



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**  

---

**FAKULTA BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ**  
**Katedra biomedicínské techniky**

**Možnosti využití wearables u pacientů  
s poruchami spánku**

**Possible ways of using wearables for patients  
suffering from sleep disorders**

Diplomová práce

Studijní program: Biomedicínská a klinická technika  
Studijní obor: Systémová integrace procesů ve zdravotnictví  
Autor diplomové práce: Bc. Anna Křížová  
Vedoucí diplomové práce: Ing. Vít Přindiš  
Konzultant DP: MUDr. Kateřina Seltenreichová

---

**Kladno 2018**

Katedra biomedicínské techniky

Akademický rok: 2017/2018

## Z a d á n í   d i p l o m o v é   p r á c e

Student: **Bc. Anna Křížová**  
Studijní obor: Systémová integrace procesů ve zdravotnictví  
Téma: **Možnosti využití wearables u pacientů s poruchami spánku**  
Téma anglicky: Possible ways of using wearables for patients suffering from sleep disorders

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


Cílem diplomové práce je klinicko-ekonomické vyhodnocení využití wearables u spánkových poruch z pohledu zdravotnického zařízení. Analyzujte současný stav problematiky v České republice a ve světě. Na základě analýzy odborných publikací vydefinujte kritéria klinické efektivity se zaměřením na vybrané onemocnění a následně vyhodnoťte klinickou efektivitu vybraných zařízení pomocí posbíraných dat z klinického měření. Proveďte porovnání jednotlivých zařízení s konvenčně používanou polysomnografií pomocí multikriteriálního rozhodování. V rámci zvolené nákladové analýzy (například CEA) porovnejte využití wearables s běžně používanou polysomnografií ve spánkových laboratořích.

### Seznam odborné literatury:

- [1] Goddman, C.S., HTA 101 - Introduction to health technology assessment, Virginia USA, 2004
- [2] Brent, R.J., Cost-benefit Analysis and Health Care Evaluations, ed. -, Edward Elgar Publishing, USA, 2003, ISBN 1 84064 844 9

Vedoucí: Ing. Vít Přindiš  
Konzultant: MUDr. Kateřina Seltenreichová (Nemocnice Na Homolce)

Zadání platné do: 20.09.2019

  
.....  
vedoucí katedry / pracoviště

  
.....  
děkan

V Kladně dne 14.05.2018

## **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem „Možnosti využití wearables u pacientů s poruchami spánku“ vypracovala samostatně a použila k tomu úplný výčet citací použitých pramenů, které uvádím v seznamu přiloženém k diplomové práci.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů.

V Kladně 18.5.2018

.....

Bc. Anna Křížová

## **PODĚKOVÁNÍ**

Na tomto místě bych ráda poděkovala všem, kteří mi pomáhali s mojí diplomovou prací a psychicky mě podporovali. Díky patří mému vedoucímu práce, panu Ing. Vítu Přindišovi, za jeho vedení a vstřícnost při konzultacích. Dále paní MUDr. Kateřině Seltenreichové za užitečné konzultace a poskytnutí cenných materiálů, bez kterých by nebylo možné tuto práci napsat. Poděkovat bych chtěla také i své rodině, a především svému příteli za veškerou podporu, kterou mi poskytli nejen při psaní diplomové práce.

## **ABSTRAKT**

### **Možnosti využití wearables u pacientů s poruchami spánku**

**Cíle studie:** Práce se zabývá monitoringem spánku pomocí nositelných zařízení. Cílem diplomové práce je klinicko-ekonomické vyhodnocení využití wearables oproti dosud používanému standardu ve spánkových laboratořích (PSG).

**Metody:** Pro stanovení klinického efektu obou technologií byla zvolena metoda multikriteriálního rozhodování. Efekty byly ohodnoceny odbornou skupinou pomocí Saatyho metody. Náklady na léčbu byly převzaty z interních zdrojů Nemocnice Na Homolce (náklady na polysomnografii) a z rešerše internetových zdrojů (náklady na wearables). Nákladová efektivita byla stanovena pomocí analýzy nákladové efektivity (CEA) z pohledu zdravotnického zařízení.

**Výsledky:** Klinický efekt vyšel lépe pro polysomnografické vyšetření při jeho hodnotě 0,42664 oproti nositelnému zařízení Fitbit s hodnotou 0,39350. Avšak nákladová efektivita stanovená pomocí metody CEA byla příznivější pro nositelné zařízení, jehož náklady na 1 vyšetření vyšly 1,8krát (pro vyšetření ve zdravotnickém zařízení) až 14krát (v případě vyšetření v domácím prostředí) výhodněji. Výsledné hodnoty pro CEA byly u PSG 12 305,46 Kč/efekt a pro nositelné zařízení Fitbit 946,82 Kč/efekt u vyšetření v domácím prostředí a 7 223,90 Kč/efekt u vyšetření ve zdravotnickém zařízení.

**Závěr:** Dle klinického efektu stanoveného metodou TOPSIS je lepší z hlediska výsledného efektu vyšetření PSG, avšak nákladová efektivita vyšetření spánku vyšla efektivněji pro nositelné zařízení. Výsledky této diplomové práce ukazují, že náklady na vyšetření ve zdravotnickém zařízení jsou daleko vyšší než v domácím prostředí, proto by bylo výhodnější provádět kontrolní vyšetření v domácím prostředí.

### **Klíčová slova**

Nositelná zařízení, spánek, lékařské technologie, nositelné technologie, polysomnografie, multikriteriální rozhodování, analýza nákladové efektivity.

# ABSTRACT

## Possible ways of using wearables for patients suffering from sleep disorders

**Goal of the Thesis:** The aim of this thesis is to describe the monitoring of sleep quality by wearable technologies. The goal of the thesis is clinical and economical evaluation of usage of wearables instead of currently used standard in sleep laboratories (PSG).

**Methodology:** To set up the clinical effect of both technologies the methodology of multicriteria decision making was chosen. The effects were evaluated by the group of experts in coresponsive fields by Saaty method. The costs for the cure were taken from internal resources of the hospital Na Homolce (costs of PSG) and from internet resources (costs of wearables). The cost effectivity was checked by cost effectiveness analyses (CEA) from the point of view of the medical facility.

**Results:** The clinical effect results were better for PSG examination in value of 0,42664 against the fitbit wearable device in value of 0,39350. The cost effectivity set up by CEA method was more convenient for wearable device which cost per 1 examination were 1,8 times (in medical facility) and up to 14 times (in case of at home examination) better. The end results for CEA were by PSG 12 305,46 Kč/effect and for Fitbit wearable device 946,83 Kč/effect in domestic use and 7 223,90 Kč/effect in the examination in medical facility.

**Conclusion:** According to the clinical effect set up by method TOPSIS is better results were reached in the examination of standard PSG, the cost effectivity in sleep examination was on the side of wearable devices. The results of this thesis shows that the costs per examination in medical facility are significantly higher then the cost in domestical use. Thats why it would be more efective to conduct the examination in domestical use.

## Keywords

Wearables, sleep, medical technology, wearable technology, polysomnography, multi-criteria decision making, cost effectiveness analysis.

# Obsah

Seznam symbolů a zkratek.....	8
Úvod .....	10
<b>1 Teoretický úvod do problematiky .....</b>	<b>11</b>
1.1 Wearables .....	11
1.1.1 Definice wearables .....	11
1.1.2 Přehled zařízení .....	11
1.1.3 Přehled aplikací .....	13
1.1.4 Využití ve zdravotnictví .....	14
1.1.5 Budoucí vývoj .....	15
1.2 Spánek .....	16
1.2.1 Fyziologie spánku.....	16
1.2.2 Poruchy spánku .....	18
1.2.3 Diagnostika spánku .....	19
1.2.4 Polysomnografie.....	20
1.2.5 Měření spánku pomocí wearables .....	21
1.3 Přehled současného stavu.....	22
1.3.1 Současná situace ve světě.....	23
1.3.2 Současná situace v České republice .....	29
1.4 Cíle diplomové práce .....	31
<b>2 Metody .....</b>	<b>32</b>
2.1 Design studie .....	32
2.1.1 Výběr cílové populace .....	32
2.1.2 Sběr dat a velikost vzorku .....	32
2.1.3 Metodika.....	32
2.2 Klinická efektivita .....	33
2.3 Statistické metody pro vyhodnocení dat .....	33
2.4 Multikriteriální rozhodování .....	34
2.4.1 Hodnotové inženýrství.....	34
2.4.2 TOPSIS.....	36
2.5 Analýza nákladů.....	37

2.6	Nákladové analýzy .....	38
<b>3</b>	<b>Výsledky.....</b>	<b>40</b>
3.1	Literární rešerše .....	40
3.2	Statistické vyhodnocení měření .....	41
3.3	Stanovení klinicko-ekonomických efektů a jejich vah .....	44
3.3.1	Bodovací metoda .....	45
3.3.2	Saatyho matice.....	46
3.3.3	Výsledné váhy kritérií .....	46
3.4	Výsledky multikriteriálního hodnocení.....	47
3.5	Výsledky analýzy nákladů .....	49
3.5.1	Analýza nákladů PSG.....	49
3.5.2	Analýza nákladů wearables .....	50
3.6	Výsledky analýzy nákladové efektivity .....	51
	<b>Diskuse .....</b>	<b>52</b>
	<b>Závěr .....</b>	<b>55</b>
	<b>Seznam použité literatury .....</b>	<b>56</b>
	<b>Seznam obrázků .....</b>	<b>63</b>
	<b>Seznam tabulek .....</b>	<b>64</b>
	<b>Seznam příloh.....</b>	<b>65</b>



## Seznam symbolů a zkratek

Zkratka	Význam
BG	Bazální glykémie
BMI	Body Mass Index
CLC	Closed loop control (uzavřená smyčka)
CPAP	Continuous positive airway pressure
DiAs	Diabetes Assistant
DM	Diabetes mellitus
EEG	Elektroencefalografie
EKG	Elektrokardiografie
EMG	Elektromyografie
FIT	Fitness
GPS	Global Positioning System
HUD	Head-Up Display (Glasses)
ICER	Incremental cost-effectiveness ratio
MIDI	Musical Instrument Digital Interface (Jacket)
NFC	Near field communicatio
NREM	Non rapid eye movement (fáze spánku)
OL	Opened loop (otevřená smyčka)
OSA	Obstrukční spánková apnoe
PD	Parkinsonova choroba
PSG	Polysomnografie
QALY	Quality Adjusted Life Year
REM	Rapid eyes movement (fáze spánku)
RF	Radio frequency
RFID (čip)	Radio Frequency Identification
SE	Sleep Efficiency (Efektivita spánku)
SEK	Švédská koruna
SOL	Sleep Onset Latency (Usnutí po ulehnutí do postele)
SP	Specificity (Specifická – testování)

---

Zkratka	Význam
SpO <sub>2</sub>	Saturace krve kyslíkem
TIB	Time In Bed (Čas strávený v posteli)
TST	Total Sleep Time (Celkový čas spánku)
USN	Ubiquitous Sensor Network
USD	Americký dolar
VR	Virtual reality (gaming headset)
WAD	Nositelný automatický defibrilátor
WASO	Wake After Sleep Onset (Probuzení po usnutí)
WATs	Sledovače aktivity zápěstí
WCD	Nositelný kardioverter-defibrilátor
WSN	Bezdrátová senzorová síť
ZP	Zdravotní péče

---

# Úvod

V posledních letech se rozvíjí oblast wearables (nositelných zařízení) pro monitorování fyziologických parametrů v důsledku rozvoje moderních technologií. Lidé, kteří zařízení používají, jsou především sportovci, kteří si vybírají řadu takzvaných fitness či sportovních wearables určených k monitorování fyzické aktivity, srdeční frekvence, spánku a dalších parametrů. Podobně jako sportovci mají o wearables zájem také lékaři (hlavně z USA), kteří jsou nyní schopni lepší diagnostiky, předepisování léků či přesnějšího nastavení individuální léčby pacienta. Wearables jsou také popsána jako řešení mnoha zdravotních problémů, protože jsou schopna být přístupná pacientům kdekoliv.

Trh s těmito technologiemi se stále rozvíjí a každoročně nabízí více možností pro zdravotní péči. Zařízení zahrnují inteligentní brýle, jako je Google Glass, stejně jako náramky a aplikace pro mobilní telefony, které nabízejí více výpočetních funkcí včetně analýzy spánkového vzoru, přehled převýšení, při běhu či chůzi, nebo sledování cílů. To by mohlo v budoucnu napomoci lepší monitoraci pacientů se spánkovými poruchami, aniž by museli chodit na časté kontroly či nákladná vyšetření.

Cílem této diplomové práce je klinicko-ekonomické vyhodnocení využití wearables u spánkových poruch. Začátek práce přináší zpracovanou literární rešerši současného stavu, která zahrnuje analýzu situace nejen v českém zdravotnictví, ale také v zahraničí. Dalším krokem k vypracování hlavního cíle práce se stala důkladná literární rešerše odborných studií s vyhledáním klinických efektů a jejich následná selekce odbornou skupinou. Metody vícekritériálního hodnocení umožnily stanovit váhy kritérií a výsledný efekt. Ve vybrané spánkové laboratoři bylo provedeno vyšetření spánku a z vhodné zvolené perspektivy byla sestavena nákladová analýza.

# 1 Teoretický úvod do problematiky

## 1.1 Wearables

Většina lidí zná pojem wearables v souvislosti se sportovními náramky (Fitness Bands), Google brýlemi (Google glass) či chytrými hodinkami (Smartwatches), které jsou hitem posledních let. Tato technologie má však dlouhou historii, více než 700 let. Jako první wearables, které bylo vynalezeno v roce 1286, byly brýle. Následované v roce 1600 Abacus Ringem (počítadlo na prstenu), a také „roulette“ obuví v roce 1961. V jednadvacátém století byly mezníky v objevech wearables v roce 2014 Apple Watch a v roce 2015 Oculus Rift (obr. 1, viz příloha). Těmito novinkami však inovace wearables dozajisté neskončila. S miniaturizací, s vývojem nanotechnologií či s požadavky na větší kapacitu se tato technologie stále vylepšuje.

### 1.1.1 Definice wearables

Termín wearables zatím nemá jedinou světově uznávanou definici, můžeme jej však popsat jako zařízení, která jsou nošena buď přímo na těle, nebo jsou zabudována do oděvů a doplňků.

Barfield a spol. definuje wearable jako „*fully functional, self-powered, self-contained computer that is worn on the body and provides access to information, and interaction with information, anywhere and at anytime.*“<sup>1)</sup>

V češtině máme pro wearables synonyma jako nositelná zařízení či nositelné technologie, ale v angličtině se vyskytuje u tohoto pojmu daleko větší výběr synonym, od wearable devices přes wearable tech, až jen k jednoduchému wearable. Některá zařízení mají schopnost pracovat samostatně, ale většina z nich potřebuje ke svému fungování spárovaný chytrý telefon s nainstalovanou aplikací.

### 1.1.2 Přehled zařízení

V oblasti wearables se objevují dvě možnosti nošení – buď jsou to zařízení, která se dají jednoduše navléknout/svléknout, či zařízení invazivnějšího typu jako implantáty, mikročipy nebo inteligentní tetování.

Nositelného zařízení je spousta druhů a každý je kategorizuje jinak. Já jsem použila rozdělení wearables podle společnosti Beecham Research, která řadí wearables do následujících kategorií:

- Bezpečnost – tento sektor zahrnuje zařízení spojené s řešením bezpečnostních problémů jako rozpoznávání totožnosti, záchranné služby, „environmental surveillance“, či vojenské a jiné odborné profesionální použití (zahrnující širokou škálu obchodních aplikací).

- Produkty: Connected Police Officer, Trackable Wallet, Situational Awareness, Personal Locator Beacon, Identity Bracelet, ...
- Medicína – zahrnuje zařízení týkající se odborného lékařského použití, včetně sledování vitálních funkcí, implantátů, monitorování chronických onemocnění či monitorování mozku, očí, pohybu těla. Zařízení musí vyhovovat předpisům o zdravotnických zařízeních, které se u wellness produktů nepožadují.
  - Produkty: Vision Enhancement, Wireless EEG Headset, Bio Feedback Patch, Hearing Aid, Ingestible Sensors, ...
- Wellness – v tomto sektoru můžeme najít zařízení související se spotřebitelskou zdravotní péčí, jejichž cílem je zdravější celkový životní styl. Patří sem wearables, která sledují fyziologické funkce, výdej energie, monitorují emoce či váhu, dále pro korekci chůze, držení těla anebo sledování spánku.
  - Produkty: Posture Sensor Belt, Lifestyle Tracker Band, Weight Monitoring Band, Sensor Insoles, Sun Exposure Monitor, ...
- Sport/Fitness – do této kategorie můžeme zařadit wearables, která souvisejí s aktivním životním stylem, například fitness monitorování, navigace, změny tělesné teploty, virtuální coaching a sledování sportovních výkonů. Ačkoliv tato kategorie je podobná té předchozí, může se od sebe lišit cílovým zákazníkem.
  - Produkty: Activity tracker band, Smart training shoes, Bioharness, Heating Clothing, Smart Sunglasses, ...
- Lifestyle Computing – v tomto sektoru se nacházejí zařízení, která spolupracují s výpočetní technikou. Umožňují, např. přes chytrý telefon, lepší přístup k datům a jejich shromažďování. Také jsou využívány k interaktivnímu hraní her, učení a ke sdílení informací.
  - Produkty: Gesture control band, Smartwatch, GPS shoes, VR gaming headset, HUD glasses, ...
- Komunikace – další kategorií je komunikace, do které jsou zařazeny wearables poskytující interakci s jinými lidmi pomocí osobního rozhovoru, textových zpráv a e-mailu či skupinové interakce prostřednictvím sociálních médií.
  - Produkty: Touch connected underwear, Bluetooth Jewellery, Social Media Dress, MIDI Jacket, Connected T-shirt, ...
- Glamour – tento sektor se zaměřuje na vytvoření důrazu na vzhled a také vytvoření módního trendu, např. zvýraznění dekorací, světelného zdobení či zobrazování emocí na oblečení.
  - Produkty: Light reactive dress, Sound animated dress, Mood responsive sweater, Physically reactive dress, Light display top, ...

- Business – v této kategorii jsou zařízení, která se zaměřují na zvyšování přenosu znalostí, produktivity a zabezpečení v rámci obchodních operací včetně řízeného přístupu, služeb zákazníkům, vzdáleného dohledu a přidělování zásob.
  - Produkty: Customer service (glasses), Event Ticket band, Remote tech support, Stock scanner, Hotel key band, ...

S počtem přibývajících zařízení, rostou také požadavky na jejich design. V dnešní době je kladen důraz, aby wearables vypadaly jako módní doplněk, a ne jako nevzhledná krabice na zápěstí.

## **Smartwatches**

Chytré hodinky v dnešní době umožňují daleko více věcí než jen ukazování času. Smartwatches jsou nositelná počítačová zařízení obsahující funkce jako: kalkulačka, oznamování polohy pomocí GPS navigace, získání zpráv o počasí, kontrola srdeční aktivity, poskytování upomínek po celý den, možnost čtení textových zpráv či přijímání/ukončování hovoru po spárování s telefonem. Sledování aktivity je možné pomocí vestavěného akcelerometru a monitoru tepové frekvence. A při přítomnosti čipu NFC, je možné platit za nákupy pomocí uložené kreditní karty.

## **Fitness náramky**

Fitness náramek, označovaný také jako Fitness či Activity tracker, je zařízení nositelné na zápěstí, které dokáže detekovat počet ušlých kroků, měří běh, srdeční aktivitu či spánek. S aplikací v mobilním telefonu komunikuje pomocí rozhraní Bluetooth, jako chytré hodinky, avšak na rozdíl od nich nemají Fitness náramky display pro ovládání více funkcí, většinou zobrazuje základní funkce jako čas, tep a počet ušlých kroků.

### **1.1.3 Přehled aplikací**

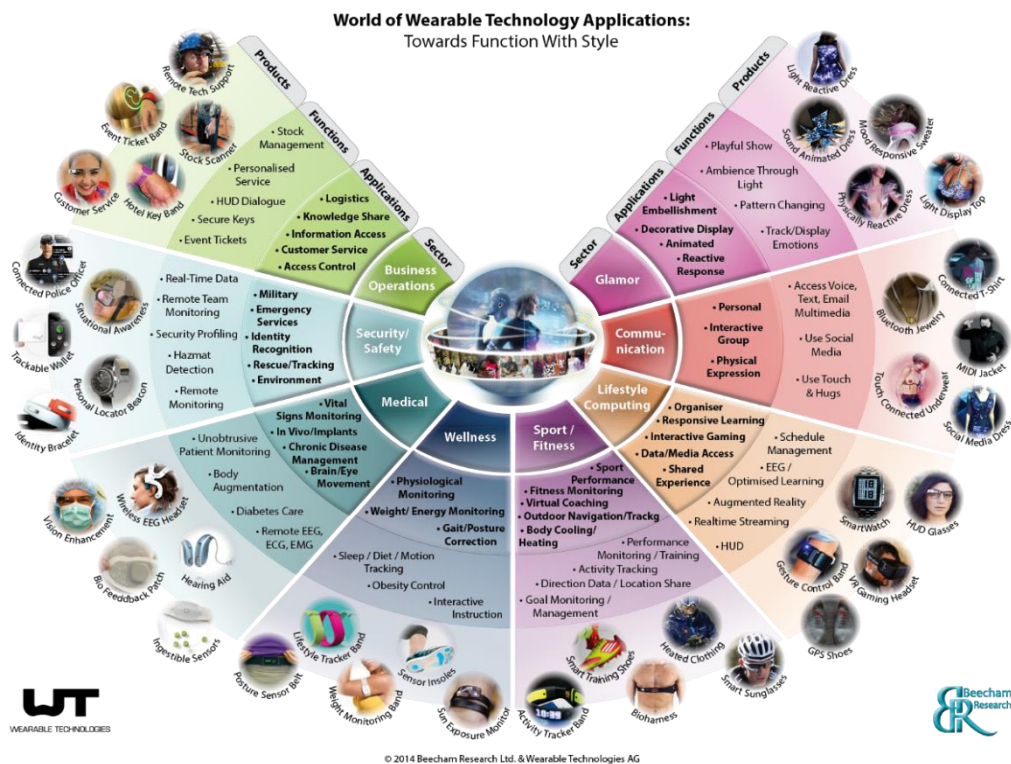
Samotné zařízení má v sobě zabudované určité aplikace, avšak při spárování s telefonem poskytuje daleko větší přesnost a možnost sbírání dat. Jako např. některé fitness náramky, které si po připojení k telefonu automaticky sbírají data z GPS a následně je pomocí aplikace v telefonu vykreslí do mapy v podobě dráhy chůze nebo běhu.

Aplikací je široká škála a jsou většinou rozděleny do sektorů jako samotná zařízení (medicína, bezpečnost, komunikace, ...). Mezi významné aplikace patří zajisté FIT aplikace (jako Google FIT, Runtastic Pro, Endomondo, ...), Kalorické tabulky, Water Your Body (pro zavodnění organismu), nebo aplikace Sleep Cycle alarm clock (pro kontrolu spánku). Další aplikace poskytuje obrázek 2.

## 1.1.4 Využití ve zdravotnictví

Zdravotnictví patří společně s armádou mezi první odvětví, kde se začaly využívat wearables. Mezi historicky první zařízení lze zařadit inzulínovou pumpu, která je schopna spolehlivě a kontinuálně dávkovat inzulín (či jiné léky) do podkoží pacienta a je využívána ve zdravotnictví dodnes.

Wearables ve zdravotnictví můžeme dělit do dvou skupin, a to na zařízení diagnostická a terapeutická. [2] Mezi diagnostická zařízení patří např. monitory vitálních funkcí, zařízení pro novorozence či pro monitoring mozkových funkcí. Mezi terapeutická naopak zařazujeme zařízení pro management bolesti, monitoring hladiny glukózy/inzulínu nebo zařízení pro terapii respiračních onemocnění.



Obrázek 2 – Přehled aplikací wearables (zdroj: <http://www.screens.ru/en/2017/2.html>)

## Přehled zařízení využívaných ve zdravotnictví

Segment zdravotní péče tvoří velkou část trhu s nositelnými technologiemi. Tiché náramkové hodinky, které byly v posledním desetiletí používány k monitorování pouze tepové frekvence, byly dnes transformovány do zařízení, které může ukládat obrovské množství údajů o pacientovi, jako je SpO<sub>2</sub>, srdeční frekvence, teplota, krevní tlak, obsah vody v těle a další diagnostické parametry. Tyto získané parametry pomáhají lékařům lépe sledovat léčbu pacientů.

Ačkoli se tento segment zdravotnictví stále rozrůstá, existuje řada problémů, které rozvoj mohou brzdit, např. vysoké náklady a nedostatečné vnímání přínosu ze strany pojišťoven a plátců. Příspěvky od vlády, tzv. granty, využívá zdravotnický systém Ameriky a Kanady, kde vláda přispívá na vzdálený monitoring pacientů.

K populárním wearables aplikacím ve zdravotnictví patří např. monitoring tělesné aktivity, hodnocení dietních režimů, sledování příjmu/výdeje tekutin, telemedicínské vzdělávání, bezdrátové pulzní oxymetry vyhodnocované mobilem, mobilní vyhodnocování glukometrů, monitoring a zaznamenávání ovulace, chytré kontaktní čočky pro hlídání hladiny cukru ze slz a zajisté také monitory srdeční frekvence, EKG, EEG či EMG.

Velmi užitečnými pro monitoring jsou také gadgety, neboli nositelné oblečení, dokáží skoro neustále sledovat teplotu těla, srdeční rytmus, pohybovou aktivitu, jídlo nebo spánek a poskytovat tyto data lékařům, kteří díky nim dokáží určit diagnózu či další postup léčby. Jako příklad je zde uvedeno několik wearables pro diagnostiku/terapii.

- UpRight – zařízení, které po nalepení na záda, hlídá, jestli má člověk rovná záda.
- Tinké – zařízení hlídající dýchání, srdeční činnost a obsah kyslíku v krvi a s doplňující aplikací může člověku pomáhat zvládat stres a relaxovat.
- AliveCor – zařízení vytvářející elektrokardiogram.
- AirSonea – analyzuje dýchací vzorce a umí pomoci například s astmatem.

### 1.1.5 Budoucí vývoj

Jako jedním z revolučních wearables se jeví chytré tetování “Smart Tatoo”, které řeší problém s výdrží baterie. Toto zařízení dokáže vytvářet elektrickou energii z potu (z kyseliny mléčné, která je odpadní látkou při spalování energie ve svalech a je vylučována společně s potem). Ale má to zatím háček, pro generování el. energie, se musí svaly dostatečně zahřát, a to se podaří většinou jen pořádným sportem.

Mezi další inovace wearables, která by se brzy mohla dostat na trh, jistě patří implantabilní smartphony (obr. 3). Ty umožňují komunikaci pomocí vložených senzorů, očního implantátu nebo RFID čipu s mobilním telefonem, který se promítá na holém těle.

Dalším objevem v tomto sektoru jsou cyber-pilulky se zabudovanými mikroprocesory, které mohou posílat informace z těla přímo doktorům, aby věděli, zda užíváte léky správně a zda mají požadovaný účinek. Jako úspěšný budoucí implantát se jeví i implantabilní bionická slinivka, která po připojení k aplikacím smartphonu monitoruje hladinu cukru v krvi u diabetiků. Také se vyvíjí kapsle, které by byly schopné sledovat hladiny tuků u obézních pacientů a vytvářely by signál, že se pacient cítí „plný“.





Obrázek 3 - Implantabilní smartphone (zdroj: <https://wtvox.com/cyborgs-and-implantables/implantable-wearables/>)

## 1.2 Spánek

Spánek tvoří důležitou součást lidského života. Jde o okamžitě vratný děj, čímž se také odlišuje třeba od kómatu, nebo od apalického syndromu (ten je charakterizován těžkou kortikosubkortikální lézí při zachovalé funkci mozkového kmene, kdy jsou zachovány kmenové reflexy, včetně dýchání, avšak pacient okolí nevnímá). Ve spánku stráví člověk téměř 1/3 svého života.

Nedostatek spánku může vést k celkovému zhoršení všech funkcí organismu, dochází k chronické únavě, častějšímu výskytu psychických poruch či celkově vyšší nemocnosti. Klesá také výkonnost organismu a schopnost se učit, objevují se neurologické potíže a může docházet k urychlení průběhu některých onemocnění jako například cukrovky, vysokého krevního tlaku, obezity nebo poruch paměti.

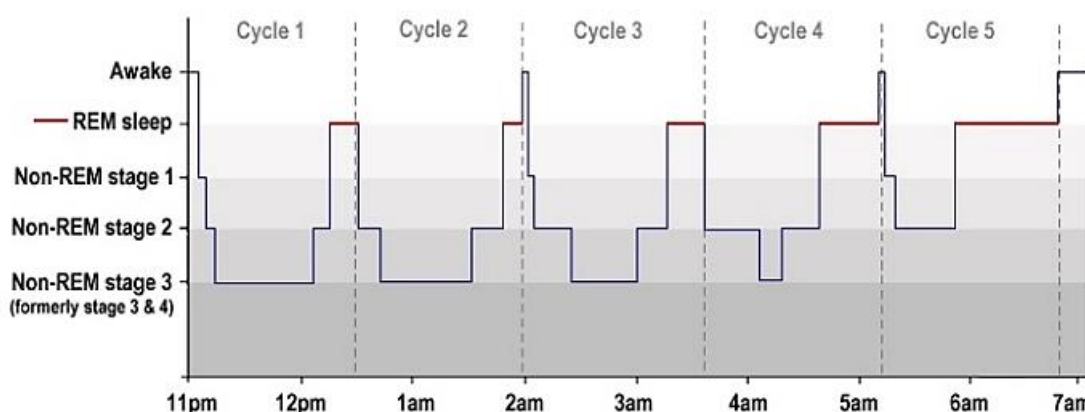
### 1.2.1 Fyziologie spánku

Spánek je zdánlivě opakem vědomí, stavem bdělosti, a má s bdělostí několik společných aktivit jako: myšlení, které představuje sny; vytváření vzpomínek; stav, kdy člověk není v naprostém klidu (i ve spánku může člověk chodit); vnímání okolí (probuzení při volání jména, budíku) nebo plánování (schopnost probudit se v danou hodinu). Z vnějšího pohledu spánek charakterizujeme: stereotypní polohou těla, minimálním pohybem, zvýšením prahu pro reakci na smyslové podněty, sníženou tělesnou teplotou a produkcí tepla (proto se lidé před spaním přikrývají) a relativně snadnou reverzibilitou – možností probuzení. [3]

Spánek je velmi důležitý, proto by měl být dodržován správný spánkový režim typický tzv. architekturou spánku (střídáním jednotlivých spánkových stadií, viz, tab. 1). Klasický noční spánek se skládá u mladých lidí ze 4 až 6 opakujících se cyklů NREM a REM spánku v asi devadesátiminutových intervalech. S věkem ubývá hlubokých stadií NREM spánku/REM spánku, a naopak přibývá krátkých probuzení. Přechody mezi spánkem REM, NREM a mezi spánkem a bděním na sebe plynule navazují, jak je vidět na hypnogramu (graf, který zobrazuje architekturu spánku; obr. 4)

Tabulka 1 – Jednotlivá stadia spánku a jejich rozložení  
(zdroj: <https://www.praktickelekarenstvi.cz/>)

<b>II NREM spánek</b>	<b>asi 50 %</b>
<b>REM spánek</b>	asi 25 %
<b>III a IV NREM (delta) spánek</b>	asi 20 %
<b>I NREM</b>	asi 4 %
<b>Bdělost</b>	méně než 1 % nočního spánku



Obrázek 4 – Hypnogram a jednotlivé fáze spánku  
(zdroj: [https://www.howsleepworks.com/types\\_cycles.html](https://www.howsleepworks.com/types_cycles.html))

## Fáze spánku

- **REM spánek** (neboli paradoxní spánek)

Je aktivní formou spánku. Jeho záznam na EEG připomíná záznam při bdění, proto se také nazývá spánkem paradoxním. V REM fázi spánku je vysoký práh pro probuzení, srdeční frekvence je nepravidelná a často doprovázená i nepravidelným dechem a erekcí.

- **NREM spánek**

Tuto fázi spánku lze rozdělit na základě EEG kritérií na čtyři stadia (I–IV NREM), která nastupují postupně s prohlubováním spánku. V dnešní době je NREM III a IV spojen

do jednoho stádia NREM III. Jednotlivá stádia jsou charakterizována následovně: NREM I – usínání; NREM II – lehký spánek; NREM III – hluboký spánek. Během hlubokého spánku klesá krevní tlak a tep, a to umožňuje oběhovému systému, aby si odpočinul (snižuje se riziko kardiovaskulárních onemocnění). Při fázi NREM také dosahuje vrcholu tvorba růstového hormonu, což znamená, že u některých dospívajících je v noci až 50krát vyšší než ve dne. [4]

- **Bdělost**

Bdění je takový funkční stav organismu, kdy má člověk normální sensorické a motorické vztahy se zevním prostředím. Při bdění organismus přijímá, zpracovává, zachovává informace a vydává příkazy výkonným orgánům a je také dráždivý. Během bdění není žádná snová aktivita.

## 1.2.2 Poruchy spánku

Občasné poruchy spánku jsou velmi časté, mohou postihovat osoby v jakémkoli věku a většinou úzce souvisí s aktuálním psychickým stavem jedince. Avšak existují i závažnější stavy, kdy je proces spánku narušován soustavně, nebo kdy dochází ke dlouhodobě zvýšené spavosti. Následující tabulky shrnují dělení poruch spánku a jejich charakteristiky (tab. 2 a tab. 3 - viz příloha)

Tabulka 2 - Dělení poruch spánku dle ICSD-3 (zdroj: SATEIA, Michael J. International Classification of Sleep Disorders-Third Edition)

1. Nespavost
2. Poruchy dýchání vázané na spánek
3. Centrální poruchy s hypersomnolencí
4. Poruchy cirkadiálního rytmu spánku a bdění
5. Parasomnie
6. Poruchy pohybu spojené se spánkem
7. Apendix A: Somatické a neurologické nemoci spojené se spánkem
8. Apendix B: Kódování poruch spánku navozených návykovými látkami dle MKN 10

## Vybrané poruchy spánku

- **Narkolepsie** – je charakterizována nekvalitním nočním spánkem a zvýšenou denní spavostí, kdy dochází k epizodám usnutí během dne. Člověk usíná zvláště v klidu a při stereotypní a monotónní činnosti (např. při řízení). Doprovázejícími příznaky jsou svalová atonie, hypnagogické halucinace a spánková obrna (stav nemožnosti jakéhokoliv pohybu). [4]
- **Insomnie** – čili nespavost se projevuje jako porucha usínání, probouzení se během noci anebo časným probouzením. Spánek při této poruše je nekvalitní, nepřináší

osvěžení a během dne se mohou vyskytnout některé symptomy jako: únava, poruchy nálady, koncentrace a paměti, podrážděnost, denní spavost, úbytek energie, bolesti hlavy či gastrointestinální obtíže.

- **Somnambulismus** – neboli náměsíčnost je stav, v němž jsou spojovány fenomény spánku i bdělého stavu, při noční epizodě člověk povstává z lůžka, obvykle v první třetině nočního spánku, a prochází se (při snížené úrovni vědomí, reaktivity a motoriky). Po probuzení se většinou nepamatuje na událost.
- **Poruchy spánku ve stáří** – ve stáří se celková doba spánku zkracuje. Starší lidé většinou dříve usínají a dříve se probouzejí. Jejich efektivita spánku se snižuje (poměr celkové doby spánku k celkové době strávené na lůžku), zvyšuje se počet probuzení během nočního spánku a snižuje se podíl hlubokých stadií NREM. Poruchy spánku jsou povětšinou sekundárního původu (např. u demencí, depresí, Alzheimerové a Parkinsonové choroby, bolestivých stavů a jiných nemocí).

### 1.2.3 Diagnostika spánku

Celkové vyšetření spánku, potřebné pro stanovení diagnózy, se provádí na specializovaných pracovištích zvaných spánkové laboratoře. Diagnostika zahrnuje obvykle: anamnézu, vyplnění standardních dotazníků a spánkových záznamů (deníků) a pomocné vyšetřovací metody.

Anamnéza je nejdůležitější součástí diagnostiky a je odebírána při veškerých diagnostických vyšetřeních. Anamnéza je podrobný rozhovor mezi lékařem a pacientem, popřípadě ještě blízkou osobou sdílející domácnost/ložnici s pacientem. Pacient je cíleně tázán na subjektivní posouzení kvality spánku, časté probouzení, pocit ospalosti po probuzení či pocit ospalosti přes den.

Pro posuzování kvality spánku se používají různé dotazníky a škály (např. pro posouzení denní spavosti pacienta, pro hodnocení intenzity spavosti v průběhu 24 hodin nebo pro dlouhodobá hodnocení/hodnocení efektu léčby). Jedním takovým dotazníkem je Spánkový kalendář/deník (obr. 5, viz příloha), kde pacient zaznamenává formou tabulky 24 hodinový průběh spánku a bdění a všechny aktivity, které by spánek mohly ovlivnit. Kalendář je zaznamenáván po dobu 1-4 týdnů. Dalším dotazníkem je Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI), který pacient vyplňuje zhruba 1 měsíc a slouží k posouzení subjektivní kvantity a kvality spánku. Mezi škály posuzování spánku můžeme zařadit Epworthskou škálu spavosti, která zachycuje během posledního týdne tendenci spát v denní době v osmi situacích běžného života. Nadměrnou denní spavostí je označována hodnota 10 a vyšší.

Mezi pomocné vyšetřovací metody se zahrnují:

- Aktigrafie – metoda registrující pohybové aktivity pomocí přístroje velikosti náramkových hodinek, nošených na nedominantní horní končetině. Využívá se v diagnostice poruch cirkadiánní aktivity a nespavosti (obvykle 10 dnů).
- Limitovaná polygrafie – je zjednodušenou variantou polysomnografie, kdy není monitorováno tolik signálů (EEG, EOG ani EMG). Vyšetření se většinou provádí ambulantně a využívá se převážně k diagnostice ventilačních poruch ve spánku. Když není diagnostika jasná, doplňuje se polygrafie PSG vyšetřením.
- Test mnohočetné latence usnutí (MSLT) – se používá k diagnostice nadměrné denní spavosti. Při vyšetření je zjišťována průměrná latence usnutí a přítomnost REM spánku během pěti dvacetiminutových testů, které jsou prováděny ve dvouhodinových intervalech ve spánkové laboratoři. Pacientům není bráněno v usnutí.
- Polysomnografie – je celonoční vyšetření ve spánkové laboratoři, používá se k rozlišení spánku a bdělosti a jednotlivých stádií spánku, viz. dále

## 1.2.4 Polysomnografie

Polysomnografií se označuje metoda vyšetření spánku, ve spánkové laboratoři, kdy je po celou noc snímáno pacientovo chování. Předpona „poly“ značí, že je vyšetřováno více dějů najednou. Současně se zapisuje EEG, svalová aktivita EMG (svalů brady), oční pohyby, EKG, EOG (elektrookulogram), dechový rytmus a dýchací pohyby hrudníku a břicha, saturace hemoglobinu kyslíkem (SaO<sub>2</sub>) pomocí pulsního oxymetru, elektrické aktivity mm. tibiales a změny polohy. Dýchací zvuky jsou zaznamenávány mikrofonem a během spánku je pacient monitorován prostřednictvím videozáznamu. PSG nám umožňuje rozlišit jednotlivé fáze spánku, tzv. spánkový profil (REM a NREM fáze spánku).

### 1.2.4.1 Měření spánku pomocí PSG

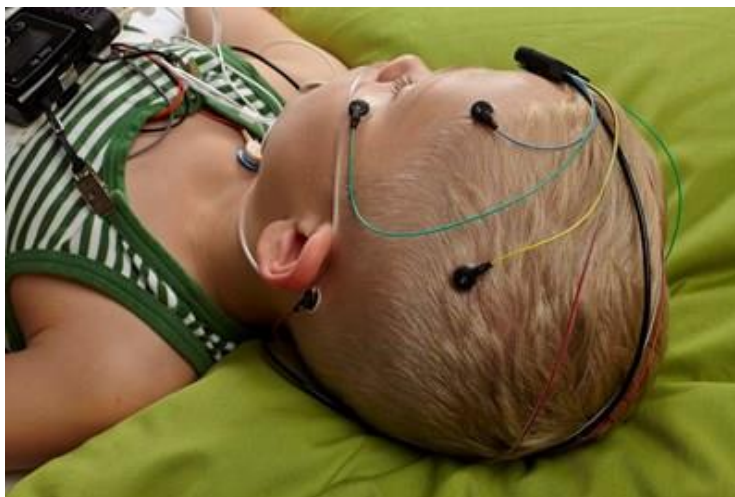
Při měření pomocí PSG je během spánku nahráváno více fyziologických charakteristik (výše zmíněných) a k jejich detekci se používá různé množství sond. Elektrody a senzory jsou umístěny na těle pacienta (obr. 6), z nichž dále pomocí kabelů jdou informace do komunikačního ovladače. Aplikace elektrod/senzorů je neinvazivní a její délka trvá okolo jedné hodiny. Z komunikačního ovladače jsou data bezdrátově, pomocí Bluetooth, přenášena do přístupového bodu, kde pomocí USB kabelu směřují do počítače.

Vyšetřovaný s elektrodami, komunikačním ovladačem a přístupovým bodem je v samostatné místnosti, která by měla být světelně a zvukově izolována a zároveň

by měla působit příjemně. Kromě sběru dat z elektrod/senzorů, se také nahrává záznam zvuku a pacient je nahráván na videokameru (používá se infračerveného osvětlení).

Před spuštěním nahrávání PSG je nutné provést kontrolu funkčnosti všech elektrod a senzorů, takzvanou biokalibraci. Ta je nutná pro vizuální kontrolu správné detekce zaznamenávaných fyziologických signálů. [5]

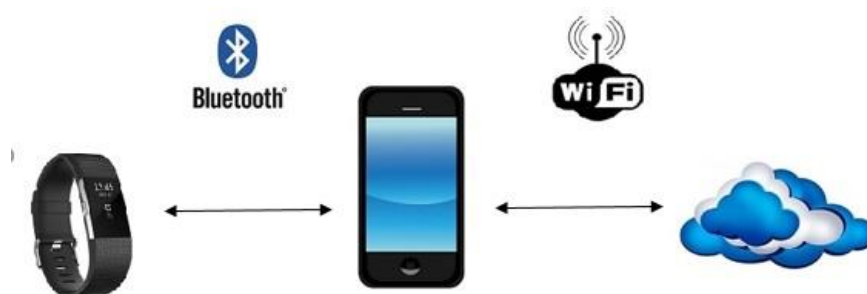
Veškerá stadia spánku a další fyziologické signály např. dýchací události, jsou zaznamenávány pomocí počítačového softwaru do komplexního PSG záznamu (obr. 7 – viz příloha). Ten je následně vyhodnocen specializovaným neurologem.



Obrázek 6 – Systém elektrod a čidel umístěných na těle pacienta (zdroj: <https://noxmedical.com/products/nox-a1-psg-system/>)

### 1.2.5 Měření spánku pomocí wearables

Pro měření pomocí wearables musí nejdříve dojít ke spárování přístroje buďto se smartphonem nebo tabletem, aby se nahrál firmware (= software, díky němuž může určité zařízení fungovat). Wearables a aplikace na smartphonu vzájemně komunikují pomocí bezdrátové komunikace (Bluetooth), která je schopná obousměrného přenosu informací mezi nimi. K jejich synchronizaci dochází automaticky, když je zapnutý Bluetooth. Ze smartphonu jsou poté data odesílána bezdrátově na cloud pro další zpracování (obr. 8)



Obrázek 8 – Přenos dat u wearables (zdroj: vlastní)

Wearables zaznamenávají a ukládají snímané parametry do své paměti a po spárování je následně ihned synchronizují s aplikací nainstalovanou na smartphonu. Aplikace na cloudu vypočítává, pomocí automatického algoritmu, analytické výsledky založené na vstupních parametrech a předkládá je zpátky uživateli v řadě dobře definovaných statistik a vizualizací (každá společnost má svůj algoritmus, který není veřejně dostupný). Automatický algoritmus rozlišuje 3 až 4 stavy: bdění, lehký spánek, hluboký spánek a u některých zařízení spánek REM. Je založen na kvantifikaci pohybu (velikost a trvání) a na proměnlivé srdeční frekvenci. Noční epochy NREM spánku jsou kategorizovány buďto jako lehké (NREM 1 a 2) nebo jako hluboké (NREM 3). [6]

### 1.3 Přehled současného stavu

Podle informací zveřejněných firmou Frost & Sullivan dosáhl v roce 2015 globální trh zdravotnických wearables tržeb ve výši 5,1 mld. USD s odhadem až 18,9 mld. USD v roce 2020. To naznačuje veliký nárůst za 5 let. Největší podíl na trhu lékařských wearables drží Spojené státy následované Evropou a asijsko-pacifickým trhem. Přehled postavení wearables v jednotlivých zemích ukazuje následující tabulka.

Tabulka 3 – Ekonomické údaje o wearables (zdroj: www.Statista.com; duben 2018)

<b>Ekonomické údaje</b> <b>Země</b>	<b>Výnosy v roce 2018 (US \$)</b>	<b>Očekávaná roční míra růstu (CAGR)</b>	<b>Očekávaný tržní objem v roce 2022 (US \$)</b>	<b>Penetrace trhu v roce 2018</b>	<b>Průměrný výnos na uživatele (US \$)</b>
USA	1 996m	2%	2 160m	9,8%	62,13
Německo	258m	0,8%	267m	7,9%	39,48
Čína	2 927m	0,5%	2 987m	11,5%	18,37
Indie	752m	4,5%	897m	3,2%	17,48
Itálie	101m	0,5%	103m	5,1%	33,08
Velká Británie	253m	5,6%	314m	9,1%	41,73
Japonsko	171m	3,5%	196m	3,6%	37,23
Česká republika	8m	5,4%	10m	3,1%	24,35
<b>Svět</b>	<b>8 050m</b>	<b>2,1%</b>	<b>8 760m</b>	<b>6,1%</b>	<b>25,50</b>

(m = milion)

### 1.3.1 Současná situace ve světě

#### USA

##### **Autonomous sweat extraction and analysis applied to cystic fibrosis and glucose monitoring using a fully integrated wearable platform**

EMAMINEJAD ET AL.

Studie popisuje využití miniaturizovaného iontoforézního rozhraní pro analýzu potu u lidí s diagnózou cystické fibrózy. Ve studii bylo porovnáváno vyšetření glukózy v krvi (odběr krve) a potu (pomocí wearables). Byl zjištěn zvýšený obsah elektrolytů v potu u pacientů s cystickou fibrózou ve srovnání se zdravými kontrolními osobami. Dále měření ukazují, že perorální konzumace glukózy nalačno je následována zvýšenou hladinou glukózy jak v potu, tak v krvi. Ve výsledku autoři uvádějí, že jejich řešení otevírá možnost širokého spektra neinvazivního diagnostického monitorování zdravotního stavu obyvatelstva.

##### **Wireless Wearable Multisensory Suite and Real-Time Prediction of Obstructive Sleep Apnea Episodes**

LE T., CHENG CH., ET AL.

Ve studii autoři popisují postup pro včasné detekování blížící se epizody spánkové apnoe. Nástup epizod předpovídají na základě analýzy komplexních kardiopulmonálních signálů shromážděných z wearables. Autoři dále data z wearables porovnávali s daty z databáze OSA PhysioNet a došli k závěru, že přesnost detekce pomocí wearable je 88 % a přesnost předpovědi jedné epizody o 1 minutu dopředu je 83 % a 3 minuty vpřed je 77 %. Takováto přesná predikce blížící se epizody může být použita k adaptivnímu nastavení průtoku vzduchu CPAP nebo ke změně polohy trupu (např. menší úpravy brady pro udržení rovnoměrné úrovně proudění vzduchu).

##### **Cost-Effectiveness of A Flash Glucose Monitoring System Based On Real-World Usage For Type 1 Diabetes (T1DM) Patients Using Intensive Insulin: A Swedish Perspective**

BILIR S.P., WEHLER E.A., ET AL.

V této studii se autoři zabývají rozdílnými způsoby monitorování glukózy u pacientů s DM 1. typu. Prvním způsobem je monitorace pomocí FreeStyle Libre systému, který průběžně měří hladinu glukózy z intersticiální tekutiny a přenáší data z čidla do ruční čtečky. A druhým způsobem je vlastní monitorace glukózy z krve. Také je v této studii hodnocena nákladová efektivita zvýšené frekvence testování u systému FreeStyle Libre oproti vlastnímu monitoringu glukózy z krve. Autoři došli k závěru, že systém FreeStyle Libre měl oproti vlastnímu monitoringu glukózy z krve



o 1 071 více QALY a také vyšší nákladovost o 104 397 SEK. Výsledný poměr ICER vyšel autorům 97 468 SEK/QALY.

### **Evaluation of a Consumer Fitness-Tracking Device to Assess Sleep in Adults**

ZAMBOTTI M., CLAUDATOS S., INKELIS S., ET AL.

Studie hodnotí kvalitu nahrávání spánku mezi zařízeními: Jawbone UP (fitness tracker) a polysomnografií (PSG, zlatý standard pro nahrávání spánku). Probandi strávily noc ve spánkové laboratoři, kde byly současně měřeny pomocí Jawbone UP a PSG. Měření bylo následně statisticky zpracováno (pomocí Wilcoxonova testu) a srovnáváno pomocí grafu Bland-Altman plot. Autoři došli k výsledku, že Jawbone UP měla vysokou citlivost při detekci spánku (0,97) a nízkou specifitu při detekci bdělosti (0,37). Jawbone UP také nadhodnotil celkovou dobu spánku, zpoždění nástupu spánku a podhodnotil čas probuzení po usnutí ( $p < 0,05$ ). Autoři došli ve studii k závěru, že nízká cena a široká dostupnost těchto zařízení pro sledování z nich mohou činit atraktivní alternativu ke standardní aktigrafii při monitorování každodenních rytmů spánku-bdění po několik dní.

### **Cost Effectiveness of the Wearable Automated Defibrillator for Primary Prevention in Pediatric Heart Transplant Candidates**

LAPAGE M. J., SALTZMAN G.M., SCHUMACHER K.R

Ve studii je popisován nositelný automatický defibrilátor (WAD) jako dočasné externí defibrilační zařízení s nízkým rizikem, které se ukázalo jako vysoce účinné při léčbě život ohrožujících arytmií. Dále byla provedena analýza efektivnosti nákladů, která porovnává použití WAD se standardní předtransplantační péčí v prvních třech měsících po zařazení do transplantačního programu. Závěrem autoři uvádějí, že použití WAD jako primární prevence je nákladově efektivnější během prvního měsíce po zařazení do transplantačního programu s měsíčními náklady WAD ve výši 3000 dolarů za předpokladu prahové hodnoty efektivnosti nákladů ve výši 100 000 dolarů / QALY.

### **Wearable cardioverter-defibrillator for prevention of sudden cardiac death after infected implantable cardioverter-defibrillator removal: A cost-effectiveness evaluation**

HEALY CH. A., CARRILLO R.G., ET AL.

Cílem této studie bylo porovnat nákladovou efektivitu nositelného kardioverter-defibrilátoru (WCD) s propuštěním domů nebo do kvalifikovaného ošetrovatelského zařízení oproti hospitalizačnímu monitoringu v nemocnici pro prevenci náhlé srdeční zástavy po odstranění infikovaného implantabilního kardioverter-defibrilátoru. Ve studii byly provedeny rozhodovací modely a jednosměrné

a dvoucestné analýzy citlivosti. Autoři došli k výsledkům, že v základní analýze byla nákladová efektivita strategie WCD 20.300 dolarů za rok života (LY) nebo 26.436 dolarů za QALY. Hodnota ICER byla 15.392 dolarů / QALY. V závěru autoři došli k poznání, že WCD je nákladově efektivnější ve srovnání s hospitalizací pacientů v nemocnici, zatímco čekají na reimplantaci implantabilního kardioverter-defibrilátoru.

### Evropské státy (Velká Británie, Španělsko,...)

#### **Incorporating Biometric Data from Wearable Activity Trackers with Study Data in France and the UK**

FINK, ET AL.

Cílem této studie bylo porovnat shromážděná biometrická data z wearables s daty z vyplněných dotazníků, pro získání přehledu o souvislosti mezi ušlými kroky, spánkem a pocitem celkového stavu. Údaje byly shromažďovány po dobu 2 týdnů a každý druhý den účastníci vyplňovaly elektronický dotazník pomocí smartphonu, který byl poté porovnáván s naměřenými daty. Autoři zjistili korelaci mezi ušlými kroky, časem spánku, a celkovým stavem účastníků. Ti účastníci, kteří ušli přes den více kroků, lépe spali, cítili se méně stresovaní a celkově se cítili dobře. Autoři shrnují svou studii závěrem, že shromažďováním těchto druhů biometrických údajů souběžně s výzkumnými studiemi v oblasti zdravotní péče přináší cenný pohled na kvalitu života pacientů.

#### **Wearable and Mobile System to Manage Remotely Heart Failure**

VILLALBA ET AL.

Studie obsahuje návrh a vývoj řešení, které zlepšuje kvalitu života pacientů se srdečním onemocněním (srdeční selhání – HF). Monitorovací senzory (wearables) měří EKG, dýchání a aktivitu během cvičení a v klidu. Wearables mají 2 platformy, a to uživatelskou a profesionální. Uživatelská platforma slouží pro pacienty trpící srdečním onemocněním a profesionální je pro zdravotní sestry a kardiology. Digitální asistent, který je zahrnutý v uživatelské platformě, přijímá data ze všech měřicích senzorů a zařízení přes Bluetooth, zpracovává je a následně stimuluje pacienty k jejich každodenní zdravotní péči. Profesionální platforma zahrnuje server pro zpracování, který analyzuje všechna data, databázi a webový portál, který zajišťuje přístup zdravotnímu personálu. Zde použitá metodika zahrnovala zainteresované strany v iteračním procesu: ověření koncepce, proveditelnost, účinnost, zkušenosti pacientů a přijetí pacienty. Konečné řešení umožňuje pacientovi kontrolovat svůj chronický stav.

## **Wearable device for patients affected by neurodegenerative diseases**

SOLAS ET AL.

V této studii je prezentován monitorovací systém pacientů postižených neurodegenerativním typem onemocnění (jako Alzheimerova či Parkinsonova choroba), založený na sbírání dat ze senzorů distribuovaných po celém těle pacienta, které posílají shromážděné informace do osobního dálkového monitorovacího zařízení, které pacient nosí s sebou. Toto zařízení je pověřeno předběžným zpracováním dat a bezdrátovým zasíláním do nemocnice, kde dochází k jejich dalšímu zpracování a studiu. Studie dále podrobně popisuje hardware a software navrhovaného zařízení. To je zaměřeno na sledování stavu pacientů postižených Parkinsonovou chorobou. Jeho využití lze rozšířit zakomponováním nových typů snímačů, které jsou aplikovatelné pro každou osobu se zájmem sledovat některé parametry svého těla: sportovci, horolezci atd.

## **Economic Impact Assessment from the Use of a Mobile App for the Self-management of Heart Diseases by Patients with Heart Failure in a Spanish Region**

MARTÍN ET AL.

Studie hodnotí ex-ante ekonomický dopad a určuje také úspornost, kterou bude mít použití aplikace CardioManager, u pacientů se srdečním selháním, ve španělské komunitě. K tomu byla provedena analýza nákladové efektivity pomocí skrytého Markovova modelu v hypotetické skupině pacientů s diagnostikovaným srdečním selháním na základě informací o epidemiologických parametrech a nákladech odvozených od péče o pacienty se srdečním selháním systémem veřejného zdravotnictví Kastílie a Leónu. Náklady na péči o pacienty byly odhadnuty z pohledu Ministerstva zdravotnictví Španělska s použitím diskontní sazby 3 %. Nakonec byl proveden odhad dopadu ex-ante, který předpokládá zavedení systému CardioManager do systému zdravotní péče. Autoři dospěli k závěru, že zavedení programu CardioManager může způsobit 33 % snížení nákladů na léčbu onemocnění. To znamená, že by společnost mohla ušetřit více než 9 000 EUR na jednoho pacienta v místním zdravotnickém systému Kastílie a Leónu, což by mohla být úspora 0,31 % z celkových výdajů na zdravotnictví v regionu.

## **Effectiveness of a Smartphone application and wearable device for weight loss in overweight or obese primary care patients**

GRANADO-FONT ET AL.

Studie vyhodnocuje účinnost experimentální intervence založené na standardních doporučeních pro stravování spojené s používáním wearables a aplikace Smartphone (app) pro snížení tělesné hmotnosti, ve srovnání se samotnou standardní dietní terapií,

u pacientů v primární péči ve věku 18 let nebo starších, kteří mají nadváhu nebo obezitu. Pacienti dodržovali dvanáctiměsíční standartní dietu a polovina účastníků (35 lidí) měla kontrolu pomocí wearables a aplikace ve Smartphonu, která umožňuje udržovat záznam o příjmu potravy a fyzické aktivitě. Ve výsledku autoři studie nabízejí důkazy o účinnosti nositelných zařízení v dosažení úbytku tělesné hmotnosti u pacientů s nadváhou nebo obezitou.

### **Effects and costs of home-based training with telemonitoring guidance in low to moderate risk patients entering cardiac rehabilitation**

KRAAL ET AL.

Tato studie porovnává data z dvanáctitýdenního cvičebního programu kardiálních pacientů s nízkým až středním rizikem v rehabilitačním centru s telemonitoringem pacientů cvičících doma. Pacienti cvičící doma dostávali individuální rady po telefonu jednou týdně na základě naměřených údajů o srdeční frekvenci sdílených prostřednictvím internetu. Hodnocenými údaji byla tělesná zdatnost a tělesná aktivita, stanovená na počátku, po dvanácti týdnech a po jednom roce. Fyzická aktivita byla vyjádřena jako výdej energie při fyzické aktivitě, posuzovaná triaxiální akcelerometrií a měřením srdeční frekvence. Dále byla také hodnocena kvalita života, spokojenost pacientů a nákladová efektivita. V závěru studie autoři shrnují, že motivace a účinnost cvičení u pacientů cvičících doma vede ke zlepšení dlouhodobé fyzické kondice než po pravidelném tréninku v rehabilitačním centru.

### **Safety of Outpatient Closed-Loop Control: First Randomized Crossover Trials of a Wearable Artificial Pancreas**

KOVATCHEV ET AL.

Ve studii byla porovnávána účinnost snížení rizika hypoglykemie pomocí řízení uzavřenou smyčkou (CLC) s terapií pomocí inzulínové pumpy s rozšířenou senzorovou funkcí (OL) v kontrolovaném ambulantním režimu. Snímač (Dexcom G4) a inzulínová pumpa (Tandem t: slim) byly připojeny k umělé slinivce na platformě Diabetes Assistant (DiAs). Pacienti neměli žádné dietní omezení a do terapie byly zahrnuty čtyřicetipětiminutové procházky ve městech. V závěru autoři shrnují, že CLC se snímačem, monitorována v ambulantních podmínkách na inteligentním telefonu (DiAs) snižuje hypoglykemií a její léčbu, ve srovnání s terapií OL.

## **Reliability of commercially available sleep and activity trackers with manual switch-to-sleep mode activation in free-living healthy individuals**

GRUWEZ A., LIBERT W., ET AL.

V této studii autoři porovnávali data o aktivitě a spánku ze zařízení Jawbone Up Move a Withings Pulse 02 oproti aktigrafu Bodymedia SenseWear Pro Armband a domácí polysomnografii. Probandi nosili v domácím prostředí všechna čtyři zařízení po dobu 36 hodin. Pro statistické vyhodnocení dat naměřených z přístrojů byl použit Wilcoxonův signed rank test a pro korelaci mezi měřeními byla použita Spearmanova korelace s 95 % intervalem spolehlivosti. Také byl konstruován Bland-Altman plot a korelační diagram. Všechna zařízení byla porovnávána oproti domácí polysomnografii. Významné korelace byly získány pro celkovou dobu spánku (TST) pro všechna zařízení. Naopak nebyly zaznamenány žádné významné korelace mezi měřeními pro měření hlubokého spánku, lehkého spánku a účinnosti spánku (SE). Autoři studie došli k závěru, že monitorovací zařízení pro měření spánku a aktivity mohou vytvářet pouze omezený soubor spolehlivých měření a že by bylo potřeba navrhnout zařízení, které bude mít algoritmy pro měření spolehlivě založené na fyziologii spánku.

## Asijsko-pacifické státy

### **Wearable and flexible oxygen sensor for transcutaneous oxygen monitoring**

MITSUBAYASHI ET AL.

Tato studie sleduje transkutánní tlak kyslíku měřený pomocí wearable senzoru na povrchu kůže předloktí subjektu, který inhaluje různé koncentrace kyslíku (21-60-21%) pomocí náustku. Výstupy nositelného senzoru kyslíku a termistoru byly nepřetržitě monitorovány. Transkutánní měření kyslíku s nositelným zařízením bylo provedeno na různých oblastech lidského těla (zápěstí, předloktí, loket, horní rameno, hrudní stěna a dlaň), aby se zjistila přenosnost měření a získalo se vhodné místo pro průběžné sledování. Závěrem studie bylo měření pomocí wearables označeno jako bezpečné transkutánní měření, s možností přímé fixace na povrch těla pro sledování chemického složení biologických tekutin, jako jsou slzy, hlen dýchacích cest, pot, sliny a další.

### **A Wireless Sensor Network Compatible Wearable U-healthcare Monitoring System Using Integrated ECG, Accelerometer and SpO2**

CHUNG ET AL.

Studie představuje návrh a vývoj univerzálního monitorovacího systému s využitím integrovaného snímače elektrokardiogramu (EKG), akcelerometru a saturace kyslíku (SpO<sub>2</sub>). Zařízení pro zdravotnický systém bylo navrženo na základě bezdrátové

senzorové sítě (WSN) pro širokopásmové pokrytí s minimálním výkonem baterie, který podporuje přenos RF. Autoři vyvinuli pro tento systém různá zařízení, jako je nosný USN uzel s nízkým výkonem, nositelný hrudní pás či pulsní oxymetr na zápěstí. Nízkoenergetické desky EKG, akcelerometr a SpO<sub>2</sub> byly integrovány do nosného USN uzlu pro sledování zdraví uživatelů. Univerzální systém pro sledování zdravotní péče umožňuje přenos fyziologických dat v bezdrátové síti pomocí senzorových zařízení umístěných na těle. Ty posílají data na základní stanici, která je připojena k serverovému počítači. V závěru práce autoři shrnují, že systém funguje úspěšně podle výsledků měření, komunikace a průběžného sledování bez narušování každodenního života pacienta.

### **1.3.2 Současná situace v České republice**

Wearables jsou u nás v podvědomí především v souvislosti s chytrými hodinkami či fitness náramky, avšak z finančních důvodů mnoho lidí s wearables nepřijde do styku.

#### **Development of Wearable Medical System for Dehydration Detection**

ŽÁK, ET AL.

V této studii se autoři zaměřili na vývoj a testování nového neinvazivního a nenápadného zdravotnického bezdrátového nosného systému, který se primárně používá k detekci dehydratace, ale může být snadno přizpůsoben k měření ostatních hodnot. Tento systém je používán pro sledování starších lidí, diabetiků a sportovců během jejich normálního života. Základ tvoří skupiny senzorů, které obsahují snímače tělesné teploty (teplotní, vlhkostní a trans-epidermální detektor ztráty vody), snímače okolí (snímače iontů draslíku a osobní váhy) a externí přístroje. Autoři na konci své studie uvádějí, že první verze zařízení byla vytvořena a později testována v laboratoři a reálných podmínkách a že dalším krokem bude kompletní testování zařízení mnoha lidmi v reálných podmínkách.

#### **Wearable textile electrodes for ECG measurement**

VOJTĚCH, ET AL.

Tato studie se věnuje návrhu nositelných textilních elektrod pro měření EKG se zaměřením na vysoký komfort pro uživatele. Elektrodotový materiál wearables je vyroben z elektricky vodivé textilie vytvářející textilní kompozitní materiál, který zaručuje vysoký komfort pro uživatele při zajištění dobré kvality měření EKG. Elektrody poskytují nejen komfort, ale také antibakteriální a antialergickou funkci díky nanočásticím stříbra. Vhodnost textilních elektrod pro záznam EKG byla ověřena experimentálními měřeními, kde bylo porovnáváno EKG zaznamenané pomocí textilních elektrod s EKG, měřeným vysoce kvalitním referenčním měřicím systémem. Ve výsledku

vyšlo, že kvalita měřeného signálu pomocí nositelných textilních elektrod pro snímání EKG se dvěma vodiči je srovnatelná se signály měřenými referenční metodou, která zahrnuje aktivní potlačení šumu pomocí třetí elektrody.

### **Performance of the First Combined Smartwatch and Smartphone Diabetes Diary Application Study**

ÅRSAND, ET AL.

Tato studie se zabývá kontrolou pacientů s cukrovkou pomocí Smartwatch zařízení používaném na zápěstí, které informuje nejen o čase, ale také poskytuje připojení k internetu a schopnost komunikovat s mobilním telefonem. Pacienti s DM 1. typu byli testováni pomocí Smartwatches a aplikace pro diabetiky nainstalované na mobilní telefon. Pacienti si mohli do aplikace zadat vstupní hodnoty sacharidů, inzulínu a glukózy v krvi. Následně zařízení zaznamenávalo fyzickou aktivitu, včetně počtu kroků, a přenášelo tyto údaje do mobilního telefonu. Předkládaný systém a studie ukazují, že smartwatches otevřely nové možnosti v oblasti diabetologického samostatného řízení tím, že poskytují snadnější způsob monitorování BG, injekcí inzulínu, fyzické aktivity a dietních informací přímo ze zápěstí.

### **Validity of Garmin Vívofit and Polar Loop for measuring daily step counts in free-living conditions in adults**

ŠIMŮNEK, ET AL.

Ve studii jsou porovnávány wearables: Garmin Vívofit (Vívofit) a Polar Loop (Loop) s dobře ověřenými zařízeními: Yamax Digiwalker SW-701 (Yamax) a akcelerometrem ActiGraph GT3X + -Graph) u zdravých dospělých jedinců. Bylo vybráno 20 dospělých dobrovolníků ve věku od 25 do 52 let, kteří nosili oba dva WATs (Vívofit a Loop) s Yamaxem a ActiGraphem současně po dobu 7 dnů. Přesnost produktů Vívofit a Loop byla vyhodnocena porovnáním jednotlivých zařízení s metodami Yamax a ActiGraph, s využitím párových vzorků t-testu, průměrných absolutních procentních chyb, koeficientů intraclass correlation (ICC) a Bland-Altmanových grafů. Ve výsledku autorům vyšlo, že Vívofit prokázal vyšší přesnost než Loop při měření denních kroků (Loop nadhodnocuje denní počet kroků u jednotlivců, kteří podniknou další kroky během jednoho dne).

### **Wearable Modular Telemetry System for the Integrated Rescue System Operational Use**

KLIMENT ET AL.

Studie shrnuje vývoj modulárního telemetrického systému FlexiGuard navrženého pro zvýšení bezpečnosti členů týmu integrovaného záchranného systému

při řešení krizových situací a zlepšování výcvikových procesů. Systém monitoruje fyziologické parametry a zajišťuje signalizaci kritických stavů, jako je vyčerpání, duševní stres a přehřátí. Dále poskytuje rozlišení mezi povahou a intenzitou pohybu, včetně skutečného a celkového energetického výdaje, sledování parametrů prostředí a analýzu zásahu nebo výcviku. Systém byl testován v laboratořích i v terénu a koneční uživatelé se účastnili procesu optimalizace. Autoři končí studii tím, že pracují na implementaci úprav vysílací sítě do jednotek FlexiGuard a testování většího počtu jednotek ve spolupráci s armádou.

## 1.4 Cíle diplomové práce

- Hlavní cíl: Klinicko-ekonomické vyhodnocení využití wearables u spánkových poruch z pohledu zdravotnického zařízení
- Vedlejší cíle: Definice kritérií klinické efektivity  
Vyhodnocení klinické efektivity wearables  
Porovnání wearables s polysomnografií pomocí multikriteriálního rozhodování a nákladové analýzy



## 2 Metody

Tato kapitola popisuje teoretické základy vybraných metod, které byly použity v praktické části práce. V první řadě byl zpracován současný stav problematiky, kterému se věnovaly odborné studie a z jejich literární rešerše byly použity vybrané klinické efekty. Byl také podrobněji popsán sběr dat a metodika výběru pacientů. Klinické efekty byly následně ohodnoceny skupinou odborníků a zároveň byly stanoveny váhy jednotlivých efektů. Pro multikriteriální hodnocení byla použita metoda TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution). Na základě zjištěných údajů byla dále vypracovaná vhodná nákladová analýza, která byla provedena z perspektivy poskytovatele zdravotní péče.

### 2.1 Design studie

Cílem klinické studie je obvykle zhodnotit bezpečnost, účinnost a/nebo mechanismus účinku zkoumaného léčivého přípravku, postupu, nového léčivého přípravku, který je ve vývoji, ale potenciálně ještě nebyl schválen zdravotním orgánem či studium léku, přípravku nebo postupu, který již byl schválen, ale stále potřebuje další vyšetřování, obvykle s ohledem na dlouhodobé účinky nebo nákladovou efektivitu. [39]

Tato studie se zabývá zhodnocení klinické efektivity/účinnosti přístrojů s následným zaměřením na jejich nákladovou efektivitu.

#### 2.1.1 Výběr cílové populace

Pro práci byla zvolena jako cílová populace pacienti bez historické minulosti v oblasti spánkových poruch. Důvodem výběru těchto pacientů byla lepší aplikovatelnost a následné porovnání spánkového cyklu u jednotlivých zařízení.

#### 2.1.2 Sběr dat a velikost vzorku

Data byla získávána prospektivně a pocházela z pracoviště spánkové laboratoře, která zajišťovala dostatečné technické vybavení pro polysomnografii. Data pro wearables byla sbírána na tomtéž místě kvůli relevanci naměřených dat (délka spánku, prouzení po usnutí, aj.). Velikost vzorku byla 13 pacientů (6 mužů /7 žen) ve věku od 25 do 32 let.

#### 2.1.3 Metodika

Všichni probandi byli podrobeni nejdříve anamnestickému vyšetření. Následně u nich bylo provedeno vyšetření PSG souběžně s vyšetřením pomocí wearables.

V této části byly probandovi změřeny základní antropometrické tělesné parametry jako obvod krku, pasu, boků a stehna. Poté byl proband usazen na židli a byly mu na tělo

přípevněny veškeré elektrody a senzory, které jsou nezbytné pro polysomnografický záznam (obr. 9, 10 a 11, viz příloha). Před spuštěním byla provedena biokalibrace, nezbytná pro vizuální kontrolu správné detekce zaznamenávaných fyziologických signálů. Proband byl po tuto dobu ve spánkové místnosti sám a instruován sestrou prostřednictvím interkomu (obr. 12, viz příloha). Po úspěšné biokalibraci byl proband poučen o tom, jakým způsobem je možno během noci komunikovat se sestrou, a byl upozorněn, že je po celou dobu měření nahráván kamerou.

## 2.2 Klinická efektivita

Z literární rešerše vybraných studií vyplynulo, že pro stanovení klinické efektivity měření spánku byly nejčastěji použity tyto parametry: celková délka spánku, efektivita spánku, latence nástupu spánku, čas probuzení po usnutí, doba fáze REM, doba fáze NREM 1-3 a celkový čas v posteli. Také se hodnotí specifická a senzitivita u přístrojů.

## 2.3 Statistické metody pro vyhodnocení dat

Pro statistické zpracování dat byly použity následující metody:

**Medián** dělí určitý soubor hodnot na dvě poloviny, pro něž platí, že nejméně 50 % hodnot je větších než medián a druhých 50 % je nižších než medián. Pro lichý počet prvků souboru, je po jejich seřazení od nejmenšího po největší, za medián zvolen prvek, který se nachází uprostřed souboru hodnot. A pro sudý počet prvků, se po jejich seřazení vezmou obě prostřední hodnoty a z nich se vytvoří pomocí aritmetického průměru “prostřední“ hodnota souboru.

Vzorec pro určení mediánu, je-li  $n$  liché číslo:

$$\tilde{x} = x\left(\frac{n+1}{2}\right) \quad (2.1)$$

A vzorec mediánu, je-li  $n$  sudé číslo:

$$\tilde{x} = \frac{x\left(\frac{n}{2}\right) + x\left(\frac{n}{2} + 1\right)}{2} \quad (2.2)$$

**Interval spolehlivosti** neboli konfidenční interval je intervalový odhad, který je sestaven proto, abychom se dozvěděli informace o neznámé relativní četnosti nebo o průměru základního souboru. Je to interval  $(L_1; L_2)$ , ve kterém se se zadanou pravděpodobností či statistickou jistotou  $(1-\alpha)$  nachází “skutečná hodnota“ daného parametru. Pro interval spolehlivosti jsou nejčastěji používány hodnoty  $\alpha$  rovné 0,9; 0,95 či 0,99. [40]

Vzorec pro vypočtení intervalového odhadu, kde  $\theta$  představuje hodnotu bodového odhadu:

$$P(L_1 \leq \theta < L_2) = 1 - \alpha \quad (2.3)$$

**Wilcoxonův test** je neparametrickým testem symetrie hodnocení. Používá se pro hodnocení párových pokusů, kdy se porovnávají 2 měření provedená u jednoho výběrového souboru. Testuje se symetrie rozdělení vzhledem k hodnotě  $x_0$ , kterou je obvykle odhad mediánu či střední hodnoty. [41]

Postup při testu:

- Zjištění rozdílů mezi párovými hodnotami (veličina  $T$ ) – rozdíly jsou kladné, záporné a v případě shody hodnot jsou rozdíly nulové (ty jsou z hodnocení vyřazeny).
- Uspořádání nenulových rozdílů vzestupně bez ohledu na znaménko  
(např.:  $|+t3| < |+t1| < |-t5| < |-t4| < |+t6| < \dots$ )
- Přiřazení pořadí každému rozdílu (stejně hodnoty mají průměrné pořadí).
- Označení součtu pořadí ( $W_+$  jako kladné rozdíly a  $W_-$  jako záporné rozdíly). Přitom platí, že menší z obou součtů  $W_+ / W_-$  je použito jako testovací kritérium:

$$W_+ + W_- = \frac{n(n+1)}{2} \quad W = \min(W_+, W_-) \quad (2.4) \quad (2.5)$$

- Porovnání vypočteného testovacího kritéria  $W$  s kritickou hodnotou pro příslušné  $n$  a zvolenou hladinu významnosti  $\alpha$ :
  - je-li  $W < W_{(\alpha, n)} \Rightarrow$  zamítáme hypotézu o shodnosti rozdělení veličiny;
  - je-li  $W > W_{(\alpha, n)} \Rightarrow$  nemůžeme zamítnout hypotézu o shodnosti rozdělení veličiny.

## 2.4 Multikriteriální rozhodování

Multikriteriální (či vícekriteriální) rozhodování je disciplína operačního výzkumu zabývající se analýzou rozhodovacích situací, ve kterých jsou posuzovány rozhodovací varianty podle několika zpravidla navzájem konfliktních kritérií. Je představováno různými postupy podporující komplikovaná rozhodnutí, při kterých je potřeba posoudit varianty z více hledisek. Jednotlivá hlediska jsou vyjadřována ve formě kritérií. Obvyklým cílem vícekriteriálního rozhodování je vybrat jednu z množiny posuzovaných variant, případně seřadit varianty podle výhodnosti (daných preferencí). [42,43]

### 2.4.1 Hodnotové inženýrství

Hodnocení variant dle jednotlivých kritérií může být v různých měřítcích a jednotkách. Důležitá je přeměna vstupních informací na srovnatelné jednotky, které umožňují agregaci podle všech kritérií. To umožňují stupnice a škály, které patří mezi nejjednodušší metody vícekriteriálního hodnocení. Mezi tyto metody můžeme zahrnout např. bodovací metodu či Saatyho matici. [42]

## Bodovací metoda

Bodovací metoda byla vybrána z důvodu jednoduchosti a rychlosti provedení. Metoda je založena na principu přidělení určitého počtu bodů danému kritériu, podle preference rozhodovatele (čím více bodů, tím je preference silnější). Někdy se stanovuje horní hranice udělených bodů (např. 10 či 100), jindy se to ponechává na rozhodovateli. Poté se stanoví váhy jednotlivých kritérií podělením přidaných bodů jejich celkovým součtem. Součet vah je následně roven 1. Tato metoda vyžaduje kardinální informaci o preferencích jednotlivých kritérií. Podle bodového ohodnocení  $i$ -tého kritéria symbolem  $p_i$ , potom lze odhad vah kritérií získat podle vztahu: [44]

$$v_i = \frac{p_i}{\sum_{i=1}^k p_i} \quad (2.6)$$

## Saatyho metoda

Saatyho metoda je komplexnější metodou a vyžaduje časově náročnější zpracování, jejím výstupem je však přesné a konečné rozhodnutí. Stanovení vah kritérií pro tuto metodu se děje pomocí párového porovnání, kdy se zjišťují preferenční vztahy dvojic kritérií uspořádaných v tabulce. Velikost preference se vyjadřuje určitým počtem bodů ze zvolené bodové stupnice. Následné ohodnocení je zapisováno do Saatyho matice.

Tabulka 4 - Bodová stupnice Saatyho metody [46]

Body	Slovní ohodnocení párového porovnání
1	Rovnocenná kritéria
3	Mírně preferované první kritérium před druhým
5	Dosti preferované první kritérium před druhým
7	Prokazatelně preferované první kritérium před druhým
9	Absolutně preferované první kritérium před druhým

## Postup Saatyho matice

Postup Saatyho matice je popsán v následujících krocích. [47]

- Součet  $n$  prvků  $S_i$ , každého  $k$ -tého sloupce matice:

$$\sum_{j=1}^n S_{j;k} \quad (2.7)$$

- Vydělení prvků všech sloupců součtem prvků všech sloupců. Vznik prvků  $t$  nové matice  $T$ :

$$t_{j;k} = \frac{S_{j;k}}{\sum_{j=1}^n S_{j;k}} \quad (2.8)$$

- Součet  $n$  prvků  $t$  v matici  $T$ , každého  $j$ -tého řádku:

$$\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n t_{j;k} \quad (2.9)$$

- Výpočet normalizace řádkových součtů matice  $T$  a získání kvantifikované hodnoty relativních ukazatelů  $w_j$  :

$$w_j = \frac{\sum_{k=1}^n t_{j;k}}{\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n t_{j;k}} \quad (2.10)$$

Tabulka 5 - Saatyho matice v obecném tvaru [46]

Ukazatel	1	2	J	K	N
1	1	$S_{1;2}$	$S_{1;j}$	$\frac{1}{S_{1;k}}$	$S_{1;n}$
2	$\frac{1}{S_{2;1}}$	1	$\frac{1}{S_{2;j}}$	$S_{2;k}$	$S_{2;n}$
J	$\frac{1}{S_{j;1}}$	$S_{j;2}$	1	$\frac{1}{S_{j;k}}$	$S_{j;n}$
K	$S_{k;1}$	$\frac{1}{S_{k;2}}$	$S_{k;j}$	1	$S_{k;n}$
N	$\frac{1}{S_{n;1}}$	$\frac{1}{S_{n;2}}$	$\frac{1}{S_{n;j}}$	$\frac{1}{S_{n;k}}$	1

## 2.4.2 TOPSIS

Metoda TOPSIS je založena na principu, že zvolená alternativa by měla mít nejkratší vzdálenost od pozitivního ideálního řešení (tzv. ideální varianta) a nejdelší geometrickou vzdálenost od negativního ideálního řešení (tzv. bazální varianta). Vyžaduje kriteriální hodnoty pro jednotlivé varianty a stanovené váhy jednotlivých kritérií. Kriteriální hodnoty jsou uspořádány v kriteriální matici  $Y=(y_{ij})$ , kde  $y_{ij}$  je hodnota  $i$ -té varianty hodnocené dle  $j$ -tého kritéria. [48]

### Postup metody:

- Převod minimalizačního kritéria na maximalizační.
- Vytvoření normalizované kriteriální matice  $R$  podle vzorce:

$$r_{ij} = \frac{y_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^p y_{ij}^2}} \quad (2.11)$$

- Výpočet vážené kriteriální matice  $W$  dle vztahu  $w_{ij} = v_j r_{ij}$ . (2.12)

- Určení ideální a bazální varianty vzhledem k hodnotám matice  $W$ :

$$H_j = \max_i w_{ij} \quad D_j = \min_i w_{ij} \quad (2.13)$$

- Výpočet vzdálenosti variant od ideální varianty:

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^k (w_{ij} - H_j)^2} \quad (2.14)$$

a od bazální varianty:

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^k (w_{ij} - D_j)^2} \quad (2.15)$$

- Výpočet relativních ukazatelů vzdáleností variant od bazální varianty. Hodnoty ukazatelů se pohybují mezi 0 a 1, přičemž 0 je pro bazální a 1 pro ideální variantu.

$$c_i = \frac{d_i^-}{(d_i^+ + d_i^-)} \quad (2.16)$$

- Seřazení variant sestupně dle hodnoty relativních ukazatelů vzdálenosti.

## 2.5 Analýza nákladů

Analýzu jednotlivých nákladových položek bychom mohli označit jako klíčový bod při nákladové studii. Na náklady v oboru zdravotnictví je pohlíženo z několika hledisek a jsou rozříděny do skupin. Tyto náklady představují zdroje pro poskytovatele zdravotní péče vyjádřené v peněžních jednotkách a spotřebovaných při poskytování zdravotní péče.

### Klasifikace nákladů

Náklady lze dělit například podle zdrojů na přímé a nepřímé, podle možnosti jejich ocenění na trhu na hmotné či nehmotné, podle jejich charakteru na fixní a variabilní a podle dané perspektivy, které uvádí následující tabulka:

Tabulka 6 – Rozdělení nákladů z hlediska perspektivy [49]

NÁKLADY	PERSPEKTIVA				
	Společnost	Poskytovatel ZP	Lékař	Plátce ZP	Pacient
<b>PŘÍMÉ ZDRAVOTNÍ NÁKLADY</b>					
Zdravotní péče	+	+	-	+	-
Léky	+	+	-	+	+

PŘÍMÉ ZDRAVOTNÍ NÁKLADY					
Čas ostat. personálu	+	+	-	+	-
Čas lékařů	+	+	+	+	+
Laboratorní vyšetření	+	+	-	+	-
PŘÍMÉ NEZDRAVOTNICKÉ NÁKLADY					
Náklady na přepravu	+	-	-	-	+
Administrativní náklady	+	+	-	+	-
Doplňky stravy, pomůcky	+	-	-	+	+
Náklady na péči	+	-	-	-	+
NEPŘÍMÉ NÁKLADY					
Ušlá mzda – návštěva lékař	+	-	-	-	+
Ušlá mzda při nemoci	+	-	-	-	+
Ztráta zaměstnání	+	-	-	-	+

Po prvotní klasifikaci nákladů je třeba náklady rozpočítat. Existuje několik typů rozpočítávání zdravotnických nákladů. Jednotlivé typy rozpočítávání shrnuje tabulka 7.

Tabulka 7 - Typy rozpočítávání nákladů ve zdravotnictví [49]

Typ rozpočítávání	Popis metody
Macro-costing	Počítány jsou průměrné náklady na jeden případ
Micro-costing	Náklady počítány od jednotlivých komponent
Case-mix group	Náklady jsou počítány pro každou kategorii případů nebo skupinu hospitalizovaných pacientů
Denní náklady – pro diagnózu	Počítány jsou denní náklady pro danou diagnózu
Denní náklady – průměrné	Počítány jsou průměrné denní náklady všech pacientů

## 2.6 Nákladové analýzy

Nákladové analýzy, jak název napovídá, se zabývají náklady neboli financováním zaměřenými na určitou diagnózu, léčbu či zdravotnický prostředek. V dnešní době jsou velmi využívány k hodnocení zdravotnických technologií. Údaje o nákladech mohou být získávány z různých zdrojů (např. z administrativních databází poskytovatelů ZP či v rámci odborných klinických studií, aj.). Nákladových analýz používaných ve zdravotnictví je více, avšak ve studii nebývají vypracovány většinou více než dvě. Vhodnost jejich použití závisí na několika faktorech, kterými jsou: zvolená perspektiva, účel hodnocení, dostupnost a charakter dat, shodnost klinických efektů variant a odůvodněné zahrnutí/vynechání určitého typu nákladů. [50] Seznam nejčastějších nákladových analýz uvádí tabulka 8.

Podstatnou součástí nákladové studie tvoří také volba perspektivy. Perspektiva je dána pohledem, kterým bude na náklady a klinické výstupy nahlíženo. Z jedné strany se mohou zdát vynaložené náklady na intervenci zbytečné, z jiné perspektivy lze vidět klinický přínos, který by v prvním pohledu nebyl znatelný. Nákladové analýzy jsou prováděny z pohledu: plátce ZP, poskytovatele ZP (zdravotnické zařízení, lékaři, ...), celospolečenské, pacienta, rodiny pacienta. [50]

Tabulka 8 - Nejčastější typy nákladových analýz [49, 50]

<b>Nákladová analýza</b>	<b>Zkratka</b>	<b>Český překlad</b>	<b>Stručný popis</b>
Cost-minimization analysis	CMA	Analýza minimalizace nákladů	CMA je zvolena v případě, že klinické výstupy jsou stejné a hodnotí se jen náklady variant. Uplatňuje se při vyčíslování nákladů na konkrétní diagnózu.
Cost of illness	COI	Náklady na onemocnění	COI slouží k vymezení rozměru choroby v peněžních jednotkách a stanovení hospodářského dopadu nemoci nebo stavu zahrnující náklady na léčbu.
Cost-effectiveness analysis	CEA	Analýza efektivity nákladů	CEA srovnává náklady v peněžních jednotkách s kvantitativními efekty v nepeněžních jednotkách. Pomocí CEA je zjišťována nákladová efektivnost na naturální jednotku výstupu. Ukazatelem CEA je kritérium efektivnosti (ICER).
Cost-utility analysis	CUA	Analýza užitečnosti nákladů	CUA porovnává náklady v peněžních jednotkách s užitekem, který bývá nejčastěji vyjádřen pro pacienta pomocí QALY.
Cost-benefit analysis	CBA	Analýza nákladů a přínosů	CBA porovnává náklady a přínosy, které jsou vyjádřeny v běžných peněžních jednotkách. CBA díky tomu podává nejpřesnější kvantifikaci nákladů a výstupů.
Cost-consequence analysis	CCA	Analýza nákladů a důsledků	CCA prezentuje náklady a výstupy v jednotlivých oddělených kategoriích, přičemž náklady i výstupy jsou porovnávány s komparátorem

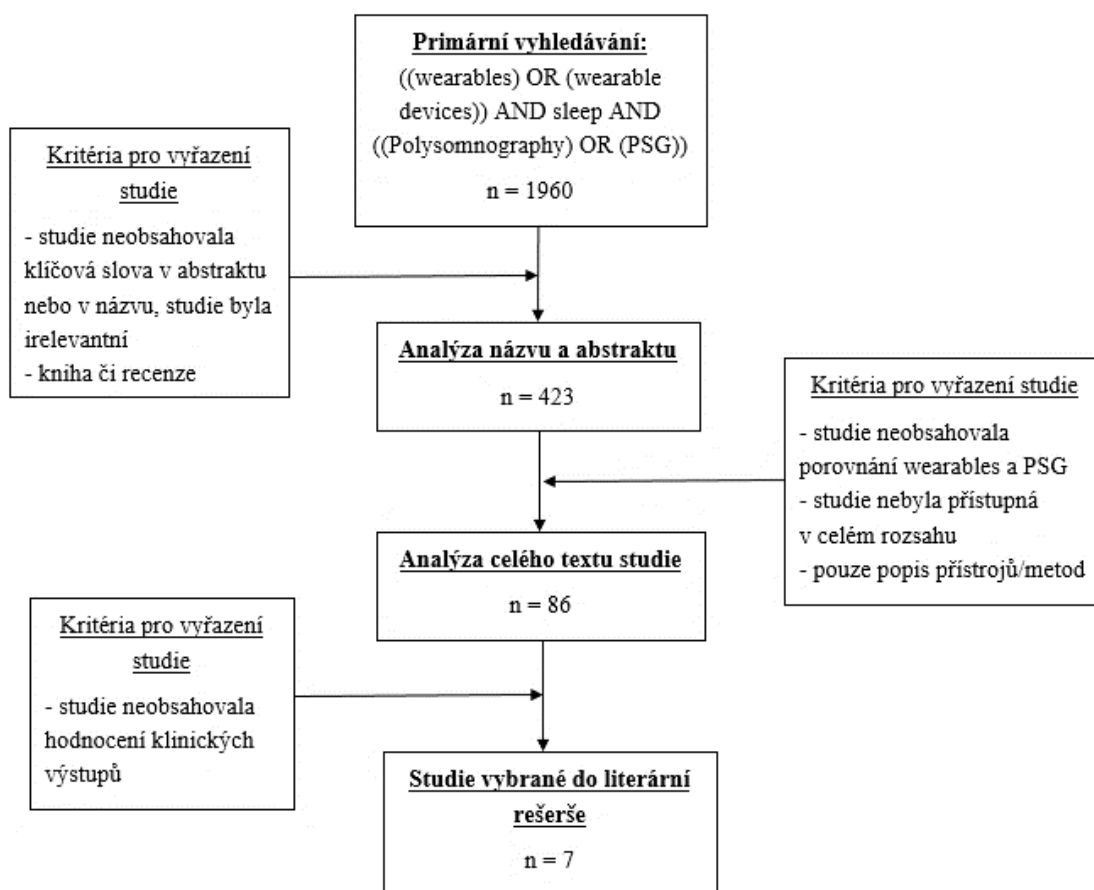


## 3 Výsledky

### 3.1 Literární rešerše

K určení vhodných klinických výstupů pro měření byla použita literární rešerše odborné literatury a klinických studií. Pro vyhledání byly použity různé databáze jako: SpringerLink, PubMed, Web of Science, ScienceDirect a vyhledavače jako Google Scholar. Časový horizont vydání studií byl zvolen, pro aktuálnost dat, v rozmezí let 2015 - 2018. Použitá klíčová slova byla: wearables, sleep a polysomnography.

Z vyhledaných 1960 článků v literární rešerši, bylo vyselektováno 86 studií. A z těchto studií bylo vybráno celkem 7 studií, které splňovaly požadovaná kritéria. Schéma postupu výběru studií a seznam vybraných studií s podrobnějšími informacemi jsou zobrazeny níže na obrázku 13/v tabulce 9.



Obrázek 13 – Schéma postupu literární rešerše (zdroj: vlastní)

Tabulka 9 - Seznam vybraných studií z literární rešerše (zdroj: vlastní)

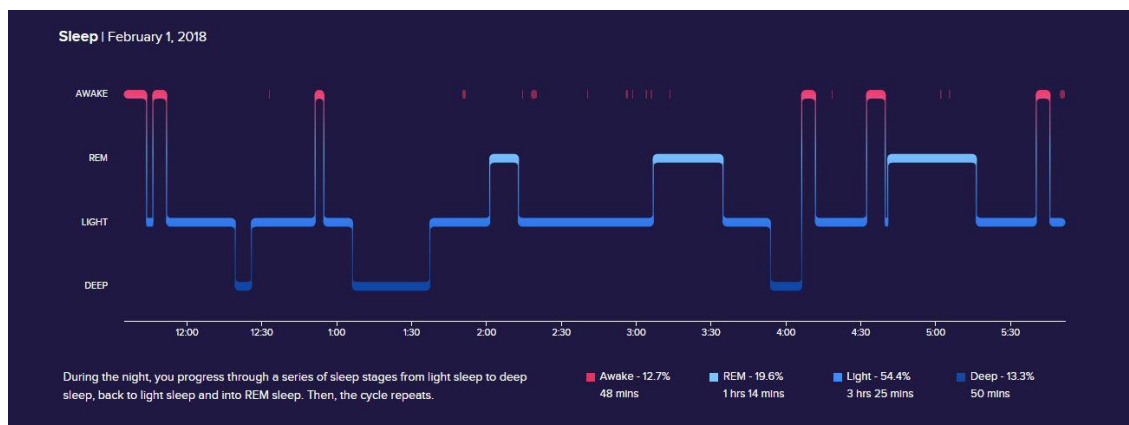
	Název	Autor	Rok	Typ studie	Počet pacientů	Klinické výstupy
1.	Validity of a commercial wearable sleep tracker in adult insomnia disorder patients and good sleepers [51]	KANG et al.	2017	Prospektivní studie	50	Věk, BMI, pohlaví, TST, SOL, SE, WASO, čas strávený ve stadiu N1, N2, N3 a REM
2.	Development and Evaluation of a Wearable Device for Sleep Quality Assessment [52]	KUO, LIU et al.	2017	Prospektivní studie	81	Věk, pohlaví, SE, SOL, WASO, TST, TIB
3.	Evaluation of a Consumer Fitness-Tracking Device to Assess Sleep in Adults [12]	ZAMBOTTI et al.	2015	Prospektivní studie	28	Stádia spánku, TIB, TST, SOL, WASO, sensitivita, SP
4.	Laboratory and home comparison of wrist-activity monitors and polysomnography in middle-aged adults [53]	DUNICAN et al.	2018	Prospektivní studie	50	Čas zhasnutí světel, SOL, čas usnutí, TST, WASO, TIB, SE
5.	Reliability of commercially available sleep and activity trackers with manual switch-to-sleep mode activation in free-living healthy individuals [54]	GRUWEZ et al.	2017	Prospektivní studie	15	TST, TIB, SE, SOL, lehký spánek (N1-N2), hluboký spánek (N3)
6.	Measures of sleep and cardiac functioning during sleep using a multi-sensory commercially-available wristband in adolescents [55]	ZAMBOTTI et al.	2016	Prospektivní studie	32	TST, TIB, SOL, SE, WASO, čas strávený ve stadiu N1, N2, N3 a REM
7.	Comparison of Wearable Activity Tracker with Actigraphy for Sleep Evaluation and Circadian Rest-Activity Rhythm Measurement in Healthy Young Adults [56]	LEE et al.	2017	Prospektivní studie	16	Čas usnutí, TST, čas probuzení, SE

(BMI – Body Mass Index; TST – celkový čas spánku; SOL – Sleep Onset Latency; SE – Sleep Efficiency; WASO – Probuzení po usnutí; TIB – celkový čas v posteli; SP – specifická; N1-3 – NonREM fáze 1-3)

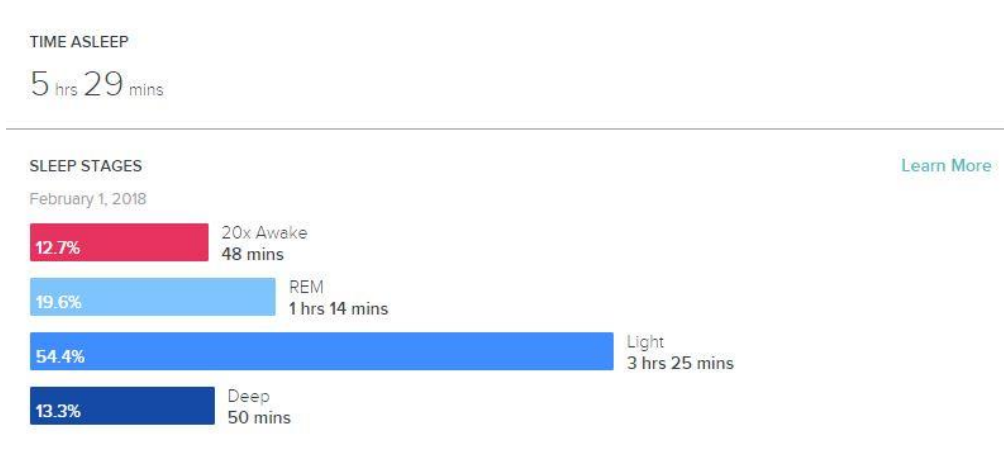
Pro mojí práci byly vybrány tyto klinické výstupy: TST, TIB, SE, WASO, SOL, Čas strávený ve fázi N1-N2 (označený jako lehký spánek), Čas strávený ve fázi N3 (označený jako hluboký spánek) a Čas strávený ve fázi REM.

### 3.2 Statistické vyhodnocení měření

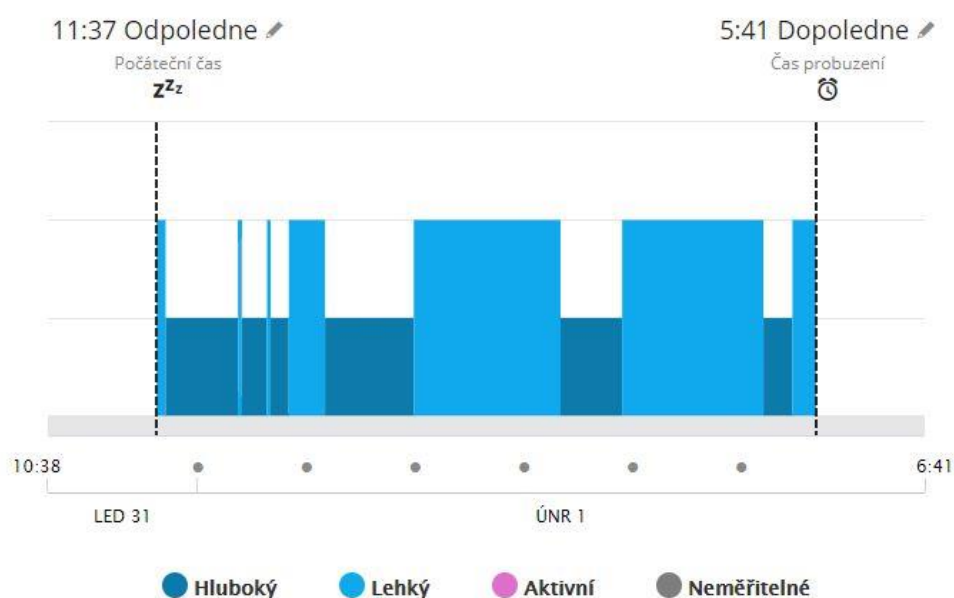
Data byla sbírána během celonočního měření pomocí jednotlivých přístrojů a následně analyzována jejich příslušnými softwary, v případě PSG byla data vyhodnocována i lékařem. Naměřené hodnoty klinických výstupů jsou shrnuty v tabulce 10-113 (viz příloha). Obrázek 14-20 ukazuje zanalyzovaná data z měření u prvního probanda.



Obrázek 14 – Hypnogram spánku – aplikace Fitbit (zdroj: www.fitbit.com)



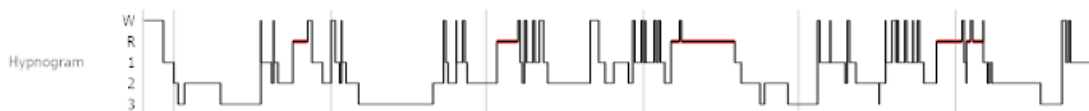
Obrázek 15 – Analýza spánku softwarem Fitbit (zdroj: www.fitbit.com)



Obrázek 16 - Hypnogram spánku – aplikace Garmin (zdroj: www.garmin.com)



Obrázek 17 – Analýza spánku softwarem Garmin (zdroj: www.garmin.com)

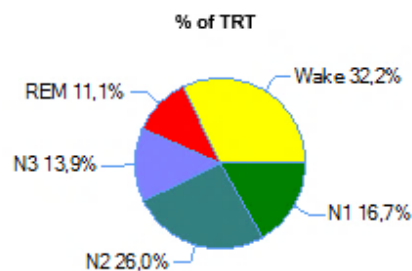
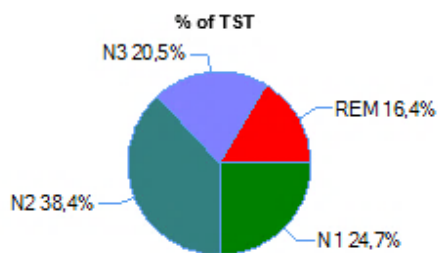


Obrázek 18 - Hypnogram spánku – software PSG (zdroj: Nemocnice Na Homolce)

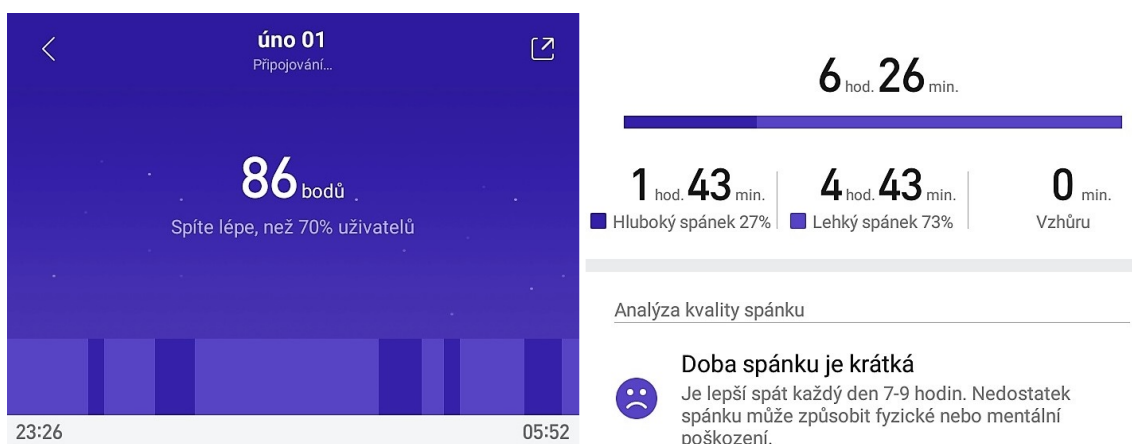
## Sleep Scoring

Analysis Start Time (Lights out):	21:43	Sleep Latency (SL):	100,4m
Analysis Stop Time (Lights on):	5:53	REM Latency:	0m
Total Sleep Time (TST):	332m	Wake After Sleep Onset (TRT-SL-TST):	58m
Analysis Duration (TRT):	490,4m	Sleep Efficiency (TST/TRT*100):	67,7%

Sleep Stages	Duration	% of TST	% of TRT
N1:	82m	24,7%	16,7%
N2:	127,5m	38,4%	26,0%
N3:	68m	20,5%	13,9%
REM:	54,5m	16,4%	11,1%
Wake:	158m	-	32,2%



Obrázek 19 – Analýza spánku softwarem PSG (zdroj: Nemocnice Na Homolce)



Obrázek 20 - Hypnogram spánku a analýza spánku softwarem Xiaomi (zdroj: vlastní)

Jednotlivá naměřená data z přístrojů byla roztržena dle klinických výstupů do jednotlivých kategorií (TST, SE, SOL, WASO, HS, LS, REM) a následně byla vyhodnocována pomocí Wilcoxonova testu. Každý přístroj wearables byl porovnáván s PSG pomocí párového porovnání v programu Excel. Výsledky párového porovnání vyjádřené pomocí p-hodnot, střední hodnoty a směrodatné odchylky klinických výstupů jsou zobrazeny v tabulce 14.

Tabulka 14 – Výsledky statistického vyhodnocení měření (zdroj: vlastní)

Parametr (stř.hodnota ± SD)	Xiaomi	Garmin	Fitbit	PSG
Pohlaví (muži/ženy)	46% (6) /54% (7)			
Věk (roky)	27,6 ± 2,1			
SE (%)	83 ± 8	82,9 ± 7,4	76,5 ± 6,8	77,8 ± 7,1
p-hodnota SE	0,048997	0,041395	0,721444	
TST (min)	399,9 ± 38,3	398 ± 35,4	367,1 ± 32,8	373,5 ± 34,1
p-hodnota TST	0,051766	0,046348	0,739080	
WASO (min)	305,9 ± 147,8	279,1 ± 145,8	170,3 ± 115,7	156,5 ± 95,5
p-hodnota WASO	0,364317	0,531907	0,563610	
SOL (min)	67,2 ± 31,2	69,4 ± 32,3	68,1 ± 32	68,7 ± 29,7
p-hodnota SOL	0,003806	0,008155	0,510646	
HS(min)	98,8 ± 31,6	150,3 ± 34,9	45,2 ± 15,6	58,7 ± 17,6
p-hodnota HS	0,000981	0,000005	0,977336	
LS (min)	300,2 ± 37,8	244 ± 41,5	234,8 ± 16,2	254,5 ± 41,4
p-hodnota LS	0,001282	0,780521	0,978735	
REM (min)	0	0	86,9 ± 15,8	68 ± 15,4
p-hodnota REM	3,237E-06	3,237E-06	1,282E-03	

(SD – směrodatná odchylka)

Srovnání spánkové efektivity (SE) jednotlivých nositelných zařízení v porovnání s PSG dopadlo nejlépe pro zařízení Fitbit, kde p-hodnota byla 0,7214 oproti PSG, která měla referenční hodnotu 1. I ostatní měřené klinické výstupy vyšly nejlépe pro zařízení Fitbit. U REM spánku měly dvě zařízení (Xiaomi a Garmin) výslednou hodnotu nula, v důsledku neschopnosti těchto dvou zařízení tuto fázi spánku měřit. Také p-hodnoty u výstupu REM nebyly započítány do výsledných p-hodnot použitých pro klinický efekt – spolehlivost měření.

### 3.3 Stanovení klinicko-ekonomických efektů a jejich vah

Klinicko-ekonomické efekty byly určeny pro následující zpracování praktické části, ve které budou porovnávána nositelná zařízení s PSG pomocí multikriteriálního rozhodování. Pro stanovení a ohodnocení klinicko-ekonomických efektů byly vytvořeny

dvě skupiny složené z odborníků (lékařů zabývajících se spánkovými poruchami a pracujících s PSG), odborného zdravotnického personálu (nelékařský zdravotnický personál pracující s PSG a užívající nositelné zařízení) a uživatelů nositelného zařízení. První skupina stanovila klinicko-ekonomické efekty, které byly selektovány z literární rešerše a následně druhá skupina je ohodnotila. Klinicko-ekonomické efekty byly hodnoceny pomocí bodovací metody a Saatyho matice.

Celkem bylo analyzováno následujících 7 efektů:

- **Výdrž baterie** – charakterizuje efekt, jak dlouho přístroj vydrží během svého používání bez nabití (je vyjádřen ve dnech).
- **Počet senzorů** – parametr, který udává kolik fyziologických charakteristik je přístroj schopen zaznamenávat (např. EEG, EKG či srdeční frekvenci).
- **Cena přístroje** – představuje pořizovací cenu.
- **Hmotnost přístroje** – určuje jeho váhu (udávanou v gramech).
- **Uživatelský komfort** – efekt udává, jak přívětivé nastavení/ovládání má přístroj pro uživatele, který ho obsluhuje.
- **Přídavné funkce** – parametr představuje další funkce, které přístroj má (např. budík, příjem hovoru pomocí dotyku displeje, počet ušlých kroků či hodiny).
- **Spolehlivost měření** – udává, jak kvalitně dokáže přístroj změřit určité parametry spánku (hodnoceno vůči PSG, která udávala referenční hodnoty).

### 3.3.1 Bodovací metoda

Bodovací metoda vyjadřuje preference, mezi jednotlivými hodnocenými efekty, vyjádřené bodovým ohodnocením (v tomto případě od 1 do 10). Hodnota 1 udává, že kritérium je zcela bezvýznamné, či že vůbec neplní svou funkci. Hodnota 6 značí průměrně významné kritérium či průměrnou funkci. A hodnota 10, že je kritérium nejvýznamnější a má vynikající plnění. Nejlépe ohodnocenými efekty byly: výdrž baterie, cena přístroje a spolehlivost měření a nejhůře ohodnoceny byly přídavné funkce. Výsledky hodnocení s vypočtenými váhami pro dané efekty jsou uvedeny v tabulce 15.

Tabulka 15 – Výsledky bodovací metody s vypočtenými váhami (zdroj: vlastní)

Kritéria	Body	Váha
Výdrž baterie (dny)	8	0,17
Počet senzorů (měřených parametrů)	7	0,15
Cena přístroje	8	0,17
Hmotnost přístroje (g)	5	0,11
Uživatelský komfort	7	0,15
Přídavné funkce	4	0,09
Spolehlivost měření	8	0,17

### 3.3.2 Saatyho matice

Při Saatyho metodě dochází k párovému porovnávání jednotlivých efektů a ohodnocení jejich důležitosti. Pro ohodnocení důležitosti byla použita stupnice popsaná v tabulce 4, kde hodnota 1 značí rovnocennost efektů a hodnota 9 vyjadřuje absolutně větší význam prvního kritéria oproti druhému. Následující tabulka shrnuje výsledky Saatyho matice.

Tabulka 16 – Výsledná Saatyho matice ohodnocená skupinou odborníků (zdroj: vlastní)

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	průměr	váha
K1	1	3	3	7	1/3	7	1/3	1,74	0,19
K2	1/3	1	1/3	3	1	5	1/3	0,92	0,10
K3	1/3	3	1	7	3	5	1/3	1,66	0,18
K4	1/7	1/3	1/7	1	1/5	3	1/5	0,36	0,04
K5	3	1	1/3	5	1	5	1	1,58	0,17
K6	1/7	1/5	1/5	1/3	1/5	1	1/7	0,25	0,03
K7	3	3	3	5	1	7	1	2,66	0,29

(K1-K7...kritéria/klinicko-ekonomické efekty 1-7)

Dle výsledných vah vyšlo, že nejlépe ohodnoceným efektem je spolehlivost měření. Dále výdrž baterie, cena přístroje a uživatelský komfort. Mezi efekty s horší výslednou váhou se poté řadí: počet senzorů, hmotnost přístroje a přídatné funkce.

### 3.3.3 Výsledné váhy kritérií

Váhy kritérií pro multikriteriální hodnocení byly použity z výsledné Saatyho matice kvůli její přesnosti a časové náročnosti. Jejich shrnutí uvádí tabulka 17.

Tabulka 17 – Výsledné váhy kritérií pro multikriteriální hodnocení (zdroj: vlastní)

	Kritéria	Váha	Pořadí
K1	Výdrž baterie (dny)	0,19	2.
K2	Počet senzorů	0,10	5.
K3	Cena přístroje	0,18	3.
K4	Hmotnost přístroje (g)	0,04	6.
K5	Uživatelský komfort	0,17	4.
K6	Přídatné funkce	0,03	7.
K7	Spolehlivost měření	0,29	1.

### 3.4 Výsledky multikriteriálního hodnocení

Pro výpočet multikriteriálního hodnocení byla zvolena metoda TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution). Výsledky dílčích kroků jsou popsány níže. Tabulka 18 uvádí výchozí hodnoty metody TOPSIS a jejich rozdělení dle povahy na maximalizační či minimalizační.

Tabulka 18 - Výchozí matice multikriteriálního rozhodování s hodnotami efektů (zdroj: vlastní)

Přístroje	Výdrž baterie (dny)	Počet senzorů	Cena přístroje (Kč)	Hmotnost přístroje (g)	Uživatelský komfort (body)	Přídavné funkce	Spolehlivost měření
Xiaomi Mi Band 2	20	2	990	19	4	3	0,067
Fitbit Charge 2	5	4	6 990	35	8	6	0,642
Garmin VivoSmart Optic	5	3	3 849	31	3	7	0,201
Nox A1 PSG System	0,5	12	412 000	132	6	0	1
Váha kritéria	0,19	0,1	0,18	0,04	0,17	0,03	0,29
Povaha	MAX	MAX	MIN	MIN	MAX	MAX	MAX

Následně byla vytvořena normalizovaná kritériální matice R dle vztahu 2.11. Výsledky ukazuje tabulka níže.

Tabulka 19 – Normalizovaná kritériální matice R (zdroj: vlastní)

Přístroje	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
Xiaomi Mi 2	0,94255	0,15206	0,00240	0,13445	0,35777	0,30943	0,05551
Fitbit Charge 2	0,23564	0,30411	0,01696	0,24767	0,71554	0,61885	0,53186
Garmin VivoSmart Optic	0,23564	0,22809	0,00934	0,21936	0,26833	0,72199	0,16652
Nox A1 PSG System	0,02356	0,91234	0,99981	0,93406	0,53666	0,00000	0,82844

Dalším krokem bylo vypočtení vážené kritériální matice W, dle vztahu 2.12, a určení ideální a bazální varianty vzhledem k hodnotám matice W, dle vztahu 2.13:



Tabulka 20 - Vážená kriteriální matice s bazálními a ideálními hodnotami (zdroj: vlastní)

Přístroje	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
Xiaomi Mi Band 2	0,17908	0,01521	0,00043	0,00538	0,06082	0,00928	0,01610
Fitbit Charge 2	0,04477	0,03041	0,00305	0,00991	0,12164	0,01857	0,15424
Garmin VivoSmart Optic	0,04477	0,02281	0,00168	0,00877	0,04562	0,02166	0,04829
Nox A1 PSG System	0,00448	0,09123	0,17997	0,03736	0,09123	0	0,24025
Povaha	max	max	min	min	max	max	max
ideální H	0,17908	0,09123	-0,17997	-0,03736	0,12164	0,02166	0,24025
bazální D	0,00448	0,01521	-0,00043	-0,00538	0,04562	0	0,01610

Na závěr byla spočtena vzdálenost jednotlivých hodnot od ideální ( $d_i^+$ ) a od bazální ( $d_i^-$ ) varianty vztahem 2.14 a 2.15 a také byl vypočítán relativní ukazatel vzdálenosti variant ( $c_i$ ) od varianty bazální, který určuje velikost výsledných efektů obou variant (dle vztahu 2.16):

Tabulka 21 – Hodnoty vzdáleností  $d_i^+$ ,  $d_i^-$  a  $c_i$  (zdroj: vlastní)

Přístroje	$d_i^+$	$d_i^-$	$c_i$
Xiaomi Mi Band 2	0,30700	0,17584	0,36419
Fitbit Charge 2	0,25471	0,16525	0,39350
Garmin VivoSmart Optic	0,31698	0,05824	0,15521
Nox A1 PSG System	0,40868	0,30410	0,42664

Výsledné efekty variant a jejich pořadí uvádí tabulka 22.

Tabulka 22 – Výsledné pořadí variant dle TOPSIS (zdroj: vlastní)

	Výsledný efekt	Pořadí
Xiaomi Mi Band 2	0,36419	3.
Fitbit Charge 2	0,39350	2.
Garmin VivoSmart Optic	0,15521	4.
Nox A1 PSG System	0,42664	1.

Nejlepší variantou podle výsledného efektu metody TOPSIS vyšel přístroj polysomnografie. Druhým nejlepším zařízením byl přístroj od společnosti Fitbit, následovaný náramkem Xiaomi. Na posledním místě skončil přístroj Garmin VivoSmart Optic.

### 3.5 Výsledky analýzy nákladů

V kapitole metody byly náklady rozděleny dle zdrojů či perspektivy a bylo nahlédnuto také na jednotlivé typy rozpočítávání nákladů. V této kapitole následuje jejich podrobná kalkulace. Pro účely diplomové práce byla pro analýzu nákladů vybrána perspektiva poskytovatele zdravotní péče.

#### 3.5.1 Analýza nákladů PSG

Náklady na vyšetření pomocí PSG byly získány z interních údajů Nemocnice Na Homolce a zahrnovaly údaje o pořizovací ceně, personálních nákladech, hotelových službách a spotřebním materiálu. Jednotlivé ceny pro dané kategorie uvádí tabulka 23.

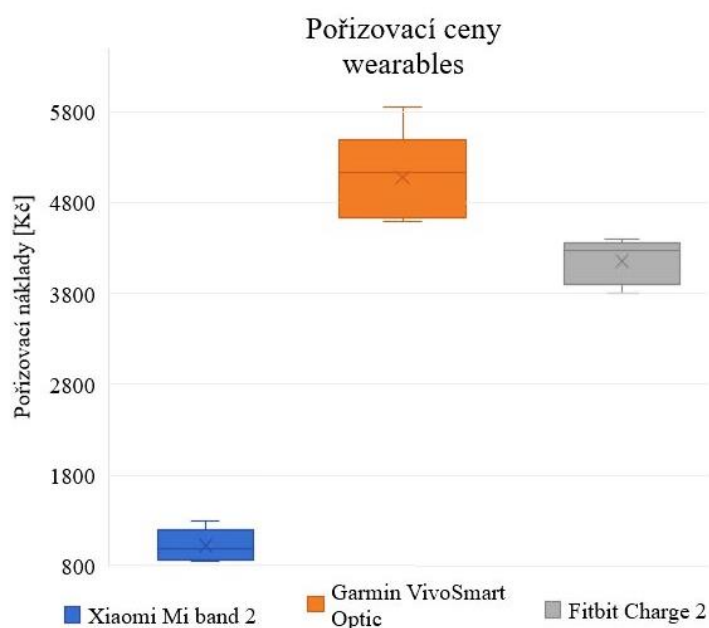
Tabulka 23 – Náklady na 1 polysomnografické vyšetření (zdroj: vlastní)

Náklady		Cena (Kč)
Pořizovací cena PSG přístroje (včetně softwaru, servisu)		1 908
Spotřební materiál	Nosní kanyla	58
	Čepička	46
	Samolepící elektrody	63
	AC cream	3
	Upevňovací samolepky pro elektrody	72
Hotelové služby, energie...		350
Mzda zdravotnického personálu (sestry)		2 120
Mzda lékaře		630

Servisní náklady jsou zahrnuty v pořizovací ceně. Ta je spočtená z ročních odpisů vydělených počtem pacientů, kteří absolvovali vyšetření za rok. Mzda zdravotní sestry byla vypočítána ze mzdy zdravotních sester pracujících na neurologii. Bylo zde započítáno 8 hodin, kde sestra kontinuálně monitoruje pacienta na dálku a dále 1 hodina, ve které 2 sestry připevňují veškeré senzory pacientovi na tělo. A mzda lékaře byla vypočítána jako doba, kterou neurolog stráví popisováním jednoho polysomnografického záznamu (2 hodiny). Celková cena jednoho PSG vyšetření byla vykalkulována na 5 250 korun.

### 3.5.2 Analýza nákladů wearables

Náklady na nositelné zařízení byly lehce získatelné, jelikož v sobě zahrnovaly pouze pořizovací náklady a mzdu lékaře, který výsledky musí vyhodnotit. Jelikož se prodejní ceny v jednotlivých internetových portálech liší, byla vypočítána průměrná cena z internetových obchodů, které uvádí obrázek 21. Tabulka s pořizovacími cenami přístrojů je umístěna v příloze (viz tabulka 24).



Obrázek 21 – Pořizovací ceny wearables (zdroj: vlastní)

Konečné ceny přístrojů byly vyčísleny: pro Xiaomi 1 025 Kč, pro Garmin 5 430 Kč a pro přístroj Fitbit 4 145 Kč. A mzda lékaře, který by vyhodnocoval výsledky, byla vyčíslena na 315 Kč.

Také by záleželo na tom, jestli by byl pacient měřen pomocí zařízení doma nebo v nemocnici, když by to bylo ve zdravotnickém zařízení, musely by být do nákladů započítány také náklady jako: hotelové služby nebo mzdy odborného personálu. Výsledné náklady na vyšetření pomocí přístroje Fitbit, které jsou použity v následující kapitole, uvádí tabulka 25.

Tabulka 25 – Náklady na 1 vyšetření pomocí přístroje Fitbit ve zdravotnickém zařízení (zdroj: vlastní)

Náklady	Cena [Kč]
Pořizovací cena přístroje Fitbit (včetně softwaru, servisu)	57,569
Hotelové služby, energie,..	350
Mzda sestřičky	2120
Mzda lékaře	315

Výsledné náklady na 1 vyšetření pomocí přístroje Fitbit při pobytu ve zdravotnickém zařízení byly vypočítány na 3 158 korun.

### 3.6 Výsledky analýzy nákladové efektivity

V rámci analýzy nákladové efektivity byla pro účely diplomové práce vybrána perspektiva poskytovatele zdravotní péče, tj nemocnice. Komparátorem pro PSG byla zvolena druhá nejlepší varianta, která nám vyšla v multikriteriálním rozhodování dle vztahu 2.16, a to přístroj Fitbit Charge 2. Nákladová efektivita byla vypočtena jako poměr nákladů na vyšetření jednoho pacienta a klinického efektu C/E. Následující tabulky zobrazují nákladovou efektivitu vyšetření vykonávaného v domácím prostředí a ve zdravotnickém zařízení (z hlediska přístroje Fitbit).

Tabulka 26 - Výsledek analýzy nákladové efektivity – domácí prostředí (zdroj: vlastní)

	<b>Cena za 1 vyšetření</b>	<b>Efekt</b>	<b>CEA</b>	<b>Pořadí</b>
PSG	5 250	0,42664	12 305,46	Druhý
Fitbit	372,57	0,39350	946,82	První

Tabulka 27 - Výsledek analýzy nákladové efektivity – zdravotnické zařízení (zdroj: vlastní)

	<b>Cena za 1 vyšetření</b>	<b>Efekt</b>	<b>CEA</b>	<b>Pořadí</b>
PSG	5 250	0,42664	12 305,46	Druhý
Fitbit	2 842,57	0,39350	7 223,90	První

Podle výsledků CEA vychází, že i přes nižší efekt nositelného přístroje Fitbit Charge 2, je tento přístroj nákladově efektivnější než vyšetření pomocí polysomnografie. Dále se liší výsledky dle toho, zda by vyšetření pomocí nositelného zařízení bylo vykonáváno v domácím prostředí či ve zdravotnickém zařízení, a to u nákladů o 2 470 Kč a u nákladové analýzy CEA o 6 277.

## Diskuse

Spánkové poruchy jsou velmi důležité z hlediska ať již fyzického či duševního zdraví. Správné výsledky, počínaje anamnézou a končíce až vyšetřením spánku pomocí speciálních metod, poskytují lékařům významné informace o stavu organismu pacienta. Rychlá a přesná diagnostika je v dnešním světě velice žádoucí, a proto je snaha lékařů tohoto cíle dosáhnout. Podle informací získaných v rámci přehledu současného stavu problematiky zatím nebyla vynalezena metoda, která by se svou kvalitou měření vyrovnala polysomnografii, a tak PSG stále zůstává zlatým standardem. Moderní přístroje jako wearables však přinášejí mnoho jiných výhod, které byly v práci popsány a jejichž přesnost, kvalita či počet se s vývojem technologií bude jistě nadále zvyšovat.

Výsledky diplomové práce se skládají z několika částí, mezi které patří dozajisté systematický přehled studií vypracovaný v rámci literární rešerše současného stavu problematiky. Jeho výstupy reflektují využití metod nositelných zařízení ve zdravotnictví po celém světě. Pro práci bylo vybráno dvacet osm studií, které splňovaly stanovená kritéria výběru. Cílem literární rešerše bylo zaprvé identifikovat studie zabývající se použitím nositelných zařízení ve zdravotnictví. Z množství dvaceti jedna vybraných studií, obsahovalo pět studií informace o ekonomické stránce (nákladová analýza) a šest studií obsahovalo informace o statistickém zpracování dat (Wilcoxonův test, t-test,...). Zahraniční studie byly komplexnější než studie české, kde z celkového počtu pěti studií pouze jedna obsahovala statistické zhodnocení, ostatní přinášely informace buďto o návrhu nebo o vývoji nositelného zařízení. Žádná studie z vyhledané literární rešerše v oblasti České republiky neobsahovala informace o ekonomickém zhodnocení (nákladové analýze) nositelných zařízení, proto jsem si tuto tematiku také vybrala. Dalším cílem rešerše bylo vyhledání klinických výstupů, které byly dále použity pro měření a ve statistické analýze. Parametry pro výběr splňovalo sedm studií, ze kterých byly následně klinické výstupy vybrány.

Sběr dat pro statistické vyhodnocení měření, které bylo součástí klinických efektů, probíhal ve spánkové laboratoři nemocnice Na Homolce počátkem roku 2018. V době sběru dat byla hodnocená intervence na daném pracovišti v provozu teprve několik měsíců, proto také nemohl být vybraný soubor probandů větší. Kvalita naměřených údajů z polysomnografie záležela na tom, jak držely senzory na těle. Také omezení v pohybu (otáčení) a spánek jen v určité poloze (na zádech či bocích) mohly ovlivnit kvalitu spánku v případech, kdy pacienti mají zvyk spát v poloze na břiše. Nejlépe statistické hodnocení dopadlo pro přístroj Fitbit, které bylo dle statistických výsledků nejbližší naměřeným hodnotám polysomnografie. Jeho celková p-hodnota činila 0,642 oproti PSG, které se bralo jako referenční a stanovená hodnota byla 1. Jako druhé se ve srovnání s PSG umístilo zařízení Garmin s p-hodnotou 0,201 a jako poslední zařízení Xiaomi

s p-hodnotou jen 0,067. Veškeré statistické testy byly počítány pomocí statistické analýzy Wilcoxonova testu v programu Excel a následně byly kontrolovány v programu R.

Dílčím cílem práce bylo definovat a zhodnotit klinické efekty vybraných zařízení. Žádná ze studií, které byly vyhledány v literární rešerši, se nezabývala hodnocením klinických efektů. Informace o klinických efektech byly sbírány buďto z úvodů, diskuzí či jiných částí klinických studií. V prvotní selekci bylo vybráno 10 klinických efektů, ze kterých odborná skupina vybrala 7 efektů, podle nich důležitých při hodnocení. Vybrané klinické efekty byly: výdrž baterie, počet senzorů, cena přístroje, hmotnost přístroje, uživatelský komfort, přídatné funkce a spolehlivost měření. Na stanovení vah klinicko-ekonomických efektů se podílela druhá odborná skupina, která provedla hodnocení pomocí bodovací a Saatyho metody. Z druhé zmíněné metody byly následně použity výsledné váhy do multikriteriálního rozhodování, které jsou uvedeny v tabulce 17.

Zhodnocení klinických údajů proběhlo pomocí multikriteriálního rozhodování, kde pro jeho výpočet byla vybrána metoda TOPSIS, která je popsána v krocích 2.11-2.16 v kapitole Metody. Výsledné pořadí u prvních dvou zařízení korelovalo se statistickou analýzou výsledků měření. To mohlo být způsobeno vysokou hodnotou váhy kritéria. I přes vysokou pořizovací cenu přístroje pro polysomnografii si tento přístroj zachoval postavení v přední linii. Jako třetí byl přístroj Xiaomi, ačkoliv u něj statistická analýza nedopadla až tak dobře, a na posledním místě skončilo nositelné zařízení Garmin.

Při nákladové analýze byly započítány náklady na pořízení zařízení a jejich servis, dále personální a materiální náklady a také náklady režijní. Po stanovení pořizovacích cen, ve kterých byly započítány i servisní náklady, bylo nutné vypočítat personální náklady. Pořizovací náklady na jedno vyšetření byly vypočítány z ročních účetních odpisů a personální náklady byly stanoveny z hodinových sazeb zdravotnických pracovníků Nemocnice Na Homolce. U materiálních nákladů, je třeba dodat, že každá spánková laboratoř může používat jiný zdravotnický materiál a jiné množství s odlišnými cenami. V této práci bylo počítáno s materiálem, který byl oceněn zdravotnickým personálem spánkové laboratoře Nemocnice Na Homolce. Celkové náklady na vyšetření jednoho pacienta byly spolu s režijními náklady při předpokladu vytížení 72 pacientů ročně u přístroje pro polysomnografii odhadnuty na 5 250 korun. Rozdíl v nákladech vynaložených na jedno vyšetření u polysomnografie a nositelných zařízení byl významný, jelikož u polysomnografu, který je zdravotnickým výrobkem, je daleko rozsáhlejší software a přesnější měření parametrů než u nositelných zařízení, které jsou brány jako uživatelský doplněk. Za významný můžeme pokládat i rozdíl u vyšetření pomocí nositelných zařízení prováděných v nemocnici a v domácím prostředí, který se lišil až o 2 785 korun.

Analýza nákladové efektivity porovnává získané efekty, které byly stanoveny metodou TOPSIS, s vynaloženými náklady. Pro porovnání byly zvoleny dva přístroje, které vyšly v multikriteriálním rozhodování na prvních dvou místech. Bylo zjištěno, že i přes horší efekty nositelného zařízení Fitbit, je tento přístroj nákladově efektivnější pro obě varianty vyšetření. Pro variantu vyšetření v domácím prostředí byla nákladová efektivita vykalkulována na 946,82 Kč/efekt a u vyšetření ve zdravotnickém zařízení kalkulace vyšla na 7 223,90 Kč/efekt. Oproti nákladové efektivitě u přístroje pro polysomnografii, ta byla vypočtena na 12 305,46 Kč/efekt.

Z výše uvedené části diskuze vyplývá, že ačkoliv je přístroj pro polysomnografii přesnější v měření a lepší z hlediska vyhodnocení klinických efektů, je méně nákladově efektivní než nositelné zařízení. Je třeba zmínit, že nositelná zařízení nejsou schopna plně nahradit vyšetření polysomnografem a že proces jeho využití zůstává pouze semiautomatickým. Vyšetření totiž vyžaduje více snímaných parametrů, než nositelná zařízení poskytují, a to hlavně EEG. Myslím si, že by nositelná zařízení mohla mít budoucnost v dálkovém monitoringu u spánkových poruch jako: narkolepsie, nespavost, somnambulismus či poruchy cirkadiálního rytmu spánku a bdění. Také lékaři tato zařízení nemají moc v oblibě z hlediska kvality jejich měření, které se ale s jejich neustálým vývojem zlepšuje. Proto by výsledky této práce mohly být inspirací pro rozsáhlejší výzkum kvality měření mezi těmito dvěma skupinami přístrojů, a to nejen u zdravé populace.

## Závěr

Hlavním cílem diplomové práce bylo zhodnotit klinickou a nákladovou efektivitu moderních technologií v oblasti vyšetření spánku. Pro porovnání klinicko-ekonomické efektivity byla vybrána nositelná zařízení (Fitbit Charge 2, Garmin Vivoactive a Xiaomi Mi Band 2) a zlatý standard v měření spánkových poruch přístroj pro polysomnografii. Bylo pozorováno, jaké jsou výsledky měření jednotlivých snímaných klinických výstupů ve spánkové laboratoři. Výsledkům měření a klinicko-ekonomické efektivitě předcházelo podrobné zpracování současného stavu problematiky, při němž byl vytvořen systematický přehled studií zabývajících se využitím nositelných zařízení ve zdravotnictví. Statistická analýza měření nám ukázala, jak jsou nositelná zařízení schopna zaznamenávat hodnotu klinických výstupů oproti polysomnografii. Klinicko-ekonomické efekty byly zhodnoceny na základě názorů odborné skupiny. Bylo definováno celkem sedm možných přínosů, které byly následně ohodnoceny a jako nejdůležitější efekt této práce se ukázala spolehlivost (kvalita) měření. Efekty využití polysomnografie v porovnání s nositelnými zařízeními byly vyčísleny pomocí multikriteriálního rozhodování metodou TOPSIS. Nákladová efektivita byla zhodnocena metodou CEA na základě detailního zmapování nákladů spánkové laboratoře a internetovou rešerší nositelných zařízení. Výsledek CEA varianty nositelného zařízení při vyšetření v domácím prostředí oproti polysomnografii vychází 13krát efektivněji a pro variantu vyšetření ve zdravotnickém zařízení je 1,7krát efektivnější. Podle nashromážděných poznatků lze tvrdit, že ačkoliv mají nositelná zařízení nižší kvalitu měření, při použití v domácím prostředí jsou mnohonásobně nákladově efektivnější. Proto by mohla být používána ke kontrolám pacientů s poruchami spánku, kde by měření nebylo tak závislé na kvalitě.



## Seznam použité literatury

- [1] HORP, Edward O. The Invention of the First Wearable Computer [online]. 1998 [citováno 23.dubna 2012]. Dostupné z: <  
<http://graphics.cs.columbia.edu/courses/mobwear/resources/thorp-iswc98.pdf>>
- [2] Wearable Technology and Wearable Devices: Everything You Need to Know. Wearable Devices Magazine - The Authority in Wearable Technology [online]. Copyright © 2016 Wearable Devices Magazine. All Rights Reserved. [cit. 04.06.2017]. Dostupné z: <http://www.wearabledevices.com/what-is-a-wearable-device/>
- [3] Spánek, jeho význam a vlastnosti. Brain - Soultherapy s. r. o. [online]. Dostupné z: <http://www.brain-soultherapy.cz/slovník/11-spanek-jeho-vyznam-a-vlastnosti.html>
- [4] VAŠUTOVÁ, P.K., *Praktické lékárenství: Spánek a vybrané poruchy spánku a bdění*. Olomouc: SOLEN, 2009, **5**.(1), 17-20. Dostupné také z: [https://www.praktickelekarenstvi.cz/artkey/lek-200901-0004\\_Spanek\\_a\\_vybrane\\_poruchy\\_spanku\\_a\\_bdeni.php](https://www.praktickelekarenstvi.cz/artkey/lek-200901-0004_Spanek_a_vybrane_poruchy_spanku_a_bdeni.php)
- [5] BĚLEHRAD M., KÁRA T., MATUŠKA P. et al. Vyšetření poruch dýchání ve spánku od A do Z. *Kardiol Rev Int Med* [online]. 2013, **15**(2), 79-86 [cit. 2018-03-03]. Dostupné z: [http://www.kardiologickarevue.cz/kardiologicka-revue-clanek/vysetreni-poruch-dychani-ve-spanku-od-a-do-z-40601?confirm\\_rules=1](http://www.kardiologickarevue.cz/kardiologicka-revue-clanek/vysetreni-poruch-dychani-ve-spanku-od-a-do-z-40601?confirm_rules=1)
- [6] HEDNER M., WHITE D.P., MALHOTRA A. et al. Sleep Staging Based on Autonomic Signals: A Multi-Center Validation Study. *Journal of Clinical Sleep Medicine* [online]. , - [cit. 2018-03-06]. DOI: 10.5664/jcsm.1078. ISSN 1550-9389. Dostupné z: <http://jcsm.aasm.org/ViewAbstract.aspx?pid=28166>
- [7] PRETL, Martin. Diagnostika a léčba nejčastějších poruch spánku. *Medicína po promoci* [online]. 2009, 19.11.2009, (5) [cit. 2018-02-13]. Dostupné z: <https://www.tribune.cz/clanek/15650-diagnostika-a-lecba-nejcastejsich-poruch-spanku%2012.%2012.%202010>
- [8] COELHO, Yves L. a Teodiano F. BASTOS-FILHO. A Bipolar Disorder Monitoring System Based on Wearable Device and Smartphone. *IFAC-PapersOnLine* [online]. 2016, **49**(30), 216-220 [cit. 2018-02-15]. DOI: 10.1016/j.ifacol.2016.11.170. ISSN 24058963. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2405896316326325>
- [9] ÅRSAND, EIRIK, MIROSLAV MUZNY, MEGHAN BRADWAY, JAN MUZIK A GUNNAR HARTVIGSEN. Performance of the First Combined Smartwatch and Smartphone Diabetes Diary Application Study. *Journal of*

- Diabetes Science and Technology* [online]. 2015, **9**(3), 556-563 [cit. 2017-06-04]. DOI: 10.1177/1932296814567708. ISSN 1932-2968. Dostupné z: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1932296814567708>
- [10] BILIR, SP, EA WEHLER, R HELLMUND a J MUNAKATA. Cost-Effectiveness of A Flash Glucose Monitoring System Based On Real-World Usage For Type 1 Diabetes (T1DM) Patients Using Intensive Insulin: A Swedish Perspective. *Value in Health* [online]. 2017, **20**(9), A583- [cit. 2018-02-28]. DOI: 10.1016/j.jval.2017.08.1047. ISSN 10983015. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1098301517313815>
- [11] CANO MARTÍN, JOSÉ ANTONIO, BORJA MARTÍNEZ-PÉREZ, ISABEL DE LA TORRE-DÍEZ A MIGUEL LÓPEZ-CORONADO. Economic Impact Assessment from the Use of a Mobile App for the Self-management of Heart Diseases by Patients with Heart Failure in a Spanish Region. *Journal of Medical Systems* [online]. 2014, **38**(9), - [cit. 2017-06-04]. DOI: 10.1007/s10916-014-0096-z. ISSN 0148-5598. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s10916-014-0096-z>
- [12] DE ZAMBOTTI, Massimiliano, Stephanie CLAUDATOS, Sarah INKELIS, Ian M. COLRAIN a Fiona C. BAKER. Evaluation of a consumer fitness-tracking device to assess sleep in adults. *Chronobiology International*[online]. 2015, **32**(7), 1024-1028 [cit. 2018-02-28]. DOI: 10.3109/07420528.2015.1054395. ISSN 0742-0528. Dostupné z: <http://www.tandfonline.com/doi/full/10.3109/07420528.2015.1054395>
- [13] EMAMINEJAD, SAM, WEI GAO, ERIC WU, ET AL. Autonomous sweat extraction and analysis applied to cystic fibrosis and glucose monitoring using a fully integrated wearable platform. *Proceedings of the National Academy of Sciences* [online]. 2017, **114**(18), 4625-4630 [cit. 2017-06-04]. DOI: 10.1073/pnas.1701740114. ISSN 0027-8424. Dostupné z: <http://www.pnas.org/lookup/doi/10.1073/pnas.1701740114>
- [14] Evolution of Wearables – The Future of Wearables. The Future of Wearables – "Bringing You The Future Today" [online]. Dostupné z: <https://thefuturewearables.com/evolution-of-wearables/>
- [15] FINK, L, G CHANOT, F BERNARD, B MONDRY a K BONDARENKO. Incorporating Biometric Data from Wearable Activity Trackers with Study Data in France and the UK. *Value in Health* [online]. 2016, **19**(7), A392- [cit. 2017-06-04]. DOI: 10.1016/j.jval.2016.09.257. ISSN 10983015. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1098301516316242>
- [16] GRANADO-FONT, ESTHER, GEMMA FLORES-MATEO, MAR SORLÍ-AGUILAR, ET AL. Effectiveness of a Smartphone application and wearable device for weight loss in overweight or obese primary care patients: protocol for a randomised controlled trial. *BMC Public Health* [online]. 2015, **15**(1), - [cit. 2017-06-04]. DOI: 10.1186/s12889-015-1845-8. ISSN 1471-2458. Dostupné z: <http://bmcpublichealth.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12889-015-1845-8>
- [17] GRUWEZ, Alexia, Walter LIBERT, Lieveke AMEYE a Marie BRUYNEEL. Reliability of commercially available sleep and activity trackers with manual switch-to-sleep mode activation in free-living healthy individuals. *International*

- Journal of Medical Informatics* [online]. 2017, **102**, 87-92 [cit. 2018-02-28]. DOI: 10.1016/j.ijmedinf.2017.03.008. ISSN 13865056. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1386505617300692>
- [18] HEALY, Christopher A. a Roger G. CARRILLO. Wearable cardioverter-defibrillator for prevention of sudden cardiac death after infected implantable cardioverter-defibrillator removal: A cost-effectiveness evaluation. *Heart Rhythm* [online]. 2015, 12(7), 1565-1573 [cit. 2018-02-28]. DOI: 10.1016/j.hrthm.2015.03.061. ISSN 15475271. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1547527115004099>
- [19] KLIMENT, RADIM, PAVEL SMRČKA, KAREL HÁNA, JAKUB SCHLENKER, VLADIMÍR SOCHA, LUBOŠ SOCHA A PATRIK KUTÍLEK. Wearable Modular Telemetry System for the Integrated Rescue System Operational Use. *Journal of Sensors* [online]. 2017, **2017**, 1-12 [cit. 2017-06-04]. DOI: 10.1155/2017/9034253. ISSN 1687-725x. Dostupné z: <https://www.hindawi.com/journals/js/2017/9034253/>
- [20] KOVATCHEV, BORIS P., ERIC RENARD, CLAUDIO COBELLI, ET AL. Safety of Outpatient Closed-Loop Control: First Randomized Crossover Trials of a Wearable Artificial Pancreas. *Diabetes Care* [online]. 2014, 37(7), 1789-1796 [cit. 2017-06-04]. DOI: 10.2337/dc13-2076. ISSN 0149-5992. Dostupné z: <http://care.diabetesjournals.org/lookup/doi/10.2337/dc13-2076>
- [21] KRAAL, JOS J, NIELS PEEK, M ELSKE VAN DEN AKKER-VAN MARLE A HARELD MC KEMPS. Effects and costs of home-based training with telemonitoring guidance in low to moderate risk patients entering cardiac rehabilitation: The FIT@Home study. *BMC Cardiovascular Disorders* [online]. 2013, 13(1), - [cit. 2017-06-04]. DOI: 10.1186/1471-2261-13-82. ISSN 1471-2261. Dostupné z: <http://bmccardiovascdisord.biomedcentral.com/articles/10.1186/1471-2261-13-8>
- [22] LAPAGE, MARTIN J., GREGORY M. SALTZMAN A KURT R. SCHUMACHER. Cost Effectiveness of the Wearable Automated Defibrillator for Primary Prevention in Pediatric Heart Transplant Candidates. *Journal of Cardiac Failure* [online]. 2013, 19(8), S64- [cit. 2017-06-04]. DOI: 10.1016/j.cardfail.2013.06.209. ISSN 10719164. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1071916413003977>
- [23] LE, T. Q., CHANGQING CHENG, A. SANGASOONGSONG, W. WONGDHAMMA a S. T. S. BUKKAPATNAM. Wireless Wearable Multisensory Suite and Real-Time Prediction of Obstructive Sleep Apnea Episodes. *IEEE Journal of Translational Engineering in Health and Medicine* [online]. 2013, 1, 2700109-2700109 [cit. 2017-06-04]. DOI: 10.1109/JTEHM.2013.2273354. ISSN 2168-2372. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6563132/>
- [24] MITSUBAYASHI, KOHJI, YOSHIHIKO WAKABAYASHI, DAISUKE MUROTOMI, TAKUA YAMADA, TATSUYA KAWASE, SUKETSUNE IWAGAKI A ISAO KARUBE. Wearable and flexible oxygen sensor for transcutaneous oxygen monitoring. *Sensors and Actuators B: Chemical* [online]. 2003, 95(1-3), 373-377 [cit. 2017-06-04]. DOI: 10.1016/S0925-4005(03)00441-6.

ISSN 09254005. Dostupné z:  
<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0925400503004416>

- [25] Nositelná zařízení mají ve zdravotnictví velký potenciál – APATYKÁŘ. Elektronický recept, internetové lékárny, elektronické lékárenství all-in-one – APATYKÁŘ® [online]. Copyright © 2000 [cit. 04.06.2017]. Dostupné z: <http://e-lekarenstvi.apatykar.info/clanek-3635/>
- [26] SOLAS, G., P. BUSTAMANTE a K. GRANDEZ. Wearable Device for Patients Affected by Neurodegenerative Diseases. In: 2008 The Second International Conference on Mobile Ubiquitous Computing, Systems, Services and Technologies [online]. IEEE, 2008, s. 407-412 [cit. 2017-06-04]. doi:10.1109/UBICOMM.2008.70. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/4641370/>
- [27] ŠIMŮNEK A., JAN DYGRÝN, ALEŠ GÁBA, LUKÁŠ JAKUBEC, JIRI STELZER, A FRANTIŠEK CHMELÍK. Validity of Garmin Vívofit and Polar Loop for measuring daily step counts in free-living conditions in adults. Acta Gymnica, vol. 46, no. 3, 2016, 129–135 [cit. 04.06.2017]. DOI: 10.5507/ag.2016.0142016. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/306144696\\_VValidity\\_of\\_Garmin\\_Vivofit\\_and\\_Polar\\_Loop\\_for\\_measuring\\_daily\\_step\\_counts\\_in\\_free-living\\_conditions\\_in\\_adults](https://www.researchgate.net/publication/306144696_VValidity_of_Garmin_Vivofit_and_Polar_Loop_for_measuring_daily_step_counts_in_free-living_conditions_in_adults)
- [28] Top 10 fitness aplikací. Android Market|Stránky věnované operačnímu systému Android [online]. Copyright © [cit. 04.06.2017]. Dostupné z: <http://androidmarket.cz/ruzne/top-10-fitness-aplikaci/>
- [29] Top 10 Implantable Wearables Soon To Be In Your Body. Moda | Fashion Magazine | Fashion Blog | WT VOX [online]. Copyright © 2017 WT VOX. Powered by [cit. 04.06.2017]. Dostupné z: <https://wtvox.com/3d-printing/top-10-implantable-wearables-soon-body/>
- [30] VILLALBA, E., D. SALVI, M. OTTAVIANO, I. PEINADO, M.T. ARREDONDO a A. AKAY. Wearable and Mobile System to Manage Remotely Heart Failure. IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine [online]. 2009, 13(6), 990-996 [cit. 2017-06-04]. DOI: 10.1109/TITB.2009.2026572. ISSN 1089-7771. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/5175433/>
- [31] VOJTECH LUKAS, RADOSLAV BORTEL, MAREK NERUDA, MILOS KOZAK. Wearable Textile Electrodes for ECG Measurement. Biomedical Engineering [online]. 2013, 11(5), special issue [cit. 2017-06-04]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/280769273\\_Wearable\\_Textile\\_Electrodes\\_for\\_ECG\\_Measurement](https://www.researchgate.net/publication/280769273_Wearable_Textile_Electrodes_for_ECG_Measurement)
- [32] WAN-YOUNG CHUNG, YOUNG-DONG LEE a SANG-JOONG JUNG. A wireless sensor network compatible wearable u-healthcare monitoring system using integrated ECG, accelerometer and SpO2. In: 2008 30th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society [online]. IEEE, 2008, s. 1529-1532 [cit. 2017-06-04]. DOI: 10.1109/IEMBS.2008.4649460. ISBN 978-1-4244-1814-5. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/4649460/>

- [33] Wearable Devices Magazine - The Authority in Wearable Technology. Wearable Devices Magazine - The Authority in Wearable Technology [online]. Copyright © 2016 Wearable Devices Magazine. All Rights Reserved. [cit. 04.06.2017]. Dostupné z: <http://www.wearabledevices.com/>
- [34] Wearable Medical Devices Market: Global Industry Analysis, Size, Share, Growth, Trends, and. PR Newswire: press release distribution, targeting, monitoring and [online]. Copyright © 2017 PR Newswire Association LLC. All Rights Reserved. A [cit. 04.06.2017]. Dostupné z: <http://www.prnewswire.com/news-releases/wearable-medical-devices-market-global-industry-analysis-size-share-growth-trends-and-forecast-2015---2023-300380982.html>
- [35] Wearable Technology Application Chart :: Beecham Research. [online]. Copyright © Beecham Research 2017 [cit. 04.06.2017]. Dostupné z: <http://www.beechamresearch.com/article.aspx?id=20>
- [36] Wearables - worldwide | Statista Market Forecast. • Statista - The Statistics Portal for Market Data, Market Research and Market Studies [online]. Dostupné z: <https://www.statista.com/outlook/319/100/wearables/worldwide>
- [37] ZAK, JAROMIR, DMITRY SOLOVEI, JIRI SEDLACEK A JAROMIR HUBALEK. Development of wearable medical system for dehydration detection. In: 2012 4th Electronic System-Integration Technology Conference [online]. IEEE, 2012, s. 1-6 [cit. 2017-06-04]. DOI: 10.1109/ESTC.2012.6542216. ISBN 978-1-4673-4644-3. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6542216/>
- [38] Zdravotní péči čeká revoluce. Díky nositelné elektronice - Tiscali.cz. Zprávy - Tiscali.cz [online]. Copyright © 1996 [cit. 04.06.2017]. Dostupné z: <https://zpravy.tiscali.cz/zdravotni-peci-ceka-revoluce-diky-nositelne-elektronice-286033>
- [39] Learn About Clinical Studies - ClinicalTrials.gov. Home - ClinicalTrials.gov [online]. Dostupné z: <https://clinicaltrials.gov/ct2/info/understand>
- [40] STATSOFT-STATISTIKA. *Intervalový odhad*. Praha. Dostupné také z: [http://www.statsoft.cz/file1/PDF/newsletter/2013\\_03\\_05\\_StatSoft\\_intervalovy\\_odhad.pdf](http://www.statsoft.cz/file1/PDF/newsletter/2013_03_05_StatSoft_intervalovy_odhad.pdf)
- [41] BEDÁŇOVÁ, Iveta. *Wilcoxonův test* [online]. Metodické materiály a výukové prezentace. Biostatistika. 2017. Brno: Veterinární a farmaceutická univerzita [cit. 2018-02-25]. Dostupné z: <https://cit.vfu.cz/stat/FVL/prednasky.htm>
- [42] SOUKOPOVÁ JANA, Veřejné služby Informačního systému [online]. Copyright © [cit. 03.12.2017]. Dostupné z: [https://is.muni.cz/el/1456/jaro2013/MPV\\_VZVP/um/33148301/Studijni\\_text\\_mety\\_vicekriterialniho\\_rozhodovani.pdf](https://is.muni.cz/el/1456/jaro2013/MPV_VZVP/um/33148301/Studijni_text_mety_vicekriterialniho_rozhodovani.pdf)
- [43] FIALA, Petr a spol. *Vícekritériální rozhodování*. 1.vyd. Praha: Vysoká škola ekonomická v Praze, 1994. ISBN 80-7079-748-7
- [44] MOCENNI, Chiara. The analytic hierarchy process? [online]. 2000, [cit. 2017-12-3]. Dostupné z: [http://www.dii.unisi.it/~mocenni/Note\\_AHP.pdf](http://www.dii.unisi.it/~mocenni/Note_AHP.pdf)

- [45] PÍŠKOVÁ VĚRA, Vícekriteriální hodnocení variant I: Příručka pro uživatele. 1. vyd. Praha: Výzkumný ústav výstavby a architektury, 1993.
- [46] FRIEBELOVÁ, JANA. Vícekriteriální rozhodování za jistoty. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích: Ekonomická fakulta. [online]. Dostupné z: <http://www2.ef.jcu.cz/~jfrieb/tspp/data/teorie/Vicekritko.pdf>
- [47] ŠUBRT, TOMÁŠ a kol. Ekonomicko-matematické metody. 1. vyd. Plzeň: Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk, 2011, 352 s. ISBN 978-80-7380-345-2.
- [48] ASSARI A., MAHESHAND T.M., ASSARI E., Role of public participation in sustainability of historical city: usage of TOPSIS method. *Indian Journal of Science and Technology*. 2012, **5**(No. 3), 2289-2294. ISSN 0974- 6846.
- [49] ROGALEWICZ, Vladimír, KUBÁTOVÁ, Ivana. Metodické materiály a výukové prezentace. Hodnocení zdravotnických technologií. 2017. Kladno: ČVUT, FBMI.
- [50] GOODMAN, Clifford S. HTA 101: Introduction to the health technology assessment, Virginia USA, 2014.
- [51] KANG, Seung-Gul, Jae Myeong KANG, Kwang-Pil KO, Seon-Cheol PARK, Sara MARIANI a Jia WENG. Validity of a commercial wearable sleep tracker in adult insomnia disorder patients and good sleepers. *Journal of Psychosomatic Research*. 2017, **97**, 38-44. DOI: 10.1016/j.jpsychores.2017.03.009. ISSN 00223999. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S002239991630561X>
- [52] KUO, Chih-En, Yi-Che LIU, Da-Wei CHANG, Chung-Ping YOUNG, Fu-Zen SHAW a Sheng-Fu LIANG. Development and Evaluation of a Wearable Device for Sleep Quality Assessment. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering* [online]. 2017, **64**(7), 1547-1557 [cit. 2018-04-10]. DOI: 10.1109/TBME.2016.2612938. ISSN 0018-9294. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7575654/>
- [53] DUNICAN, Ian C., Kevin MURRAY, James A. SLATER, et al. Laboratory and home comparison of wrist-activity monitors and polysomnography in middle-aged adults. *Sleep and Biological Rhythms* [online]. 2018, **16**(1), 85-97 [cit. 2018-04-12]. DOI: 10.1007/s41105-017-0130-x. ISSN 1446-9235. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s41105-017-0130-x>
- [54] GRUWEZ, Alexia, Walter LIBERT, Lieveke AMEYE a Marie BRUYNEEL. Reliability of commercially available sleep and activity trackers with manual switch-to-sleep mode activation in free-living healthy individuals. *International Journal of Medical Informatics* [online]. 2017, **102**, 87-92 [cit. 2018-04-12]. DOI: 10.1016/j.ijmedinf.2017.03.008. ISSN 13865056. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1386505617300692>

- [55] DE ZAMBOTTI, Massimiliano, Fiona C. BAKER, Adrian R. WILLOUGHBY, Job G. GODINO, David WING, Kevin PATRICK a Ian M. COLRAIN. Measures of sleep and cardiac functioning during sleep using a multi-sensory commercially-available wristband in adolescents. *Physiology & Behavior* [online]. 2016, **158**, 143-149 [cit. 2018-04-12]. DOI: 10.1016/j.physbeh.2016.03.006. ISSN 00319384. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0031938416300932>
- [56] LEE, Hyun-Ah, Heon-Jeong LEE, Joung-Ho MOON, Taek LEE, Min-Gwan KIM, Hoh IN, Chul-Hyun CHO a Leen KIM. Comparison of Wearable Activity Tracker with Actigraphy for Sleep Evaluation and Circadian Rest-Activity Rhythm Measurement in Healthy Young Adults. *Psychiatry Investigation* [online]. 2017, **14**(2), 179- [cit. 2018-04-12]. DOI: 10.4306/pi.2017.14.2.179. ISSN 1738-3684. Dostupné z: <http://psychiatryinvestigation.org/journal/view.php?doi=10.4306/pi.2017.14.2.179>

## Seznam obrázků

Obrázek 1 - Historie wearables.....	11
Obrázek 2 – Přehled aplikací wearables .....	14
Obrázek 3 - Implantabilní smartphon .....	16
Obrázek 4 – Hypnogram a jednotlivé fáze spánku .....	17
Obrázek 5 - Spánkový kalendář/deník.....	19
Obrázek 6 - Systém elektrod a čidel umístěných na těle pacienta.....	21
Obrázek 7 - Program pro zpracování signálů. ....	21
Obrázek 8 – Přenos dat u wearables .....	21
Obrázek 9-12 - Aplikace PSG/wearables a biokalibrace.....	33
Obrázek 13 – Schéma postupu literární rešerše .....	40
Obrázek 14 – Hypnogram spánku – aplikace Fitbit .....	41
Obrázek 15 – Analýza spánku softwarem Fitbit .....	42
Obrázek 16 - Hypnogram spánku – aplikace Garmin .....	42
Obrázek 17 – Analýza spánku softwarem Garmin .....	42
Obrázek 18 - Hypnogram spánku – software PSG.....	43
Obrázek 19 – Analýza spánku softwarem PSG.....	43
Obrázek 20 - Hypnogram spánku a analýza spánku softwarem Xiaomi.....	43
Obrázek 21 – Pořizovací ceny wearables .....	50



## Seznam tabulek

Tabulka 1 – Jednotlivá stadia spánku a jejich rozložení.....	17
Tabulka 2 - Dělení poruch spánku dle ICSD-3 .....	18
Tabulka 3 – Ekonomické údaje o wearables .....	22
Tabulka 4 - Bodová stupnice Saatyho metody .....	35
Tabulka 5 - Saatyho matice v obecném tvaru.....	36
Tabulka 6 – Rozdělení nákladů z hlediska perspektivy.....	37
Tabulka 7 - Typy rozpočítávání nákladů ve zdravotnictví .....	38
Tabulka 8 - Nejčastější typy nákladových analýz .....	39
Tabulka 9 - Seznam vybraných studií z literární rešerše.....	41
Tabulka 10-13 - Naměřené hodnoty klinických výstupů .....	41
Tabulka 14 – Výsledky statistického vyhodnocení měření .....	44
Tabulka 15 – Výsledky bodovací metody s vypočtenými váhami .....	45
Tabulka 16 – Výsledná Saatyho matice.....	46
Tabulka 17 – Výsledné váhy kritérií pro multikriteriální hodnocení .....	46
Tabulka 18 - Výchozí matice multikrit. rozhodování s hodnotami efektů .....	47
Tabulka 19 – Normalizovaná kritériální matice R.....	47
Tabulka 20 - Vážená kritériální matice s bazálními a ideálními hodnotami .....	48
Tabulka 21 – Hodnoty vzdáleností $d_i^+$ , $d_i^-$ a $c_i$ .....	48
Tabulka 22 – Výsledné pořadí variant dle TOPSIS.....	48
Tabulka 23 – Náklady na 1 polysomnografické vyšetření .....	49
Tabulka 24 – Pořizovací ceny nositelných zařízení.....	50
Tabulka 25 – Náklady na 1 vyšetření - přístroj Fitbit.....	50
Tabulka 26 - Výsledek analýzy nákladové efektivity – domácí prostředí.....	51
Tabulka 27 - Výsledek analýzy nákladové efektivity – zdravotnické zařízení .....	51

## Seznam příloh

Příloha 1: Obrázek 1 – Historie wearables .....	66
Příloha 2: Tabulka 3 - Shrnutí poruch spánku .....	68
Příloha 3: Obrázek 5 – Spánkový kalendář/ deník .....	69
Příloha 4: Obrázek 7 – Program pro zpracování signálů .....	70
Příloha 5: Obrázek 9 – Aplikace nositelných zařízení.....	70
Příloha 6: Obrázek 10 – Aplikace senzorů pro polysomnografii .....	71
Příloha 7: Obrázek 11 – Místnost pro měření polysomnografie.....	72
Příloha 8: Obrázek 12 – Biokalibrace – ověření funkčnosti senzorů .....	73
Příloha 9: Tabulka 10 - Naměřená data z přístrojů – TST a SE .....	73
Příloha 10: Tabulka 11 - Naměřená data z přístrojů – SOL a WASO.....	74
Příloha 11: Tabulka 12 - Naměřená data z přístrojů – HS a LS .....	74
Příloha 12: Tabulka 13 - Naměřená data z přístrojů – REM.....	75
Příloha 13: Tabulka 24 – Pořizovací ceny wearables.....	75

## Příloha 1: Obrázek 1 – Historie wearables



# 90's



## SNEAKER PHONE

Sports Illustrated came up with the sneaker phone as a free promo in the early 90's. A shoe and a corded phone all in one - what's not to like?

# 2000



## 2000•

### LEVI'S ICD+ JACKET

Levi's came into the new millennium with the ICD+ anorak. A conductive fabric harness allowed for a mobile phone, mp3 player, and headphones to be integrated within the jacket, with a built in button allowing wearers to switch between these.



## • 2002

### BLUETOOTH HEADSET

Using the then new Bluetooth technology, Nokia introduced the Bluetooth headset, allowing users to take calls hands free. So they could focus on juggling, or whatever.

## 2006•



### Nike+

A collaboration between Nike and Apple, Nike+ was (and is) a fitness tracking kit. Via a shoe embedded tracker, they could view the time, distance, pace and calories covered during a workout on an iPod Nano screen.

## 2013•



### GOOGLE GLASS

Essentially a smartphone with a head mounted glasses display, the final release Google Glass didn't exactly go to planned. Many were concerned about the potential for privacy intrusion, whilst wearers themselves complained of headaches and even addiction to the device after long periods of use.

## 2014•



### ACTIVITY TRACKERS

Fitness and activity trackers have been some of the most accessible wearable tech items of recent years, with models allowing users to view steps taken, walking speed, heart rate, sleeping patterns, and even monitor UV ray exposure.



## • 2008

### FITBIT CLASSIC

Much of the wearable tech of recent years has been fitness based, with the Fitbit wristband being one of the pioneers, allowing wearers to track steps taken, distance travelled, calories burned, activity intensity and sleep.

## • 2014



### SOLAR POWERED JACKET

In late 2014 Tommy Hilf released a jacket with embedded solar panels, allowing users to charge their phone on the go.



# 2015



### APPLE WATCH

We've come a long way since the Nuremberg Egg, with the Apple Watch being one of the most anticipated wearable announcements of 2015. As well as texting, fitness tracking, TV control and ticket storage, the Apple Watch can also tell the time.



### RINGLY

Ringly offers an escape from your phone, alerting wearers of notifications via a discrete series of vibrations and light displays. The theory is that users will only check their phone when alerted of something really important.



### QUELL

When strapped to the body, Quell recognises the signs of oncoming chronic pain, and acts to stimulate nerves and block pain signals to the brain.



### bPAY

Wearers of Barclay's bPay can make contactless payments via a personalised wristband, removing both the hassle of remembering a pin and carrying a bank card.



# 2015-2016

### OCULUS RIFT

Via a motion sensing headset, headphones and built in display, this virtual reality tool lets users step inside games and other virtual worlds to experience these

**Příloha 2:** Tabulka 3 - Shrnutí poruch spánku, jejich charakterizace a příklady (zdroj: vlastní)

Kategorie	Charakterizace	Příklady
<b>Nespavost</b>	Zahrnuje potíže s usínáním či setrváním ve stavu spaní. Je doprovázena denní spavostí, nízkým stavem energie, podrážděností a depresivní náladou.	Chronická nespavost, Krátkodobá nespavost, Jiné onemocnění spojené s nespavostí
<b>Poruchy dýchání vázané na spánek</b>	Tato skupina je charakterizována dýchacími obtížemi během spánku. Predispozicí je nadváha, kouření, zvětšené tonzily; obtíže zvýrazňuje alkohol či sedativa. Nejčastější poruchou je spánkový apnoický syndrom.	OSA onemocnění, Primární centrální spánková apnoe, Syndrom hypoventilace z důvodu obezity, Hypoxemické poruchy související se spánkem
<b>Centrální poruchy s hypersomnolencí</b>	Tyto poruchy mají společné subjektivní stížnosti na nadměrnou ospalost. Mohou způsobovat každodenní epizody nepotlačitelné potřeby spánku nebo usnutí v nevhodných situacích.	Narkolepsie, Klein-Levin syndrom, Syndrom nedostatku spánku
<b>Poruchy cirkadiálního rytmu spánku a bdění</b>	Tato poruchou je spojena s nedodržováním běžné spánkové rutiny – vznikají odlišným načasováním rytmu střídání dne a noci.	Nepravidelná porucha rytmu spánku-bdění, Porucha spánku způsobená prací na směny, Jet lag
<b>Parasomnie</b>	Pro tyto poruchy je typické abnormální chování či pohybové automatismy, spojené s intenzivní vegetativní reakcí (noční děsy, probuzení se zmateností, noční můry či spánková obrna)	Náměsíčnost, Poruchy příjmu potravy související se spánkem, Noční enuréza, Porucha chování vázaná na REM spánek
<b>Poruchy pohybu spojené se spánkem</b>	Tato skupina je charakterizována jednoduchými, často stereotypními pohyby, ke kterým dochází během spánku. Pohyby narušují spánek, zhoršují jeho kvalitu a někdy omezují i jeho délku.	Syndrom neklidných nohou, Bruxismus související s spánkem, Porucha spánku s periodickými pohyby končetin

**Příloha 3:** Obrázek 5 – Spánkový kalendář/ deník (zdroj: <http://www.ordinace.cz/clanek/mate-problemy-se-spankem-vedte-si-denik/>)

<b>Spánkový kalendář – nespavost</b>							
<b>Den v týdnu/ datum</b>	Po						
	1.1.						
Čas zhasnutí	22:00						
Trvání usnutí (min)	90						
Čas probuzení	5:15						
Čas vstání	6:00						
Počet probuzení	4						
Doba v posteli	8:00						
Trvání spánku	4:15						
Pocit při probuzení	4						
Pocit přes den	3						
Poznámky	Prášek na spaní						

**Kalendář vyplňujte vždy ve stejnou dobu, nejlépe večer,** požadované časy udávejte přibližně

**Trvání usnutí** – doba, za kterou jste usnuli – v minutách

**Trvání spánku** – čistý čas, kdy jste během noci spal/a (bez probuzení)

**Doba v posteli** – doba mezi zhasnutím (čas zhasnutí) a vstáním z postele (čas vstání)

**Pocit po probuzení a pocit přes den** – oznámujte jako ve škole (1 nejlepší, 5 nejhorší)

**Příloha 4:** Obrázek 7 – Program pro zpracování signálů (zdroj: <http://slideplayer.com/slide/3392726>)



**Příloha 5:** Obrázek 9 – Aplikace nositelných zařízení (zdroj: vlastní)



**Příloha 6:** Obrázek 10 – Aplikace senzorů pro polysomnografii (zdroj: vlastní)

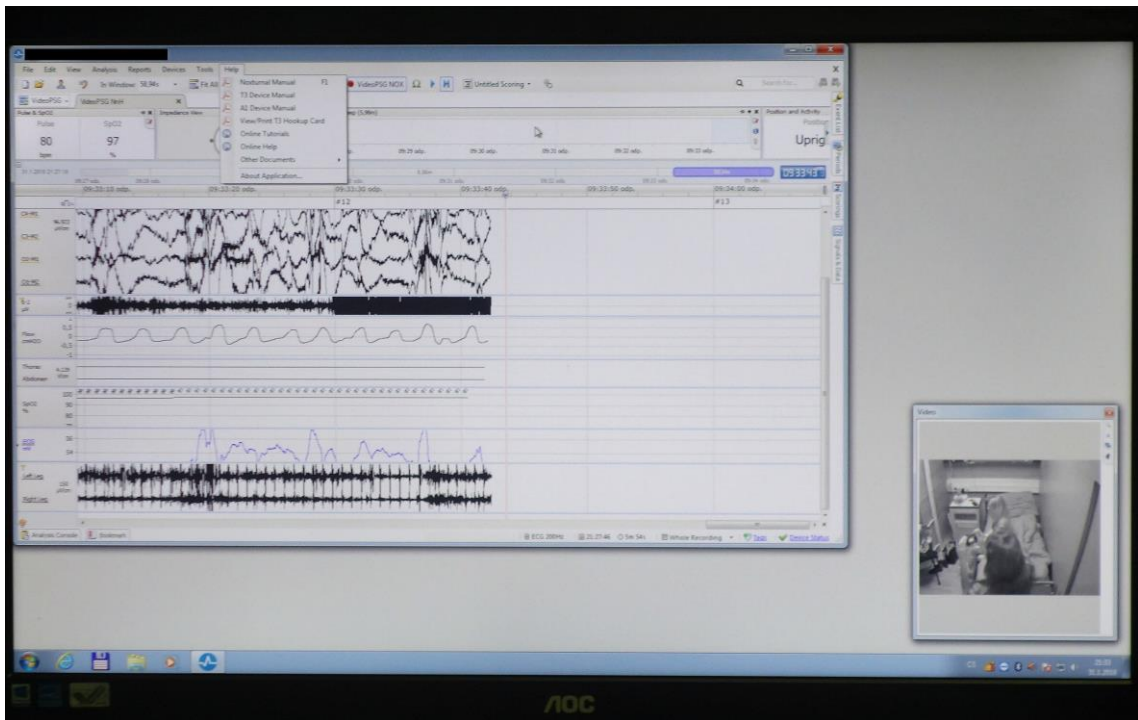




**Příloha 7:** Obrázek 11 – Místnost pro měření polysomnografie (zdroj: vlastní)



**Příloha 8:** Obrázek 12 – Biokalibrace – ověření funkčnosti senzorů (zdroj: vlastní)



**Příloha 9:** Tabulka 10 - Naměřená data z přístrojů – TST a SE (zdroj: vlastní)

Proband	TST - celkový čas spánku (min)				SE – spánková efektovita (%)			
	Xiaomi	Garmin	Fitbit	PSG	Xiaomi	Garmin	Fitbit	PSG
1	386	364	329	332	80	76	69	69
2	384	378	357	361	80	79	74	75
3	402	399	358	366	84	83	75	76
4	401	407	378	386	84	85	79	80
5	411	405	379	382	86	84	79	80
6	453	443	404	410	94	92	84	85
7	454	451	412	420	95	94	86	88
8	349	348	341	345	73	73	71	72
9	333	337	309	312	69	70	64	65
10	369	388	356	362	77	81	74	75
11	410	439	386	398	85	91	80	83
12	381	379	338	349	79	79	70	73
13	465	436	425	433	97	91	89	90

**Příloha 10:** Tabulka 11 - Naměřená data z přístrojů – SOL a WASO (zdroj: vlastní)

Proband	SOL - sleep onset latency (min)				WASO - wake after sleep onset (min)			
	Xiaomi	Garmin	Fitbit	PSG	Xiaomi	Garmin	Fitbit	PSG
1	86	97	95	100	386	364	76	58
2	88	93	92	94	384	378	128	114
3	68	68	81	77	289	399	324	314
4	76	70	70	75	401	282	285	263
5	67	73	64	69	411	148	373	351
6	31	38	33	35	453	443	215	224
7	23	23	25	27	454	451	47	125
8	66	68	70	75	91	87	90	96
9	126	128	128	115	333	337	331	130
10	92	92	87	85	160	157	162	146
11	44	38	36	36	136	130	63	81
12	95	101	92	90	14	16	63	42
13	11	13	12	15	465	436	57	91

**Příloha 11:** Tabulka 12 - Naměřená data z přístrojů – HS a LS (zdroj: vlastní)

Proband	HS - hluboký spánek (min)				LS - lehký spánek (min)			
	Xiaomi	Garmin	Fitbit	PSG	Xiaomi	Garmin	Fitbit	PSG
1	103	163	45	68	283	201	205	209
2	52	160	37	52	332	218	243	251
3	121	172	33	63	281	217	235	251
4	83	175	60	65	318	220	224	231
5	102	129	75	81	305	276	217	237
6	77	96	49	54	376	347	267	388
7	128	187	62	71	326	264	248	249
8	104	81	20	36	245	267	230	239
9	45	104	32	32	288	233	235	242
10	119	187	35	42	250	191	228	247
11	156	186	60	83	246	248	228	238
12	65	162	27	35	316	206	231	247
13	129	152	53	81	336	284	261	280

**Příloha 12:** Tabulka 13 - Naměřená data z přístrojů – REM (zdroj: vlastní)

Proband	REM - fáze spánku (min)			
	Xiaomi	Garmin	Fitbit	PSG
1	0	0	79	55
2	0	0	77	58
3	0	0	90	52
4	0	0	94	90
5	0	0	87	64
6	0	0	87	68
7	0	0	102	100
8	0	0	91	70
9	0	0	42	38
10	0	0	92	73
11	0	0	98	77
12	0	0	80	67
13	0	0	111	72

**Příloha 13:** Tabulka 24 – Pořizovací ceny wearables (zdroj: jednotlivé internet. obchody, únor 2018)

Přístroj	Internet. Obchod	Cena (Kč)
Xiaomi Mi band 2	xiaomistore.cz	990
	alza.cz	1099
	expert.cz	1299
	mall.cz	849
	onlineshop.cz	890
Garmin VivoSmart Optic	garmin.cz	5490
	alza.cz	5490
	expert.cz	6290
	mall.cz	4990
	onlineshop.cz	4890
Fitbit Charge 2	fitbit.com	3990
	alza.cz	4389
	expert.cz	4290
	mall.cz	3799
	onlineshop.cz	4257