

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická
Katedra materiálů a technologií

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
**Textilní senzory pro snímání dechové
frekvence**

Autor práce: **Dominik Panoš**
Vedoucí práce: **Kateřina Rostás**

2022

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2021/2022

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Dominik PANOŠ**
Osobní číslo: **E19B0057P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Téma práce: **Textilní senzory pro snímání dechové frekvence**
Zadávací katedra: **Katedra materiálů a technologií**

Zásady pro vypracování

1. Seznamte se s technologiemi smart textilií.
2. Zmapujte současný stav textilních senzorů pro monitorování dechové frekvence a popište metody, kterými je snímání realizováno.
3. Zmapujte trh dostupných systémů pro monitorování dechové frekvence.
4. Porovnejte jednotlivé technologie a systémy.

Rozsah bakalářské práce: **30 – 40**
Rozsah grafických prací: **dle doporučení vedoucího**
Forma zpracování bakalářské práce: **elektronická**

Seznam doporučené literatury:

- KONCAR, Vladan (ed.). Smart textiles and their applications. Woodhead Publishing, 2016.
- VAN LANGENHOVE, Lieva (ed.). Smart textiles for medicine and healthcare: materials, systems and applications. Elsevier, 2007.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Kateřina Rostás**
Katedra materiálů a technologií

Datum zadání bakalářské práce: **8. října 2021**
Termín odevzdání bakalářské práce: **26. května 2022**




L.S.

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



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

V Plzni dne 8. října 2021

Abstrakt

Předložená bakalářská práce se zabývá rešerší v oblasti smart textilií a textilních senzorů pro monitorování dechové frekvence. V první části je práce věnována materiálům, které se používají ve smart textiliích. Dále je v této části popsána technologie výroby a využití smart textilií. Ve druhé části se nachází přehled jednotlivých textilních senzorů pro monitorování dechové frekvence. Třetí část práce je věnována zmapování trhu s produkty, jak textilními, tak konvenčními, které se zabývají monitorováním dechu. Ve čtvrté části práce je porovnání důležitosti a využitelnosti systémů pro měření dechové frekvence.

Klíčová slova

Smart textilie, dechová frekvence, textilní senzory, nositelné systémy

Abstract

The presented bachelor thesis deals with research in the field of smart textiles and textile sensors for respiratory rate monitoring. The first part of the thesis is devoted to the materials used in smart textiles. Furthermore, this part describes the manufacturing technology and application of smart textiles. In the second part, an overview of various textile sensors for respiratory rate monitoring is presented. The third part of the paper is devoted to mapping the market for textile and conventional respiratory monitoring products. The fourth part of the thesis compares the importance and applicability of respiratory rate monitoring systems.

Key Words

Smart textiles, respiratory rate, textile sensors, wearable systems

Poděkování

Tímto bych chtěl vyjádřit velké díky vedoucí mé bakalářské práce Ing. Kateřině Rostás za nekonečnou ochotu, trpělivost a cenné rady při vedení práce. Zároveň bych rád poděkoval celé rodině za podporu při studiu.

Obsah

Úvod.....	- 1 -
1 Smart textilie	- 2 -
1.1.1 Pasivní smart textilie.....	- 2 -
1.1.2 Aktivní smart textilie	- 2 -
1.1.3 Super inteligentní smart textilie	- 3 -
1.2 Materiály pro Smart textilie	- 4 -
1.2.1 Vodivé příze.....	- 4 -
1.2.2 Optická vlákna	- 4 -
1.2.3 Vodivý inkoust.....	- 5 -
1.3 Výroba smart textilií.....	- 5 -
1.3.1 Pletení	- 5 -
1.3.2 Tkaní	- 5 -
1.3.3 Vyšívání	- 6 -
1.3.4 Sítostisk.....	- 6 -
1.4 Možnosti využití smart textilií	- 7 -
1.4.1 Využití ve zdravotnictví.....	- 7 -
1.4.2 Bezpečnost a ochrana zdraví.....	- 8 -
2 Textilní senzory pro monitorování dechové frekvence	- 10 -
2.1 Textilní kapacitní senzory	- 10 -
2.2 FBG textilní senzory	- 12 -
2.3 Textilní piezorezistivní senzory	- 13 -
2.4 EKG a akcelerometrický textilní senzor	- 14 -
2.5 Vlhkostní textilní senzory	- 15 -
2.6 Indukčnostní senzor.....	- 16 -
2.7 Odporové senzory	- 17 -
3 Dostupné systémy pro monitorování dechové frekvence.....	- 18 -
3.1 Konvenční metody měření dechové frekvence	- 18 -
3.1.1 Spirometrie.....	- 18 -
3.1.2 Fotopletysmografie	- 20 -

3.1.3	Dechová indukční pleťsmografie.....	- 20 -
3.1.4	Impedanční pneumografie	- 21 -
3.2	Nositelné smart produkty pro snímání dechové frekvence	- 22 -
3.2.1	Sensium.....	- 22 -
3.2.2	Fitbit hodinky.....	- 22 -
3.2.3	Produkty s technologií fotopleťsmografie.....	- 23 -
3.2.4	Equivital.....	- 25 -
3.2.5	Respa dechový senzor.....	- 26 -
3.2.6	Resmetrix systém.....	- 27 -
3.2.7	RespiraSense	- 28 -
3.2.8	Akustický senzor.....	- 29 -
3.3	Smart textilní produkty pro snímání dechové frekvence	- 29 -
3.3.1	Hexoskin	- 30 -
3.3.2	Athos	- 31 -
3.3.3	OMsignal podprsenka	- 31 -
3.3.4	Smartex WWS (nositelný wellness systém)	- 32 -
3.3.5	The Master Caution	- 33 -
3.3.6	Howdy Breath	- 34 -
4	Porovnání technologií pro monitorování dechové frekvence.....	- 35 -
4.1	Konvenční systémy	- 35 -
4.2	Nositelné systémy	- 35 -
4.3	Smart textilní systémy.....	- 36 -
4.4	Zhodnocení implementovaných systémů v nositelných produktech.....	- 37 -
	Zhodnocení a závěr.....	- 39 -
	Literatura.....	- 41 -
	Přílohy.....	I

Seznam symbolů a zkratek

Značka	Popisek	Jednotka
<i>UV</i>	Ultrafialové	
<i>TFP</i>	Umístění vláken na míru	
<i>2D</i>	Dvourozměrné	
<i>3D</i>	Trojrozměrné	
<i>BCU</i>	Brzdová řídicí jednotka	
<i>CPU</i>	Centrální procesní jednotka	
<i>WAN</i>	Širokopásmová síť	
<i>S</i>	Plocha	[m ²]
<i>l</i>	délka	[m]
<i>C</i>	kapacita	[F]
ϵ_0	Permitivita vakua	[F/m]
ϵ_r	Relativní permitivita	[F/m]
<i>FBG</i>	Vlákna s braggovo mřížkou	
<i>Hz</i>	Hertz	
<i>FBG</i>	Vláknové braggové mřížky	
<i>R</i>	Odpor	[Ω]
<i>P</i>	tlak	[Pa]
<i>EKG</i>	Elektrokardiografie	
<i>MA</i>	Klouzavý průměr	
<i>PCA</i>	Principiální komponentní analýza	
<i>AI</i>	Umělá inteligence	
<i>LED</i>	Diody emitující světlo	
<i>NTC</i>	Negativní teplotní koeficient	
<i>RSA</i>	Respirační sinusová arytmie	
<i>SEM</i>	Senzorní elektronický modul	
<i>R-R</i>	Související s dechem	
<i>FFT</i>	Rychlá Fourierova transformace	
<i>RIP</i>	Dechová indukčnostní pletysmografie	
<i>EMG</i>	Elektromyografie	

Úvod

Tato bakalářská práce se zabývá technologií smart textilií a celkovému narativu pochopení jejich fungování a využitelnosti v běžném životě. Konkrétně se práce zaměřuje na smart textilie s integrovanými textilními senzory monitorující dechovou frekvenci člověka. Samotná podstata technologie smart textilií zaměřující se na monitorování dechové frekvence zakládá na vývoji již využívaných konvenčních systémů. Z technologie konvenčních systémů se postupně vyvíjely kompaktnější a pohodlnější řešení pro snímání dechové frekvence, což otevřelo prostor pro vývoj smart textilních produktů v tomto tématu. Smart textilní produkty mají tu výhodu, že jsou umístěny jako běžný textil přímo na těle uživatele a jsou oproti elektronickým systémům s rigidními substráty prodyšné a pohodlné. Díky tomu je možné pomocí smart textilií monitorovat řadu životních funkcí, a to dlouhodobě při každodenních činnostech života bez potřeby fyzické návštěvy lékaře.

Nepřetržité pohodlné monitorování životních funkcí je primární aspekt, který smart textilie řeší a jsou důvodem, proč momentálně existuje velké množství společností zaměřující se na vývoj smart textilních produktů. Na trhu je nespočet výrobků, které se dělí podle využitelnosti na medicínské a sportovní odvětví. Měření dechové frekvence je uskutečněné z velké části pomocí senzorů natažení, které mění svoje elektrické vlastnosti podle jejich natažení při procesu dýchání. Další technologie se zakládají na odvození z jiných životních funkcí jako je srdeční tep, EKG, průtok krve a dalších. Obecně jsou technologie textilních senzorů přejaté z konvenčních systémů až na výjimky, ve kterých implementace do textilu není možná z technických důvodů.

Obsah předložené bakalářské práce je rozdělen do čtyř kapitol, které souvisí s technologiemi smart textilií. První kapitola jedná o základním rozdělení a postupném vývoji smart textilií. Zároveň jsou zde uvedeny materiály a postupy výroby, které se v problematice smart textilií používají. Ve druhé kapitole je uveden výčet textilních senzorů pro snímání dechové frekvence člověka a jejich principy funkčnosti. Třetí kapitola je zaměřena na průzkum trhu společností zabývajících se vývojem systémů pro monitorování dechové frekvence. Tyto systémy jsou rozdělené do konvenčních, nositelných a smart textilních. Čtvrtá a poslední část porovnává veškeré zmíněné systémy a technologie implementované v textilu. V porovnání jsou uvedeny výhody a nevýhody jednotlivých technologií a jejich možnosti implementace do textilních výrobků.

1 Smart textilie

Smart textilie lze charakterizovat jako klasické textilie, které v sobě mají integrované „smart materiály“ a díky nim mohou reagovat na vnější elektrické, chemické, tepelné nebo magnetické prostředí. Již zmíněné „smart materiály“ se dají představit jako textilní materiály ve kterých jsou implementované elektrotechnické prvky (např. senzory, vodivé nitě nebo vodivý inkoust), které mohou pracovat s vnějším prostředím pasivně nebo aktivně. Smart textilie se obecně mohou dělit dle způsobu reakce na vnější podněty, a to na pasivní, aktivní a super inteligentní. Smart textile lze uplatnit v mnoha oblastech jako je například módní průmysl, kde mohou sloužit jako estetické prvky. Velmi perspektivním odvětvím pro využití smart textilií je sport a medicína, kde nacházejí uplatnění například pro monitorování životních funkcí uživatelů. Díky přímé integraci mikroelektroniky do textilu a jejich flexibilitě, pružnosti a prodyšnosti jsou smart textilní aplikace pro uživatele mnohem komfortnější než konvenční přístroje pro monitorování životních funkcí. [1], [2]

1.1.1 Pasivní smart textilie

Pasivní smart textilie jsou nejstarší a zároveň nejjednodušší typ smart textilií, jelikož pouze snímají vnější podněty, a nejsou schopny na ně aktivně reagovat. Do pasivních smart textilií můžeme zařadit veškeré senzory tepelné, světelné, elektromagnetické a ostatní, které vnější prostředí pouze snímají. [3]

1.1.2 Aktivní smart textilie

Aktivní smart textilie jsou dalším typem smart textilií, které nejen snímají vnější podněty, ale dokážou na ně i reagovat. Mezi aktivní se dají zařadit textilie, které mohou snímat teplotu, intenzitu světla a další signály, ale oproti pasivním textiliím na ně mohou reagovat za pomoci miniaturizovaných akčních členů jako jsou světelné diody, vibrační zařízení nebo textilní display. [3]

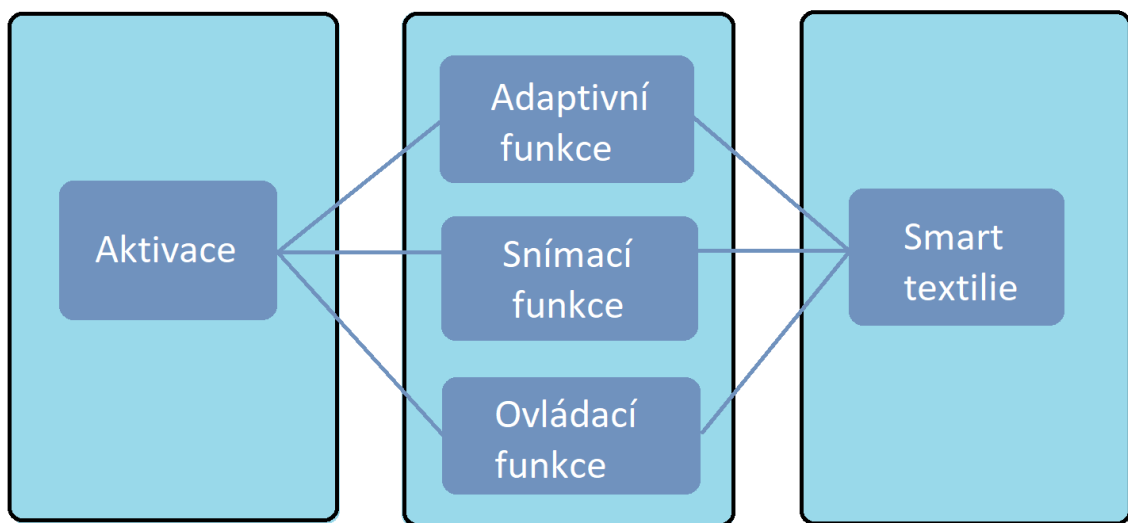
- Chameleonní smart textilie

Jako ukázkový příklad aktivních smart textilií jsou „chameleonní“ textilie, které mění chemickou strukturu a optické vlastnosti podle vnějších vlivů jako jsou UV (ultrafialové) záření nebo teplo. Technologie změny barvy podle UV záření nebo tepla je již známá, ale samotné zakomponování této technologie do textilu je zcela nová technologie. Samotný

proces nanášení do textilu se uskutečňuje pomocí disperzní pasty nebo povrchovým nanášením z roztoku. Technologie nanášení je možná díky novému vyvinutí způsobu zvláknování polymerů a samotného zakomponování do textilu. [4]

1.1.3 Super inteligentní smart textilie

Super inteligentní smart textilie jsou nejnovější a nejperspektivnější typ smart textilií. Stejně jako u předchozích i tento typ dokáže snímat podněty a reagovat na ně, což lze vidět na schématu Obr. 1.1. Super inteligentní smart textilie mají však navíc schopnost adaptace na různé druhy vnějších podnětů, s kterými se setkají. [5]



Obr. 1.1 Systém přenosu informace ve smart textiliích.

V každém systému musí být tři základní komponenty, což jsou senzory, akční členy a řídicí jednotky. [5]

- Senzor: Snímá signál z okolního prostředí
- Akční člen: Pracuje se signálem buď přímo, nebo z centrální řídicí jednotky
- Řídicí jednotky: Jednotky s poznávacími, ovládacími a aktivačními schopnostmi

Super inteligentní smart textilie jsou využitelné v mnoha odvětvích, ale nejpodstatnější využití mají hlavně v medicíně, konkrétně při monitorování životních funkcí. [5]

- Lékařské košile

Příklad super inteligentní smart textilie může být lékařská košile s implementovanými senzory, které snímají vnější prostředí. Informační procesor, který zpracovává obdrženou informaci provádí matematickou operaci a vydá pokyn pro změnu stavu prostřednictvím ovladače k přizpůsobení se změně podle vnějšího podnětu. Tímto způsobem může lékařská košile reagovat na změnu teploty, srdečního tepu, dechové frekvence a dalších údajů. [3]

1.2 Materiály pro Smart textilie

Základními parametry Smart textilií jsou integrace materiálů, komunikace a vnímání. Tyto požadavky jsou splněny pomocí vodivých přízí a vodivého inkoustu, které byly vyvinuty jako senzor nebo byly využity jako propojovací substrát. Pro výrobu textilních senzorů lze použít materiály jako kovové hedvábí, vlákna z nerezové oceli, vodivá polymerní vlákna a polymery uhlíkových vláken. Materiály jako optická vlákna a vodivé polymery mohou být integrovány do textilní struktury a jsou schopny vést elektrický proud. [6]

1.2.1 Vodivé příze

Jednotlivé typy přízí se vyrábí za jasným účelem a také podle toho jsou příze přizpůsobeny. Hlavní požadavek vodivé příze je vodivost, která se pohybuje v rozmezí 0,5 Ω /m až po X k Ω /m. Příze se skládají buď z jednoho vlákna nebo z několika tenčích vláken, které se spletou dohromady. Například příze, které jsou pouze z jednoho silnějšího kovového vlákna jsou při procesu tkaní nebo pletení náchylnější na lámání. Dále existují novější příze, které jsou vyrobeny obmotáváním kovového vlákna okolo textilního vlákna, což zaručuje dobrou ohebnost materiálu. Přízím, které jsou složeny z textilního a vodivého vlákna, se obecně nazývají jako hybridní nitě, které mají výborné elektromechanické vlastnosti. [7]

1.2.2 Optická vlákna

Optická vlákna jsou dobře využitelná v textiliích, jelikož negenerují teplo a zároveň nereagují na elektromagnetické záření. Optická vlákna ve smart textiliích přenášejí datové signály, světlo a snímají deformace ve tkaninách způsobené mechanickým napětím. Komerčně dostupná tkanina Luminex® je tkanina s optickými vlákny, která může světlo vyzařovat. Tato technologie se využívá pro estetické účely a bezpečnostní vesty. [6]

1.2.3 Vodivý inkoust

Vodivý inkoust je pastovitý materiál složený z mikročástic kovu (např. zlata, stříbra nebo mědi) a pryskyřice v organickém nebo anorganickém rozpouštědle. Nejpoužívanější vodivý inkoust pro sítotisk na textilní materiály je stříbrný inkoust, jelikož je termodynamicky stálejší než inkoust s měděnými mikročástčkami a zároveň levnější než inkousty se zlatými mikročástčkami. Kovové mikročástice ve vodivém inkoustu mají přibližně 1 až 2 μm podle toho, jak širokou vodivou dráhu tiskneme. [8]

1.3 Výroba smart textilií

Výroba smart textilií se uskutečňuje pomocí konvenčních metod výroby textilu jako je tkání, pletení a vyšívání kombinovanou s technickými metody sítotisku nebo litografie. Textilie mohou být zpracovány jako vlákna, tkanina nebo hotové oblečení. Obecné vlastnosti pletených, tkaných a vyšívaných textilií jsou nízká hmotnost, jednoduchá přenositelnost, prodyšnost a komfort v porovnání s konvenčními systémy pro měření životních funkcí člověka. [7]

1.3.1 Pletení

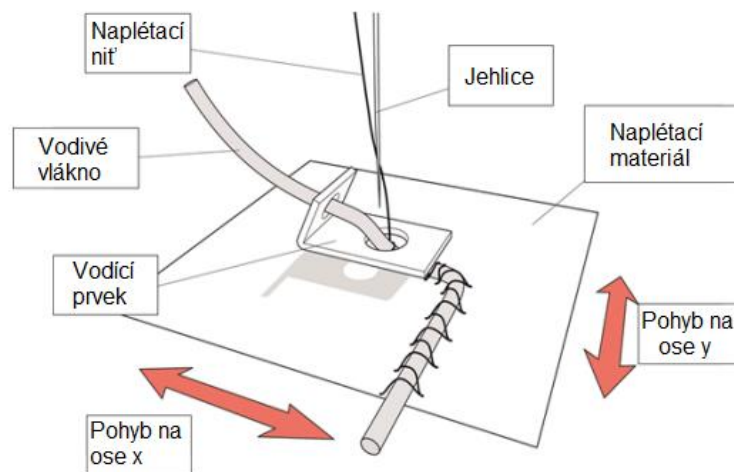
Při pletení jsou příze uspořádány do formy po sobě jdoucích smyček na pletací jehlici. K vytvoření další řady struktur se musí jedna část přízí protáhnout skrz již existující řadu smyček pomocí další pletací jehlice. Pomocí upravení sekvence švů je možné poupravit pletený vzor a tím vytvořit složitější struktury textilu. Pletené tkaniny jsou oproti tkaným mnohem více flexibilní a dobře se mechanicky přizpůsobují. [7]

1.3.2 Tkaní

Tkaní je metoda výroby, při kterém se proplétají dvě sady na sebe kolmých přízí, které se nazývají útek a osnova. V průběhu tkaní se část osnovních přízí posouvá nahoru a zbytek sady se posouvá dolů pomocí svazkových popruhů a z tohoto procesu se vytváří útek. Různými úpravami techniky osnovních přízí je možné strukturu textilu pozměnit podle potřeby. Kromě jednodušších 2D struktur se dají tkát pomocí speciálních tkalcovských stavů i 3D struktury, které mají poměrově významnou tloušťku na ose Z k rovinným složkám. Příze jsou v tomto případě propletené navzájem ve všech osách a tím může tvořit nekonečné množství struktur. Tkané textilie jsou odolnější a mají stabilnější tvar než pletené tkaniny, což umožňuje přesnější umístění jednotlivých přízí. [7]

1.3.3 Vyšívání

Vyšívání se ve smart textiliích realizuje vodivými nitěmi, nebo měkkými kovovými dráty, které jsou elektricky vodivé. Vyšívání je možné provést ručně, ale častější metoda výroby textilu využívá vyšívací stroje. Nejvyužívanější metoda pomocí stroje se nazývá technologie TFP. TFP je metoda vyšívání díky které mohou být vlákna na podkladovém materiálu našitá ve všech směrech. Technologie TFP vyšívání se skládá z jehlice a z vodícího prvku, skrz který jehlice probíhá. Do stroje se zadají souřadnice, podle kterého se hýbe látka, do které se našívá vodivá niť jako je zobrazeno na Obr. 1.2. Tato technika se využívá pro vyšívání ve 2D i 3D rozhraní. Technika vyšívání je jedna z nejpoužívanějších technik při výrobě smart textilií, jelikož jsou látky ohebné a lehké. [9]

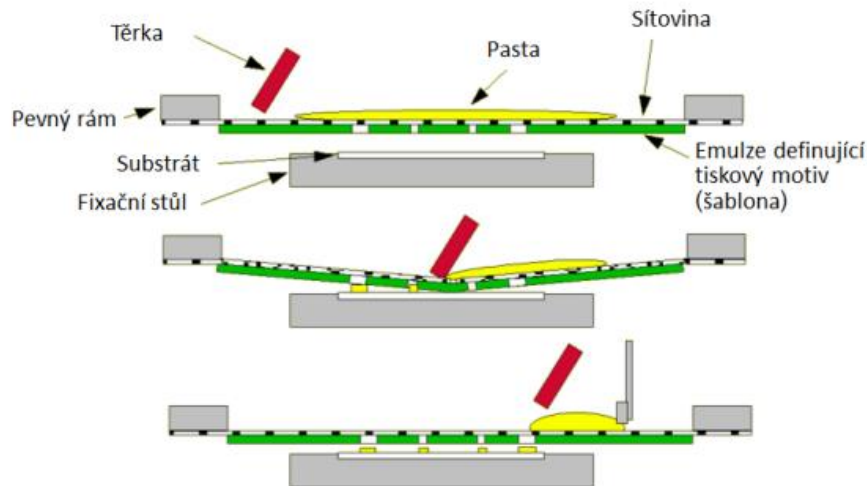


Obr. 1.2 Proces vyšívání pomocí TFP metody (Převzato z [9]).

1.3.4 Sítotisk

Sítotisk je tisková metoda, při kterém se pasta protlačuje skrz šablonu za účelem vytvoření potřebného vzoru. Samotný proces sítotisku je možný pomocí zařízení, které se skládá z rámu, sítoviny a šablony. Šablona je pevně připevněna k sítovině a sítovinu je připevněna k rámu, který zaručuje její rovnoměrné a pevné napnutí. Při procesu sítotisku se nanáší vrstva pasty na šablonu, která je rovnoměrně rozprostřena pomocí těrky buď přístrojově nebo ručně. Po přitlačení těrky na šablonu se dostává pasta skrz otvory v šabloně na substrát (textilii) a pomocí tlaku a adhezivním vlastnostem pasty se na substrát přilepí. Tímto způsobem se dají tisknout vodivé cesty a pasivní elektronické prvky na textil. [10]

Velká výhoda sítotisku je, že se může tisknout v libovolném směru bez ohledu na orientaci vláken. Na Obr. 1.3 je vidět celý proces sítotisku od nanesení pasty na šablonu, protlačování pasty skrz šablonu zafixovanou na síťovinu a přichycení pasty na substrát. [10]



Obr. 1.3 Protlačení vodivé pasty skrz šablonu (Převzato z [10]).

1.4 Možnosti využití smart textilií

V této kapitole je popsáno využití konkrétních smart textilií v odvětví bezpečnosti a zdravotnictví. Pro zdravotnictví i bezpečnost jsou smart textilie využité z důvodu komfortu a možnosti nepřetržitého monitorování.

1.4.1 Využití ve zdravotnictví

Jedna z důležitých technologií ve zdravotnictví je tzv. telemedicína, což je pojem charakterizující předávání informací o stavu pacienta pomocí telekomunikace. Pomocí telemedicíny a nepřetržitému sledování stavu pacienta smart textiliemi může být osoba konstantně monitorována díky čemuž může být vyhodnocen stav monitorované osoby za delší časový úsek. [6]

Obecně je využití smart textilií ve zdravotnictví multidisciplinární z důvodu velkého množství potřeb pro pacienty. V oboru smart textilií byly vyrobeny zdravotnické potřeby od jednoduchých chirurgických oděvů, bandáží, prostěradel až po složitější textilie s tkaninami, které přímo vypouští léčiva do oběžného systému člověka. V Tabulce 1.1 je znázorněno rozdělení zdravotnických potřeb v souladu se zdravotnickými úkony. [11]

Tabulka 1.1 Využití smart textilií ve zdravotnictví

Zdravotnický úkon	Aplikace smart textilií
Operace	Bandáže Pooperační bandáže na rány
System uvolňování léčiv	Bandáže a náplasti
Bio-monitoring	Mozková aktivita Termoregulace Dechová aktivita
Rehabilitace	Fyzioterapie Stimulace elektrickými výboji Aktivní termoregulační systémy

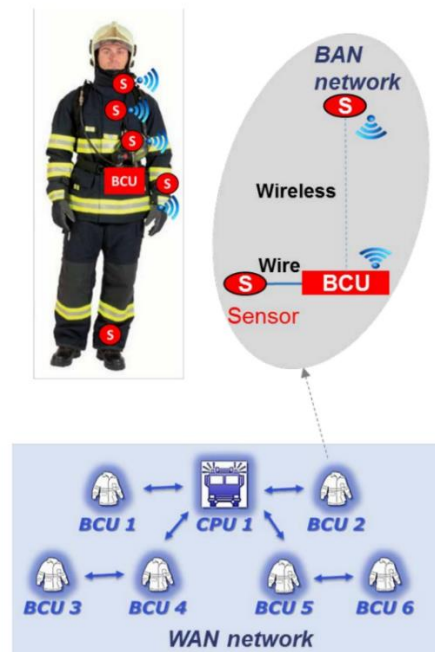
1.4.2 Bezpečnost a ochrana zdraví

Bezpečnost a ochrana zdraví člověka je jedno z odvětví, kterým se smart textilie zabývají, jelikož využití senzorů v oděvech pro policii, vojáky nebo hasiče je velmi přínosné a může jim i zachránit život. V oděvech pro ochranné složky jsou senzory, které monitorují srdeční tep, monitorují pohyb a lokaci, snímají tělesnou teplotu nebo snímají jednotlivé složky vzduchu a možné přítomnosti nebezpečných plynů v ovzduší. [1], [11]

- Hasičský smart textilní oblek

Jako příklad ochranného oděvu je Hasičský oblek, který je zkonstruován na základě stavebních bloků, které umožňují vytvoření specifických variant integrovaných mikrosystémů pro sledování tělesných aktivit a monitorování prostředí. Tyto mikrosystémy se rozdělují na dvě hlavní části. První z nich je BCU (Body control unit), komunikační jednotky, integrované senzory a alarmní moduly. Druhá část je CPU (Control processing unit), která je určena pro velitele hasičů, který na dálku sleduje stav jednotlivých hasičů v akci. CPU a BCU spolu komunikují skrz bezdrátovou síť zvanou WAN (Wide Area Network). Mikrosystém obleku je zobrazen na Obr. 1.4 a skládá z těchto bloků:

1. Smart textilní kabelový svazek s připojovacími body pro integrované senzory, osobní alarm a BCU
2. Integrovaný senzor pro snímání teploty a vlhkosti jak uvnitř obleku, tak vnějšího prostředí. Zároveň má senzory ke sledování koncentraci plynů, srdečního tepu a monitorování pohybu
3. Integrovaný BAN modul ke komunikaci, který je integrován v BCU
4. Integrovaný WAN bezdrátový komunikační modul integrován v BCU a CPU.
5. Samostatné BCU
6. Nabíjecí jednotky pro BCU a CPU [12]



Obr. 1.4 Schéma propojení WAN a BCU systému (Převzato z [12]).

2 Textilní senzory pro monitorování dechové frekvence

Textilní senzory pro monitorování životních funkcí začaly být v posledních letech mnohem více využívány ve sportu, technice a medicíně, jelikož novější technologie a výzkum v oblasti materiálu značně zvýšily přesnost výsledných měření textilních senzorů. Obecně jsou textilní senzory využitelné v mnoha odvětvích, ale velmi velký rozvoj a potenciál byl právě v oboru zdravotnictví. Textilní senzory mohou snímat velkou škálu životních funkcí jako je srdeční frekvence, teplota člověka, objem plic, krevní tlak anebo dechovou frekvenci, kterou budeme v následujících kapitolách rozebírat. Samotná dechová frekvence může vypovědět o stavu pacienta mnohé. Odchyly od běžného stavu dechové frekvence monitorované osoby mohou odhalit začínající problémy s dechovým ústrojím člověka nebo dopomoci s následnou léčbou. Většina senzorů pracuje na jednoduchém systému, který předpokládá, že normální dechová frekvence v klidové poloze osoby je přibližně 12 až 20 dechů za minutu. [13]

Při odchylce od běžných hodnot senzor vyhodnotí, že má monitorovaná osoba zdravotní problém. Pomocí aplikace textilních senzorů lze z výstupních dat dopomoci s léčbou astmatu, pneumonie, spánkové apnoe a dalších zdravotních problémů spojené s dechovým ústrojím. Textilní senzory pro snímání dechové frekvence se využívají hlavně z důvodu komfortu a kompaktnosti. Konvenční způsoby jsou pro pacienta velmi nekomfortní a zamezují možnosti pohybu. Díky tomu, že jsou textilní senzory velmi lehké a oproti konvenčním přístrojům jsou více pohodlné, mohou senzory monitorovat dechovou frekvenci nepřetržitě a osoba se může věnovat každodenním činnostem. [14]

Obecně nejdůležitějšími vlastnosti textilních senzorů jsou vysoká senzitivita, voděodolnost, odolnost vůči nepřetržitému mechanickému namáhání, možnosti senzory vyprat a popřípadě možnost vyrábět energii pro vlastní spotřebu. [14], [15]

2.1 Textilní kapacitní senzory

Textilní kapacitní senzory jsou zkonstruovány ze dvou vodivých desek nebo elektrod, z pružného textilu, na kterém je uložen kapacitní senzor, a z oscilátoru, který zaznamenává změnu kapacity. Tento textil se zabudovaným senzorem se navlékne na hrud' nebo břicho monitorované osoby, který svými pohyby mění napnutí textilu.

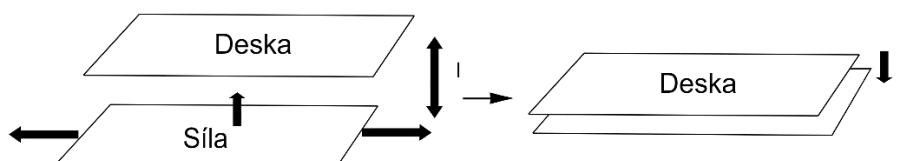
Textilní kapacitní senzory pracují způsobem, že se mění naměřená kapacita v souvislosti se l vzdáleností desek od sebe, na S velikosti plochy vodivých desek a na ϵr velikosti

permitivity dielektrika. Pomocí těchto údajů můžeme měřit změnu kapacity pomocí rovnice (2.2) a samotnou kapacitu pomocí rovnice (2.1). [16]

$$C = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \frac{S}{l} \quad (2.1)$$

$$\Delta C = -\frac{C}{l} \Delta l \quad (2.2)$$

Pohyb desek se může uskutečnit v pohybu vodorovném i vertikálním. Ve vertikálním směru se vodivé desky přibližují nebo oddalují ve směru pohybu hrudi, což lze vidět na Obr. 2.1. [16]



Obr. 2.1 Pohyb desek ve vertikálním směru (Překresleno z [16]).

Ve vodorovném směru se od sebe elektrody nebo desky oddalují nebo přibližují po povrchu těla s měnícím se poloměrem hrudi při výdechu a nádechu, což lze vidět na Obr. 2.2. V důsledku dýchání se mění plocha překrývajících se desek a tím se mění i kapacita senzoru. [17]

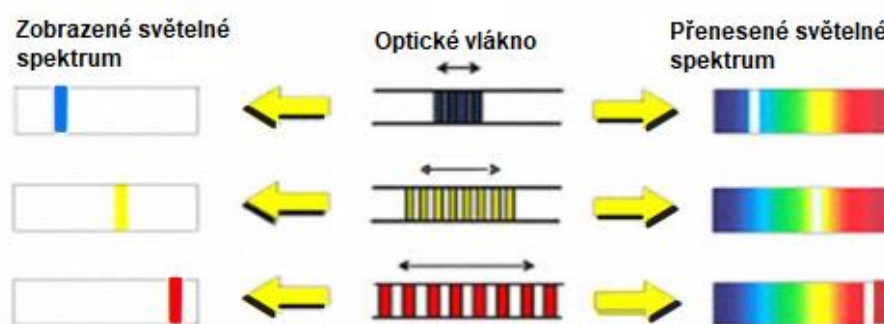


Obr. 2.2 Pohyb desek ve vodorovném směru (Překresleno z [17]).

2.2 FBG textilní senzory

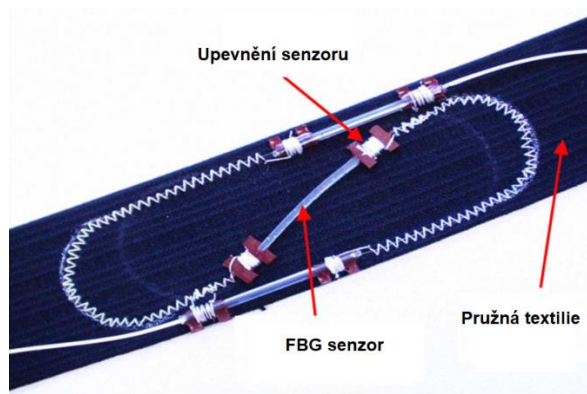
FBG (Fiber bragged grating) senzory jsou senzory, které mají zakomponovaná optická vlákna s braggovou mřížkou. Zároveň je potřeba pružný textil kvůli napínání a k tomu zdroj světla. Celý proces začíná u zdroje světla, který vyzařuje celé barevné spektrum. V moment, kdy se světlo dostane do optických vláken, pomocí braggovo mřížky optického vlákna se určitá vlnová délka odrazí a zbytek vlnové délky se přenáší dál přes vlákno. Již zmíněná odražená vlnová délka je braggova vlnová délka, která se mění v závislosti s napnutím optického vlákna. Textilní sensor má monitorovaná osoba na hrudní část těla a při dýchání tím mění napnutí textilu, čímž se mění i braggova vlnová délka. [18], [19]

Na Obr. 2.3 je znázorněn zjednodušený proces přenesení zbytku barevného spektra přes optické vlákno, přičemž bílá výseč v přeneseném světelném spektru je odražená braggova vlnová délka. [18]



Obr. 2.3 Přenesení světelného spektra přes optické vlákno (Převzato z [18]).

Zabudování tohoto senzoru na textilie je možné pomocí smyček, které minimalizují nežádoucí jevy, což by mohlo ovlivnit přesnost měření. Senzor ve tvaru smyček je zobrazen na Obr. 2.4. Zároveň se na senzory přidává ochranná (polymerní) vrstva materiálu, která zesílí mechanickou odolnost senzoru. Tyto ochranné vrstvy nemění optické vlastnosti senzoru a zároveň jsou díky ochranné vrstvě senzory k textilu přilnavější. [18]



Obr. 2.4 Zabudované FBG senzory na elastickou textilií (Převzato z [18]).

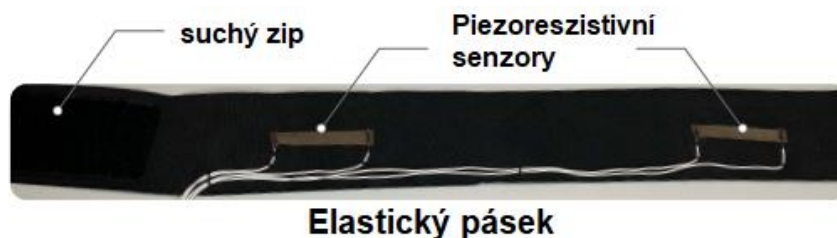
2.3 Textilní piezorezistivní senzory

Piezorezistivní textilní senzory jsou zkonstruovány propletením vodivých přízí a elastického textilu. Vodivé příze mohou být z jednoho vlákna anebo hybridní, což je popsáno v předchozí kapitole 1.2.1 Vodivé příze. Vodivé příze jsou ve tkanině zabudovány do smyček, které mezi sebou mají kontaktní body, ze kterých jsou brána data o změně napnutí textilního senzoru a posílána dál do počítače nebo chytrého telefonu. [20]

Piezorezistivní textilní senzory jsou běžně zkonstruovány v podobě pásku, který můžeme vidět na Obr. 2.5. Samotný pásek se nasazuje na hrud' nebo na břišní část těla. V průběhu dýchání se senzory napínají a tím mění svůj elektrický odpor. [21]

Velikost elektrického odporu R textilního senzoru se dá spočítat pomocí vztahu (2.3). H představuje tvrdost materiálu, ρ elektrický odpor materiálu, n počet kontaktních bodů a P je tlak na kontakty. [20]

$$R = \frac{\rho}{2} \sqrt{\frac{\pi \cdot H}{n \cdot P}} \quad (2.3)$$



Obr. 2.5 Piezorezistivní textilní senzor (Převzato z[20]).

2.4 EKG a akcelerometrický textilní senzor

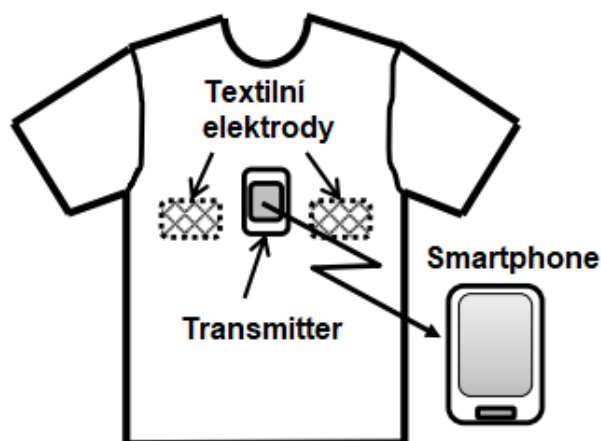
Tento senzor se skládá z EKG (elektrokardiografického) senzoru a akcelerometru. Důvod využití těchto dvou částí k výrobě tohoto senzoru je kombinování výstupních dat obou senzorů. Právě pomocí využití změny výchylek srdečního tepu a změny polohy na osách akcelerometru vznikne výsledný signál určující dechovou frekvenci. [22]

Pro tento senzor se dá využít zařízení hitoe. Hitoe je tričko obsahující textilní diody a transmitter, který obsahuje akcelerometr a EKG měřící přístroj, což je znázorněno na Obr. 2.6. [22]

Akcelerometr pomocí určitého algoritmu zjistí tzv. gravitační vektor, který nám určuje pohyby a rotace senzoru. Další proces potřebný k promítnutí výsledné křivky dechové frekvence se používá techniky MA (moving average) nebo PCA (Principle component analysis). [23]

U EKG senzoru se měří QRS komplex, což je měření výchylek srdečního tepu. R-R (respiration related) intervaly jsou definovány jako čas mezi nejvyššími hodnoty R a nejvyšší hodnoty R jsou definovány jako rozdíl hodnot R a S. Přičemž R představuje nejvyšší kladnou hodnotu diagramu a S nejvyšší zápornou hodnotu diagramu. [24]

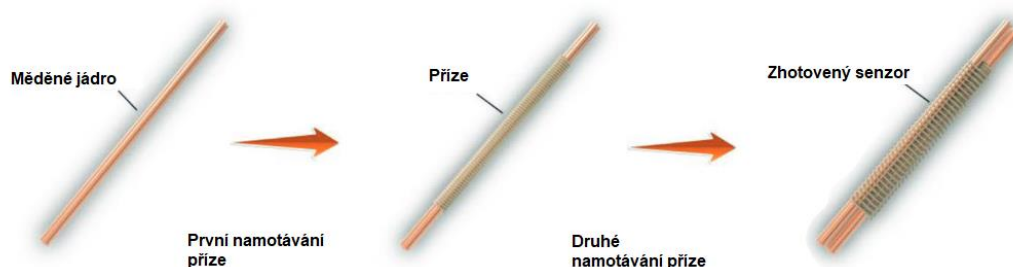
Další krok je filtrace šumu a přesun dat z akcelerometru a EKG senzoru do Kalmanova filtru, který data sloučí. Na konci tohoto procesu se data pošlou pomocí Bluetooth na chytrý telefon. [22]



Obr. 2.6 Hitoe tričko (Převzato z [22]).

2.5 Vlhkostní textilní senzory

Vlhkostní textilní senzor reaguje na změnu v množství molekul vody ve vzduchu a podle toho mění svoje elektrické vlastnosti. Tento senzor je zabudován v masce přes nos a ústa. Senzor je vyroben pomocí spojení dvou měděných drátků, které jsou speciálně obmotány polymerními vlákny, což je vidět na Obr. 2.7. Takto vyrobený senzor funguje jako dielektrická vrstva mezi elektrodami. Permittivita polymerů je přibližně 16krát menší než permittivita vody. Voda se do senzoru dostane ve formě molekul vody obsažené ve vydechovaném vzduchu. [25]



Obr. 2.7 Zhotovení vlhkostního senzoru (Převzato z [25]).

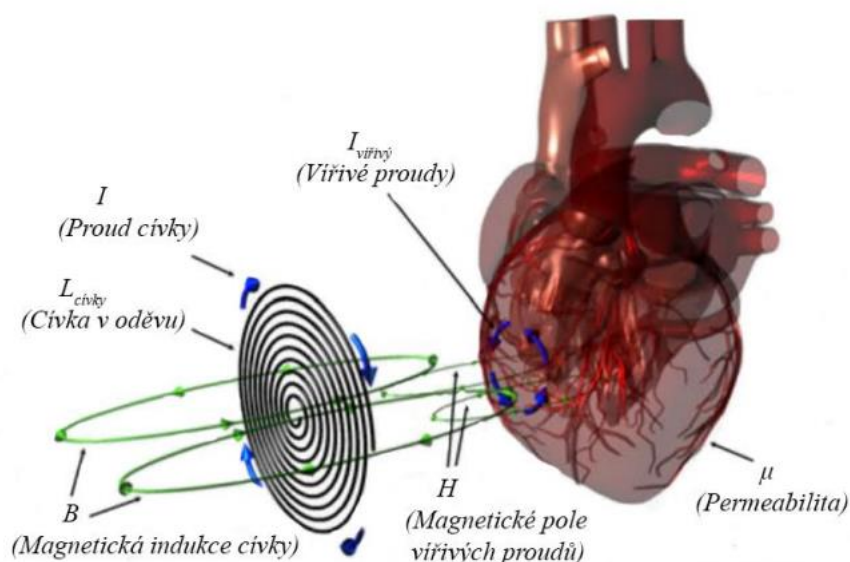
Kapacita textilního vlhkostního senzoru se dá vypočítat vztahem (2.4), kdy S představuje plochu elektrod, d představuje tloušťku dielektrické vrstvy, ϵ značí permittivitu dielektrika a k značí elektrostatickou konstantu. [25]

Permittivita se pro tento senzor mění v procesu dýchání. Při výdechu monitorované osoby se dostanou molekuly vody z vydechovaného vzduchu do dielektrické vrstvy, což zvýší dielektrickou konstantu a tím se zvýší kapacita senzoru. Při nádechu se naopak sníží počet molekul vody v senzoru a dielektrická konstanta se zmenší. [25]

$$C_{\text{senzoru}} = \frac{\epsilon \cdot S}{4 \cdot \pi \cdot k \cdot d} \quad (2.4)$$

2.6 Indukčnostní senzor

Pro monitorování dechové frekvence pomocí textilního indukčnostního senzoru se využívá korelace vlastností srdeční aktivity se signály dechové frekvence. Tato korelace byla zpozorována z prvotní aplikace textilního indukčnostního senzoru pro sledování srdeční aktivity. Samotný senzor je vyroben z hybridních nití, které jsou našity do polyesterního textilu. Celý proces funguje na vzniku magnetického pole v okolí textilní cívky, který prochází skrz tělo, čím následkem vířivých proudů vzniká indukované magnetické pole. Tělo má samo o sobě jistou impedanci, která ovlivňuje i velikost vířivého proudu vznikající magnetickým polem cívky. Na tomto principu lze odvodit srdeční tep v souvislosti se změnami impedance těla. Vznik magnetického pole pomocí vířivých proudů lze vidět na Obr. 2.8. [26]



Obr. 2.8 Vznik magnetického a vířivého pole pomocí textilní indukčnostního senzoru (Převzato z [27]).

Bylo zpozorováno, že když se monitorovaná osoba nadechla, amplituda signálu srdečního tepu se zvýšila a při výdechu se amplituda snížila, čímž se zjistila korelace mezi velikostí signálu srdečního tepu a dechové frekvence. Tato korelace se potvrdila přidáním kompenzačního dechového signálu k původnímu signálu srdečního tepu, což způsobilo vznik čistého signálu srdečního tepu s menšími amplitudami. [26]

2.7 Odporové senzory

Odporové textilní senzory jsou zkonstruovány ve formě vláken z materiálu SilveR.STAT®, což jsou obecně postříbřená polyamidová vlákna. Díky této úpravě jsou vlákna vodivá a zároveň roztažitelná. Tento senzor je vpletený v hrudní části obvodu trička, což lze vidět na Obr. 2.9. Monitorování dechové frekvence se provádí pomocí změny elektrického odporu v souvislosti se změnou mechanického napětí senzoru. V moment, kdy se monitorovaná osoba nadýchne, senzor se napne a dojde ke zvýšení elektrického odporu. S výdechem se dostane senzor do své původní pozice a elektrický odpor se zmenší do původní hodnoty. [28]

Snímání změny odporu senzoru je možné pomocí multimetru, který je připojen na konce textilních senzorů pomocí vodivých stuh. [28]



Obr. 2.9 Senzor vpletený v textilii (Převzato z [28]).

3 Dostupné systémy pro monitorování dechové frekvence

Monitorování dechové frekvence je možné uskutečnit pomocí celé řady technik a přístrojů, které budou v následující kapitole vysvětleny. Téměř všechny přístroje, které měří dechovou frekvenci jsou využitelné pro monitorování i jiných životních funkcí pomocí dalších senzorů implementovaných v zařízení.

3.1 Konvenční metody měření dechové frekvence

V této kapitole jsou popsány nejčastější konvenční techniky snímání dechové frekvence, které budou v následujících kapitolách využívány ve formě smart nositelného zařízení.

3.1.1 Spirometrie

Spirometrie je metoda, při které se monitorují životní funkce pacienta spojené s dýcháním. Výstupní hodnoty spirometrického měření může být vitální kapacita plic, celková kapacita plic, nejvyšší objem průtoku plic nebo dechová frekvence za periodu času. [29]

Monitorování dechu pomocí spirometrie se provádí pomocí náustku, který je propojen tubicí se spirometrem [29]. Uvnitř turbínového spirometru je malá turbína, která se otáčí úměrně s dechovou frekvencí a objemem vydechovaného vzduchu [29], [30]. Další varianta spirometrického měření využívá ultrazvukový spirometr, ve kterém je zabudován ultrazvukový senzor, který měří průtok vzduchu. [29]

Po celý proces měření má monitorovaná osoba kolíček na nose, aby nedošlo k dýchání skrz nosní dutinu, což by mohlo ovlivnit výsledky měření. [29]

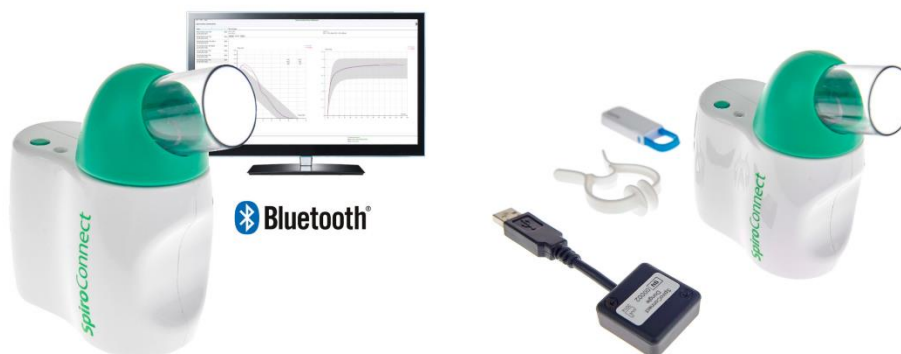
- SpiroConnect® PC Based Spirometer

Spiroconnect® je bezdrátový spirometr, který pomocí Bluetooth zasílá data o ukazatelech dechu pacienta do počítače nebo chytrého zařízení. Na Obr. 3.1 můžeme vidět samotný spirometr a usb flashdisk, který se připojí do počítače. Spirometr využívá kalibrované spirometrické turbíny, která zajišťuje velmi přesnou kalibraci při jakýchkoliv vnějších faktorech jako je vlhkost, teplota nebo tlak. Turbína v tomto spirometru je polohovaná vertikálně místo běžného horizontálního položení, což zapříčiňuje menší mechanický odpor při dýchání a díky tomu i zvýšenou přesnost měření. [31]

Cena produktu je uvedena v tabulce 3.1.

Tabulka 3.1 Cena spirometru Spiroconnect.

SpiroConnect® PC Based Spirometer	
Cena:	38772 Kč



Obr. 3.1 Spirometr a jeho periferie (Převzato z [31]).

- EasyOne Pro

Easy one Pro spirometr je přenosný spirometr, který využívá k měření průtoku vzduchu Calibration-free TrueFlow™ technologii. Ta zaručuje naprostou přesnost bez potřeby kalibrace zařízení, jelikož neobsahuje žádné pohybující se mechanické části. Zařízení i s měřicí jednotkou lze vidět na Obr. 3.2. Monitorování dechových ukazatelů je uskutečněno pomocí ultrazvukového senzoru, který měří rychlost vydechaného a vdechovaného vzduchu na základě času průchodu obousměrných ultrazvukových impulzů. Toto zařízení má vlastní software Easyone Connect, pomocí kterého lze posílat zaznamenaná data do počítače pomocí Wi-Fi. [32], [33]

Cena produktu není uvedena.



Obr. 3.2 EasyOne pro systém (Převzato z [33]).

3.1.2 Fotopletysmografie

Fotopletysmografie je vyšetření při kterém se monitoruje tok krve ve tkáních. Tok krve ve tkáních souvisí s činností srdce, ze které se dá velmi přesně odvodit dechová frekvence. Změny průtoku krve tkáněmi se měří pomocí LED (světlo emitující dioda) a fotodiody. Emitované světlo pomocí LED má vlnovou délku 600 až 700 nm, což je téměř jen červená část světelného spektra. Vlnová délka 600 až 700 nm se využívá z důvodu, že hemoglobin v této části světelného spektra rozptyluje světlo nejvíce. Po vyzáření světla fotodioda přijme světlo a pomocí měřicího přístroje zpracuje data a vzniká pletysmografická křivka. [30], [34]

3.1.3 Dechová indukční pletysmografie

Respiratory inductance plethysmography (RIP), neboli dechová indukční pletysmografie je metoda monitorování dechových funkcí pomocí elastických vodivých opasek umístěných na hrudní a břišní části pacienta. Vodivé opasky jsou vyrobeny z cívky navinuté na elastickém materiálu, do kterého je přiváděn střídavý elektrický proud. V okolí cívek se generuje magnetické pole, které prochází tělem monitorované osoby. Při dýchání se mění průměr těla a tím i impedance, což mění velikost magnetického pole, frekvence a indukčnost cívky. [35]–[37]

- Braebon Q-RIP

Braebon Q-RIP je elastický hrudní pás, který využívá technologie indukční pletysmografie pro snímání životních funkcí souvisejících s dechovým ústrojím pacienta. Lze ho vidět na Obr. 3.3. K hrudnímu pásu je třeba připojit elektronické zařízení, které hrudní pás napájí a zároveň monitoruje pohyb hrudníku. Tento pás je doporučen pro osoby s více než 15 kg váhy z důvodu minimálního napnutí pásu. [38]–[40]



Obr. 3.3 Braebon hrudní pás s elektronickým zařízením (Převzato z [40]).

3.1.4 Impedanční pneumografie

Impedanční pneumografie je neinvazivní technika pro měření dechové frekvence pacienta. Využívá k tomu elektrody, které se připevní na tělo a pouští se do nich malý proud o vysoké frekvenci. Data se získávají ze změny napětového gradientu mezi elektrodami připevněné na těle. Následná odvozená impedance koreluje se změnou dechovou frekvence. Impedanční pneumografie se využívá pro rozpoznání nemocí jako je astma, spánková apnoe, různé plicní nemoci a zároveň se využívá pro monitorování kapacity plic. [41]

3.2 Nositelné smart produkty pro snímání dechové frekvence

Snímání dechové frekvence pomocí nositelných produktů je na trhu z důvodu proveditelnosti mnohem více než smart textilních systémů, a proto jsou v této kapitole popsány další možnosti monitorování. Proveditelnost nositelných systémů oproti textilním je jednodušší, jelikož se nemusí brát do úvahy potřeba dobré mechanické odolnosti nebo voděodolnosti samotného senzoru. Jednotlivé systémy se liší vzhledem k využitelnosti v odvětví, a to ve sportu nebo zdravotnictví.

3.2.1 Sensium

Sensium je nalepovací senzor, který monitoruje srdeční tep, teplotu a dechovou frekvenci. Můžeme ho vidět na Obr. 3.4. Srdeční tep je v tomto senzoru měřen pomocí jednosvodného EKG senzoru, teplota pomocí teplotního senzoru a dechovou frekvenci pomocí impedanční pneumografie. Sensium monitoruje životní funkce nepřetržitě a při jakékoliv změně od běžných hodnot pošle varování personálu. [42], [43]

Cena produktu není uvedena.



Obr. 3.4 Sensium nalepovací senzor (Převzato z [43]).

3.2.2 Fitbit hodinky

Fitbit hodinky jsou zařízení, které monitorují celou řadu životních funkcí pomocí senzorů pro snímání teploty pokožky, srdečního tepu, saturaci krve nebo dechové frekvence. Hodinky jsou zobrazeny na Obr. 3.5. Dechová frekvence se u zařízení fitbit odvozuje pomocí senzoru pro snímání srdečního tepu, který využívá metody RSA (respirační sinusové arytmie). RSA pracuje na předpokladu, že se s výdechem u metody EKG zkracuje R-R interval a s nádechem se tento interval prodlužuje. Vyhodnocování dechové frekvence

pomocí fitbit hodinek je možné pouze při spánku delším než 3 hodiny, aby senzor dokázal zprůměrovat hodnoty R-R intervalů. Jednotlivé grafy životních funkcí lze najít přímo v hodinkách nebo v aplikaci na chytrém telefonu spojené s hodinkami. [44]–[46]

Cena produktu je uvedena v tabulce 3.2.

Tabulka 3.2 Cena produktu FitBit. [47]

Fitbit	
Cena:	4375Kč



Obr. 3.5 Fitbit hodinky (Převzato z [45]).

3.2.3 Produkty s technologií fotopletysmografie

V této podkapitole jsou dva produkty, které mají základ na technologii fotopletysmografie.

3.2.3.1 Whoop 4.0

Whoop je chytrý náramek, který má v sobě integrovaný senzor pro monitorování životních funkcí. Chytrý náramek je zobrazen na Obr. 3.6. Součástí senzoru jsou 4 fotodiody, které vyzařují světlo o vlnových délkách celého viditelného světla a k tomu infračerveného pro zachycení nejvíce možných metrik pro zlepšení přesnosti měření. Chytrý náramek monitoruje srdeční tep a dechovou frekvenci a odesílá data o změnách do aplikace chytrého telefonu. Dechová frekvence je v tomto náramku odvozena pomocí RSA. [48], [49]

Whoop chytrý náramek má vlastní software pomocí kterého vyhodnocuje v jak dobré fyzické kondici se momentálně monitorovaná osoba nachází. Indikátor fyzické kondice vychází z údajů o srdečním tepu, délky spánku a dechové frekvence. Metrika se rozděluje do 3 možných oblastí, které udává, v jaké kondici se sportovec nachází, což lze vidět na Obr. 3.7. [50]

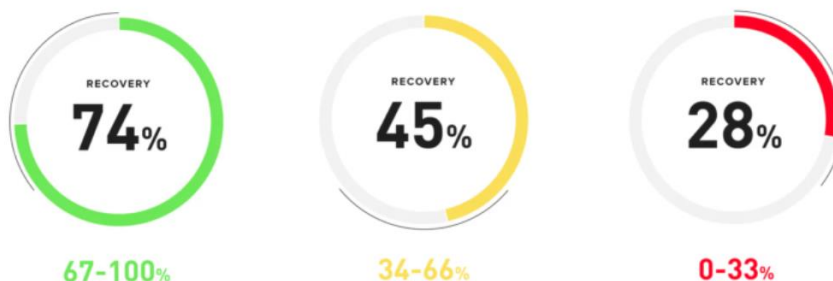
Cena produktu je uvedena v tabulce 3.3.

Tabulka 3.3 Cena produktu Whoop 4.0. [51]

Whoop 4.0	
Cena:	1197 Kč



Obr. 3.6 Whoop hodinky (Převzato z [48]).



Obr. 3.7 vyhodnocení fyzické kondice v procentech pomocí Whoop softwaru (Převzato z [50]).

3.2.3.2 Oura ring

Oura ring je chytrý prsten, který se zaměřuje hlavně na analyzování průběhu spánku uživatele a zároveň monitoruje celou řadu životních funkcí. Samotný prsten lze vidět na Obr. 3.8. Zobrazení naměřených dat je možné pomocí aplikace v chytrém telefonu. Prsten snímá data pomocí 3 senzorů implementovaných do prstenu. Jeden z nich je NTC (negative temperature coefficient) teplotní senzor, který snímá přímo teplotu kůže. Další je 3D akcelerometr, který zaznamenává aktivitu v průběhu dne nebo pohyb těla během spánku. [52]

Třetí senzor je fotopletysmografický senzor, který je určen k monitorování srdečního tepu a dechové frekvence. Oura ring využívá infračerveného světla, které poskytuje vyšší přesnost měření než u světél nižších vlnových délek, které se nedostane tak hluboko pod pokožku. Monitorování srdečního tepu a dechové frekvence probíhá jen ve spánku, jelikož jsou senzory velmi citlivé na pohyb. [52]

Cena produktu je uvedena v tabulce 3.4.

Tabulka 3.4 Cena produktu Oura ring [53]

Oura ring	
Cena:	7674 Kč



Obr. 3.8 Oura ring s implementovanými senzory (Převzato z [52]).

3.2.4 Equivital

Equivital je nositelné zařízení, které je vyrobeno ve formě hrudního opasku, což lze vidět na Obr. 3.9. Do samotného hrudního opasku je potřeba přidat SEM (senzorní elektronický modul). SEM je krabička s elektronickými prvky, která je potřebná

k funkčnosti opasku. Zároveň je důležitá pro možnost zpracování a posílání dat přes Bluetooth do počítače. Tento opasek má v sobě implementované kožní elektrody a tenzometrický senzor. Kožní elektrody v opasku monitorují EKG z čehož se pomocí metody RSA odvozuje dechová frekvence. Tenzometrický senzor měří změny mechanického napětí opasku, který se mění s dýcháním a změnou poloměru hrudníku. [54], [55]

Cena tohoto produktu není uvedena.



Obr. 3.9 Nahoře se nachází samotný hrudní opasek a pod ním je SEM, který se připojuje z levé strany opasku (Převzato z [54]).

3.2.5 Respa dechový senzor

Respa senzor je zařízení, které je vyrobeno ve formě připínací krabičky, což lze vidět na Obr. 3.10. Toto zařízení je určeno především pro sportovce, kteří využívají možnosti sledování dechových funkcí a dechové frekvence. Monitorování dechu funguje pomocí mikrofону, který zaznamenává výšky tonů produkované při dýchání. Veškeré data se dále posílají pomocí bluetooth do aplikace chytrého telefonu, ve kterém se data mohou analyzovat. [56], [57]

V Respa senzor aplikaci lze nastavit potřebnou dechovou frekvenci, kterou chce sportovec udržovat, čímž lze přibližně udržovat zátěž tréninku. Pokud sportovec překročí nastavenou dechovou frekvenci, senzor vyšle zvukový signál, který signalizuje přílišnou intenzitu tréninku. [56], [57]

Cena produktu je uvedena v tabulce 3.5.

Tabulka 3.5 Cena produktu Respa senzoru.[58]

Respa senzor	
Cena:	3969 Kč



Obr. 3.10 Respa senzor na bezdrátové dobíjecí stanici (Převzato z [57]).

3.2.6 Resmetrix systém

Společnost Resmetrix vyrobila neinvazivní senzor pro monitorování veškerých životních funkcí spojeného s dýchacím ústrojím. Jedná se o senzor, který se přilepí na pokožku, což je vidět na Obr. 3.11. V senzoru je naprogramován AI (Artificial intelligence) algoritmus, který vyhodnocuje veškeré ukazatele související s dechovým ústrojím pacienta a vyhodnocuje naměřené hodnoty. Při odchylce od běžného stavu dýchací frekvence pacienta senzor pošle upozornění na počítač nebo chytré zařízení. Díky pohodlnosti a kompaktnosti senzoru lze stav pacienta monitorovat nepřetržitě po celý den. [59], [60]

Využití tohoto senzoru je možné pro domácí užití a zároveň je využitelné v nemocnicích. V nemocničních zařízeních je využití tohoto bezdrátového senzoru výhodné, jelikož při vážném problému dostanou pracovníci nemocnice rychlou odezvu a může se tím předejít k vážnějším následkům. Toto zařízení se používá především pro pacienty s koronavirem, astmatem nebo pneumonií. [59], [60]

Cena tohoto produktu není uvedena.



Obr. 3.11 Senzor nalepený na monitorované osobě (Převzato z [60]).

3.2.7 RespiraSense

RespiraSense je nalepovací senzor, který využívá piezoelektrického jevu pro snímání změny dechové frekvence. Lze ho vidět na Obr. 3.12. Piezoelektrický jev pracuje způsobem, že se mění elektrické napětí materiálu na základě změny mechanického tlaku. Tento tlak se u senzoru mění s procesem dýchání a to tak, že se senzor napíná a smršťuje. Veškeré informace, které senzor snímá posílá pomocí Bluetooth do chytrého zařízení. Zároveň je RespiraSense napojený do vlastního systému RespiraSense Air, ve kterém se ukládají veškerá naměřená data o pacientovi, což mohou využít lékaři v nemocnicích. [61], [62]

Cena tohoto produktu není uvedena.



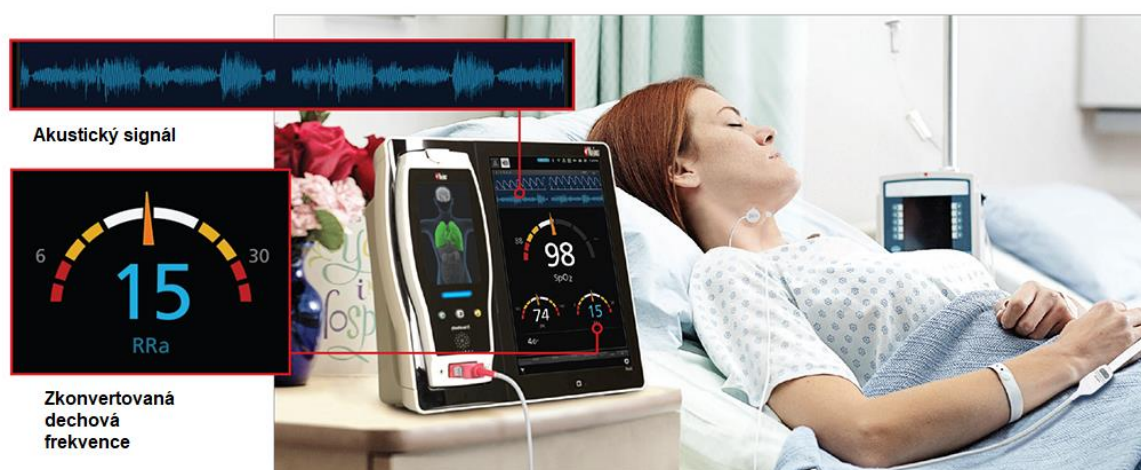
Obr. 3.12 Přilepovací RespiraSense senzor (Převzato z [62]).

3.2.8 Akustický senzor

Společnost Masimo vyvinula akustický senzor, který detekuje akustické signály vytvořené průchodem vzduchu skrz nosní dutinu. Senzor je přilepen na hrudi anebo na krku monitorované osoby což lze vidět na Obr. 3.13. [63]

Celý systém pracuje na změnách akustického signálu vydávaného pacientem při dýchání. Tento akustický signál zaznamená senzor a pomocí Masimo signal extraction algoritmu ho přemění na graf dechové frekvence. [63]

Firma vyvinula malý přilepovací senzor RAS-45 pro batolata, který se aplikuje na hrudní část těla, anebo pro dospělé s malým krkem nebo citlivou pokožkou. Druhý senzor RAS-125c je větší senzor, který se aplikuje na krk. [63]



Obr. 3.13 Monitorovací systém akustického senzoru (Převzato z [63]).

3.3 Smart textilní produkty pro snímání dechové frekvence

Smart textilní produkty pro měření dechové frekvence jsou textilní výrobky s implementovanými senzory pomocí kterých je možné snímat dechovou frekvenci nepřímým způsobem odvozením jiných životních funkcí, nebo pomocí senzorů, které přímo snímají změnu dechové frekvence.

3.3.1 Hexoskin

Hexoskin je chytré tričko, které je zaměřené na kontinuální monitorování životních funkcí. Tričko je vyrobeno ze 73 % z polyamidu a z 27 % z elastenu a jsou na něm implementovány 2 stahovatelné pásky jako na Obr. 3.14, což umožňuje nošení trička na jakémkoliv typu postavy. Hexoskin má v sobě implementovány senzory pro měření EKG a senzory pro měření dechových vlastností. [64], [65]

Pro monitorování dechové frekvence jsou v tričku implementovány dechové senzory pracující na metodě dechové indukční plethysmografie. Hexoskin monitoruje změny frekvence při dýchání a konvertuje je do hodnot dechové frekvence pomocí hexoskin algoritmu. Následně sečte data z hrudní a břišní části a odešle je do aplikace na chytré zařízení pomocí Bluetooth. [64], [65]

Cena trička hexoskin je uvedena v tabulce 3.6.

Tabulka 3.6 Cena produktu Hexoskin[64]

Hexoskin	
Cena:	4515Kč



Obr. 3.14 Tričko hexoskin (Převzato z [64]).

3.3.2 Athos

Athos je smart textilní tričko, které využívá technologie EMG (Elektromyografie), což je metoda, která pomocí jehlových elektrod zaznamenává pohyb a kontrakci svalů. V tričku, které je zobrazeno na Obr. 3.15, je metoda EMG využívána neinvazivně pomocí vodivých pogumovaných pásek, které jsou umístěny na místa jednotlivých svalů, ze kterých se odvozuje srdeční tep nebo dechová frekvence monitorované osoby. Aby byly výsledky měření co nejpřesnější, musí být tričko pevně upnuto na těle kvůli přilnutí vodivých pásek na kůži. [66], [67]

Cena trička athos je uvedena v tabulce 3.7.

Tabulka 3.7 Cena produktu Athos[66]

Athos	
Cena:	4515KČ



Obr. 3.15 Athos tričko (Převzato z [66]).

3.3.3 OMsignal podprsenka

Omsignal podprsenka je sportovní oblečení, které monitoruje srdeční tep a dechovou frekvenci. Chytrou podprsenku lze vidět na Obr. 3.16. Dechovou frekvenci podprsenka snímá podle rozpínání a smršťování hrudního koše. Veškerá data se zaznamenávají pomocí

elektronického zařízení (krabičky), které se přichycuje ze strany na podprsenku. Uložená data z průběhu cvičení se posílají pomocí Bluetooth na chytré zařízení. [68], [69]

OMsignal má vlastní algoritmus, který vyhodnocuje intenzitu tréninku na základě změny srdečního tepu a dechové frekvence. Elektronické zařízení má v sobě zabudovaný mikrofon, který dokáže vydávat audio signály, které sportovce informují o životních funkcích, intenzitě tréninku anebo jeho uběhnuté vzdálenosti. [68]

Cena produktu je uvedena v tabulce 3.8.

Tabulka 3.8 Cena produktu OMsignal podprsenky[70]

OMsignal podprsenka	
Cena:	3404Kč



Obr. 3.16 OMsignal podprsenka a elektronické zařízení (krabička) (Převzato z [68]).

3.3.4 Smartex WWS (nositelný wellness systém)

Smartex WWS je textilní vesta ve které jsou implementovány senzory pro snímání EKG, tepové frekvence, pohybu a dechové frekvence. Celý systém se skládá z textilní vesty a elektronického zařízení, které slouží pro zpracování dat. Tento systém je konstruován pro muže i dívky odlišně, což je vidět na Obr. 3.17. Samotná vesta je protkaná vodivými vlákny, které mění svůj elektrický odpor úměrně dechovou frekvencí. Dále jsou ve vestě našité elektrody, které slouží k měření EKG monitorované osoby a dále je ve vestě 3D akcelerometrický senzor kvůli snímání pohybu. Veškerá data ze senzorů se zpracovávají

pomocí elektronického zařízení, které následně může uložit do vyjímatelné microSD karty v zařízení nebo je může poslat pomocí Bluetooth do počítače nebo chytrého zařízení. Vesta se dá využít pro sportovce, pro zdravotní i domácí využití. [71]

Cena tohoto produktu není uvedena.



Obr. 3.17 Smartex textilní vesty pro muže a ženy (Převzato z [71]).

3.3.5 The Master Caution

The Master Caution je textilní vesta určena pro medicínské prostředí, která snímá EKG a dechovou frekvenci pacienta. Vestu můžeme vidět na Obr. 3.18. Ve vestě jsou implementovány textilní elektrody, které slouží ke snímání srdečních funkcí, ze kterých se dají pomocí metody RSA odvodit i dechová frekvence. Celý systém je založený ve formě telemedicíny, kdy lékař dostává nepřetržitý tok informací o stavu pacienta. Zároveň je v systému implementována umělá inteligence analyzující životní funkce, která při jejich změně od normálu upozorní lékaře. [72], [73]

Cena tohoto produktu není uvedena.



Obr. 3.18 Smart textilní vesta The Master Caution (Převzato z [72]).

3.3.6 Howdy Breath

Howdy breath je zařízení určené pro snímání dechových parametrů jako dechová frekvence a délka nádechů a výdechů. Celý Howdy breath systém se skládá z textilního hrudního opasku, ve kterém se nachází tenzometrické senzory a z elektronického zařízení (krabičky), která slouží pro měření a přenášení dat do aplikaci na chytrém zařízení, což lze vidět na Obr. 3.19. Zařízení Howdy breath využívá technologie telemedicíny, díky čemu může být monitorovaná osoba doma, přičemž lékaři mohou vidět průběžná data o dechových parametrech. [74], [75]

Cena tohoto produktu není uvedena.



Obr. 3.19 Howdy breath hrudní opasek a bílé elektronické zařízení (Převzato z [74]).

4 Porovnání technologií pro monitorování dechové frekvence

V této kapitole budou rozebrány výhody a nevýhody jednotlivých systémů. Budou zde rozebrány důvody, proč se jednotlivé systémy pro monitorování dechové frekvence využívají a jaký význam mají konvenční, nositelné a smart textilní produkty pro uživatele těchto systémů. Kritické body porovnání jednotlivých systémů se budou zakládat na využitelnosti, komfortu, kompaktnosti a pokročilosti technologie.

4.1 Konvenční systémy

Konvenční systémy pro monitorování dechové frekvence jsou téměř vždy základ pro rozvíjení dalších systémů, které se buď obměňují nebo inovují do pokročilejších systémů. Jsou to systémy, které jsou velmi přesné, co se týče naměřených výstupních dat, ale jsou nevýhodné v ohledu komfortu, kompaktnosti a ceny. Komfort a kompaktnost jsou dva klíčové faktory, které spolu úzce souvisí a jsou velmi důležité jak pro pacienty nosící tyto systémy, tak i pro lékařský personál. Osoba využívající konvenční nepřenositelný systém pro snímání dechové frekvence je nucena ležet v medicínském zařízení k měření potřebných dat, což znemožňuje člověku dělat každodenní činnosti. Zároveň ošetřující personál musí být konstantně v nemocnici, aby mohli sledovat pacienty a zjišťovat údaje o jejich životních funkcích. Faktor vyšší ceny konvenčních produktů je opodstatněný vyšší přesností naměřených ukazatelů a komplexnější metodice měření.

Další z faktorů je nemožnost využití konvenčních produktů ke sportu, ve kterém se za poslední dobu rozrostla poptávka po nositelných zařízeních, které snímají uběhlou vzdálenost, činnost srdce nebo dechové funkce.

4.2 Nositelné systémy

Nositelné systémy pro měření dechové frekvence jsou velmi žádanými produkty, jelikož jsou oproti konvenčním nebo smart textilním produktům řádově levnější, což je jejich velká výhoda na trhu. Využitelnost těchto produktů je v medicínském i sportovním sektoru velmi běžná. V medicínském sektoru se nositelné systémy využívají především díky možnosti nepřetržitého sledování životních funkcí a následné okamžité odezvy na změnu stavu pacienta od běžných hodnot. Telemedicína těchto systémů je velická výhoda, která prokazatelně zachránila nepřeberné množství životů pacientů.

Ve sportu je využití nositelných systémů velkým pokrokem ke zlepšování výsledků na základě analýzy životních funkcí sportovce. Již zmíněná cena, poptávka a s tím

související dostupnost těchto produktů je hlavním faktorem pro vývoj dalších nositelných systémů pro sportovní sektor.

Důležitá vlastnost těchto nositelných zařízení je také software, který firmy mohou aktualizovat, a vylepšovat tím možnosti daného produktu. Pomocí těchto aktualizací se může předejít nedostatkům, které firma zpočátku výroby produktů neviděla, což může prodloužit životnost systému.

Neméně důležitá je možnost monitorování dechové frekvence při spánku u batolat nebo rizikových jedinců v pohodlí domova.

Nevýhoda těchto produktů je menší přesnost, kterou tyto výrobky trpí z důvodu kompaktnosti a potřeby zjednodušení technologie, aby se vešla například do malé krabičky o velikosti hodinek. Jelikož jsou produkty určené z větší části pro komerční využití, jsou v nich velmi často implementovány další senzory, které slouží nejen k monitorování dechové frekvence, ale i dalších životních funkcí jako EKG, srdeční tep, tlak nebo teplota.

4.3 Smart textilní systémy

Smart textilní systémy pro měření dechové frekvence mají stejný funkční účel jako konvenční nebo nositelné systémy, ale mají oproti zmíněným systémům řadu výhod, které jsou technicky proveditelné pouze u textilních výrobků. Jelikož jsou smart textilní systémy vyrobeny ve formě oděvu na horní část těla, lze do nich implementovat senzory, které mohou sledovat rozpínání a smršťování břicha nebo hrudního koše při procesu dýchání. Právě díky možnosti přímého monitorování hrudního koše je měření počtů dechů za minutu velmi přesné na rozdíl od jiných nositelných systémů, které dechovou frekvenci odvozují na základě korelace s jinými životními funkcemi. Zároveň jsou tyto oděvy velmi komfortní k nošení oproti nositelným systémům, které mohou zanechávat otláčená místa.

Využití smart textilních výrobků je možné v sektoru zdravotním, sportovním, ale také v prostředí designového umění. Použití smart textilních výrobků ve zdravotnictví je velmi užitečné, jelikož produkty monitorují životní funkce nepřetržitě s vysokou přesností pomocí oblečení, na které je člověk zvyklý bez jakéhokoli omezení v běžném životě. Ve sportu je využití obdobné jako u nositelných zařízení zmíněné v předešlé kapitole, ale mohou být využité například při sportovních zápasech ve kterých není povoleno nosit na ruku jakékoli náramky. V oboru designového umění je využití smart textilu také hojně zastoupené, a to především ve formě svítícího oděvu nebo ve formě již zmíněných „chameleonních“ textilií.

Velkou výzvou pro smart textilie je možnost opakovatelné pratelnosti. Smart textilní výrobky, které nejsou odolné vůči opakovanému mechanickému, chemickému a tepelnému namáhání, kterým jsou během pracích cyklů vystaveny, nejsou žádány a jsou velmi nepraktické, jelikož by se z nich staly výrobky pouze na jedno použití.

Ohledně ceny se smart textilní produkty dají zařadit doprostřed mezi nejdražší konvenční přístroje a nejlevnější nositelné výrobky. Cena je průměrně vyšší než u nositelných zařízení, jelikož systémy pro monitorování životních funkcí jsou komplexnější a technologicky se více blíží k metodám konvenčním.

4.4 Zhodnocení implementovaných systémů v nositelných produktech

V tabulce 4.1 jsou popsány výhody a nevýhody veškerých uvedených systémů k monitorování dechové frekvence.

Tabulka 4.1 Porovnání jednotlivých technologií snímání dechové frekvence implementované do nositelných produktů

Systémy měření dechové frekvence implementované v nositelných zařízeních		
Nositelný systém	Výhody	Nevýhody
Spirometrie	Jednoduchost, přenositelnost, snímání více ukazatelů	Nepohodlnost, neslouží k nepřetržitému měření
Fotopletysmografie	Komplexnost senzoru, přesnost	Složitější výroba, pouze odvození z jiných ukazatelů
Dechová indukční pletysmografie	Přesnost měření, komfort	Dražší na výrobu
Impedanční pneumografie	Přesnost měření	Složitost kvůli elektrodám, nepohodlnost
Respirační sinusová arytmie	Jednoduchost, zároveň snímá činnost srdce	Pouze odvození, nepřesnost
Piezoelektrický jev	Přesnost měření, komfort	Složitost výroby
Akustický senzor	Přesnost měření při klidovém režimu	Nepohodlnost, nepřesnost při akustickém rušení
Elektromyografie	Přesnost měření	Závislost na kontrakcích svalů
Změna odporu vláken	Přesnost měření, komfort	Kalibrace zařízení
Tenzometrický senzor	Přesnost měření, komfort	Kalibrace zařízení

Jednotlivé systémy jsou velmi odlišné, co se týče technologie, ale také v ohledu implementace do textilu. Systémy, které pracují s mechanickým namáháním jsou obecně nejjednodušší na implementaci do textilu, jelikož přímo kopírují strukturu oděvu a nenarušují změnu jeho pohodlnosti. Další systémy pracující na technologii snímačů jsou obecně složitější na implementaci do textilu z důvodu lokalizace na určité části těla. Například akustický senzor, který snímá proud vydechovaného dechu nemůže být umístěn na jiné části těla než na krku nebo hrudníku, což je další překážka v pohodlnosti. Dalším příkladem může být fotopletysmografie, která musí mít diody umístěny na části těla, aby byl systém co nejpřesnější a zároveň výroba textilních mikro optoelektronických zařízení je velmi složitá disciplína. Zcela mimo tabulky vybočuje spirometrie, která sice vykazuje nejpřesnější výsledky v monitorování dechové frekvence, ale nemůže být zkonstruována do formy textilu z důvodu samotné technologie a postupu měření.

Zhodnocení a závěr

Cílem předložené bakalářské práce bylo nastudovat problematiku textilních senzorů pro monitorování dechové frekvence. Dále byla práce zaměřena na nastudování technologií smart textilií, zmapování dostupných systémů a jejich následné porovnání.

Smart textilie jsou druhem technologie, která využívá textilních elektronických prvků implementovaných do oděvu. Jeden z hlavních směrů vývoje smart textilních produktů se zabývá monitorováním fyziologických parametrů, a to buď v medicínském sektoru nebo v sektoru kde jsou osoby vystaveny extrémním podmínkám jako jsou hasiči, záchranáři a policie.

Pro textilní senzory monitorující dechovou frekvenci je důležitý výzkum a testování, bez kterého by se senzory nemohly inovovat a realizovat. Zmíněné textilní senzory monitorují dechovou frekvenci pomocí celé řady možných způsobů. Senzory mohou snímat změnu dechové frekvence přímým měřením, a to změnou výšky hrudníku, což souvisí s procesem dýchání osoby. Nepřímo mohou textilní senzory monitorovat dechovou frekvenci pomocí odvození jiných životních funkcí.

Trh dostupných systémů pro monitorování dechové frekvence je v této práci rozdělen do tří hlavních podskupin, a to do konvenčních, nositelných a smart textilních. Důvod vzniků nositelných a smart textilních výrobků je především komfort, kompaktnost, dlouhodobé monitorování a cena. Konvenční způsob monitorování je pro dnešní uspěchanou dobu velký diskomfort, což je hlavní myšlenka posunu technologií pro monitorování dechové frekvence v medicínském oboru. Další skupinou na trhu jsou firmy, které se zaměřují na sportovní využití systémů. Tyto firmy jdou především po stránce komfortu, což klasické konvenční systémy nemohou nabídnout. Jelikož jsou firmy zaměřené na kvantitativní výrobu, nejsou schopné vyrábět přesné přístroje, které by mohli být využitelné ve zdravotnickém sektoru, což kompenzují nízkou cenou a příjemným uživatelským rozhraním.

Čtvrtá a poslední část práce se zaměřila na porovnání systémů a technologií, které byly využity v produktech představených na trhu. Z průzkumu trhu lze usoudit, že v momentálním stavu technologií najdou využití konvenční, nositelné i smart textilní výrobky. Důvodem jsou výhody jednotlivých systémů pro konkrétní účel. Konvenční systémy mají extrémně přesné měření, nositelné systémy jsou příznivé cenou i dostupností a smart textilní výrobky jsou přesné, pohodlné a cenově méně náročné než výroba konvenčních systémů.

Ze studií a průzkumu trhu lze konstatovat, že ačkoliv je technologie integrace textilních senzorů do oděvu z pohledu technologické úrovně světa 21. století spíše v rané fázi vývoje, došlo za poslední dekády k markantnímu pokroku, který vede k využití textilních senzorů jako běžnou součástí našich životů.

Literatura

- [1] V. Koncar, "Introduction to smart textiles and their applications," *Smart Textiles and Their Applications*, pp. 1–8, Jan. 2016, doi: 10.1016/B978-0-08-100574-3.00001-1.
- [2] H. Ramlow, K. L. Andrade, and A. P. S. Immich, "Smart textiles: an overview of recent progress on chromic textiles," *Journal of the Textile Institute*, vol. 112, no. 1. Taylor and Francis Ltd., pp. 152–171, 2021. doi: 10.1080/00405000.2020.1785071.
- [3] Z. Rasmin Thahani, "Textiles Are Intelligent Textile Structure That Can Sense And React To Environmental Stimuli, Which May Be Mechanical, Thermal, Chemical, Biological, And Magnetic Among Others. Research And Development Towards Wearable Textile-Based Personal Systems Allowing E.G. Health Monitoring." [Online]. Available: <http://journal.hmjournals.com/index.php/IJASM>
- [4] Jaroslava Kočárková, "Online zpravodaj technické univerzity v Liberci," May 27, 2014.
- [5] A. Ferri, M. R. Plutino, and G. Rosace, "Recent trends in smart textiles: Wearable sensors and drug release systems," in *AIP Conference Proceedings*, Aug. 2019, vol. 2145. doi: 10.1063/1.5123575.
- [6] M. S. Sarif Ullah Patwary, "Smart Textiles and Nano-Technology: A General Overview," *Journal of Textile Science & Engineering*, vol. 05, no. 01, 2015, doi: 10.4172/2165-8064.1000181.
- [7] K. Cherenack and L. van Pieterse, "Smart textiles: Challenges and opportunities," *Journal of Applied Physics*, vol. 112, no. 9. Nov. 01, 2012. doi: 10.1063/1.4742728.
- [8] B. K. Park, D. Kim, S. Jeong, J. Moon, and J. S. Kim, "Direct writing of copper conductive patterns by ink-jet printing," *Thin Solid Films*, vol. 515, no. 19 SPEC. ISS., pp. 7706–7711, Jul. 2007, doi: 10.1016/j.tsf.2006.11.142.
- [9] V. Mecnika, M. Hoerr, I. Krievins, S. Jockenhoewel, and T. Gries, "Technical Embroidery for Smart Textiles: Review," *Materials Science. Textile and Clothing Technology*, vol. 9, p. 56, Mar. 2015, doi: 10.7250/mstct.2014.009.
- [10] V. Plic, "Testování parametrů sítotiskových past pro textilní substráty," 2017.
- [11] V. Mečņika, M. Hoerr, I. Krievņš, A. Drscing, and A. Schwarz, "Smart textiles for healthcare: applications and technologies," 2014.
- [12] *ESTC: proceedings of the 5th Electronics System-integration Technology Conference: 16-18 September 2014.*

-
- [13] T. Elfaramawy, C. L. Fall, S. Arab, M. Morissette, F. Lellouche, and B. Gosselin, "A Wireless Respiratory Monitoring System Using a Wearable Patch Sensor Network," *IEEE Sensors Journal*, vol. 19, no. 2, pp. 650–657, Jan. 2019, doi: 10.1109/JSEN.2018.2877617.
- [14] C. Massaroni *et al.*, "Smart textile based on piezoresistive sensing elements for respiratory monitoring," *IEEE Sensors Journal*, vol. 19, no. 17, pp. 7718–7725, Sep. 2019, doi: 10.1109/JSEN.2019.2917617.
- [15] T. Dinh, T. Nguyen, H. P. Phan, N. T. Nguyen, D. V. Dao, and J. Bell, "Stretchable respiration sensors: Advanced designs and multifunctional platforms for wearable physiological monitoring," *Biosensors and Bioelectronics*, vol. 166. Elsevier Ltd, Oct. 15, 2020. doi: 10.1016/j.bios.2020.112460.
- [16] S. D. Min, Y. Yun, and H. Shin, "Simplified structural textile respiration sensor based on capacitive pressure sensing method," *IEEE Sensors Journal*, vol. 14, no. 9, pp. 3245–3251, 2014, doi: 10.1109/JSEN.2014.2327991.
- [17] C. R. Merritt, H. T. Nagle, and E. Grant, "Textile-based capacitive sensors for respiration monitoring," *IEEE Sensors Journal*, vol. 9, no. 1, pp. 71–78, Jan. 2009, doi: 10.1109/JSEN.2008.2010356.
- [18] J. de Jonckheere *et al.*, "FBG-based smart textiles for continuous monitoring of respiratory movements for healthcare applications," in *12th IEEE International Conference on e-Health Networking, Application and Services, Healthcom 2010*, 2010, pp. 277–282. doi: 10.1109/HEALTH.2010.5556557.
- [19] C. Massaroni *et al.*, "Design and Feasibility Assessment of a Magnetic Resonance-Compatible Smart Textile Based on Fiber Bragg Grating Sensors for Respiratory Monitoring," *IEEE Sensors Journal*, vol. 16, no. 22, pp. 8103–8110, Nov. 2016, doi: 10.1109/JSEN.2016.2606487.
- [20] C. Massaroni *et al.*, "Smart textile based on piezoresistive sensing elements for respiratory monitoring," *IEEE Sensors Journal*, vol. 19, no. 17, pp. 7718–7725, Sep. 2019, doi: 10.1109/JSEN.2019.2917617.
- [21] R. K. Raji, X. Miao, A. Wan, L. Niu, Y. Li, and A. Boakye, "Knitted piezoresistive smart chest band and its application for respiration patterns assessment," *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, vol. 14, Aug. 2019, doi: 10.1177/1558925019868474.
- [22] N. N. Lepine, T. Tajima, T. Ogasawara, R. Kasahara, and H. Koizumi, "Robust respiration rate estimation using adaptive Kalman filtering with textile ECG sensor

- and accelerometer,” in *Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, EMBS*, Oct. 2016, vol. 2016-October, pp. 3797–3800. doi: 10.1109/EMBC.2016.7591555.
- [23] A. Bates, M. J. Ling, J. Mann, and D. K. Arvind, “Respiratory rate and flow waveform estimation from tri-axial accelerometer data,” in *2010 International Conference on Body Sensor Networks, BSN 2010*, 2010, pp. 144–150. doi: 10.1109/BSN.2010.50.
- [24] E. J. de Geus, G. H. Willemsenb, C. HAM Klaver, and L. J. van Doornen, “Ambulatory measurement of respiratory sinus arrhythmia and respiration rate,” 1995.
- [25] L. Ma *et al.*, “Full-Textile Wireless Flexible Humidity Sensor for Human Physiological Monitoring,” *Advanced Functional Materials*, vol. 29, no. 43, Oct. 2019, doi: 10.1002/adfm.201904549.
- [26] H. R. Koo *et al.*, “The effect of textile-based inductive coil sensor positions for heart rate monitoring,” *Journal of Medical Systems*, vol. 38, no. 2, 2014, doi: 10.1007/s10916-013-0002-0.
- [27] “MouckovaBP.”
https://dspace5.zcu.cz/bitstream/11025/27821/1/BP_Katerina_Mouckova.pdf
(accessed May 24, 2022).
- [28] K. Mouckova, K. Sima, and R. Soukup, “System for Respiratory Rate Monitoring Integrated in Textiles,” in *Proceedings of the International Spring Seminar on Electronics Technology*, May 2020, vol. 2020-May. doi: 10.1109/ISSE49702.2020.9120881.
- [29] Barbora Košňarová, “Spirometrie.” <https://zdravi.euro.cz/leky/spirometrie-prubeh-hodnoty/> (accessed Apr. 10, 2022).
- [30] A. Kamal, J. Harness, G. Irving, and A. Mearns, “Section II. Systems and programs Skin t hotoolethvsmo raohv-a review,” 1989.
- [31] “Spiroconnect”, Accessed: Apr. 10, 2022. [Online]. Available: <https://www.numed.co.uk/products/spiroconnect-pc-based-spirometer>
- [32] D. P. Johns, J. A. Walters, R. Wood-baker, and J. Walls, “Stability of the EasyOne ultrasonic spirometer for use in general practice,” 2006.
- [33] “Easyone.” <https://nddmed.com/products/complete-pft/easyone-pro> (accessed May 08, 2022).

- [34] A. A. Alian and K. H. Shelley, "Photoplethysmography," *Best Practice and Research: Clinical Anaesthesiology*, vol. 28, no. 4. Bailliere Tindall Ltd, pp. 395–406, 2014. doi: 10.1016/j.bpa.2014.08.006.
- [35] Y. Retory, P. Niedzialkowski, C. de Picciotto, M. Bonay, and M. Petitjean, "New respiratory inductive plethysmography (RIP) method for evaluating ventilatory adaptation during mild physical activities," *PLoS ONE*, vol. 11, no. 3, Mar. 2016, doi: 10.1371/journal.pone.0151983.
- [36] "RIP." https://studyres.com/doc/13111628/respiratory-inductance-plethysmography-an-introduction?fbclid=IwAR0LnL9_CbznXsUXS-06q3B-EKUQONrJDmGT_xHyhgq2yOabA58E4ERPvEc (accessed Apr. 10, 2022).
- [37] Z. Zhang, J. Zheng, H. Wu, W. Wang, B. Wang, and H. Liu, "Development of a respiratory inductive plethysmography module supporting multiple sensors for wearable systems," *Sensors (Switzerland)*, vol. 12, no. 10, pp. 13167–13184, Oct. 2012, doi: 10.3390/s121013167.
- [38] "Braebon1." <https://www2.braebon.com/support/faq> (accessed May 08, 2022).
- [39] "BraeboneBelt." <https://www.mvapmed.com/braebon-q-rip-belt.html> (accessed May 08, 2022).
- [40] "BraeboneProduct." <https://old.braebon.com/products/sensors/effort.php> (accessed May 08, 2022).
- [41] S. Ansari, K. R. Ward, and K. Najarian, "Motion Artifact Suppression in Impedance Pneumography Signal for Portable Monitoring of Respiration: An Adaptive Approach," *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, vol. 21, no. 2, pp. 387–398, Mar. 2017, doi: 10.1109/JBHI.2016.2524646.
- [42] "SensiumUK."
- [43] "SensiumPatch." <https://www.cardiac-devices.com/sensium-patch/> (accessed May 08, 2022).
- [44] "FitbitMonitoring." https://help.fitbit.com/articles/en_US/Help_article/2463.htm (accessed Apr. 10, 2022).
- [45] "FitbitRR." <https://help.elitehrv.com/article/67-what-are-r-r-intervals> (accessed Apr. 10, 2022).
- [46] F. Yasuma and J. I. Hayano, "Respiratory Sinus Arrhythmia: Why Does the Heartbeat Synchronize with Respiratory Rhythm?," *Chest*, vol. 125, no. 2, pp. 683–690, 2004, doi: 10.1378/chest.125.2.683.

-
- [47] “FitBitPrice.” <https://www.fitbit.com/global/eu/products trackers> (accessed Apr. 19, 2022).
- [48] “Whoopinfo.” <https://www.whoop.com/thelocker/whoop-4-0-vs-3-0-whats-new/> (accessed Apr. 10, 2022).
- [49] “RSAWhoop.” <https://www.whoop.com/thelocker/what-is-respiratory-rate-normal/> (accessed Apr. 10, 2022).
- [50] “WhoopPercentage.” <https://www.whoop.com/thelocker/how-does-whoop-recovery-work-101/> (accessed Apr. 10, 2022).
- [51] “WhoopPrice.” <https://shop.whoop.com/products/germany-superknit-band-4-0/?variant=39682395734114> (accessed Apr. 19, 2022).
- [52] “Oura ring.” <https://ouraring.com/blog/ring-technology/> (accessed Apr. 10, 2022).
- [53] “OuraRingPrice.” <https://ouraring.com/product/heritage-silver> (accessed Apr. 19, 2022).
- [54] “EquiVital.” <https://www.adinstruments.com/blog/how-use-equivital-wireless-physiological-monitoring-system> (accessed Apr. 10, 2022).
- [55] M. Villarroel, J. Jorge, D. Meredith, S. Sutherland, C. Pugh, and L. Tarassenko, “Non-contact vital-sign monitoring of patients undergoing haemodialysis treatment,” *Scientific Reports*, vol. 10, no. 1, Dec. 2020, doi: 10.1038/s41598-020-75152-z.
- [56] “RespaOfficial.” <https://www.indiegogo.com/projects/respa-world-s-1st-breathing-sensor-for-fitness#/> (accessed Apr. 10, 2022).
- [57] “RespaWearable.” <https://newatlas.com/respa-breathing-coach-wearable/54718/> (accessed Apr. 10, 2022).
- [58] “RespaPrice.” <https://www.zansors.com/resपालonghaulers> (accessed Apr. 19, 2022).
- [59] “ResmterixRespiratoryDiseases.” <https://vandyucenter.com/wearable-monitor-for-people-with-chronic-respiratory-diseases/> (accessed Apr. 10, 2022).
- [60] “ResmetrixPage.” <http://www.resmetrix-medical.com/> (accessed Apr. 10, 2022).
- [61] B. Bera and M. das Sarkar, “Piezoelectric Effect, Piezotronics and Piezophototronics: A Review,” *Imperial Journal of Interdisciplinary Research (IJIR)*, vol. 2, no. 11, 2016.
- [62] “RespiraSense.”
- [63] “Masimo.” <https://www.masimo.com/technology/ventilation-and-respiration/rra/> (accessed Apr. 10, 2022).
- [64] “HexoskinShirt.” <https://www.hexoskin.com/collections/all/products/hexoskin-pro-kit-mens> (accessed Apr. 10, 2022).

-
- [65] “HexoskinSensors.” <https://hexoskin.zendesk.com/hc/en-us/articles/360001571693-Hexoskin-breathing-sensors> (accessed Apr. 10, 2022).
- [66] “AthosPriceAndTech.” <https://www.si.com/edge/2015/06/15/athos-smart-apparel-fitness-tracking-gear> (accessed Apr. 19, 2022).
- [67] “AthosTech.” <https://bustedwallet.com/athos-wearable-fitness-technology/> (accessed Apr. 19, 2022).
- [68] “OMbra tech.” <https://www.wareable.com/smart-clothing/omsignal-smartbra-unveiled-ces-2104> (accessed Apr. 19, 2022).
- [69] “OMbraTech.” <https://www.wareable.com/sport/omsignal-ombra-review> (accessed Apr. 19, 2022).
- [70] “OMbraPriceAndTech.” <https://www.businessinsider.com/smart-bra-omsignal-photos-2016-1#the-smart-bra-like-the-ralph-lauren-smart-shirt-has-flexible-sensors-woven-into-it-and-a-smart-box-attached-to-measure-your-biometrics-1> (accessed Apr. 19, 2022).
- [71] “Smartex.” <https://www.smartex.it/en/our-products/232-wearable-wellness-system-wws> (accessed Apr. 19, 2022).
- [72] “MasterCauGeneral.” <https://healthwatchtech.com/mastercaution/> (accessed Apr. 19, 2022).
- [73] “MasterCauTech1.” <https://healthwatchtech.com/mastercaution-device-fda-cleared-for-12-lead-ecg-and-vital-sign-telemonitoring/> (accessed Apr. 19, 2022).
- [74] “HowdyPDF.” <https://comftech.com/wp-content/uploads/2021/06/BROCHURE-HOWDY-BREATH-web-EN-rev1.pdf> (accessed Apr. 19, 2022).
- [75] “HowdyBreath.” <https://comftech.com/en/project/howdy-breath-2/> (accessed Apr. 19, 2022).

Přílohy