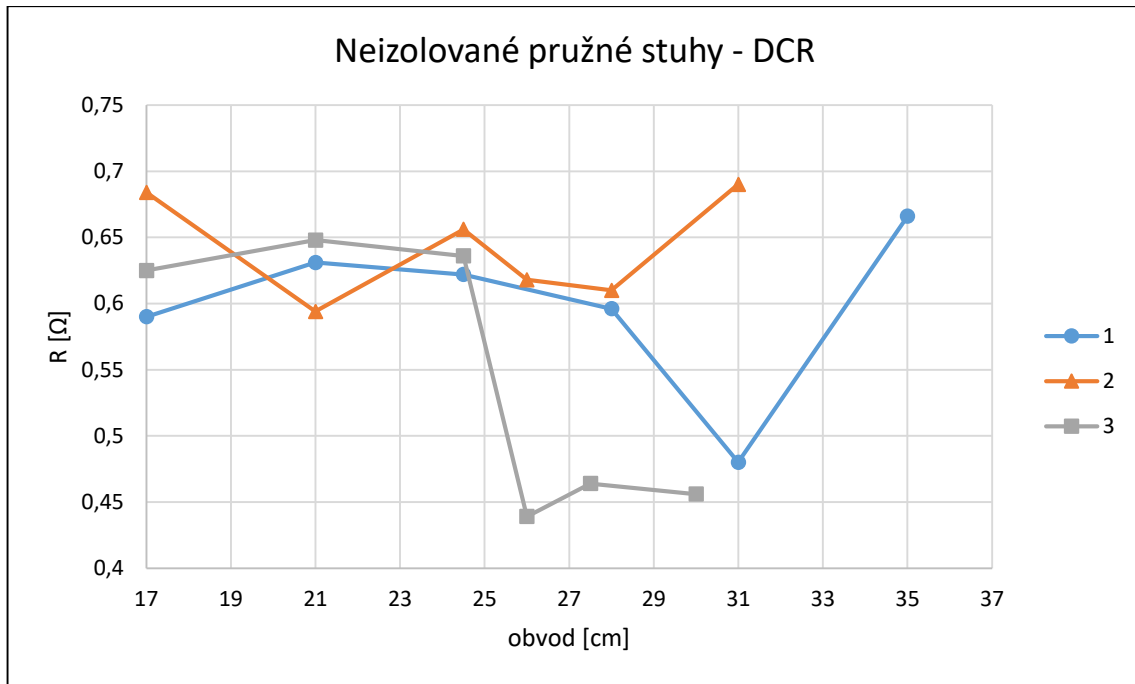
Obr. 89 Závislost odporu na natažení vzorku R.STAT - RSB



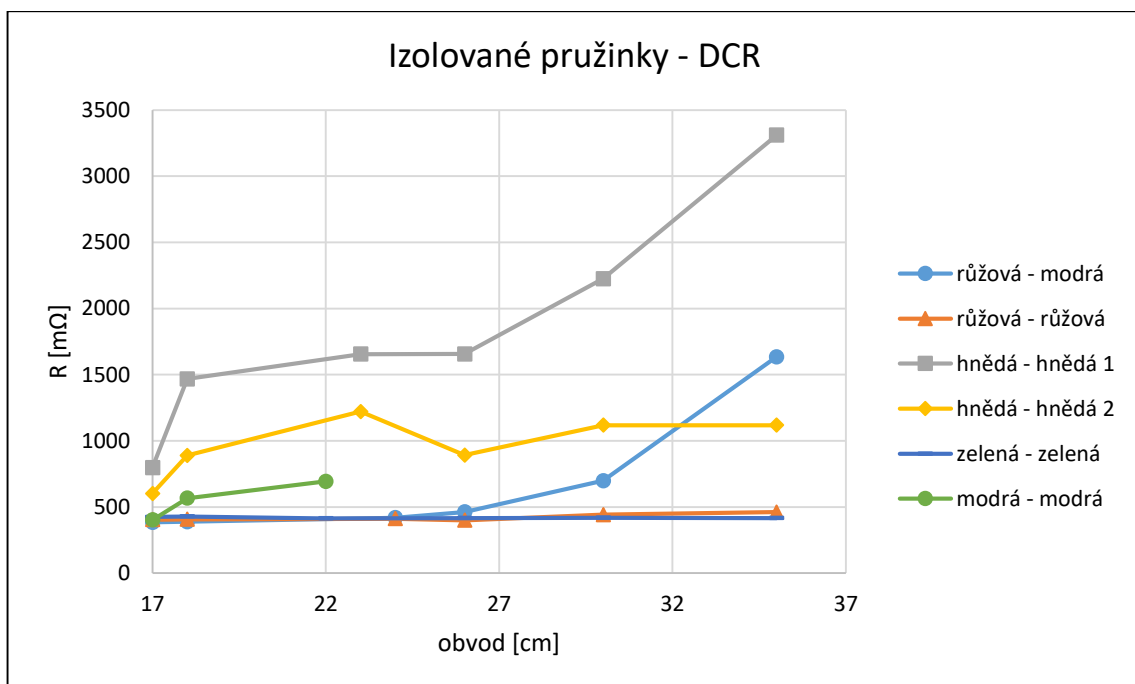
Obr. 90 Závislost odporu na natažení vzorku R.STAT – Platt



Obr. 91 Závislost odporu na natažení vzorku Bekinox s pružnými stuhami

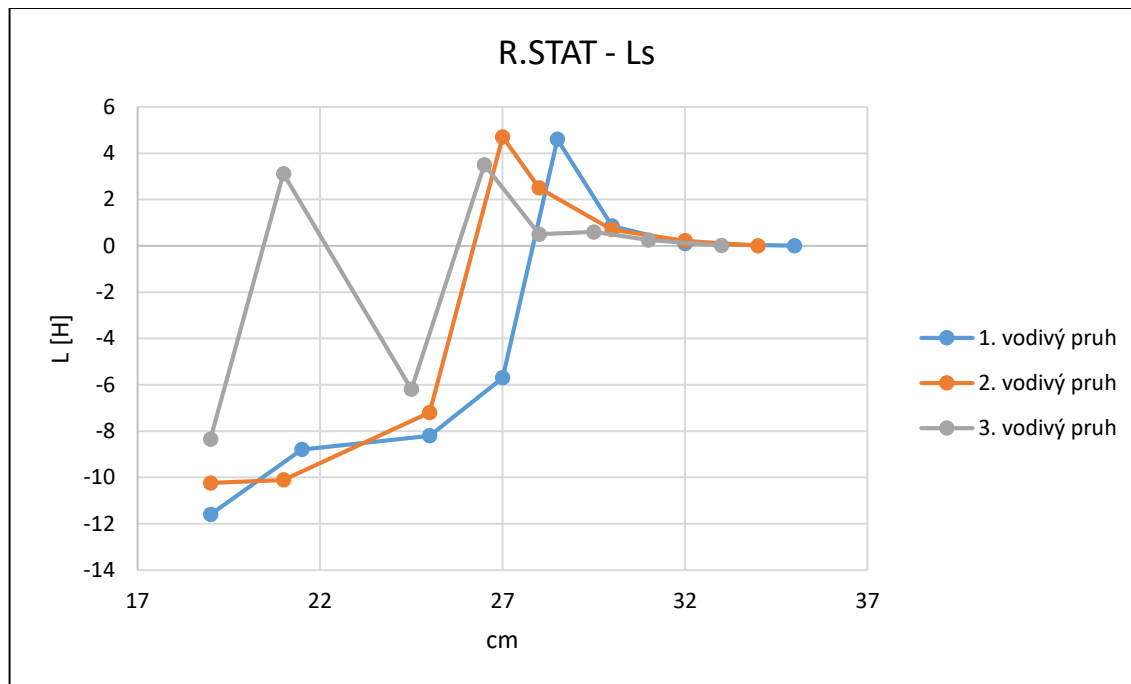


Obr. 92 Závislost odporu na natažení vzorků neizolované pružné stuhy

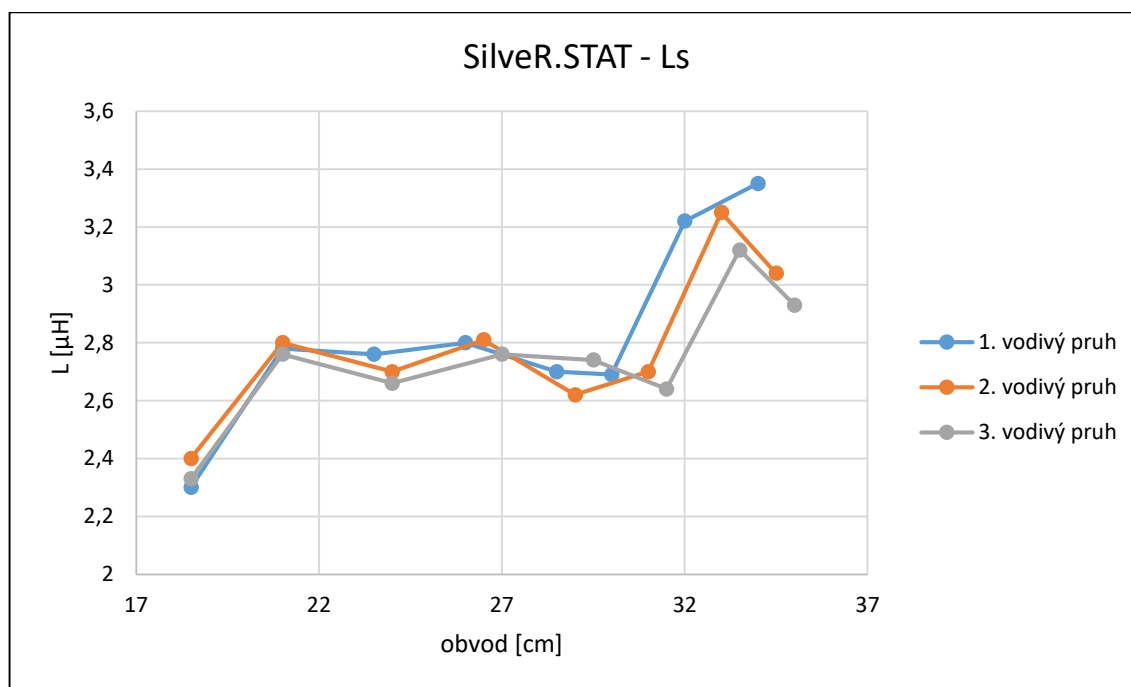


Obr. 93 Závislost odporu na natažení vzorků izolované pružné stuhy

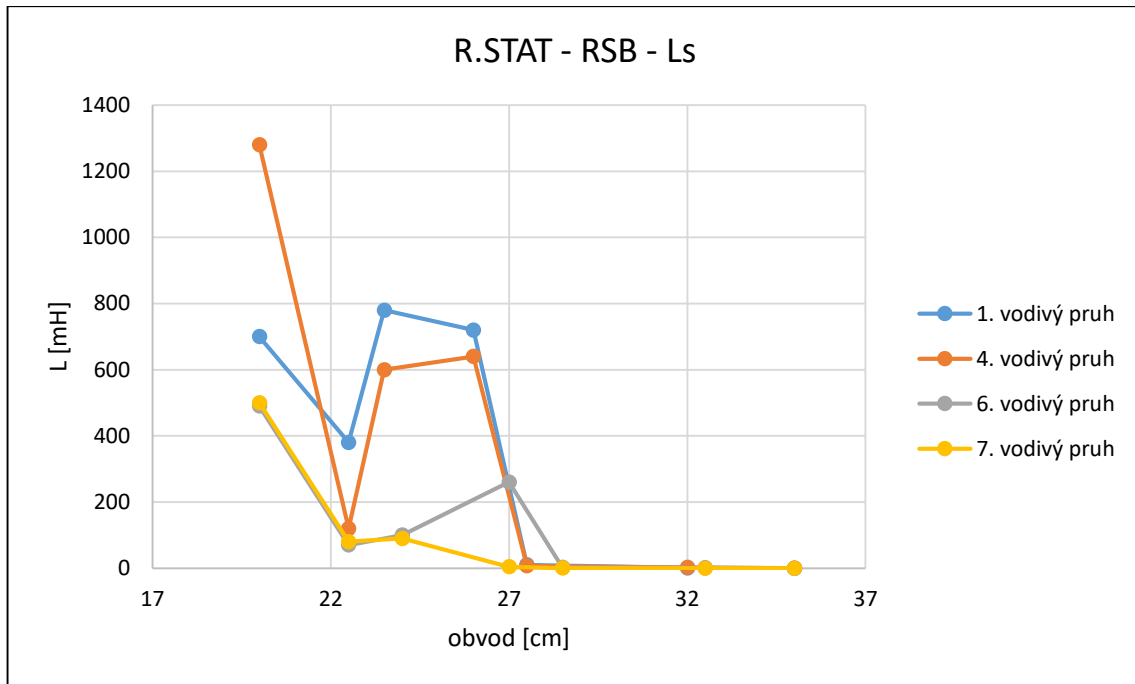
**Příloha B – Závislost indukčnosti na natažení**



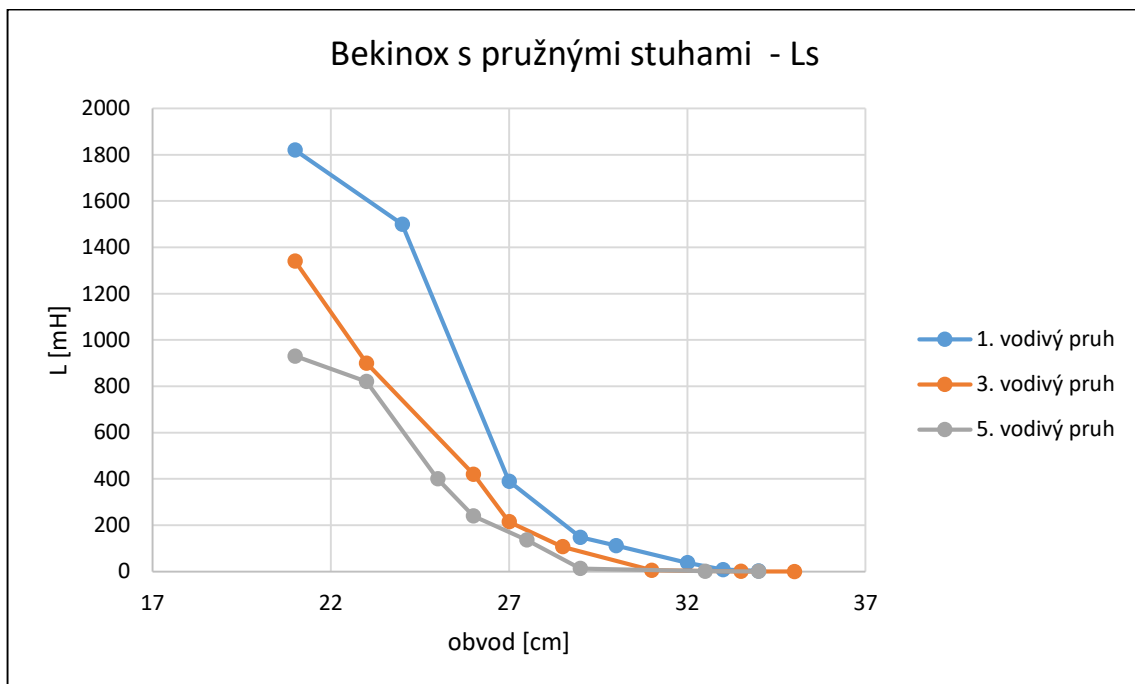
Obr. 94 Závislost indukčnosti na natažení vzorku R.STAT při 10 kHz



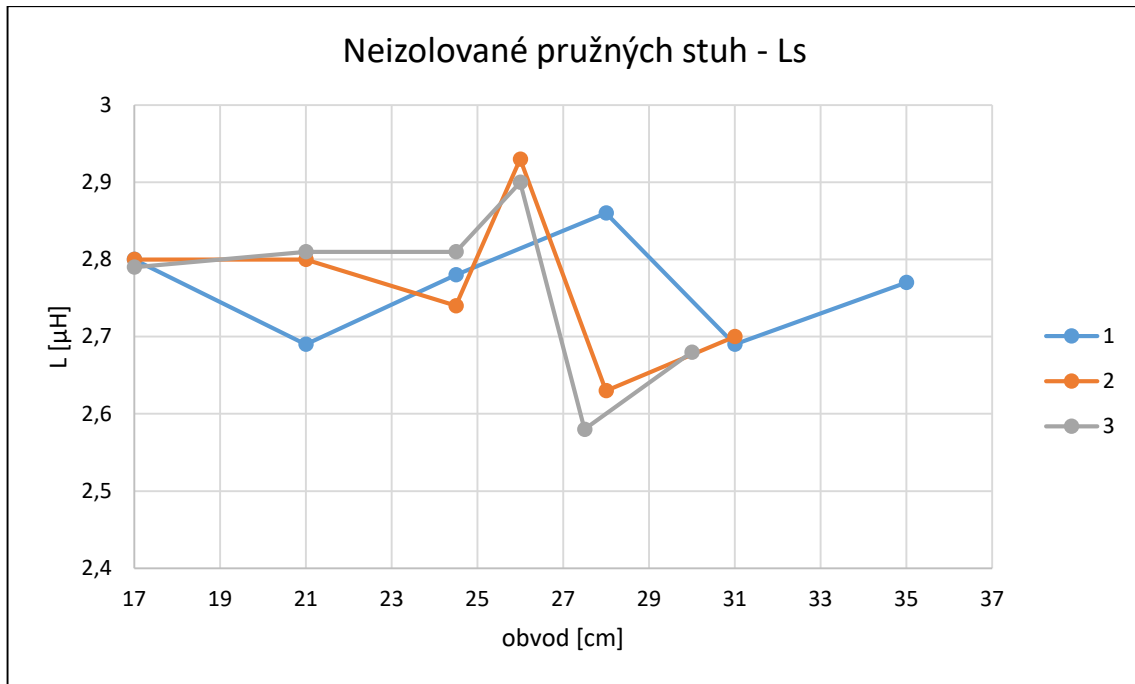
Obr. 95 Závislost indukčnosti na natažení vzorku SilverR.STAT při 10 kHz



Obr. 96 Závislost indukčnosti na natažení vzorku R.STAT - RSB při 10 kHz

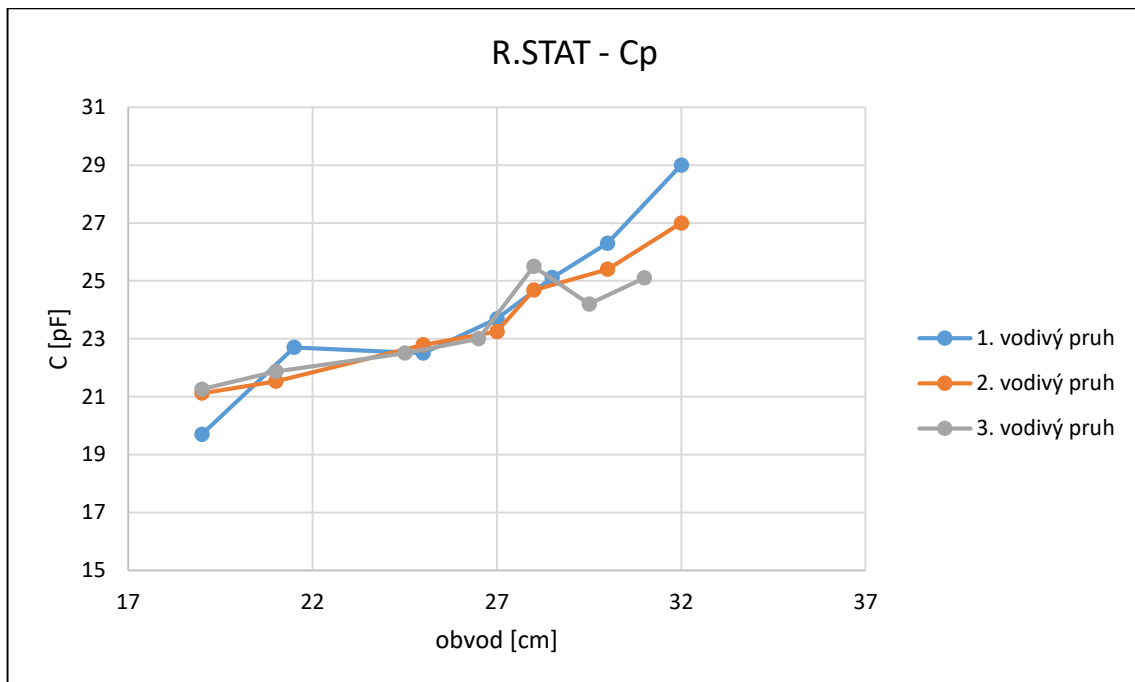


Obr. 97 Závislost indukčnosti na natažení vzorku Bekinox s pružnými stuhami při 10 kHz



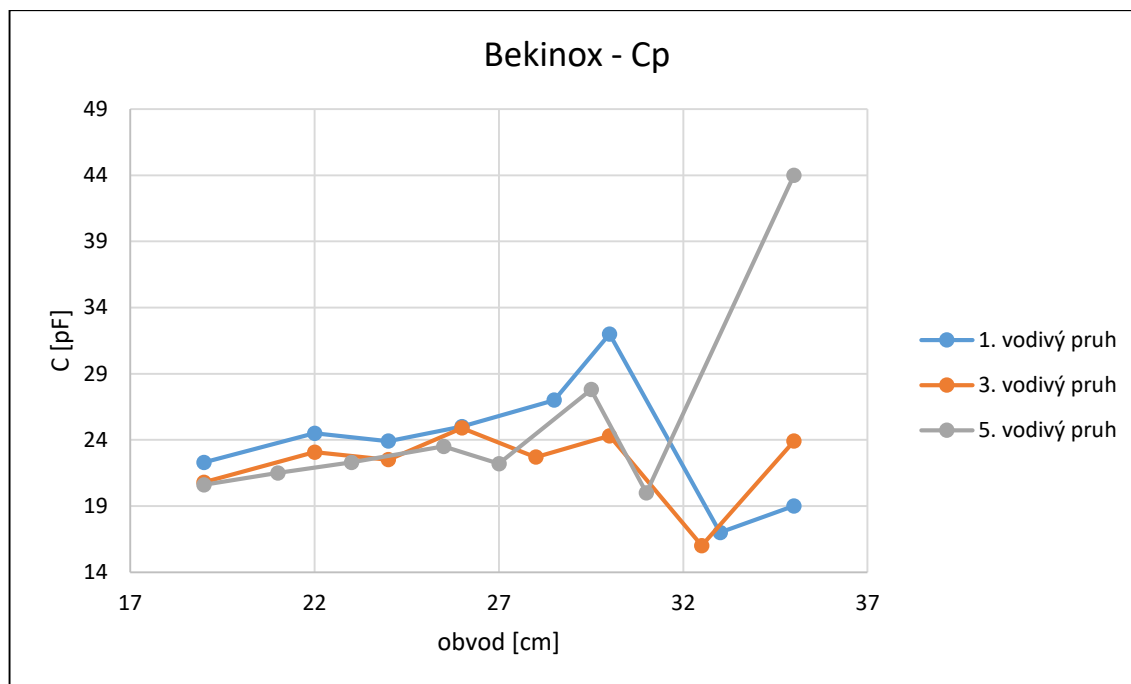
Obr. 98 Závislost indukčnosti na natažení vzorků neizolovaných pružných stuh při 10 kHz

### Příloha C – Závislost kapacity na natažení

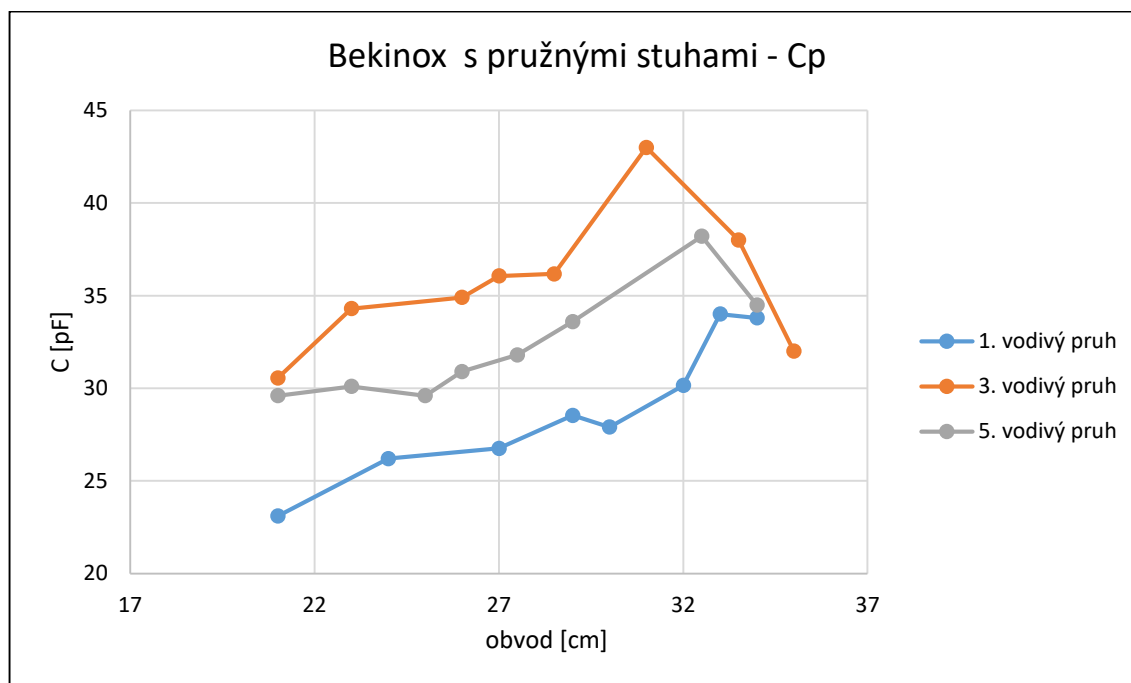


Obr. 99 Závislost kapacity na natažení vzorku R.STAT při 10 kHz

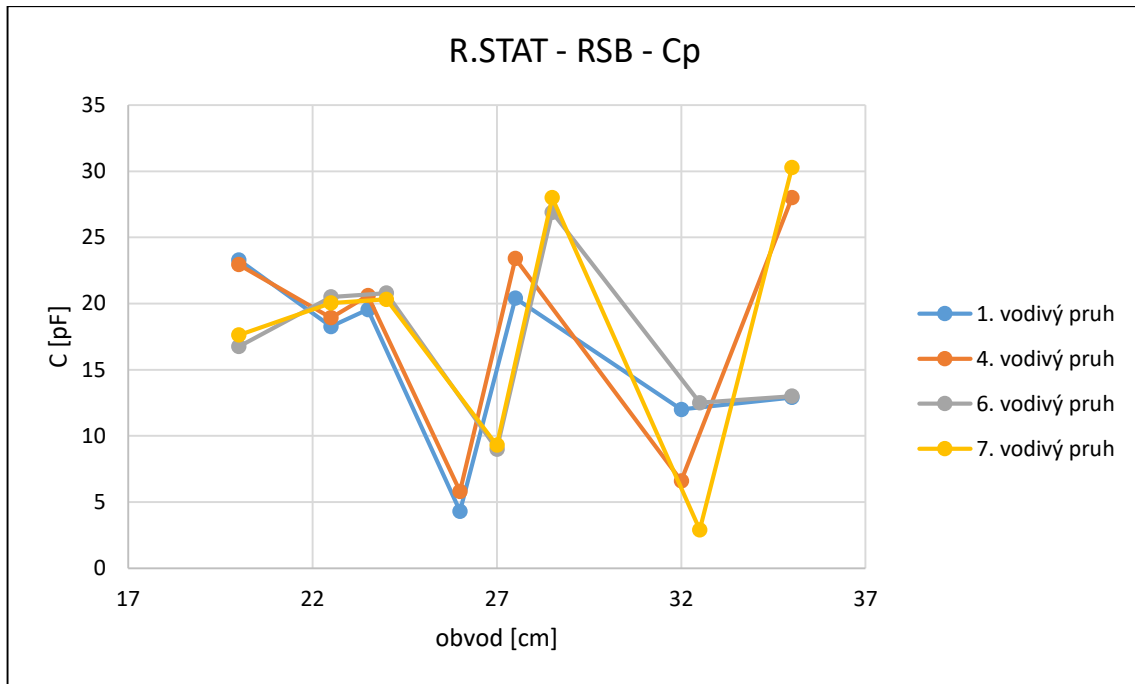




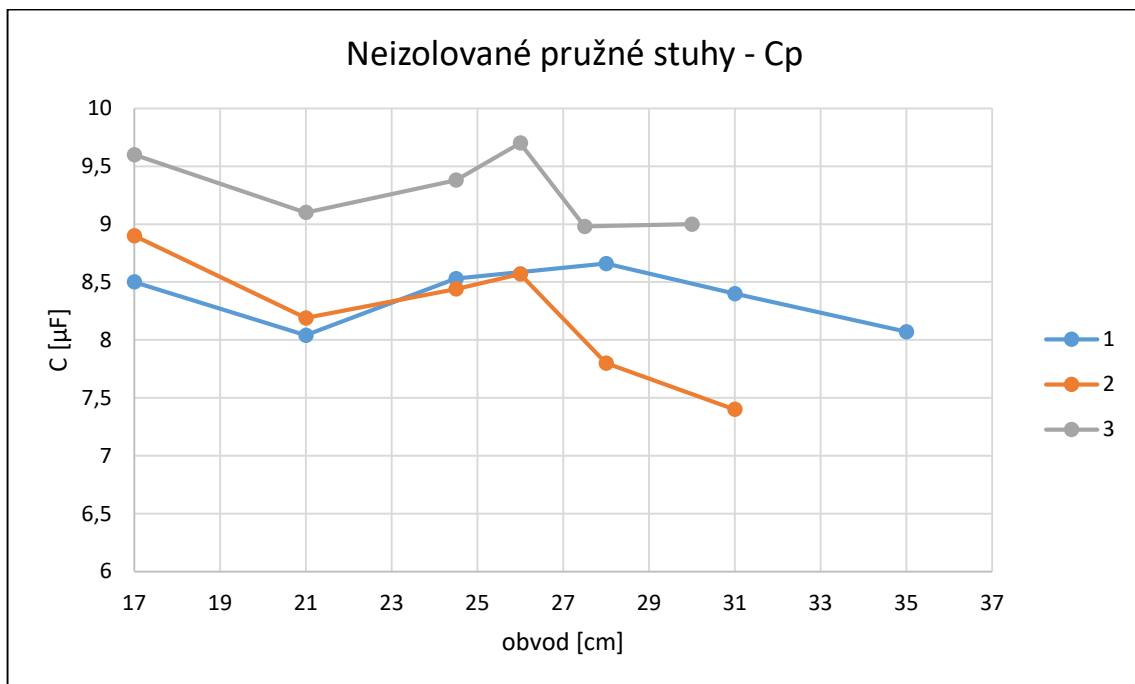
Obr. 100 Závislost kapacity na natažení vzorku Bekinox při 10 kHz



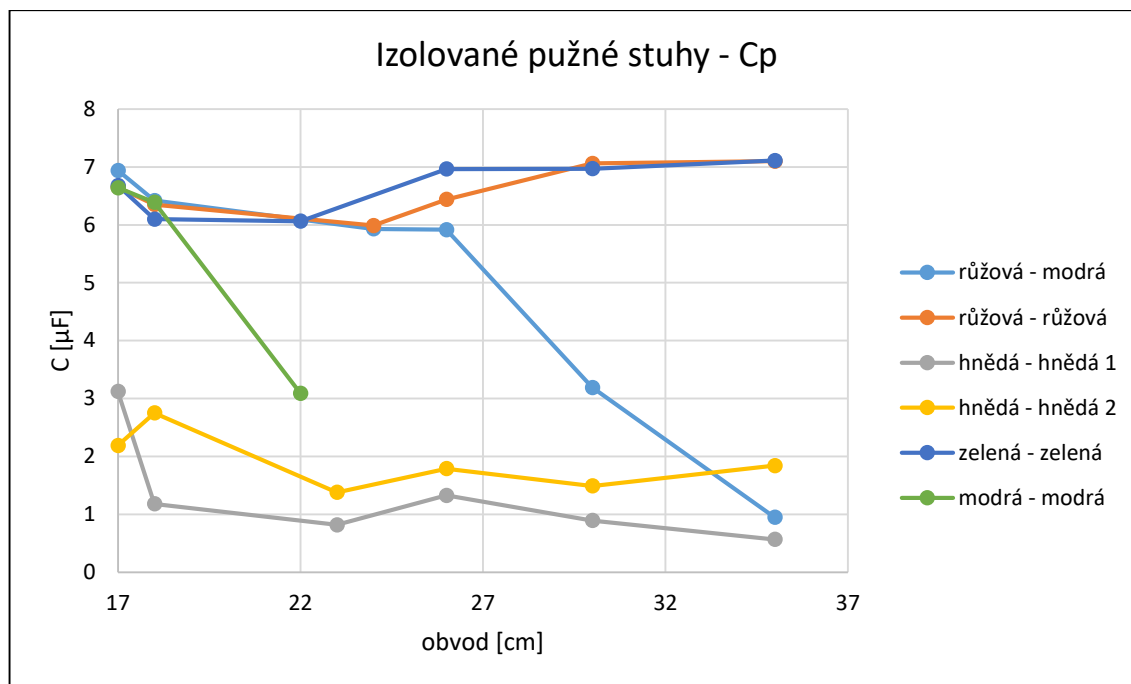
Obr. 101 Závislost kapacity na natažení vzorku Bekinox s pružnými stuhami při 10 kHz



Obr. 102 Závislost kapacity na natažení vzorku R.STAT - RSB při 10 kHz



Obr. 103 Závislost kapacity na natažení vzorků neizolovaných pružných stuh při 10 kHz



Obr. 104 Závislost kapacity na natažení vzorků izolovaných pružných stuh při 10 kHz