

**ČESKÉ VYSOKÉ  
UČENÍ TECHNICKÉ  
V PRAZE**

**FAKULTA  
BIOMEDICÍNSKÉHO  
INŽENÝRSTVÍ**



**BAKALÁŘSKÁ  
PRÁCE**

**2018**

**ERIK  
RYŠLAVÝ**



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

---

**Fakulta biomedicínského inženýrství  
Katedra zdravotnických oborů a ochrany obyvatelstva**

**Možnosti měření a zpracování fyziologických parametrů u příslušníků  
složek IZS**

**Measuring Options and Evaluation of Physiological Parameters of  
Integrated Rescue System Unit Employees**

Bakalářská práce

Studijní program: Ochrana obyvatelstva  
Studijní obor: Plánování a řízení krizových situací

Vedoucí práce: Mgr. Zdeněk Hon, Ph.D.

**Erik Ryšlavý**

## Zadání bakalářské práce

Student: **Erik Ryšlavý**  
Obor: Plánování a řízení krizových situací  
Téma: **Možnosti měření a zpracování fyziologických parametrů u příslušníků složek IZS**  
Téma anglicky: Possibilities of Measuring and Processing the Physiological Parameters of members of the IRS Components

### Zásady pro vypracování:

Cílem bakalářské práce bude porovnat a vyhodnotit tři odlišné a nezávislé možnosti měření, online zpracování a vyhodnocení fyziologických parametrů osob, které lze následně využít pro podporu výcviku a zásahu složek IZS.

V teoretické části budou popsány možnosti využití dohledových systémů pro podporu zásahu a výcviku složek IZS, základní princip jejich fungování a příklady vyvíjených systémů, které mají aplikační potenciál využitelnosti pro vybrané složky IZS.

V praktické části budou provedena reálná měření fyziologických parametrů (tepová frekvence, tělesná teplota apod.) u skupiny minimálně 20 probandů. Výsledky budou vyhodnoceny a stanoveny klady a zápory jednotlivých metod měření a zpracování fyziologických parametrů. Následně bude vyhodnocena jejich využitelnost pro vybrané složky IZS v závislosti na aplikačním využití, přesnosti měření a zpracování dat.

### Seznam odborné literatury:

- [1] LATIFI, Raifat, *Telemedicine for Trauma, Emergencies, and Disaster Management*, Norwood, US: Artech house, 2011, ISBN 978-1-60783-997-2
- [2] KEWEI, S., WEISONG, S., WATKINS, O., *Using Wireless Sensor Networks for Fire Rescue Applications: Requirements and Challenges*, *Electro/information Technology*, 2006, IEEE Intern. Available at: <http://www.cs.wayne.edu/~weisong/papers/sha06-firenet.pdf>
- [3] STŘEDA, Leoš a Karel HÁNA, *EHealth a telemedicína*, Praha: Grada, 2016, ISBN 978-80-271-9042-3

Zadání platné do: 20.09.2019  
Vedoucí: Mgr. Zdeněk Hon, Ph.D.  
Konzultant: Ing. Pavel Smrčka, Ph.D.

  
.....  
vedoucí katedry / pracoviště

  
.....  
děkan

V Kladně dne 19.02.2018

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem Možnosti měření a zpracování fyziologických parametrů u příslušníků složek IZS vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů, které uvádím v seznamu bibliografických odkazů.

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 Praze dne 15.05.2018

Erik Ryšlavý

## **Poděkování**

Rád bych tímto způsobem poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce, Mgr. Zdeňku Honovi, PhD., za jeho podnětné připomínky, rady a nadhled, které mi výrazně pomohly ve zdárném dokončení práce.

Rád bych též poděkoval Ing. Pavlu Smrčkovi, PhD., který mi pomohl s přípravou i realizací experimentální části práce. Dík patří i Společnému pracovišti biomedicínského inženýrství FBMI, které mi poskytlo veškeré zázemí a pracovní pomůcky, které jsem potřeboval pro realizaci všech testů, a též všem probandům, kteří umožnili hladký chod experimentu.

## **Abstrakt**

V současné době stále více sílí význam a potřeba přesné analýzy zdravotní kondice u mnoha skupin populace. Tato práce se zaměřuje na telemetrické možnosti získávání a vyhodnocování dat u příslušníků IZS se zaměřením na dohledové systémy.

Teoretická část práce popisuje vyvíjené systémy, jejich klady a zápory, možnosti využití a nabízí i srovnání se systémy, které mají aplikační rámec v jiných odvětvích. Praktická část ověřuje přesnost měření vybraného dohledového systému FlexiGuard, který byl vyvinut na půdě pracoviště biomedicínského inženýrství ČVUT. Zahrnuje též softwarovou vybavenost, zejména z hlediska analýzy a přenosu dat.

V rámci pilotního testování byly analyzovány hodnoty tělesné teploty a tepové frekvence, jako klíčových ukazatelů dobré tělesné kondice. Testování se zúčastnilo 20 probandů a bylo uskutečněno přes 190 měření. Parametry byly sledovány při simulované zátěži na bicyklovém ergometru.

Výsledky práce potvrdily, že dohledový systém FlexiGuard poskytuje velmi přesná fyziologická data tepové frekvence, ve srovnání s komerčně dostupným modelem sport testeru. Zároveň data tělesné teploty získaná pomocí systému FlexiGuard vykazovala vysokou korelaci s referenční laboratorní metodou. Provedený experiment a získaná data potvrzují vysoký aplikační potenciál dohledového systému pro jednotky IZS.

## **Klíčová slova**

FlexiGuard; Hasičský záchranný sbor; Integrovaný záchranný systém; tělesná teplota; tepová frekvence; telemetrie; fyziologické parametry.

## **Abstract**

Nowadays, the importance of and the need for an accurate analysis of the health condition of various population groups keeps on growing. This thesis deals with the topic of telemetric possibilities of data acquisition and evaluation within the members of the rescue system, specifically focusing on real-time monitoring systems.

The theoretical part of the thesis describes the existing systems, their advantages and disadvantages, possible applications and also offers a comparison with systems that can be used in different industries. The practical part validates the accuracy of a selected monitoring system FlexiGuard, which was developed in the department of biomedical engineering of the Czech Technical University. This part also includes software capabilities, especially in terms of data analysis and data transfer.

During the pilot tests, the values of body temperature and heart rate were analyzed as key indicators of good physical condition. 20 subjects participated in the tests and more than 190 measurements were carried out. The parameters were analyzed during simulated increased physical load on a bicycle ergometer.

The results confirmed that the monitoring system FlexiGuard provides very accurate physiological data of heart rate in comparison with a commercially available sport tester device. Additionally, the data obtained for body temperature measurement via the FlexiGuard system showed a high correlation with reference laboratory method. The experiment and the obtained data confirm a high application potential of FlexiGuard device for the units of rescue system.

## **Keywords**

FlexiGuard; skin temperature; telemetry; fire department; pulse rate.

## Obsah

1	Úvod .....	10
2	Současný stav .....	11
2.1	Princip měření tepové frekvence .....	12
2.2	Princip měření tělesné teploty .....	13
2.3	Praktické využití měření a vyhodnocení fyziologických údajů.....	14
2.3.1	Vyvíjené a komerčně dostupné systémy .....	14
2.3.2	FlexiGuard .....	21
2.3.3	Porovnání s podobnou mimooborovou technologií.....	24
2.4	Poznatky z provedených studií .....	25
2.5	Právní rámec.....	26
3	Cíl práce.....	29
3.1	Dílčí cíle:.....	29
4	Metodika .....	30
4.1	Technika sběru dat.....	30
4.2	Použité přístroje .....	31
4.2.1	FlexiGuard .....	31
4.2.2	Mindray MEC-1200 .....	32
4.2.3	VLV LAB – bezdrátový kapesní polygraf.....	32
4.2.4	Apple Watch .....	33
4.2.5	Další použité přístroje .....	34
4.3	Průběh experimentu .....	34
4.3.1	Přípravná část.....	34
4.3.2	Průběh experimentu .....	35



4.3.3	Zpracování naměřených dat .....	39
5	Výsledky.....	41
5.1	Rozbor výsledků z vyextrahované analýzy grafů a tabulek – tepová frekvence .....	43
5.2	Rozbor výsledků z vyextrahované analýzy grafů a tabulek – teplota ...	48
5.3	Hodnocení FlexiGuardu .....	49
6	Diskuze.....	53
7	Závěr.....	58
8	Seznam použitých zkratk.....	59
9	Seznam použité literatury.....	60
10	Seznam použitých obrázků .....	64
11	Seznamu použitých tabulek .....	66
12	Seznam Příloh.....	67

# 1 ÚVOD

V rámci krizového řízení se činnosti obvykle rozdělují na plánování a řízení. Obě tyto činnosti jsou klíčové pro zdárný průběh vzniklé situace. A do obou těchto oblastí se promítá technický a technologický pokrok, kterého lidstvo dosahuje. Ne jinak tomu je i v oblasti ochrany zdraví osob, které se aktivně podílí na minimalizaci rizik a následků krizových situací. Zpravidla to jsou jednotky integrovaného záchranného systému.

Tito jedinci často pracují ve velkém psychickém a fyzickém vypětí a nacházejí se navíc na nebezpečných místech, na kterých je obtížné je sledovat a poskytovat jim pomoc. Pokud je například záchranářův organismus dlouhou dobu přehřátý, hrozí selhání nebo narušení mnoha životních funkcí. A obdobné je to i s dlouhodobě zvýšenou tepovou frekvencí.

Díky novým objevům z oboru telemetrie je dnes možné nasazení dohledových systému do jednotek IZS. Tyto systémy vzdáleně monitorují životní funkce záchranářů a poskytují tak neocenitelné informace pro osoby, které zásah řídí. Jedním z takových systémů je FlexiGuard, který byl vyvíjen na fakultě biomedicínského inženýrství, a který bude detailně analyzován v této práci. Jedná se tedy o vynikající nástroj pro řízení krizových situací, protože dohledové systémy dokáží poskytovat informace, které by jinak nebyly k dispozici, a mohou chránit zdraví a životy nasazených záchranářů.

Vzhledem k tomu, že dnes jsou telemetrické systémy používány i v dalších odvětvích, jako například ve sportu či v armádě, bude jistě zajímavé srovnat různé aspekty použití a funkcionalit, které jsou pro tyto systémy klíčové.

## 2 SOUČASNÝ STAV

Řešení následků různých mimořádných událostí či krizových situací je primárně spojeno především se záchranou lidských životů. Nelze ale opomenout ani vlastní bezpečnost jednotlivých příslušníků zasahujících složek IZS, kteří jsou při takových situacích vystaveni celé řadě rizikových faktorů. Především přítomnost negativních environmentálních faktorů ve spojení s vysokým fyzickým vypětím může vést k řadě zdravotních problémů, jako je například hypotermie, hypertermie, muskuloskeletální poranění, hypoxie a dehydratace.

Minimalizaci působení rizik ve vztahu k ochraně života a zdraví příslušníků složek IZS je možné řešit, kromě zavedení organizačních opatření, využitím moderních technických prostředků, mezi které lze zařadit různé osobní dohledové systémy. V zahraniční literatuře se lze setkat s termíny „Wearable Systems“ nebo „Physiological Status Monitoring“. Tyto systémy, které mohou být přímo integrovány do výstroje nebo umístěny na těle, umožňují monitorovat příslušníka v procesu vykonávané činnosti (např. při zásahu či výcviku) s cílem zvýšit jeho ochranu včasnou identifikací rizikového stavu.

Hlavním úkolem osobních dohledových systémů je monitorování životních funkcí (např. tepová frekvence, tělesná teplota, kožní odpor apod.) v průběhu výcviku či zásahu. Fyziologické monitorování pomocí osobních dohledových systémů může napomoci určit, kdy se u zasahujícího příslušníka začne rozvíjet zvýšené riziko fyzického či psychického vyčerpání, a tím preventivně předejít úrazům, včetně těch smrtelných. Změny v hodnotách měřitelných fyziologických parametrů mohou posloužit jako indikátor aktuálního stavu organismu a rovněž mohou napomoci předpovědět blížící se rizikový stav.

Další možnou funkcionalitou dohledových systémů je sledování pohybu členů záahového týmu, aby bylo možné vyhodnotit například pád nebo podezře

dlouhou dobu bez pohybu. Rovněž monitorování environmentálních vlivů, jako je přítomnost nebezpečných látek, teplota okolí a podobně, může sloužit jako podpůrný prvek při rozhodování o postupu při zásahu.

Dohledové systémy umožňují on-line odeslání naměřených parametrů do vizualizační jednotky (např. tablet) veliteli zásahu nebo do centrály, kde mohou být vyhodnoceny a archivovány.

V teoretické části práce bude nejprve popsána metodika měření některých fyziologických funkcí, dále jejich rozsah využití a porovnání s odvětvími, kde má měření a zpracování delší „tradici“. Budou též rozebrány benefity používání dohledových systémů při výcviku a zásahu jednotek požární ochrany. V neposlední řadě budou uvedeny modely měření, které již existují a jsou využívány a bude rozebrána jejich funkčnost a okolnosti použití [1].

## **2.1 Princip měření tepové frekvence**

Měření tepové frekvence patří mezi základní fyziologické údaje, které poskytují informaci o činnosti srdce a celkovém stavu organismu, a to jak v klidu, tak při fyzické nebo psychické zátěži. Pokud se tato veličina dostane nad nebo pod určitou hranici, může to být prvotní znak nesprávné aktivity srdce. Existuje více způsobů, jak lze tepovou frekvenci měřit. Mimo „přibližných“ metod, jako jsou metody měření pohmatem a poslechem, jsou dnes hojně využívány tzv. neinvazivní metody, tedy především sledování veličin jako jsou například elektrický signál EKG nebo změna tlaku krve v oběhovém systému. [2]

Mezi základní kardiologické vyšetření, které slouží ke sledování tepové frekvence, patří EKG. Toto vyšetření *„je založeno na časové závislosti rozdílů elektrických potenciálů snímaných elektrodami rozmístěnými na povrchu těla“* [3]. Princip měření tepové frekvence z elektrokardiografu tkví v detektoru R-vlny. *„Detektor R-vlny signalizuje výskyt QRS komplexu impulzem a tepová frekvence se určuje z délky*

trvání R-R intervalů“ [3]. Přestože při měření EKG může dojít k rušení na mnoha frekvencích, patří tato metoda měření mezi nejpřesnější. Důkazem je například četný výskyt kardi tachometrů v monitorovacích systémech na JIP. [3]

Zejména v posledních letech je zajímavou alternativou cesta optického měření srdečního tepu. Tato metoda je velmi citlivá na pohyb a nasycení krve kyslíkem. Je tedy zapotřebí využívat dobře zkalibrovanou techniku. Princip metody spočívá v pletysmografii, která je schopna měřit nejen saturaci krve kyslíkem ale i tepovou frekvenci a prokrvení. *(Pletysmografie je vyšetřovací metoda, která slouží k hodnocení kvality prokrvení tkání a poskytuje informace o reaktivitě vyšetřovaných cév. Pletysmografie umožňuje získat záznam pulsových vln pomocí snímače umístěného na vyšetřované oblasti)* [4]. V dnešní době se hojně využívají fotoelektrické pletysmografy, které většinou pracují s průsvitovým snímačem. Ty reagují na změny tlaku krve, které způsobují i měnící se objem kapilár, a to působí změnu absorpce a odrazu světla, ze kterého po projití signálu zesilovači spočítá mikroprocesor danou tepovou frekvenci. [5]

Jednoduše řečeno je tato metoda založena na průchodu světla lidskou tkání a výpočtu jeho lomu. Je zřejmé, že u většiny přístrojů využívající tuto technologii nebudou provedená měření dosahovat přesnosti měření EKG signálu, ale je zde poměrně velká výhoda „jednoduchosti“ a finanční nenáročnosti celého modelu.

## **2.2 Princip měření tělesné teploty**

Měření tělesné teploty je jedna z nejstarších diagnostických metod. Hodnota tělesné teploty je také důležitým aspektem prosperity a zdraví organismu. Rozdělujeme měření na kontaktní (příkladem může být rtuťový nebo elektronický teploměr umístěný do specifické části těla, např.: podpaží, ústní dutina či konečník) a bezkontaktní (detekce pomocí infračerveného záření). Kontaktní teploměry musí být dobře připevněny k měřenému povrchu, ale zároveň se musí zajistit, aby teplota měřeného povrchu nebyla ovlivněna samotným měřidlem a

čidlo mělo s povrchem dobrý kontakt. Příkladem kontaktního teploměru užívaného v dohledových systémech je odporový teploměr, respektive polovodičový – tzv. termistor. Mezi pozitiva těchto přístrojů patří vysoká přesnost měření. Nevýhody lze spatřit například v pořizovacích nákladech nebo nízké odolnosti vůči vibracím.

Bezdotykové měření teploty má svou tradici mimo lékařské obory. Tento způsob měření byl vyvíjen spíše pro průmyslová odvětví, kde teploty výrazně převyšovaly hranici 500°C. V dnešní době se bezdotykové teploměry stále využívají převážně ve farmaceutickém průmyslu, potravinářství a elektronice. V těchto oborech je využito některých kladů této metody, například se jedná o možnost měření pohybujících se těles nebo funkce takzvané termovize. Mezi zápory patří mimo jiné nutnost pravidelně zařízení kalibrovat. K tomu je většinou využíváno černého tělesa. [6]

## **2.3 Praktické využití měření a vyhodnocení fyziologických údajů**

V oblasti online monitorování životních funkcí nejsou složky IZS, potažmo Hasičského záchranného sboru ČR (dále jen HZS) úplným nováčkem. Na trhu byla již řada systémů, které se pokoušely měřit a vyhodnocovat fyziologické funkce příslušníků dobrovolných i profesionálních hasičských sborů. V rámci této části práce budou popsány nejen některé „již zavedené“ a vyvíjené systémy pro záchranné složky, ale také bude toto odvětví porovnáno s obdobným měřením v oblasti sportu. Na základě porovnání budou předloženy a prezentovány možné klady, příležitosti a slabiny dohledových systémů.

### **2.3.1 Vyvíjené a komerčně dostupné systémy**

**ProeTex** – jeden z prvních projektů, který vznikl díky podpoře programu Evropské unie. Vyvíjel oblek, který byl tvořen „chytrou textilií“ a měl být využit v budoucnu při tvoření ochranného oblečení pro jednotky požární ochrany.

Projekt byl spuštěn v únoru 2006 a byl ukončen v červenci 2010. „Vývoj byl zaměřen na e-textilie, které měly být používány pro obleky, které využívají pracovníci při zásahu a haváriích spojených s ohrožením civilistů. Cílem projektu bylo vyvinout textilní systémy, které zvyšují bezpečnost a efektivitu personálu zasahujícího při katastrofách, jako jsou požáry, zemětřesení, záplavy a teroristické útoky“ [7] Systém měl tedy zvýšit funkčnost a materiálovou odolnost, ale měl také integrovat bezpečnostní systémy. Oděv se skládal z různých snímačů, pohybových sensorů a komunikační jednotky a nabízel mimo jiné tyto funkce:

- monitorování tělesných funkcí
- monitorování aktivity
- monitorování vnitřní a vnější teploty
- chemickou detekci
- komunikaci mezi „oděvem“ a stanicí.

*„Ne všechny výše zmíněné funkce mohou být vměstnány do jednoho obleku. Pro monitorování fyziologických signálů je vyžadován těsný kontakt s pokožkou, zatímco ostatní senzory potřebují shromažďovat data z vnějšího prostředí záchranáře. Z tohoto důvodu se oblek skládá ze dvou částí: vnitřního a vnějšího oděvu“ [7]. Celý systém se tedy ve skutečnosti skládal ze tří částí. Na tričku byly umístěny všechny vnitřní měřicí senzory a kabeláž. Další – vnější – senzory byly umístěny na vestu a do bot [7].*

**Soldier Inspect** – moderní telemetrický dohledový systém, primárně určen a vyvíjen pro armádní použití. Jeho velkým benefitem je jeho jednoduchá obsluha, a to jak po hardwarové stránce, tak i po softwarové. Cílem dohledového systému je především zvýšit bezpečí vojáka, a také dostat co nejvíce detailních informací k veliteli zásahu/jednotky. Dostupná data lze využít pro optimalizaci postupu operace na úrovni vedoucích pracovníků. Tento modulární systém je podobný ostatním telemetrickým dohledovým systémům – skládá se z měřících jednotek

fyziologických a environmentálních parametrů, jejich zpracování, digitalizace, vizualizace a následné archivace nasbíraných dat.

*„Jako souhrnná veličina popisující stav vojáka je použita míra zátěže. Tato veličina vznikne agregací dílčích parametrů získaných z vojáka (EKG, aktivita, poloha, HRV analýza, EKG Stress index, teplota atd.). Uvedená míra zátěže je přehledně zobrazena formou třístavového výstupu (zelená – ok, oranžová – hodnoty zvýšené v dovoleném rozsahu, červená – hodnoty mimo zvolený rozsah)“ [8].* Kladnou stránkou systému je také optimalizace dat při vyhodnocování nasbíraných parametrů díky „osobnímu bezpečnostnímu profilu“ každého jednotlivého vojáka. Jde o mechanismus, kdy se ukládají všechny historicky zaznamenané parametry z různých akcí nebo cvičení a jsou porovnávány s aktuálními proměnnými. Tím se zpřesňují informace o aktuálním fyzickém stavu vojáka. Velitel zásahu má díky tomuto systému větší kontrolu nad bezpečností jednotlivého vojáka, způsobenou ať už přetížením nebo náhlým zraněním. Díky plošnému zobrazení „zdravotního“ stavu celé jednotky lze také volit optimální velící strategii nebo výrazně zefektivnit výcvik jednotek tím, že se vyhodnotí a nastaví optimální fyzické zatížení, které je účinné a efektivní [8].

**SmartPRO** – jedná se o zatím nejvíce pokročilý projekt, jehož masivní zapojení do jednotek HZS se zdá být na dosah. Chytrý hasičský oblek smartPRO je vyvíjen konsorciem sdružujícím výzkumný tým z Regionálního inovačního centra elektrotechniky (dále již RICE) elektrotechnické fakulty Západočeské univerzity v Plzni a dalšími nestátními společnostmi. Vznik obleku umožnil evropský projekt Smart@Fire z roku 2014, který měl za cíl vyvinout inteligentní systém osobní ochrany pro hasiče a jehož prvky ochrany budou integrovány přímo do hasičského obleku.

Komplex vybavení smartPRO je průkopníkem v oboru nositelné technologie určené terénnímu využití jednotek požární ochrany. Velkou výhodou je integrace klíčových prvků na vhodná místa obleku. Ten se skládá ze tří částí. Nehořlavý



oblek je vybaven aktivním osvětlením, alarmem a řídicí jednotkou. V rukavicích jsou umístěny další sensory a dálkové měření teploty cizích objektů. V obuvi jsou zase umístěny pohybové sensory (akcelerometr, gyroskop a magnetometr), které jsou schopny detailně analyzovat pohybovou aktivitu nasazeného hasiče, právě díky vhodnému umístění sensoru. „Celý systém sleduje nejen vlastnosti prostředí, tedy teplotu, vlhkost, přítomnost toxických plynů či lokalizaci hasiče uvnitř objektu, ale monitoruje i důležité tělesné funkce zasahujících osob“ [9].

Zásahový oblek má řadu pasivních ochranných prvků, které může sledovat i velitel zásahu. Velmi užitečné se ale zdají být také funkce černé skříňky, která uchovává všechny informace o průběhu zásahu, a také tzv. emergency strip, což je nouzová funkce, sloužící pro monitoring poslední známé polohy měřeného zasahujícího příslušníka a zajištění pomoci v případě nouzové situace a odtržení stripu. Všechny výše zmíněné informace jsou distribuovány do tabletu velitele. Vzhledem k tomu, že podobné dohledové systémy nemají dlouhou tradici, nelze proto odhadnout, zda tato „light“ verze bude splňovat všechny bezesporu vysoké nároky, kladené na funkci dohledových systémů

**Equivital** – „je pokročilá lékařská monitorovací technologie v rámci „Internetu věcí“ (IoT – z anglické internet of things), která umožňuje snímat a zaznamenávat různé parametry poskytované lidským tělem na klinické úrovni vypovídající o jeho aktuálním i celkovém psychickém a fyzickém stavu. Přenos těchto údajů v reálném čase nabízí jejich okamžitou kontrolu a rychlou reakci na základě jejich vyhodnocení“ [10].

Tento systém je charakteristický netradiční oborovou filosofií, protože není soustředěn pouze na úzkou skupinu cílových uživatelů, ale snaží se přizpůsobit se potřebám široké škály možných zájemců o toto řešení. Důkazem je možná aplikace systému i v oblastech jako jsou průmysl, stavebnictví, farmaceutický průmysl nebo neuromarketing (samozřejmě mimo běžných skupin – armáda, záchranné složky apod.). Příčinou takto široké rozmanitosti je princip pochopení příčiny a následku

chování v jednotlivé situaci, na čemž se Equivital snaží pracovat. Mimo běžně měřitelné parametry (např.: monitoring životně důležitých funkcí, monitoring termoregulace nebo detekce pádů) je systém schopen analyzovat i data v oblasti spánku a biorytmicity.

Equivital používá jako přijímač tělesných signálů jednotku SEM EQ02, která je připevněna pomocí flexibilního hrudního pásu. Výrobce uvádí, že jednotka disponuje 8 GB ROM pamětí, nabíjí se pomocí Li-Po baterií, která by měla zajistit až 24 hodinovou operační pohotovost a disponuje standardy jako Bluetooth 2.1 nebo USB 2.0. Jednotku lze přizpůsobit buď právě pro USB přenos, anebo pro OTA (z angl. Over the air = přenos vzduchem, bezdrátový přenos) variantu. Přestože by si jednotka dle mého názoru vystačila s menší kapacitou paměti (8 GB by dle výrobce vystačilo na 50ti denní monitoring, ale baterie vydrží „pouze“ 24 hodin, tedy např. 4 GB by stačily a snížily by cenu), všechny další parametry potvrzují velkou flexibilitu systému.

Dalším pozitivem jednotky je nízká váha, která se zastavila na 38 gramech a celkově miniaturní rozměry, které jsou podobné rozměrům krabičky od sirek. Důležitou roli hraje také certifikace IP67, která hodnotí míru voděodolnosti přístroje – zde je jednotka chráněna proti ponoření do vody na 30 minut a do hloubky 1 metr.

Výhodou systému je také schopnost přijímače snímat pomocí senzorů fyziologické parametry v medicínské kvalitě, což umožňuje využít data i pro klinický výzkum [10].

**Zephyr** – je řešení novozélandské společnosti, která se zabývá bioinformatikou už přes 10 let a dle svých slov vyvíjí nové a lepší produkty, o to více po nedávné fúzi se společností Medtronic. Už motto společnosti „bezpečnost především“ napovídá, že se jedná o víceúrovňový model a Zephyr není tedy řešení pouze pro

jednu kategorii (first responders – u nás tento termín vystihuje složky IZS, protože v angl. výraz značí osoby, které jsou trénované na zvládání krizových situací a dostávají se na místo mezi prvními).

Zephyr je zcela jistě jeden z mála dohledových systémů, který má za sebou úspěšné zavedení do praxe a pomohl zachránit více než tři desítky lidských životů. Celý příběh je popsán jako studie Dr. Jeana Romagnoliho, který úspěšně monitoroval životní funkce zavalených čilských horníků, kteří byli uvězněni nedaleko San José v poušti Atacama, a to více jak deset týdnů.

Dr. Romagnoli uvádí, že v době výše zmiňovaného incidentu a nutnosti zásahu ve prospěch zavalených horníků se nacházel v chilském hlavním městě, v Santiagu. Společně s kolegy se shodli, že z lékařského hlediska by mělo být důležité i zajímavé sledovat životní funkce těchto důlních pracovníků. Dr. Romagnoli měl již se Zephyrem TM zkušenosti ve spojitosti s chilskou armádou, a proto usoudil, že tento systém bude nejlepším řešením, i pro jeho exaktní měřicí schopnosti. A díky mezinárodní spolupráci (především vlády Chile, USA a Nového Zélandu) bylo potřebné vybavení posláno v nejrychlejším možném termínu.

Na začátku všech prací stanovil doktorům tři základní teze, ze kterých se vycházelo:

1. Zdraví všech horníků bylo ohroženo kvůli konstantní teplotě (91,4 F, tedy cca. 32,7 °C) a relativní vlhkosti dolu (až 98%).
2. Horníkům hrozil úpal a akutní dehydratace organismu.
3. Veškeré snahy o snížení teploty v prostoru dolu byly bezvýznamné.

Bylo jasné, že každý horník by potřeboval být ve skvělé fyzické (i psychické) kondici, aby byl připraven na záchranu. A to zejména, když první odhady mluvily o záchranném termínu v období kolem Vánoc.

Přestože Zephyr vyvíjel v té době systém pro přenos dat přes optické vlákno, nebylo v tomto případě možné „live“ spojení, a tak byla data analyzována pouze na denní bázi. Proces přenosu dat byl velmi náročný, ale i díky němu se podařilo regulovat fyziologické funkce například u horníka Edisona Peñi, který se nebezpečně přibližoval hypertermii.

Následoval pětítýdenní výcvikový program horníků, který byl rozdělen na dvě části a měl pomoci právě se zmíněnou fyzickou přípravou na vyzvednutí. (Ze zdravotního hlediska bylo důležité sledovat a optimalizovat fyzickou aktivitu samozřejmě především během doby uvěznění čilských horníků.) Nejprve se tým zaměřil na redukci tělesného tuku zavalených, poté se snažil budovat svalovou hmotu v oblasti dolních končetin, to vše samozřejmě ve správném pásmu fyziologických hodnot.

**Výsledek operace.** Výsledky pětítýdenního tréninkového plánu znamenaly především značnou ztrátu tělesné váhy horníků (-6,5 kg, +/- 3 kg) a lepší fyzickou zdatnost. U žádného z horníků se neprojevil vážný problém související s tréninkem, až na dva členy. Edison Peña trénoval nadměrně, a tak dosáhl nebezpečné teploty 40.8 °C, což si vyžádalo okamžité zapojení rehydratačního protokolu a přerušování tréninkového plánu na nezbytně dlouhou dobu. Druhým případem, který nešel přesně podle očekávání, byl nejstarší zavalený horník Mario Gómez. Mario trpěl silikózou (*poškození plic, většinou spojené s profesí, způsobené inhalací anorganického materiálu – v tomto případě fibrogenních částic oxidu křemičitého SiO<sub>2</sub>*), plicní fibrózou a měl zápal plic. Všechny tyto faktory se podepsaly na špatném stavu dolní poloviny jeho pravé plíce, což zapříčinilo neočekávanou reakci na zátěžový test, kdy byla Mariovi naměřena zvýšená tepová frekvence nad hranicí 150 úderů za minutu (až na 151 bpm).

Výsledky všeho úsilí byly ale dobré. Každý horník se nakonec byl schopen dostat do záchranné kapsle Fenix, a všichni se dostali na povrch v odpovídajícím

stavu. Do dvou dnů od záchrany tak mohli být všichni propuštěni z nemocnice ke svým rodinám [11, 12, 13].

### 2.3.2 FlexiGuard

**FlexiGuard** – je projekt vyvíjený na Fakultě biomedicínského inženýrství ČVUT v Praze. „Cílem projektu je vývoj telemetrického monitorovacího zařízení v odolné podobě, které umožní v reálném čase a v extrémních podmínkách lokalizaci jednotlivých členů zásahového týmu, sledování jejich zdravotně-fyziologických parametrů (tep, tlak, kožní odpor – pocení, teplota), automatickou detekci a signalizaci rizikového stavu, jako je fyzické vyčerpání, nadměrný stres, přehřátí atd. Dále umožní rozlišení povahy a intenzity jejich pohybu (leh, stoj, běh, plazení apod.) včetně stanovení aktuálního a celkového energetického výdeje, sledování environmentálních parametrů (teplota, kouř) a dalších stavů dle reálných požadavků vybraných složek IZS“ [14].

Projekt FlexiGuard je vyvíjen pro specifické účely složek, které se často ocitají v nebezpečných situacích nebo na jiných místech mimořádných událostí. Systém by měl výrazně zefektivnit a podpořit výcvik, ale měl by být platný i v terénu. Předpokládaní uživatelé systému jsou zejména příslušníci základních a ostatních složek IZS:

- ZZS – Zdravotnická záchranná služba
- HZS – Hasičský záchranný sbor; ochrana před různými druhy zásahů, především dlouhé a rozsáhlé zásahy při rozsáhlých požárech, zásahy s použitím dýchací techniky
- Horská služba – prevence před vyčerpáním a výškovou nemocí
- Policejní složky – podpora výcviku a kontrola hladiny stresu
- Báňská záchranná služba – podpora zásahů v podzemí
- Armádní použití.

Z pohledu na cílovou skupinu je zjevné, že FlexiGuard byl konstruován k náročnému zacházení a do náročných podmínek. Proto využívá bezdrátové technologie, které skýtají snadnou integraci nových systémů. Ty se mohou snadno přidat k oděvu, a zároveň se lze šikovně vyhnout mechanickému poškození systému. Technologie modelu je založena na systému BAN (Body Area Network) – v podstatě na bezdrátové síti nositelných výpočetních zařízení [1]. Výhoda tohoto modelu tkví v obsáhlých možnostech jeho vylepšování. Například se mohou implementovat další měřicí jednotky nebo může docházet k jejich miniaturizaci nebo zpřesňování/kalibraci. Dají se také integrovat do různých druhů výstroje určené pro příslušníky IZS. Velkou otázkou je především bezpečnost a rychlost systému, který může být plně závislý na dobrém internetovém signálu. Výzev, kterým bude systém BAN muset čelit, je ale více, a od kvality a konzistence dat (data jsou přenášena v rámci uzlů – tzv. „nodů“ z angl. Node – uzel; poznámky a údaje o části těla se tedy ukládají do uzlů, pokud ale dohledová osoba nemá související informace z dalších uzlů, může se kvalita informací snižovat) přes interoperabilitu (systém by se musel naučit dobře komunikovat s všeobecně uznávanými standardy adhoc. Bluetooth, ZigBee apod. a zajistit nepřetržitou konektivitu) až po velmi nákladnou výrobu, a tudíž i vysokou cenu.

Systém počítá s tím, že každý člen týmu/jednotky má svou modulární jednotku a z ní jsou následně data přenášena do vizualizační jednotky, kde jsou transportována do srozumitelné formy veliteli zásahu. Je důležité se rozhodnout, pro jakou formu transportu dat se rozhodne. Varianty jsou dvě, a to on-line a off-line. Odesílání informací v reálném čase má jistě větší smysl při zásahu než při výcviku. Je také technologicky náročnější. Ukládání dat na určitý disk (například Micro SD karty), který je součástí modulu, může být vhodným řešením pro výcvik a sběr většího množství dat.

Tvůrci FlexiGuardu jako prvku, který složí jako pomocný pilíř strategického velení, vymysleli i několik vizualizačních metod. Tento prvek je nesmírně důležitý,

protože zahrnuje analýzu dat a vyhodnocení možných problémů. Samotnou vizualizaci je možné realizovat více způsoby. Z ověřených variant, které odpovídají operačnímu prostoru jednotky, lze zmínit odolné PC modely (odolný notebook, PDA se speciálním odladěným aplikačním softwarem) ze kterých se nejvíce osvědčil právě odolný notebook, který splňuje vysokou míru mobility a zároveň veškeré uživatelské pohodlí. Z jiných modelů lze ale vyčíst, že by mělo být možné realizovat vizualizaci i například na místech jako jsou konferenční místnosti nebo různé operační základny, respektive místnosti určené k řízení operací na dálku. Vizualizační jednotka je v základním stavu schopna přijímat, zobrazovat a archivovat data z připojených jednotek, a to v reálném čase. Klíčová vlastnost softwaru vizualizační jednotky je schopnost pracovat s externími knihovny souborů, tak jak je to i u podobných systémů. „Software pro vizualizační jednotku je připraven pro práci se vzdálenou databází (správa osobních bezpečnostních profilů uživatelů a dat). V základní variantě podpůrného softwaru vizualizační jednotky je v této fázi vývoje projektu implementováno zpracování a analýza následujících veličin:

- Aktuální zátěž – výpočet je založen na nomogramu Astrand-Rhytming; vstupní parametry jsou hmotnost, výška, věk, pohlaví, maximální tepová frekvence, maximální přijatý kyslík (VO<sub>2</sub> max), energetický ekvivalent pro kyslík a aktuální tepová frekvence,
- Integrovaná zátěž – agregace aktuální zátěže v definovaném klouzavém časovém okně,
- Náklon – rozlišení několika poloh (leh, stoj, apod.),
- Zátěž – vypočítaná z dat z akcelerometrů,
- Aktuální stav baterie a odhad její výdrže,
- Tělesná teplota – měřena termistorem v hrudním pásu,
- Externí teplota (teplota prostředí) a vlhkost,
- Adaptivní zpracování tepové frekvence, odstranění artefaktů.“

Další přídatné moduly vhodné pro budoucí začlenění do systému FlexiGuardu jsou například moduly pro měření saturace krve kyslíkem, snímání povrchového myogramu, krevního tlaku, dechové frekvence nebo kožního odporu. Na základě dalších analýz a zpětné vazby od testujících členů jednotek bude možné v budoucnu vhodně zvolit rozšíření modulů z výše uvedených entit [14].

### **2.3.3 Porovnání s podobnou mimooborovou technologií**

Využití moderních technologií, v tomto případě telemedicíny, můžeme sledovat i v žánrově jiných odvětvích. Například profesionální sportovci stále více dbají na spojení své výkonnosti a zdravotního stavu s důkladným vyhodnocováním a analýzou tělesných funkcí. Týká se to například stavu trénovanosti, zlepšování zdravotního stavu nebo péče po úrazech a zraněních. K dispozici jsou jim podobné druhy technologie měření jako pro členy záchranářských jednotek – tedy laboratorní měření, sporttestery nebo jiná, většinou individuálně navržená zařízení.

Pro terénní měření jednotlivých hráčů v poli jsou využívány specifické sporttestery, které většinou analyzují srdeční tep a pohybovou aktivitu. Příkladem může být zařízení značky Garmin (model: Forerunner 935), který obsahuje bezdrátové optické měření srdečního tepu a barometrický výškoměr, s automatickou kalibrací podle GPS. Dodatečné měřicí funkce lze realizovat pomocí přídatného hrudního pásu. Dohledový systémem v tomto druhu sporttesterů plní většinou mobilní aplikace, kam se přes bezdrátové připojení zasílají a ukládají výsledky měření. Výhodou tohoto systému je bezesporu jeho uživatelská nenáročnost a velmi rychlé a přehledné vyhodnocení výkonu. Moderní mobilní aplikace umí pružně vytvářet grafy a výkonové křivky nebo porovnávat naměřené výsledky s jinými měřenými jedinci. Nevýhodou lze spatřit v samotném přístroji. Ani pro sportovní účely, natož pro účely IZS, není vhodné v průběhu vysokého fyzického zatížení mít na sobě jakékoli plastovo-gumové zařízení, které



může interagovat s pokožkou a značně omezovat nebo nepříjemně ovlivňovat pohybovou aktivitu [15].

## **2.4 Poznatky z provedených studií**

Přestože o využitelnosti a užitku dohledových systémů pro složky IZS se mohou vést debaty, jistou exaktní rovinu dodávají laboratorní studie, které popisují simulované situace a dopad použití dohledových systémů na ně.

Několik studií prokázalo, že při zásahu v extrémních podmínkách se může výrazně měnit potence výkonu nasazených hasičů, a že při standardní úrovni vybavení (oblek + dýchací přístroj) je velmi obtížné změny (ať už fyziologické či environmentální) monitorovat. I přes velký rozmach nositelné elektroniky, která je schopná měřit různé fyziologické funkce, je třeba konstatovat, že přesnost a aplikační možnosti těchto systémů jsou výrazně vzdáleny potřebám HZS. Jednou z možností ověření spolehlivosti dohledových systémů jsou laboratorní měření, kde dochází k vytvoření zátěžových podmínek, a tak lze porovnat získaná data z dohledového systému s klasickými laboratorními metodami měření fyziologických parametrů.

Studie autora A. Coca a kol. z roku 2014 porovnávala přesnost měření fyziologické odezvy v reálném čase u komerčně vyráběného produktu LifeShirt (VivoMetrics) s laboratorním měřením při zátěži probandů na běžeckém pásu. Mezi měřenými parametry byly srdeční tep, dechová frekvence, teplota kůže, saturace kyslíkem a respirační kapacita v podobě dechového objemu a minutové ventilace.

Studie byla provedena s 10 zdravými probandy (8 mužů a 2 ženy) ve věku 21-39 let, kteří mají zkušenosti s nošením hasičské výstroje. Účastníci studie před samotným měřením podstoupili vstupní lékařské vyšetření – vyšetření moči, krve a EKG, test na přítomnost drog a těhotenský test u žen. Probandi byli na počátku

měření vybaveni komerčně vyráběným produktem LifeShirt, připojení k měřicím přístrojům a technice monitorující výstupy dat a podrobení 3 minutové „zahřívací“ fázi na běžícím páse. Následně byla prováděna všechna měření, délka testování a odběr dat trval u každého probanda 20 minut. Data jednotlivých sledovaných parametrů byla analyzována každou minutu, tedy každý parametr měl minimálně 20 hodnot. Pro statistickou analýzu a vyhodnocení korelace mezi daty získanými z komerčního dozorového produktu LifeShirt a daty získanými referenčními laboratorními metodami byla použita metoda bootstrap.

Studie prokázala, že systém LifeShirt měřil v horkém, vlhkém prostředí standardního hasičského oblečení (vybavení) 5 z 6 sledovaných parametrů velmi přesně ve srovnání s kalibrovaným referenčním měřením pomocí laboratorních přístrojů. Vysoká korelace měření byla potvrzena u nejčastěji používaných fyziologických parametrů jako je srdeční tep, dechová frekvence, teplota kůže, a dechový objem. Drobné statistické odchylky byly naměřeny pro parametry saturace kyslíkem a minutová ventilace, nicméně statistická odchylka se pohybovala v parametrech deklarovaných výrobcem komerčního produktu LifeShirt.

Autoři v závěru své studie připouští, že vysoká korelace naměřených dat ze systému LifeShirt a referenčních laboratorních měření při mírné zátěži, slibuje možnost využití takového systému pro reálná terénní měření [16].

## **2.5 Právní rámec**

Dosud práce obsahovala teoretické informace o principech měření a aplikačních modelech dohledových systémů. Je nesporné, že tyto systémy jsou součástí budoucnosti vývoje v oblasti bezpečnosti práce složek IZS. Je ale důležité chápat a zmínit i prvky, které mohou podobným systémům křížit cestu nebo minimálně omezovat jejich pole působnosti. Jde zejména o etickou a právní stranu věci. Z jedné strany jde o výborný informační prvek, z druhé strany jde o bezpečí a

ochranu soukromí a citlivých údajů o měřených jedincích. V praktické části této práce byla oslovena etická komise za účelem potvrzení etické korektnosti vybraných testů na probandech.

*„Etická komise je nezávislý orgán tvořený odborníky z oblasti zdravotnictví a osobami bez vzdělání z oblasti lékařství. Hlavní povinností komise je chránit práva, bezpečnost a zdraví osob zařazených do klinického hodnocení“ [17].* Mezi oblasti, které komise zkoumá, patří například způsob náboru subjektů, dokumentace výzkumného projektu nebo to, jak je uzavřeno pojištění odpovědnosti za škodu, které se týká i případného odškodnění za újmu. Z výše uvedeného vyplývá důležitost činnosti tohoto orgánu, a je zároveň důvodem, proč byla i v experimentální části této práce přikládána velká důležitost schválení korektnosti provedeného experimentu.

Zároveň do celé problematiky promlouvá nová společná evropská směrnice, známá pod zkratkou GDPR (*Obecné nařízení o ochraně osobních údajů (angl. General Data Protection Regulation neboli GDPR) je nová revoluční legislativa EU, která výrazně zvýší ochranu osobních dat občanů*), ale především také podobné normy, které popisují metody měření, interpretace a vyhodnocení fyziologických parametrů [18].

GDPR jakožto nový rámec právní ochrany v oblasti osobních údajů nabyde platnosti na konci května roku 2018. Týká se veškerých (i státních) organizací, tedy i IZS. Změny se týkají mimo jiné rozšíření některých zavedených pojmů, respektive jejich redefinování. Osobní údaj nově může být například e-mailová adresa nebo IP adresa. Zpřísňuje se ale především pohled na zvláštní kategorii dat, jako jsou údaje o etnickém původu, náboženském vyznání, ale jsou mezi nimi i informace o zdravotním stavu. Mezi ně by *„měly být zahrnuty veškeré údaje související se zdravotním stavem, které vypovídají o tělesném nebo duševním zdraví člověka“ [18].*

Směrnice dále upravuje povinnosti, které musí každá společnost plnit, jinak hrozí přísné sankce. GDPR požaduje zavést technická, organizační a procesní opatření za účelem implementace principů a vztahů tohoto nařízení [18].

### 3 CÍL PRÁCE

Cílem bakalářské práce je porovnat a vyhodnotit tři odlišné a nezávislé možnosti měření, online zpracování a vyhodnocení fyziologických parametrů osob, které lze následně využít pro podporu výcviku a zásahu složek IZS. Myšlenka této práce vznikla při výuce na společném pracovišti 1. LF (1. lékařská fakulta) a ČVUT FBMI, kde byl student seznámen s projektem FlexiGuard katedry informačních a komunikačních technologií v lékařství. Tento projekt již běží několik let, stále se však pracuje na jeho vývoji a testování, k čemuž by měla dopomoci i tato práce.

Teoretická část provádí rešerši významu, historie a již použitých nebo vyvíjených dohledových systémů pro podporu zásahu a výcviku složek IZS, dále též základní principy jejich fungování a výhody i rizika jejich použití. Jsou též popsány možnosti a metody měření fyziologických funkcí ve spojitosti s aplikačním potenciálem pro dohledové systémy.

V praktické části jsou zahrnuta reálná měření fyziologických parametrů (tepová frekvence, tělesná teplota) u skupiny minimálně 20 probandů. Výsledky jsou statisticky vyhodnoceny, porovnány a stanoveny klady a zápory jednotlivých metod měření a zpracování fyziologických parametrů. Následně je vyhodnocena jejich využitelnost pro vybrané složky IZS v závislosti na aplikačním využití, přesnosti měření a zpracování dat.

#### 3.1 Dílčí cíle:

- návrh vhodného umístění senzorů
- stanovení vhodného způsobu měření (s výhledem do budoucna) pro daný dohledový systém
- provést experimentální měření
- analýza dat a vyhodnocení jejich využitelnosti

## 4 METODIKA

Praktická část této bakalářské práce má charakter pilotní studie, která odpovídá observačnímu typu studie s osobami. Experimenty, které proběhly na půdě katedry informačních a komunikačních technologií v lékařství FBMI, byly realizovány v laboratorních podmínkách pod dohledem kvalifikovaných odborníků. Navržená metodika měla simulovat reálné terénní podmínky, tedy simulovat zvýšenou zátěž při výcviku či zásahu složek IZS, a tak zjistit přesnost a uživatelskou přívětivost vyvíjeného přístroje FlexiGuard.

Experimentální měření bylo schváleno odbornou etickou komisí Fakulty biomedicínského inženýrství ČVUT v Praze. Z doložených příloh (Příloha 1 a 2) lze ověřit rozhodnutí etické komise a zároveň nahlédnout do sylabu výzkumného projektu.

### 4.1 Technika sběru dat

Vzhledem k experimentálnímu pojetí praktické části práce bylo nutno stanovit a definovat výběr a kvantitu referenčního vzorku probandů, s nimiž bude experiment probíhat. Jako vhodný počet, co se kvantity i kvality měření týče, bylo stanoveno minimum 20 zúčastněných probandů, ve věku od 15 do 50 let, většinou mužského pohlaví. Tyto údaje jsou podloženy faktickými znalostmi personálního obsazení složek IZS, zejména pak HZS. Probandi byli vybráni z řad sportovců, dobrovolných hasičů i studentů.

Všechna měření prováděná během experimentu jsou neinvazivní a nedochází k žádnému odběru vzorků. Probandi, kteří se měření zúčastnili, stvrdili, že si nejsou vědomi žádného poškození srdečního systému (kardiovaskulární choroby) ani netrpí nemocemi dýchacího ústrojí. Dále uvedli, že netrpí chorobami pohybového ústrojí. Všechny tyto informace stvrdili svým podpisem ve formuláři

informovaného souhlasu, kde se mohli též podrobně seznámit s cílem, obsahem i délkou trvání samotného experimentu.

## **4.2 Použité přístroje**

V následujících podkapitolách budou popsány všechny referenční i nereferenční měřicí přístroje, které byly použity v průběhu experimentu, a také přístroj, který sloužil k simulaci fyzické zátěže probandů.

### **4.2.1 FlexiGuard**

Dohledový systém FlexiGuard byl detailně popsán již v kapitole 2.3.2. K experimentu byly uvolněny 4 sady systému, vždy centrální řídicí jednotka a dokovací stanice, která slouží k nabíjení a též k přenosu dat přes rozhraní USB 2.0. Data z FlexiGuardu byla sledována v reálném čase na připojeném PC (notebook Apple MacBook Pro 13").

Řídicí jednotka systému disponuje bezdrátovou technologií, která slouží k připojení jednotky do nabíjecího doku, kde je také umožněn přenos dat do PC nebo jiné vizualizační jednotky. Dále jednotka obsahuje Li-Pol akumulátor, který má kapacitu 2000 mAh (mAh - miliampérhodina), což je dle výsledného měření nadprůměrně dostatečná hodnota. Pro měření tepové frekvence odvozené z křivky EKG je použit senzor ADS 1292. V jednotce je též přítomen tříosý gyroskop (ve třech kolmých směrech X, Y, Z), který je postaven na senzoru MMA 8452. Jako poslední důležitý senzor je třeba zmínit ten teplotní. Tělesná teplota, respektive její měření, má rozlišení 0,1 C°. Použitý senzor je TMP 112.

Mezi další parametry osobní snímací jednotky patří mimo jiné bezobslužný provoz s možností monitorovat současně až 30 probandů (členů jednotek IZS). To bylo během experimentu v menším měřítku vyzkoušeno a vše fungovalo dle očekávání. Dosah bezdrátového radiového rozhraní je ve volném prostoru až 2 km, v budově pak přibližně 3 sousedící podlaží. Výdrž baterie se pohybuje kolem 20

hodin při využití telemetrického přenosu dat. Tato hodnota je plně dostačující, pokud se uváží například průměrná doba zásahu jednotek požární ochrany.

FlexiGuardová jednotka byla na tělo probanda vždy umístěna pomocí flexibilního a nastavitelného hrudního pásu z textil-gumového materiálu. Díky tomu si žádný účastník experimentu nestěžoval na nepohodlnost související s umístěním nebo nošením tohoto systému. Hrudní pás disponuje místy se suchým zipem, kam jsou přichyceny měřicí jednotky. Celková váha nepřesahuje 120 gramů, a tak není za běžných okolností na těle pozorovatelná [19].

#### **4.2.2 Mindray MEC-1200**

Tento certifikovaný přístroj je schopen měřit EKG, saturaci krve kyslíkem, tepovou frekvenci a neinvazivní metodou i krevní tlak. Všechny tyto informace zobrazuje na 8,4 palcovém barevném TFT (zkratka z angl. „thin film transistor“) display. Některé varianty tohoto přístroje byly vybaveny možností nahrávání záznamů křivek EKG a dalších funkcí, avšak v tomto případě tomu tak nebylo. Proto bylo v průběhu experimentu nutno nahrávat obraz přístroje MEC 1200 na mobilní telefon (Apple iPhone 7, schopen nahrávat video záznam ve 4K při 30 fps – zkratka z angl. „frames per second“).

Vzhledem k tomu, že se jedná o certifikovaný EKG přístroj, byla kvalita dat z tohoto přístroje brána jako standardní laboratorní výstup [20].

#### **4.2.3 VLV LAB - bezdrátový kapesní polygraf**

*Tento „přístroj najde využití všude tam, kde je potřeba při experimentech kontinuální a přesné snímání biologických a technických signálů, jako je elektrokardiogram, elektromyogram, kožní odpor, dechová křivka, teplota, vlhkost, tlak, pohybová aktivita apod., vše synchronizované v jedné časové ose“ [21].*



System umožňuje snímání a vizualizaci všech dostupných fyziologických funkcí v připojené vizualizační jednotce (většinou PC), a to v reálném čase a z několika probandů najednou. Zařízení může data ukládat přímo do PC, pokud je připojeno. Druhou variantou je použití vestavěné paměťové karty a aplikovat bezdrátovou možnost použití přístroje. S tím se pojí i délka výdrže vestavěné baterie – je jím Li-Pol akumulátor s výdrží 12 hodin nepřetržitého provozu.

K vizualizaci dat byl pro zařízení vyvinut speciální software VLV Scope, který je multiplatformní, je tedy možné pracovat s ním i na platformě Windows i na Mac OS, popřípadě Android i Linux systémech. Přenos dat je realizován přes standardní Wi-Fi protokol. Naměřená data lze podobně jako u systému FlexiGuard exportovat do formátu CSV.

VLV se skládá z měřicí jednotky, kabelového svazku a připojených periférií, což mohou být například měřicí elektrody EKG nebo EMG, kožního odporu, senzory tělesné teploty nebo teploty okolí, a také senzory pro měření vlhkosti a tlaku [21].

#### **4.2.4 Apple Watch**

Apple Watch patří mezi chytré hodinky. Prodávají se od roku 2015 a jsou vyvíjené společností Apple Inc. Hodinky se vyrábí ve dvou variantách, ve 38 mm a ve 42 mm, druhé zmíněné byly přítomny v tomto experimentu. Apple Watch disponují funkcí pletysmografického měření tepové frekvence a vzhledem k tomu, že se dnes jedná o velmi populární a rozšířené zařízení, bylo zajímavé sledovat přesnost naměřených dat. Vizualizace hodnot probíhá na samotném displeji zařízení, které má 1,5 palce. Přístroj je certifikovaný k plnění normy odolnosti proti vodě IPX7, což zaručuje, že například ani při extrémní zátěži a s tím spojenému pocení nedojde k selhání zařízení [22].

#### 4.2.5 Další použité přístroje

- **Osobní váha** – iHealth Lite HS4s. Jedná se o multifunkční váhu, která je schopna data bezdrátově přenášet a ukládat do mobilních zařízení. (vážení probandů se zaokrouhlovalo na celá čísla)
- **Ergometr Kettler** – jedná se o špičkový ergometr „Ergo Race“, který supluje výcvikové kolo. Byl vyvinut na základě nejnovějších biomechanických výzkumů a splňuje ty nejnáročnější standardy, jako například personální programovatelné funkce trasy. Všechny komponenty se dají nastavit do různých poloh, čehož se v experimentu hojně využívalo, a tak se zvýšila pohodlnost a přesnost měření. Nejvíce byl využit softwarový program „individual“, který nabízí naprogramovat po minutách wattovou náročnost a navrhnout tak trasu, která je pro všechny probandy stejná [23].

### 4.3 Průběh experimentu

Experimentální část práce byla velmi členitá a časově i informačně náročná. Pro přehlednost bude v této kapitole rozčleněna, a po menších částech i popsána. Celková doba průběhu i příprav na experiment trvala přibližně jeden pracovní týden.

#### 4.3.1 Přípravná část

Před každým měřením se musel připravit a udělat souhrn činností, které vedly k tomu, že proces nevykazoval vady měření. Vše začínalo kalibrací všech přístrojů, respektive ověřením korektnosti jejich měření, popřípadě nastavení do počátečního režimu. U systému FlexiGuard se muselo dbát zvláštní opatrnosti na dobré spojení s připojenou vizualizační jednotkou a pro každého probanda musel být vytvořen speciální profil, který reflektoval jeho pohlaví, věk, váhu, výšku a klidovou tepovou frekvenci.

Po příchodu byl proband vyzván k vyplnění dvou dokumentů. První z nich byl stručný dotazník (viz příloha 2), který složil k přidělení identifikačního čísla, pod kterým byl proband dále veden a zároveň k poskytnutí nezbytných údajů:

- jméno, příjmení, pohlaví a datum narození
- věk, výška, váha a informace, zda je dotyčný kuřák, či nikoliv (popřípadě kolik let)
- zdravotní stav; zda má dotyčný potíže dýchacího či kardiovaskulárního systému, tedy choroby jako astma, alergie, srdeční příhody, infarkt myokardu apod.)
- zda dotyčný trpí nemocí pohybového ústrojí, např.: zlomeniny končetin
- jaký druh zaměstnání vykonává (z hlediska fyzické aktivity; např.: sedavá práce/fyzicky náročné zaměstnání)
- subjektivní pocit sportovní trénovanosti
- potvrzení pravosti informací, místo, datum a podpis.

Tyto údaje sloužily nejen ke kalibraci přístrojů. Díky negaci některých zdravotních překážek bylo možné bezpečně zařadit probanda do probíhajícího experimentu. Vyplnění obou formulářů bylo podmínkou k účasti na testu.

Druhý formulář, který proband stvrzoval podpisem, byl informovaný souhlas. V tomto dokumentu se proband seznámil s názvem, cílem a obsahem celého experimentu ale též s délkou trvání jednotlivého měření nebo s finančním aspektem (experiment probíhal bezplatně, na dobrovolné bázi; viz. příloha 3).

#### **4.3.2 Průběh experimentu**

Po zmíněném podepsání všech dokumentů byl proband znovu detailně seznámen s průběhem experimentu. Bylo mu připomenuto, že pokud by se necítil fyzicky v pořádku, může testování okamžitě ukončit, a to bez udání důvodu. Dále proběhlo měření tělesné váhy a výšky, pokud vznikla potřeba ověřit tyto údaje.

Následně byl proband požádán o vysvěcení se z vrchní části oblečení, aby mu mohlo být připevněno měřící zařízení nebo jejich periferie. Senzory byly umístěny na předem určená místa těla.

Jako první byl nasazen na hrudník gumový pás s jednotkou FlexiGuardu, a to do oblasti 4. a 5. mezižeberního prostoru. Systém se skládá z odesílací (pravé) jednotky a z (levé) sensorové. Toto umístění se již použilo při několika cvičeních a experimentech, a i výsledek tohoto testování potvrzuje, že jde o správné umístění.

Hned po hrudním pásu byly aplikovány EKG elektrody. Jejich nalepení na tělo probanda se řídilo standardním Einthovenovým trojúhelníkovým pravidlem, které staví srdce do pomyslného těžiště. Využito bylo místo pod klíční kostí, kam byly umístěny dvě elektrody (na stranu srdce červená, na druhou stranu žlutá) a třetí, zelená elektroda byla lepena do oblasti boku – tzv. svodová elektroda.

Jako předposlední se umísťoval senzor měření tělesné teploty. Tento senzor bylo zvláště důležité umístit pečlivě a lokačně správně. Proto bylo zvoleno místo mezi dvěma FlexiGuardovými jednotkami. Tak se předešlo velké odchylce měření zapříčiněnou špatným umístěním senzoru. Protože ani tento senzor nebyl bezdrátový, bylo použito lepenky k udržení správné polohy po celou dobu jízdy.

Posledním měřicím přístrojem byly hodinky Apple Watch 2. gen., které pletysmograficky měří tepovou frekvenci. Ty byly jako poslední umístěny na levou horní končetinu probanda, konkrétně na zápěstí. Bylo velmi důležité pečlivě utáhnout gumový pásek pro přesnost měření. Ve zvláštních případech se též musela probandovi oholit část ruky, aby byla zaručena přesnost a správná funkcionality hodinek.

Po nasazení všech těchto přístrojů si proband oblékl sportovní tričko a byl vyzván k nastoupení na ergometr. Zde ještě proběhla kalibrace ergometru a nastavení všech jeho částí do příjemné polohy pro probanda. První měřená fáze

byla klidová a trvala přibližně 5 minut. Během této fáze se kalibrovaly přístroje a probíhala kontrola funkce nahrávacích zařízení. Díky dostatečnému klidovému času se ustálily hodnoty všech senzorů, které byly umístěny na kůži probanda. V posledních částech této fáze byl proband seznámen s detailním plánem trasy na ergometru, který je vidět i z příložené tabulky 1.

*Tabulka 1. Tabulka popisuje stoupající wattovou tendenci vůči času (pro každou minutu je specifický počet wattů).*

1. minuta	50 wattů
2. minuta	50 wattů
3. minuta	70 wattů
4. minuta	70 wattů
5. minuta	70 wattů
6. minuta	100 wattů
7. minuta	100 wattů
8. minuta	120 wattů
9. minuta	120 wattů
10. minuta	150 wattů
11. minuta	150 wattů
12. minuta	150 wattů
13. minuta	150 wattů
14. minuta	200 wattů
15. minuta	250 wattů

Po všech uvedených upozorněních a informacích byl proband požádán, aby započal jízdu na ergometru. Ergometr spustil naprogramovanou trasu vždy až v době, kdy se jedinec poprvé rozjel. V průběhu jízdy mohl proband zvolit své tempo, protože ergometr udržoval wattový odpor v předem stanovené hladině. Většina testovaných subjektů zdárně dokončila poslední minutu programu, která měla přednastavenou zátěž na 250 wattů. Celková doba jízdy byla 15 minut, avšak před a po jízdě probíhalo další měření, a tak se celková doba měření pohybovala kolem 30 minut. Během jízdy byl také každý z dobrovolníků vyfotografován, pro případ hlubší dokumentace měření. Probandi byli před jízdou požádáni, aby v průběhu jízdy v intervalu 20 sekund (tento interval byl hlášen) vždy nahlásili tepovou frekvenci, kterou ukazovaly připojené hodinky Apple Watch. Bylo to z důvodu, že tyto hodinky nedisponují žádným programem, který by umožňoval zpětné procházení naměřených hodnot, a tak se musely hodnoty z tohoto měřicího zařízení zaznamenávat ručně, do předem připraveného formuláře.



Obrázek 1. Fotografie jednoho z probandů, která zachycuje průběh experimentu. Vlastní tvorba.

Po dokončení jízdy probíhalo měření, kdy se teplota a tepová frekvence vracely do běžných hodnot. To trvalo asi 10 minut. Poté byla z probanda sundána měřicí zařízení a byla mu poskytnuta voda, aby se předešlo dehydrataci organismu. Proband byl dotázán na průběh jízdy a komfort usazení hrudního pásu. Následně se jednotka FlexiGuard připojila do dokovací stanice a spustil se USB přenos dat na připravený flash disk. Tímto krokem byl experiment ukončen a proband odcházel.

#### 4.3.3 Zpracování naměřených dat

Zpracování dat bylo specifické pro každý druh měřicího přístroje. Data z **FlexiGuardu** se ukládala do interní paměti, a poté byla vždy přenesena za pomoci dokovací stanice do PC. Zde se zkopírovala do složky s ID probanda a poté byla ze zařízení smazána, aby nedošlo k nechtěné záměně dat mezi jednotlivými probandy. Data ale mohla sledovat dohledová osoba online na notebooku, a to v reálném čase. Zpravidla vznikly v interní paměti jednotky tři soubory, protože systém zapisuje do formátu CSV a to pouze do naplnění velikosti 3,1 MB. Poté se data začnou psát do nového souboru. Při delším (například hodinovém) měření by tak mohla data být zapisována až do desítek souborů, které pro dobrou orientaci musí člověk provádějící analýzu sloučit. Všechny data lze jednoduše transformovat do programu MS Excel od společnosti Microsoft, kde již lze data dále zpracovávat například pomocí grafů.

Obdobný přenos dat byl aplikován i u **VLV LAB** systému. Data byla kontrolována na vizualizační jednotce po celou dobu průběhu experimentu. Poté byla stažena a uložena na diskovou jednotku, aby nedošlo ke změně nebo ztrátě údajů spojených s ID probanda. Poté se přenesla do CSV souboru a byla exportována do programu MS Excel, kde byla lineárně seřazena do sloupce dle jednotlivých časů měření.

Z EKG zařízení od firmy **MindRay** se musel pořizovat video záznam, což v průběhu analýzy dat značně prodloužilo všechny práce. Záznam se prováděl na

mobilní telefon s kvalitní fotografickou čočkou. Po uložení a katalogizaci všech video souborů se data ručně přepisovala do předem připravené tabulky, která zároveň sloužila jako finální databáze všech naměřených hodnot v předem definovaných časových intervalech.

Zpracování naměřených dat bylo nutné aplikovat i na hodinky **Apple Watch**, ze kterých v průběhu experimentu hlásil proband naměřené hodnoty vždy v rozmezí 20 vteřin. Tyto hodnoty se zapisovaly do tabulky a jejich výsledná analýza probíhala zejména až po syntéze všech dat do společné databáze.



## 5 VÝSLEDKY

Výsledky praktické části této práce je nutné rozdělit do dvou rovin. První část experimentu shrnuje velké množství dat, jelikož do měření bylo zahrnuto poměrně značné množství probandů. Celkově se experimentu zúčastnilo 20 probandů různého věku, fyzické zdatnosti i pohlaví. Bylo naměřeno přes 190 konkrétních číselných dat. Tato data umožňují poměrně širokou škálu analýz a mohou sloužit jako opěrný bod pro přesnost měření dohledového systému FlexiGuard.

Z čísel v tabulkách a grafech je zřejmé, že měření dohledového systému je velmi přesné a pohybuje se velmi blízce referenční certifikované metodě EKG přístroje. To dokládá i průměrná chyba měření 0,461, což je z pohledu tepové frekvence vynikající hodnota. Vzhledem k tomu, že vypočtený medián chyby měření je 0, lze prohlásit FlexiGuard za přesný měřicí přístroj, alespoň v oblasti měření tepové frekvence. V oblasti měření tělesné teploty jsou získané výsledky měření také vysoce pozitivní.

Kromě sledování hodnot tepové frekvence byla v průběhu experimentu sledována hodnota tělesné teploty. Ta je důležitá, protože vypovídá o fyzickém stavu nasazeného záchranáře a díky znalosti této hodnoty se může předejít například celkovému selhání organismu nebo dehydrataci. Hodnoty referenční metody a systému FlexiGuard se poměrně detailně shodují, což svědčí o přesné kalibraci dohledového systému. Senzory obou měřících zařízení byly v těsném kontaktu, to mělo sloužit k odstranění hodnotových rozdílů v důsledku rozdílné lokace senzorů.

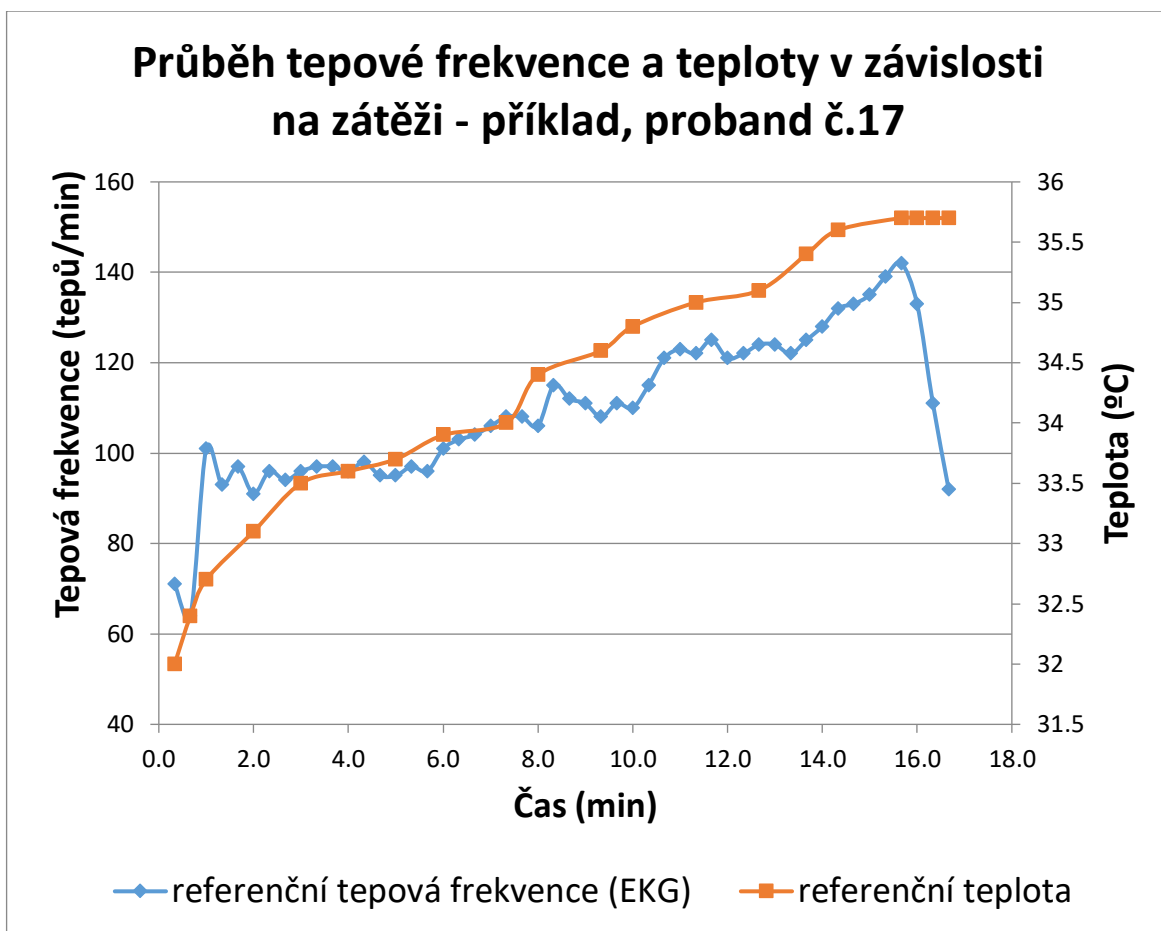
Druhá část výsledků se netýká oblasti čísel. Spíše jde o kalibraci a vylepšení experimentálního testování dohledových systémů. Z naměřených hodnot vyplývá, že tepová frekvence se u většiny probandů zvyšovala kontinuálně s nárůstem wattové zátěže na ergometru, a tak odpovídala očekávanému průběhu měření.

Z fotografií cvičení a zásahů jednotek IZS je ale zřejmé, že členové těchto jednotek jsou často v ergonomicky netypických polohách, a proto by mohlo být při dalších testech uvažováno zejména o experimentech na běžeckém pásu. Z provedené analýzy výpovědí probandů je ale zřejmé, že obdobné testování by pro technickou složitost nebylo možné na běžeckém pásu realizovat – alespoň za stejných okolností, za jakých bylo testování prováděno v tomto experimentu.

Například umístění a zejména setrvání na původním místě u elektrod EKG zařízení bylo v některých případech nad míru obtížné realizovat již na ergometru. Právě díky husté kabeláži nebylo vždy jednoduché udržet všechny senzory a měřící jednotky na svém místě, z čehož vyplývá ještě obtížnější proveditelnost vzhledem k pohybu celého těla na běžícím pásu. Bylo by tak nutné zvážit začlenění více bezdrátové technologie, což by ale vzhledem k technickým možnostem přístrojů neměl být problém.

V tomto ohledu je nutné zmínit i výsledky naměřených hodnot tělesné teploty, respektive povrchové teploty těla. Tyto dvě veličiny jsou zcela rozdílné a je velmi důležité je neplést. V tomto experimentu se hodnoty naměřené teploty vcelku shodovaly, získané hodnoty ale byly poněkud nižší, než by napovídala lékařská praxe. Zdůvodnění, které by tuto záležitost důvěryhodně vysvětlilo, se zdá být v nepříliš ideální lokaci samotného senzoru. Senzor byl umístěn do spodní části hrudníku, kde přesnost měření tělesné teploty nemusí prokazatelně vykazovat nejlepší výsledky. Podrobněji bude tato problematika rozebrána v diskuzi.

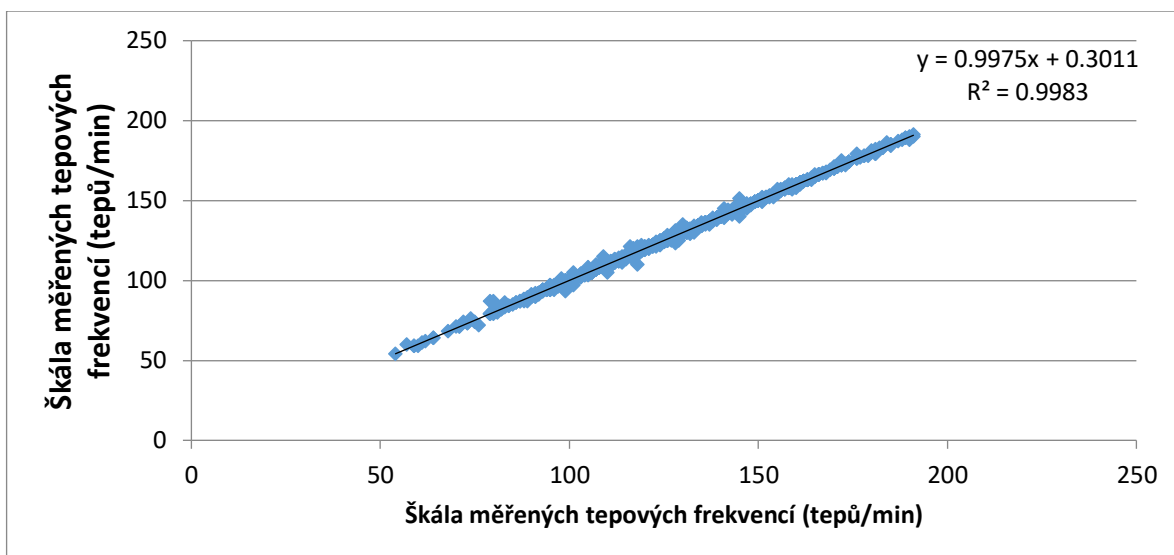
Na následujícím grafu bude demonstrován na náhodně zvoleném probandovi přibližný průběh testu, respektive úměra mezi časem a zvyšujícími se hodnotami.



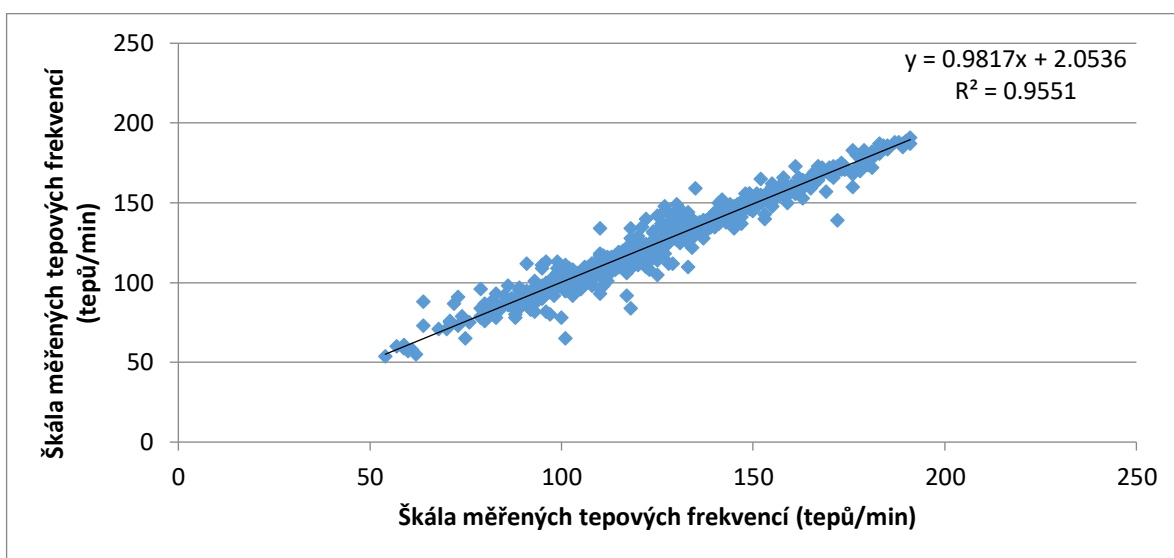
Obrázek 2. Graf zobrazuje průběh tepové frekvence a teploty v závislosti na zátěži, náhodný příklad u probanda ID 17.

### 5.1 Rozbor výsledků z vyextrahované analýzy grafů a tabulek – tepová frekvence

Na prvních dvou grafech lze vidět na ose X hodnoty měřené referenčním EKG zařízením a na Y ose hodnoty z FlexiGuardu, respektive hodinek Apple Watch. Jde o přímé srovnání korektnosti měření u obou zařízení. Výsledky dokládají vysokou spolehlivost měření systému FlexiGuard.



Obrázek 3. Graf má na ose X se stupnicí od 0 do 250 značí škálu měřených tepů a jsou na ní zaznamenána měření certifikovaným referenčním EKG přístrojem společnosti MindRay, osa Y se stejnou stupnicí hodnot pro BPM zaznamenává hodnoty naměřené dohledovým systémem FlexiGuard. Z tohoto grafu lze pozorovat vysokou přesnost měření zmíněného dohledového systému.

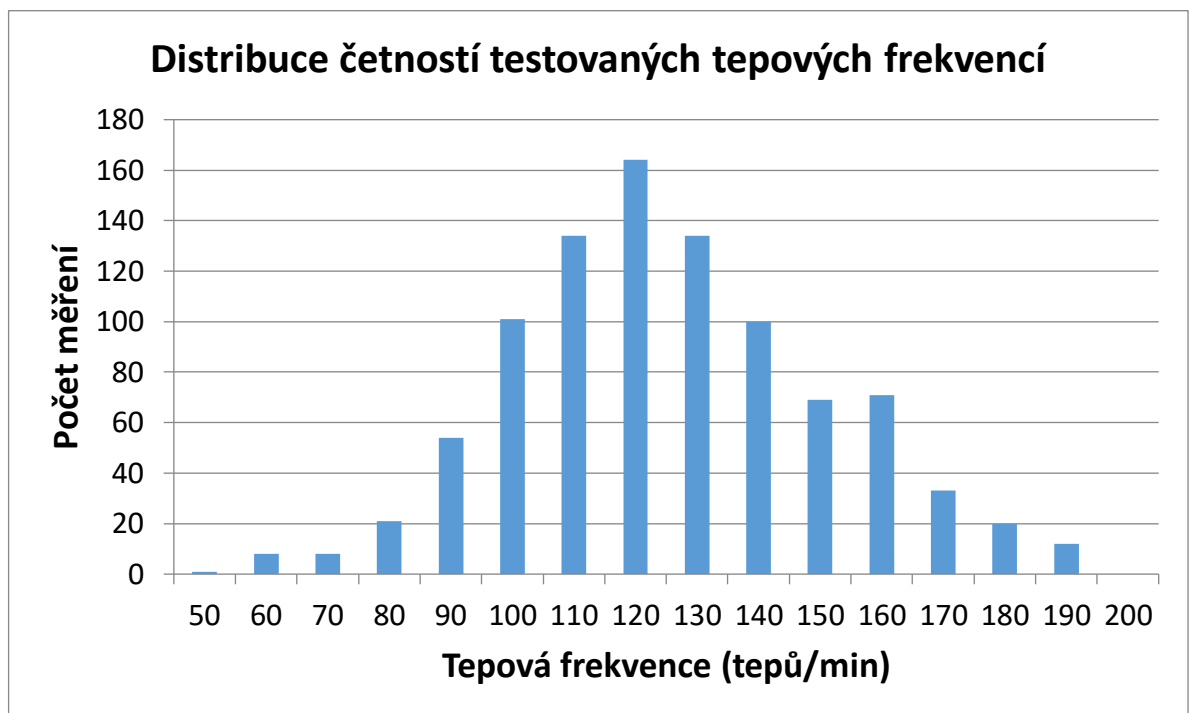


Obrázek 4. Graf má na ose X se stupnicí od 0 do 250 značí škálu měřených tepů a jsou na ní zaznamenána měření certifikovaným referenčním EKG přístrojem společnosti MindRay, osa Y se stejnou stupnicí hodnot pro BPM zaznamenává hodnoty naměřené chytrými hodinkami společnosti Apple – Apple Watch. Z tohoto grafu lze pozorovat o poznání menší spolehlivost měření, a to v celém spektru měření.

V této souvislosti je zajímavou statistikou i procentuální chyba měření FlexiGuardu a Apple Watch. Jedná se o rozdílnou hodnotu oproti průměrné chybě měření, protože se vypočítává ze 100 procent dané hodnoty měření EKG přístrojem, a tedy udává jinou procentuální důležitost pro malé a velké hodnoty. U

FlexiGuardu je průměrná procentuální chyba měření rovna 0,4 %, u Apple Watch činí hodnota 2,84 %.

Je logické, že přestože by měl dohledový systém měřit přesně v celém spektru tepové frekvence probanda, některé hodnoty bude měřit častěji a je u nich tedy klíčové, aby spolehlivost dat byla maximální. Dobře je to vidět z následujícího grafu a tabulky, které demonstrují četnost testovaných tepových frekvencí.



Obrázek 5. Graf zobrazuje distribuci četnosti testovaných tepových frekvencí.

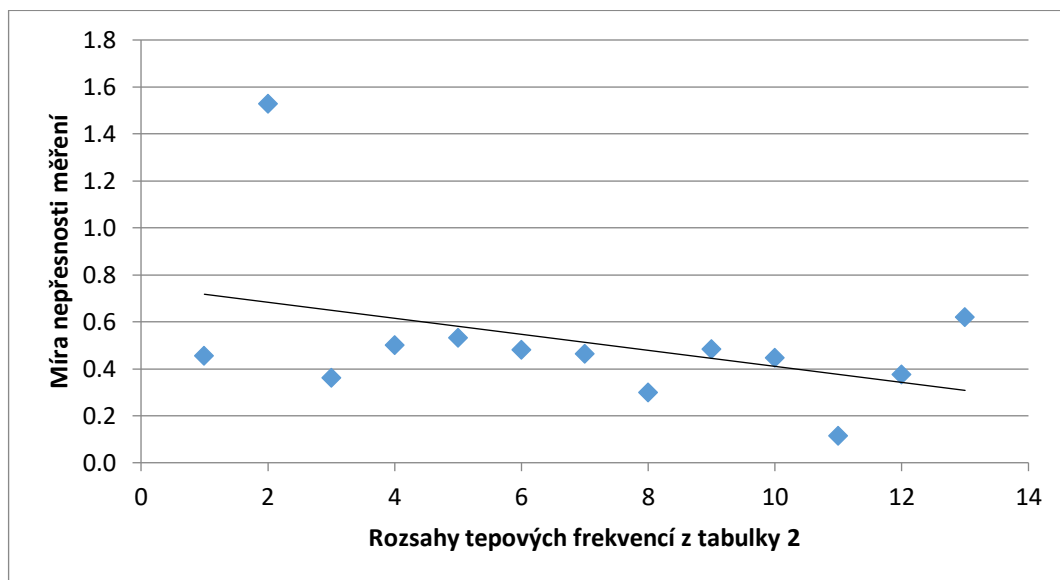
Z analýzy dat vychází jako průměrná hodnota měření 125 tepů za minutu. Nejčastější hodnota, která byla naměřena je pak 115 tepů za minutu. Tyto fakta dokládá i následující tabulka. Z této tabulky a grafů lze vyhodnotit další aspekt, který souvisí s použitou technologií měření. Výsledek práce totiž naznačuje trend změny přesnosti Apple Watch v závislosti na hodnotách tepové frekvence. Pokud jsou hodnoty nízké, je tento sport tester více nepřesný než v případě relativně vysokých hodnot. Tento fakt je možné vysvětlit pletysmografickou metodou prosvětlování tkáně a následného algoritmického výpočtu, který je přesnější, pokud je tkáň více prokrvena.

Tabulka 2. Tabulka popisuje počet měření u konkrétních rozsahů tepových frekvencí. Zbylé dva sloupce srovnávají průměrnou chybu měření jako pro FG (FlexiGuard), tak pro AW (Apple Watch).

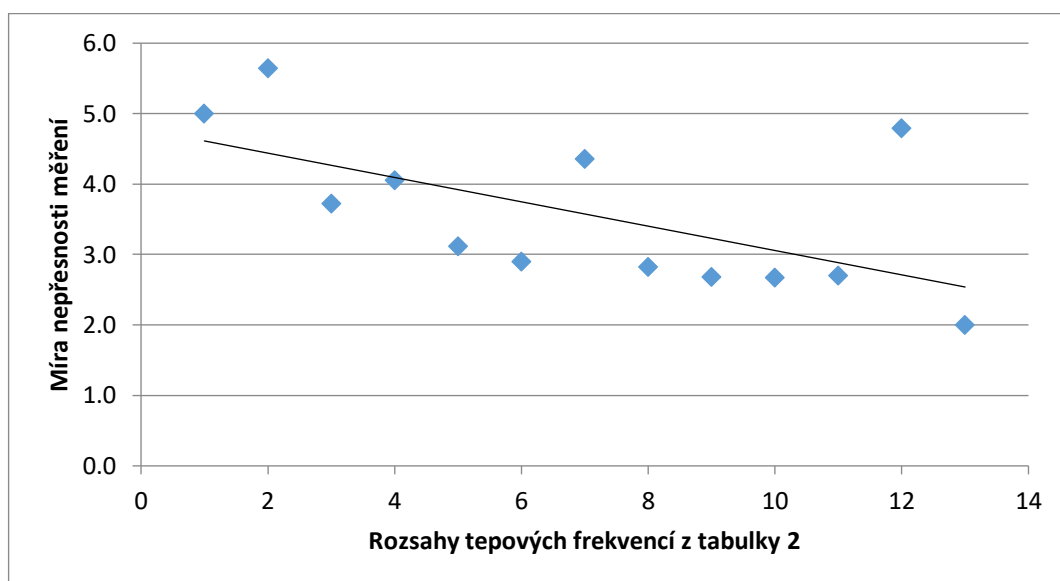
Rozsah tepové frekvence	Počet měření	Průměrná chyba měření FG	Průměrná chyba měření AW
54-70	11	0,5	5
71-80	17	1,5	5,6
81-90	36	0,4	3,7
91-100	86	0,5	4,1
101-110	122	0,5	3,1
111-120	168	0,5	2,9
121-130	129	0,5	4,4
131-140	110	0,3	2,8
141-150	95	0,5	2,7
151-160	67	0,4	2,7
161-170	44	0,1	2,7
171-180	24	0,4	4,8
181-190	21	0,6	2

Z tabulky plyne závěr, že přesnost FlexiGuardu není výrazně ovlivněna hodnotou tepové frekvence na rozdíl od testovaných hodinek. Pro ilustraci

přikládám křivku ze dvou grafů, kde je trend méně přesného měření ve spodním pásmu tepových frekvencí u Apple Watch dobře vidět. Je ovšem důležité reflektovat rozlišná měřítka obou grafů.



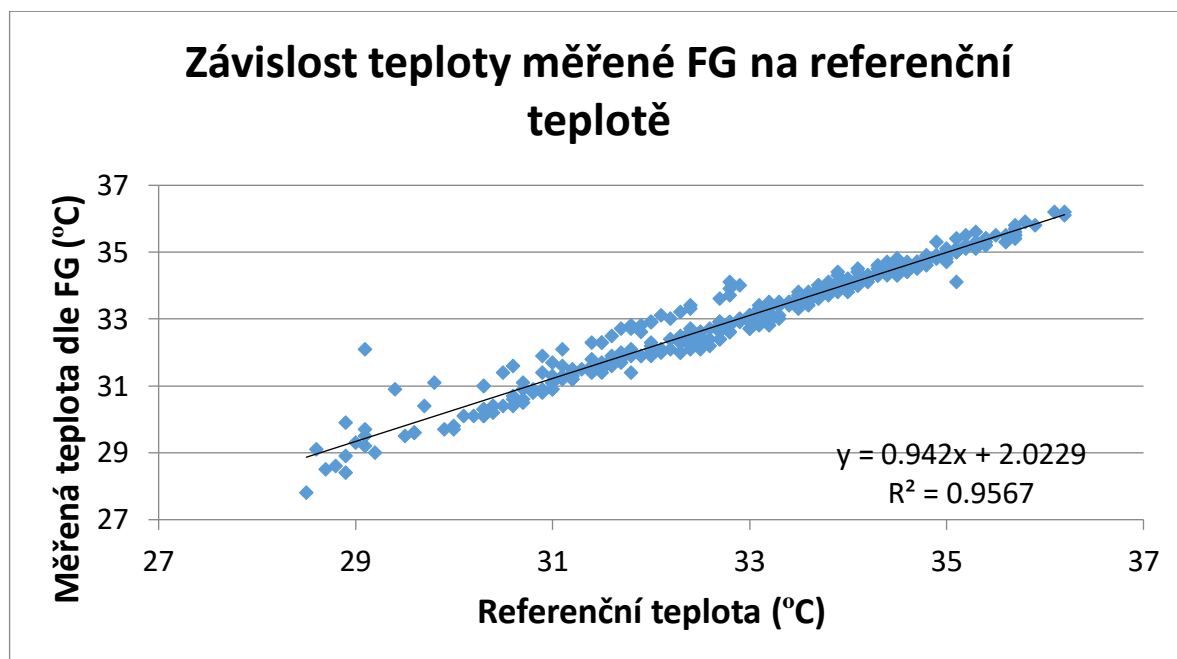
Obrázek 6. Graf zobrazuje na ose X hodnoty znázorněné čísly 1-12, které reprezentují řádky z tabulky 2, tedy 0 je rovna hodnotě 54-70 a 12 rovna 181-190. Na Y ose vidíme míru vychýlení, která je u FlexiGuardu značně přesnější a naprosto nezávislá na hodnotě tepu. Je též nutné vzít v úvahu podstatně detailnější měřítko než na grafu obrázku 7.



Obrázek 7. Graf zobrazuje na ose X hodnoty znázorněné čísly 1-12, které reprezentují řádky z tabulky 2, tedy 0 je rovna hodnotě 54-70 a 12 rovna 181-190. Na Y ose vidíme míru vychýlení, která je u Apple Watch výrazně nepřesnější a projevuje se tendence závislosti na hodnotě tepu – čím je vyšší, tím je přístroj přesnější. Je též nutné vzít v úvahu podstatně větší měřítko než na grafu obrázku 6.

## 5.2 Rozbor výsledků z vyextrahované analýzy grafů a tabulek – teplota

Další měřenou veličinou byla povrchová tělesná teplota. I zde byly výsledky měření příznivé pro FlexiGuard, jak to demonstruje následující graf.

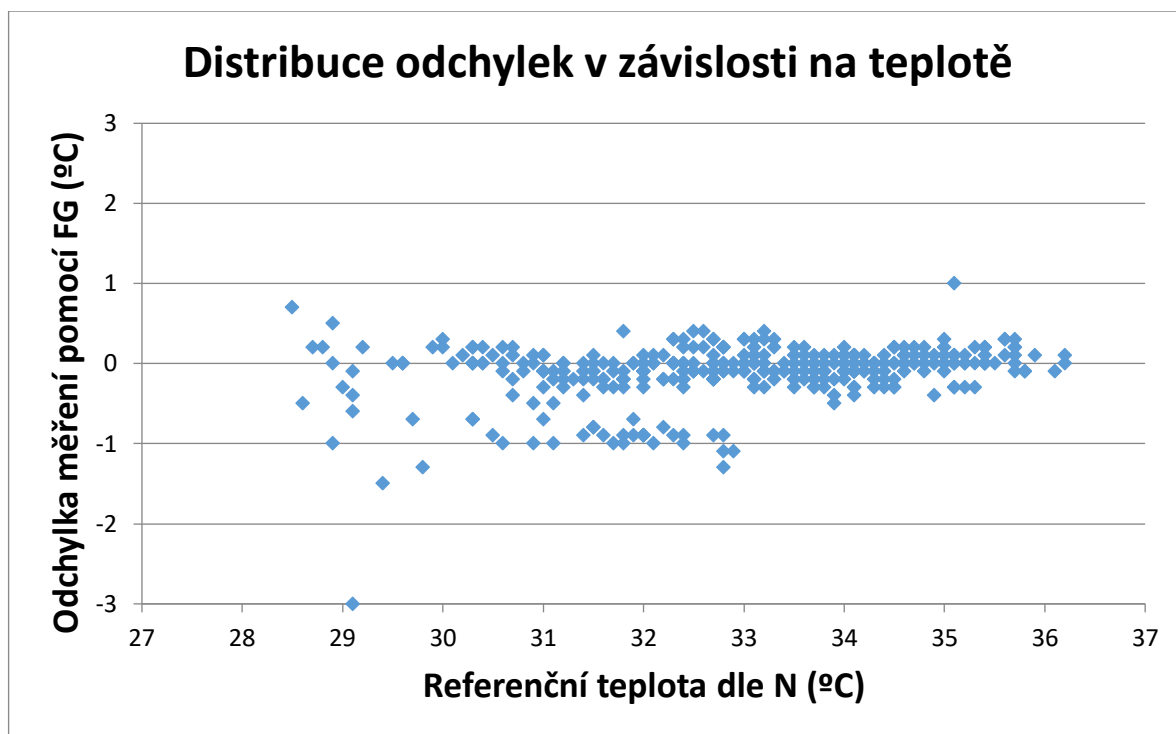


Obrázek 8. Graf popisuje závislost teploty měřené FlexiGuardem na referenčním měření VLV LAB přístrojem. Je zde vidět vysoká spolehlivost měření.

Z grafu je vidět, že přesnost měření teploty je poměrně vysoká. To dokládá i hodnota průměrné chyby měření FlexiGuardu, která činí 0,301 °C. Je ale nutné vzít do úvahy, že lokace měřících senzorů u obou přístrojů nebyla stejná.

Posledním důležitým faktorem, stejně jako v případě tepové frekvence, je distribuce chybovosti v závislosti na teplotě. Opět platí, že klíčovou skutečností je předpoklad, že dohledový přístroj měří stejně v celém spektru běžně měřených hodnot. Pokud by tomu tak nebylo, hrozilo by špatné vyhodnocení nejen aktuální teploty, ale i dalších fyziologických důsledků s následným špatným strategickým rozhodnutím – například odvolat záchranáře ze zásahu, ačkoliv by k tomu ve skutečnosti nebyl důvod. Toto porovnání je přehledně zobrazeno na dalším grafu.





Obrázek 9. Graf srovnává hodnoty měření referenční metody a systému FlexiGuard. Distribuce odchylek v závislosti na teplotě je znázorněna body.

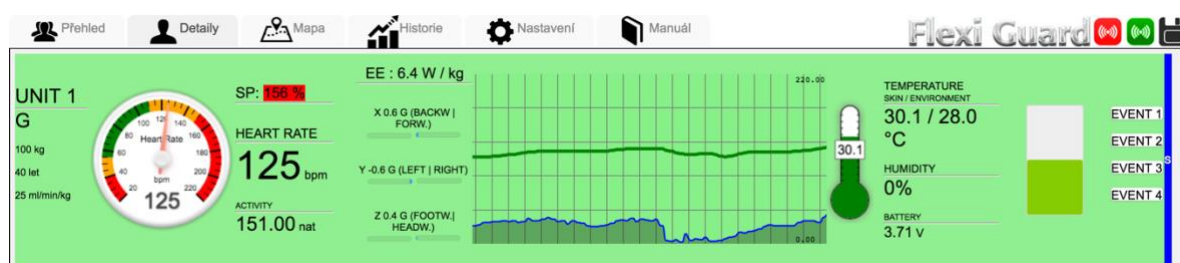
Je též potřeba zamyslet se nad otázkou, jak nebo spíše kde definovat hranici nebezpečné hodnoty tělesné teploty pro hasiče při zásahu. Klíčové je reflektovat především fakt, že pokud bude FlexiGuard připnutý pod spodní prádlo (v tomto případě možná spíše pod sportovní tričko) a pod další vrstvy výstroje, nebude vzduch cirkulovat tak dobře, jako při prováděném experimentu a teploty budou vždy o něco vyšší.

### 5.3 Hodnocení FlexiGuardu

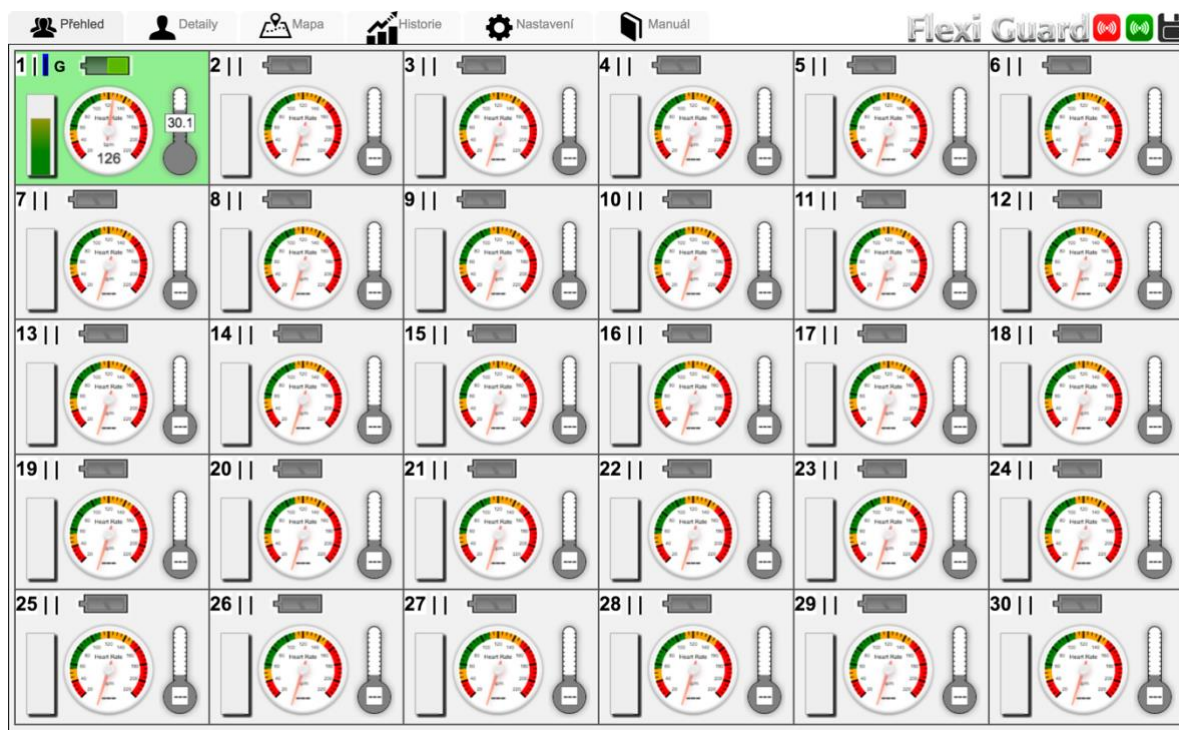
Součástí kapitoly s výsledky a hlavně jeden z důležitých cílů práce, bylo zhodnotit pozitiva a negativa systému FlexiGuard. Tento systém má velmi úzkou vazbu na činnosti spojené s ochranou obyvatelstva. Jeho účel tkví v ochraně samotných zasahujících a tato práce a samotný experiment prokázaly, že minimálně z technického hlediska, z hlediska přesnosti měření, je systém připraven chránit záchranáře tím, že bude předávat spolehlivé informace veliteli zásahu. Ten je může vyhodnotit a bude mít více informací nejen o průběhu zásahu,

ale i o aktuální kondici a zdraví nasazených. Systém FlexiGuard je tedy přesný v měření, pohodlný při zátěži (i když zde je stále prostor pro proces miniaturizace, která může ještě zvýšit komfort nošení), a splňuje i další nároky jako jsou voděodolnost nebo volba způsobu přenosu dat.

Další důležitou stránkou je vynikající softwarové zpracování pro vizualizační jednotku. Je schopna snímat data až 30 osob. Program je přehledně zpracovaný a funguje dobře v prostředí Google Chrome. Za více jak tři týdny práce s ním, nedošlo ani jednou ke „spadnutí“ aplikace, nebo k jiné nečekané a nežádoucí disfunkci. Přenos dat funguje dobře jak přes USB, tak bezdrátově. Z přiložených obrázků lze vidět jednoduchý a dobře ergonomicky zpracovaný layout všech důležitých prvků a údajů, které velitel zásahu potřebuje znát. Velmi důležitá je též možnost personalizace pro každého záchranáře, tedy nastavení jeho osobních zdravotních údajů, které zpřesňují kalibraci měření.



Obrázek 10. Screenshot ze softwaru systému FlexiGuard, který zachycuje uživatelské rozhraní a sledované proky fyziologických hodnot. Vlastní tvorba.



Obrázek 11. Screenshot ze softwaru systému FlexiGuard, který zachycuje přehledový souhrn všech dostupných jednotek FlexiGuard. Je možné sledovat až 30 osob. Vlastní tvorba.

Port 1: /dev/cu.usbserial-AL02JFGT  
 Port 2: /dev/cu.usbserial-A6021CO8  
 Filename:  Select File

Log:  
 port 1 ON CONNECT NOT CONNECTED.  
 Failed to connect to the port.  
 Unknown write result.  
 port 1 ON CONNECT NOT CONNECTED.  
 Failed to connect to the port.  
 Unknown write result.  
 port 1 ON CONNECT NOT CONNECTED.  
 Failed to connect to the port.  
 disconnected 1 P1=0 P2=1

ACTIVE CONFIG: 1  
 Save Config 1 Save Config 2 Save Config 3 Save Config 4  
 Load Config 1 Load Config 2 Load Config 3 Load Config 4 Reset Config

**Osobní profily**

UNIT1  
 Name:  Remark:  Věk: 35 let Váha: 75 kg Výška: 173 cm HR\_klid: 70 tepů/min HR\_ref: 80 tepů/min HR\_max: 150 tepů/min VO2\_max: 2500 ml/min Gender:  Male  Female Stop Radio

UNIT2  
 Name:  Remark:  Věk: 40 let Váha: 80 kg Výška: 180 cm HR\_klid: 70 tepů/min HR\_ref: 80 tepů/min HR\_max: 150 tepů/min VO2\_max: 2500 ml/min Gender:  Male  Female Stop Radio

UNIT3  
 Name:  Remark:  Věk: 40 let Váha: 80 kg Výška: 180 cm HR\_klid: 70 tepů/min HR\_ref: 80 tepů/min HR\_max: 150 tepů/min VO2\_max: 2500 ml/min Gender:  Male  Female Stop Radio

UNIT4  
 Name:  Remark:  Věk: 40 let Váha: 80 kg Výška: 180 cm HR\_klid: 70 tepů/min HR\_ref: 80 tepů/min HR\_max: 150 tepů/min VO2\_max: 2500 ml/min Gender:  Male  Female Stop Radio

UNIT5  
 Name:  Remark:  Věk: 40 let Váha: 80 kg Výška: 180 cm HR\_klid: 70 tepů/min HR\_ref: 80 tepů/min HR\_max: 150 tepů/min VO2\_max: 2500 ml/min Gender:  Male  Female Stop Radio

UNIT6  
 Name:  Remark:  Věk: 40 let Váha: 80 kg Výška: 180 cm HR\_klid: 70 tepů/min HR\_ref: 80 tepů/min HR\_max: 150 tepů/min VO2\_max: 2500 ml/min Gender:  Male  Female Stop Radio

Obrázek 12. Screenshot ze softwaru systému FlexiGuard, který zachycuje interní nastavení fyziologických parametrů pro přesnou analýzu výstupních hodnot. Vlastní tvorba.

Z mnoha úhlů pohledu je tedy FlexiGuard vynikající dohledové zařízení, které lze využít nejen při výcviku, ale i zásahu. Bude třeba školit osoby, které budou na

základě výstupů dělat strategická rozhodnutí, ale je to jistě dobrá investice do zlepšení prvků ochrany zdraví osob, které pomáhají ostatním lidem a chrání jejich životy a zdraví. Experimentální část práce však také ukázala, že existuje prostor ke zlepšení – například v oblasti zpracování dat, ve které se může FlexiGuard ještě vyvinout. Zejména některé komerční sport testery již dnes dokáží naměřená data rychle analyzovat, vytvářet grafy nebo porovnávat s ostatními „přáteli“ na internetu. A přesto, že je nezbytné, aby softwarová platforma FlexiGuardu zůstala jednoduchá, je zde jistě prostor lépe pracovat a hodnotit naměřená data, k čemuž by možná pomohl i přímý export do nějakého analyzačního programu.

## 6 DISKUZE

Z naměřených hodnot tělesné teploty je zřejmé, že stejně jak uvádí kniha Kapitoly z ošetrovatelské péče, tělesná teplota není stejná na všech místech. Pro spolehlivé fungování měření tělesné teploty systémem FlexiGuard, je tedy dle mého názoru potřeba dvou doplňků [24].

Za nezbytné považuji vytvořit interpretaci hodnot. Jedná se o stanovení limitů, které budou poté signálem pro určitou akci – například odvolání hasiče ze zásahu. Součástí interpretace hodnot je i reflexe příčin a lokace měření. Momentálně je systém FlexiGuardu nastaven do čtyř základních hodnotových pásem, které reflektují měřenou teplotu:

- pod 30 °C – modrá barva
- 30 °C až 35 °C – zelená barva
- 35 °C až 43 °C – oranžová barva
- 43 °C a více – červená barva

Například Viliam Dobiáš uvádí, že měření teploty může být ovlivněno minimálně dvěma faktory. Jedním je denní doba, kde rozdíl může tvořit až jeden °C. Druhý faktor je pak místo měření, kde rozdíl mezi podpažní jamkou a vnějším zvukovodem může být až 0,6 °C. Z jeho výzkumů vyplývá, že v případě, kdy se tělesná teplota dostane pod 36 °C, nebo naopak nad 38 °C, dochází v těle k hypotermii, respektive mírné horečce. Tedy druhou nezbytnou věcí je přizpůsobit interpretaci hodnot místu měření, které nelze u FlexiGuardu příliš měnit [25].

Podobný proces interpretace hodnot je klíčový i pro tepovou frekvenci. Ta je na FlexiGuardu z mého pohledu nastavena lépe než tělesná teplota. Ukazuje to následující obrázek.



Obrázek 13. Screenshot ze softwaru systému FlexiGuard, který zachycuje infografiku hodnot pro tepovou frekvenci. Vlastní tvorba.

Můžeme si všimnout, že systém rozděluje rozsah srdeční frekvence do pěti pásem.

- **První červené pásmo:** 20-40 tepů za minutu;
- **první oranžové pásmo:** 40 tepů za minutu až POM1 (výpočet: (klidová tepová frekvence + 40) / 2);
- **zelené pásmo:** POM1 – POM2 (výpočet POM2: (klidová + maximální tepová frekvence) / 2);
- **druhé oranžové pásmo:** POM2 – maximální tepová frekvence
- **druhé červené pásmo:** maximální tepová frekvence až 220 tepů za minutu.

Řekněme, že ač HRMAX, tedy maximální tepová frekvence, je odhadovaná hodnota, je tento interpretační metr (infografika) poměrně přesný. Je ale třeba definovat, jak dlouho může být například člen jednotky požární ochrany v druhém oranžovém nebo červeném pásmu. Zajímavé je srovnání Pavla Frýborta a kol., kteří uvádí, že profesionální fotbalisté jsou během zápasu v srdečním zatížení, které je rovno průměrné hodnotě až 170 tepů za minutu [26]. To by odpovídalo i experimentální části této práce, kdy někteří probandi dosáhli až ke 195 tepům za minutu, a to na dobu delší než jedna minuta. Vzhledem k tomu, že pro fyzicky zdatného jedince, není 250 wattová zátěž na ergometru rovna velmi těžké fyzické námaze, jedná se o zajímavé hodnoty, které mohou naznačit, v jakých hodnotách srdeční aktivity se mohou nacházet příslušníci jednotek požární ochrany [19].

Dalším zajímavým faktorem je průběh testování dohledového systému. Již v předchozích kapitolách bylo naznačeno, že může být použito více druhů zátěžových zařízení. Provedený experiment prokázal, že systém FlexiGuard je dostatečně pohodlný a nenesl známky postupných změn umístění na těle probanda. Je ale otázkou, zda by provedení testu na běžecím pásu nebo například na sadě posilovacích nástrojů nepřineslo další užitečné údaje.

V tomto ohledu přináší zajímavé údaje studie doktora Řimáka z roku 2012. „Cílem této pilotní studie bylo srovnat výsledky ze dvou používaných nepřímých metod pro stanovení maximální spotřeby kyslíku (odhadu  $VO_{2max}$ ) a zhodnotit jejich využitelnost pro posuzování fyzické zdatnosti v rámci primárně preventivního vyšetření. K tomuto srovnání jsme použili Cooperův 12minutový běžecí test (CT 12) na běžecím pásu a stupňovaný zátěžový test na bicyklovém ergometru (BE) do maxima“ [27]. Studie popisuje, že hodnoty naměřené pomocí Cooprova dvanáctiminutového běžecího testu na pásu byly průměrně o 8,6 % menší než hodnoty z ergometru. Samozřejmě nelze implementovat stejná čísla, či stejný logický model na zcela rozdílnou fyziologickou hodnotou, ale ukazuje to tendenci, která souvisí s jinou tělesnou aktivitou, a tedy i jinými hodnotami srdeční funkce nebo tělesné teploty. Výsledky studie potvrzují, že pro trénovanou populaci je vhodnější užití bicyklového ergometru, tak jako tomu bylo i v experimentu této práce [27].

Faktem ale zůstává, že například studie, která byla již uvedena ve druhé kapitole této práce, a zabývala se také měřením spotřeby kyslíku u deseti probandů probíhala na běžecím pásu. Uvádí, že mezi výhody běžecího pásu patří nejen programovatelnost trasy (obdobně jako u ergometru), ale hlavně širší nastavitelných parametrů rychlosti a sklonu trasy. Ve výsledcích práce ale autoři přiznávají, že ani běžecí pás není schopný plně simulovat všestrannost fyzické aktivity zasahujícího hasiče. Se stejným závěrem hodnotím i možnosti bicyklového ergometru. [16].

Z výše popsaných souvislostí lze usoudit, že experimentální část, která byla provedena jako součást této práce měla poměrně úspěšnou metodiku, která pokud by se rozvinula a zahrnula více probandů, by mohla sloužit i jako detailní analýza pro případnou podporu certifikace FlexiGuardu. Z grafů přesnosti měření vyplývá, že FlexiGuard poskytuje přesné hodnoty a že míra odchylek je minimální. Přístroj plní všechny funkce a vlastnosti, které má uvedené v technickém předpisu.

Experimentální část této práce považuji za velmi zajímavou a tvůrčí, ale byla to též část velmi náročná. Experiment čítající 20 probandů je náročný na orientaci a součinnost, respektive je potřeba vyladit proces návaznosti činností, které probíhají a vyhnout se omylům a chybám v měření. V mém případě si měření vyžádalo pět pracovních dnů, a následné analýze dat jsem věnoval více než jeden týden. To bylo zapříčiněno zejména faktem, že jsem všechny data musel nejprve exportovat do společné tabulky, která sloužila jako databáze všech hodnot. To by se mohlo zdát jako jednoduchý úkol, bohužel jsem ale musel data z EKG zapisovat ručně z video záznamu. Každý z probandů měl svůj vlastní video záznam, který v průměru čítal zhruba 30 minut. Tedy téměř 10 hodin čistého času pouze pro zapsání EKG hodnot. Toto řešení nebylo uživatelsky jednoduché a pro další experimenty bych navrhoval najít lepší způsob pro získání těchto dat.

Homogenost měření probandů mohla například ovlivnit denní doba nebo časová perioda od posledního jídla. To by se dalo jistě sjednotit po domluvě s dobrovolníky. Jako lehký problém se ukázalo rozsáhlé ochlupení některých probandů, a to nejen v oblasti hrudníku, kde komplikovalo uchycení EKG elektrod, ale zejména v oblastech horních končetin, konkrétně v oblasti předloktí, kde byl poté problém pletysmograficky měřit tepovou frekvenci [28].

Velmi zajímavým výsledkem jsou pro mě hodnoty z hodinek Apple Watch, respektive měření tepové frekvence. Ačkoliv byly výsledky horší než u systému FlexiGuard, je třeba vzít do úvahy, že hodinky nejsou primárně konstruovány pro



přesnost měření srdeční činnosti, a též využívají jinou technologii měření. To, že Apple Watch měří tepovou frekvenci i fyzickou aktivitu nejlépe ze všech podobných „gadgetů“, bylo známo již poměrně dlouho. Dokládá to i studie, která byla provedena v roce 2017 týmem vědců ze Stanfordské univerzity a švédské univerzity zdraví a sportu. Do studie bylo zahrnuto šedesát probandů různého věku, fyzické kondice, pleti, výšky, váhy i pohlaví. Jak článek uvádí, pro podobné experimenty neexistuje žádný zavedený a uznávaný standard, protože je to relativně mladé odvětví. Podobně jako v experimentu této práce, i toto testování bralo jako referenční metodu hodnoty z EKG přístroje. Apple Watch stejně jako ostatní přístroje byly testovány za chůze, běhu i jízdy na kole a průměrná chyba činila nejméně ze všech – pouhá dvě procenta. To je velmi zajímavé, protože podle našeho experimentu chyba činila 2,84 %. Tato hodnota se příliš nelišila, zároveň ji lze považovat za poměrně dobrý výsledek z hlediska přesnosti. Samozřejmě díky omezeným nebo nepřítomným funkcím nelze brát hodinky v kontextu dohledových systémů vážně, ale jako vedlejší výsledek testování to jistě stojí za zmínku [29].

Zajímavá myšlenka, z pohledu inovace fixace FlexiGuardu na lidské tělo, se nachází v magazínu Urgentní medicína a sdělují ho přímo tvůrci. Uvádějí, že by fixaci senzorů FlexiGuardu měla mít na starost do budoucna speciální nanotextilie. Navzdory faktu, že marginální část probandů neměla s uchycením gumového pásu na hrudník problém, je to jistě prostor pro další inovaci komfortu nošení, která také souvisí s již zmíněnou miniaturizací. Odhaduji, že pokud by se podařilo snížit objem obou jednotek o 30-50 %, a zároveň by se snížila o 20 % váha, jednalo by se o hraniční situaci, kdy by již proband/záchranář nemusel být schopen poznat, zda má zařízení na těle či nikoli [30].

## 7 ZÁVĚR

Tato práce měla za cíl popsat smysl, historii a současné možnosti využití dohledového systému (FlexiGuard) při výcviku a zásahu jednotek IZS a v praktické části ověřit přesnost měření vybraných fyziologických parametrů a využitelnost modelu v praxi.

Experimentální část sledovala hodnoty tepové frekvence a tělesné teploty u dvaceti předem vybraných probandů při zátěži na bicyklovém ergometru. Cílem bylo porovnat přesnost měření s referenční metodou. Výsledky prokázaly, že měření systému FlexiGuard je vůči referenční metodě velmi přesné, a to zejména pro hodnoty tepové frekvence. Taktéž hodnoty tělesné teploty se ukázaly jako přesné, avšak díky specifickému umístění senzorů jsou hodnoty nižší, než je běžná lékařská praxe.

Hodnota této práce spočívá mimo jiné ve vyšším počtu zapojených probandů, než je u obdobných studií běžné, a tudíž bylo zpracováno velké množství dat, které umožňují hodnotit výsledky s dostatečnou statistickou robustností. Získaná data potvrzují předpoklad, že přístroj FlexiGuard poskytuje přesnou analýzu fyziologických parametrů při zátěži, a tak může být cenným nástrojem při ochraně zdraví nasazených jednotek IZS.

## 8 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

Zkratka	Význam
BPM	Beats per minute – údery za minutu
EKG	Elektrokardiogram
FBMI ČVUT	Fakulta biomedicínského inženýrství Českého vysokého učení technického v Praze
HZS ČR	Hasičský záchranný sbor České republiky
ID	Identifikační číslo
IZS	Integrovaný záchranný systém

## 9 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. KEWEI, S., WEISONG, S., WATKINS. O.: Using Wireless Sensor Networks for Fire Rescue Applications: Requirements and Challenges. Electro/information Technology, 2006 IEEE Intern. Available at: <http://www.cs.wayne.edu/~weisong/papers/sha06-firenet.pdf>
2. CHMELAŘ, Milan. Lékařská přístrojová technika I. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., Brno, Leden 1995. 192 s. ISBN 80-85867-63-X.
3. DANIELOVÁ, Tereza. Měření tepové frekvence [online]. Brno, 2012 [cit. 2018-04-08]. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=53008](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=53008). Bakalářská. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Doc. Ing. Milan Chmelař, CSc.
4. KASPEROVÁ, MUDr. Martina. Pletysmografie. In: Ordinace.cz [online]. 2. srpna 2007, s. 1 [cit. 2018-04-10]. Dostupné z: <http://www.ordinace.cz/clanek/pletysmografie/>
5. KOLÁŘ, R. Lékařská diagnostická technika: Pletysmografie. Brno: Výukový text FEKT VUT Brno, s 27, 2007.
6. ROSINA, Josef a . Biofyzika: Pro zdravotnické a biomedicínské obory. Praha: Grada Publishing, 2013. ISBN 978-80-247-4237-3.
7. ProeTEX: PROtection E-TEXtiles: MicroNanoStructured Fibre Systems for Emergency-Disaster Wear (2006 - 2010)[online]. [cit. 2018-04-26]. Dostupné z: <https://www.ugent.be/ea/match/textiles/en/research/projects/finished/proetex.htm>
8. Soldier Inspect [online]. 2016 [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: <http://www.clevertech.cz/cz/soldier-inspect.html>
9. KOLÁŘOVÁ, Mgr. Kamila. Chytrý zásahový oděv ze západočeské univerzity zvítězil v mezinárodním tendru. Applycon[online]. Plzeň, 2016, 1-

- 2 [cit. 2018-05-11]. Dostupné z:  
<https://www.applycon.cz/index.php/work/smartfire/>
10. Mobilní monitoring lidské fyziologie. Coherence.cz [online]. [cit. 2018-05-12].  
Dostupné z: <http://www.coherence.cz/Equivital-190/>
11. Physiological status monitoring in the chilean mine rescue operation: A  
doctor's view Jean Romagnol [online]. 2015, 1-4 [cit. 2018-05-10]. Dostupné z:  
<https://www.zephyranywhere.com/media/case-studies/case-study-chilean-miners-use-zephyr-technology.pdf>
12. 33 horníků z Chile dojalo celý svět - dodnes to jsou celebrity. Česká  
televize [online]. 2011, 13. 10. 2011 [cit. 2018-04-09]. Dostupné z:  
<http://www.ceskatelevize.cz/ct24/svet/1238479-33-horniku-z-chile-dojalo-cely-svet-dodnes-jsou-celebrity>
13. KRAUL, Chris. Health experts monitoring trapped miners in Chile brace for  
unexpected ailments. Los Angeles Times[online]. October 11, 2010 [cit. 2018-  
05-16]. Dostupné z: <http://articles.latimes.com/2010/oct/11/world/la-fg-chile-miners-medical-20101011>
14. HON, Zdeněk. Dohledový podpůrný systém pro složky IZS. Praha, 2014.
15. Garmin Forerunner 935: Návod k obsluze. 2017.
16. COCA, Aitor, Raymond ROBERGE, W. Jon WILLIAMS, Douglas P.  
LANDSITTEL, Jeffrey B. POWELL a Andrew PALMIERO. Physiological  
Monitoring in Firefighter Ensembles: Wearable Plethysmographic Sensor  
Vest versus Standard Equipment. Journal of Occupational and  
Environmental Hygiene [online]. 2010, 109-114 [cit. 2018-05-16]. DOI:  
10.1080/15459620903455722. ISSN 1545-9632. Dostupné z:  
<http://dx.doi.org/10.1080/15459620903455722>
17. Olecich.cz: Co je nezávislá etická komise? [online]. [cit. 2018-04-16].
18. GDPR: Obecné nařízení o ochraně osobních údajů - prakticky [online]. 2017  
[cit. 2018-04-16]. Dostupné z: <https://www.gdpr.cz>
19. FlexiGurad verze 1.0.2: Manuál. Praha, 2016.

20. Mindray [online]. [cit. 2018-05-03]. Dostupné z:  
<http://www.mindray.com/en/product/MEC-1200Vet.html>
21. VLV LAB bezdrátový kapesní polygraf: Vybrané parametry systému. Praha.
22. Uživatelská příručka pro Apple Watch: INFORMACE O BEZPEČNOSTI A ZACHÁZENÍ.
23. Kettler: Seznamte se s ergometrem [online]. 2009 [cit. 2018-04-16]. Dostupné z:  
<https://www.kettler.cz/seznamte-se-s-ergometrem/>
24. MIKŠOVÁ, Zdeňka. Kapitoly z ošetrovatelské péče [online]. Aktualizované a doplněné vydání. Praha: Grada Publishing, 2006 [cit. 2018-05-16]. ISBN 80-247-1442-6. Dostupné z:  
<https://books.google.cz/books?id=JPScApVZySYC&pg=PA63&dq=m%C3%ADsta+měren%C3%AD+tělesné+teploty&hl=cs&sa=X&ved=0ahUKEwirofuosoXbAhUG16QKHWPeB7EQ6AEIKDAA#v=onepage&q=m%C3%ADsta%20měřen%C3%AD%20tělesné%20teploty&f=false>
25. DOBIÁŠ, Viliam. Klinická propedeutika v urgentní medicíně. Grada Publishing, 2013. ISBN 978-80-247-4571-8.
26. FRÝBORT, Pavel. Pohybové zatížení hráče fotbalu během utkání v závislosti na hráčských funkcích. SÜSS, Vladimír. Zatížení hráče v utkání [online]. Praha, 2011, s. 108-110 [cit. 2018-04-16]. ISBN 978-80-246-1900-2.
27. ŘIMÁK, Pavel, Jindřich FIALA, Šárka KUNZOVÁ a Petr KAŇOVSKÝ. Srovnání vyšetření fyzické zdatnosti na bicyklovém ergometru a běhátku pro účely primárně preventivního vyšetření. Hygiena [online]. 2012, 135 [cit. 2018-05-11]. Dostupné z: <https://hygiena.szu.cz/pdfs/hyg/2012/04/03.pdf>
28. BENSON, Roy a Declan CONOLLY. Trénink podle srdeční frekvence. Praha: Grada Publishing, 2012. ISBN 978-80-247-4036-2.
29. CALDWELL, SERENITY. The Apple Watch tops Stanford's heart rate accuracy study — and here's why. IMore [online]. USA, 2017, 25. 5. 2017 [cit. 2018-05-11]. Dostupné z: <https://www.imore.com/stanford-2017-study-apple-watch-tops-heart-rate-faq>

30. Urgentní medicína: Časopis pro neodkladnou lékařskou péči. České  
Budějovice: Mediprax, 2013, 16(1.). ISSN 1212-1924.

## 10 SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ

- Obrázek 1. Fotografie jednoho z probandů, která zachycuje průběh experimentu.  
Vlastní tvorba.....38
- Obrázek 2. Graf zobrazuje průběh tepové frekvence a teploty v závislosti na zátěži, náhodný příklad u probanda ID 17. ....43
- Obrázek 3. Graf má na ose X se stupnicí od 0 do 250 značí škálu měřených tepů a jsou na ní zaznamenána měření certifikovaným referenčním EKG přístrojem společnosti MindRay, osa Y se stejnou stupnicí hodnot pro BPM zaznamenává hodnoty naměřené dohledovým systémem FlexiGuard. Z tohoto grafu lze pozorovat vysokou přesnost měření zmíněného dohledového systému. ....44
- Obrázek 4. Graf má na ose X se stupnicí od 0 do 250 značí škálu měřených tepů a jsou na ní zaznamenána měření certifikovaným referenčním EKG přístrojem společnosti MindRay, osa Y se stejnou stupnicí hodnot pro BPM zaznamenává hodnoty naměřené chytrými hodinkami společnosti Apple – Apple Watch. Z tohoto grafu lze pozorovat o poznání menší spolehlivost měření, a to v celém spektru měření. ....44
- Obrázek 5. Graf zobrazuje distribuci četnosti testovaných tepových frekvencí. .45
- Obrázek 6. Graf zobrazuje na ose X hodnoty znázorněné čísla 1-12, které reprezentují řádky z tabulky 2, tedy 0 je rovna hodnotě 54-70 a 12 rovna 181-190. Na Y ose vidíme míru vychýlení, která je u FlexiGuardu značně přesnější a naprosto nezávislá na hodnotě tepu. Je též nutné vzít v úvahu podstatně detailnější měřítko než na grafu obrázku 7. ....47
- Obrázek 7. Graf zobrazuje na ose X hodnoty znázorněné čísla 1-12, které reprezentují řádky z tabulky 2, tedy 0 je rovna hodnotě 54-70 a 12 rovna 181-190. Na Y ose vidíme míru vychýlení, která je u Apple Watch výrazně nepřesnější a projevuje se tendence závislosti na hodnotě tepu – čím je vyšší, tím je přístroj přesnější. Je též nutné vzít v úvahu podstatně větší měřítko než na grafu obrázku 6. ....47



Obrázek 8. Graf popisuje závislost teploty měřené FlexiGuardem na referenčním měření VLV LAB přístrojem. Je zde vidět vysoká spolehlivost měření.....	48
Obrázek 9. Graf srovnává hodnoty měření referenční metody a systému FlexiGuard. Distribuce odchylek v závislosti na teplotě je znázorněna body. ....	49
Obrázek 10. Screenshot ze softwaru systému FlexiGuard, který zachycuje uživatelské rozhraní a sledované prvky fyziologických hodnot. Vlastní tvorba. ....	50
Obrázek 11. Screenshot ze softwaru systému FlexiGuard, který zachycuje přehledový souhrn všech dostupných jednotek FlexiGuard. Je možné sledovat až 30 osob. Vlastní tvorba. ....	51
Obrázek 12. Screenshot ze softwaru systému FlexiGuard, který zachycuje interní nastavení fyziologických parametrů pro přesnou analýzu výstupních hodnot. Vlastní tvorba.....	51
Obrázek 13. Screenshot ze softwaru systému FlexiGuard, který zachycuje infografiku hodnot pro tepovou frekvenci. Vlastní tvorba.....	54

## 11 SEZNAMU POUŽITÝCH TABULEK

Tabulka 1. Tabulka popisuje stoupající wattovou tendenci vůči času (pro každou minutu je specifický počet wattů).....37

Tabulka 3. Tabulka popisuje počet měření u konkrétních rozsahů tepových frekvencí. Zbylé dva sloupce srovnávají průměrnou chybu měření jako pro FG (FlexiGuard), tak pro AW (Apple Watch).....46

## 12 SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1: Rozhodnutí etické komise
- Příloha 2: Dotazník probanda
- Příloha 3: Informovaný souhlas
- Příloha 4: Syllabus výzkumného projektu
- Příloha 5: Obsah DVD

## **Příloha 1: Rozhodnutí etické komise**



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta biomedicínského inženýrství

nám. Sítná 3105, 272 01 Kladno

## Žádost o projednání výzkumného projektu v etické komisi FBMI ČVUT

*Application for approval of a research project by FBMI CTU Institutional Ethical/Review Board*

Název projektu: Srovnání tří různých druhů měření fyziologických funkcí

Name of the project:

Hlavní řešitel projektu (Jméno, pracoviště, e-mail):

Erik Ryšlavý, katedra zdravotnických oborů a ochrany obyvatelstva biomedicínského inženýrství FBMI a I.LF UK.

Stručný popis projektu (do 100 slov):

Cílem projektu je porovnat a vyhodnotit tři odlišné a nezávislé možnosti měření a vyhodnocení fyziologických parametrů. Badou provedena reálná měření tepové frekvence a tělesné teploty u skupiny 20 probandů. Dále bude provedeno testování za účelem porovnání přístroje z kategorie nositelné elektroniky a dohledového systému FlexiGuard s metodou referenční (běžný laboratorní přístroj) a kvantifikace přesnosti jednotlivých metod.

Charakter projektu:

- Grantová úloha (název agentury):  
 Výzkum výzkumného týmu (specifikace):  
 Kvalifikační práce (specifikace): bakalářská práce  
 Jiné:

Seznam příkládaných dokumentů:

- sylabus projektu
- informovaný souhlas vč. informace pro subjekt hodnocení
- dotazník

V Kladně dne 24. dubna 2018

podpis hlavního řešitele

## Vyjádření souhlasu etické komise FBMI ČVUT

*FBMI CTU Institutional Ethical/Review Board approval*

Projekt byl schválen etickou komisí FBMI ČVUT dne:

24. 4. 2018

platný do:

15. 5. 2018

pod číslem:

C3/018

Etická komise FBMI ČVUT v Praze, ve složení Mgr. Martina Dingová Šliková (předsedkyně), prof. Ing. Karel Roubík, Ph.D., RNDr. Táňa Jarošíková, CSc., Ing. Petr Kudrna, Ph.D., MUDr. Radek Matlach, a Ing. Lucie Šedznáková, zhodnotila předložený projekt a neshledala žádné rozpory s platnými zásadami, předpisy a mezinárodními směnicemi pro provádění biomedicínského výzkumu zahrnujícího lidské účastníky nebo laboratorní zvířata.

Řešitel projektu splnil podmínky nutné k získání souhlasu etické komise.

ETICKÁ KOMISE  
České vysoké učení technické v Praze  
Fakulta biomedicínského inženýrství  
nám. Sítná 3105  
272 01 Kladno  
razítko etické komise FBMI ČVUT

V Kladně dne

24. 4. 2018

Mgr. Martina ŠLIKOVÁ

podpis předsedy etické komise

ČVUT v Praze  
Fakulta biomedicínského inženýrství  
nám. Sítná 3105  
272 01 Kladno

tel.: (+420) 224 358 419  
fax: (+420) 312 608 204  
www.fbmi.cvut.cz

IČ: 68407700  
DIČ: CZ68407700  
Bankovní spojení: KB Praha 6  
č.ú. 27-73800102870100

## **Příloha 2: Dotazník probanda**

Přidělené ID:

## Dotazník

pro potřeby výzkumného projektu  
SROVNÁNÍ TŘÍ DRUHŮ MĚŘENÍ FYZIOLOGICKÝCH FUNKCÍ

### Poučení:

Veškeré údaje budou použity pouze pro potřeby tohoto výzkumného projektu. Vaše osobní údaje NEBUDOU zveřejněny a budou s výzkumným projektem spojeny pouze prostřednictvím přiděleného ID (identifikačního čísla).

<b>Osobní údaje</b>		
Jméno:	Příjmení:	Pohlaví:
Datum narození: (MM/RR)	Věk:	Výška:
Váha:	Kouření:(ano/ne/již ne) – počet let	
<b>Zdravotní stav (ano/ne) – případně uvést jaké</b>		
Nemoci dýchacího a kardiovaskulárního systému: (např. astma, alergie, srdeční příhody, infarkt myokardu, CHOPN, atd.)		
Nemoci pohybového ústrojí včetně zlomenin dolních končetin: (ano/ne) – případně uvést jaké		
Jaký druh zaměstnání vykonáváte?		
<input type="checkbox"/> Spíše sedavá práce. (kancelář, práce na PC atd.), <input type="checkbox"/> Během pracovní doby jsem více v pohybu (práce mimo budovu, častá chůze atd.), <input type="checkbox"/> Fyzicky náročné zaměstnání (hasič, policista, záchranář, profesionální sportovec atd.), <input type="checkbox"/> Jiné (popište):		
Vaše trénovanost.		
<input type="checkbox"/> Aktivně se věnuji sportování, <input type="checkbox"/> Sportování se věnuji rekreačně, <input type="checkbox"/> Příležitostně si například zaběhám nebo zahraji nějakou z týmových her, <input type="checkbox"/> Nesportuji, <input type="checkbox"/> Jiné (popište):		

**Prohlašuji a svým podpisem stvrzuji, že jsem všechny uvedené údaje vyplnil/a pravdivě a rozumím poučení v úvodu dotazníku.**

Místo a datum :

Podpis probanda:

### **Příloha 3: Informovaný souhlas**



## Informovaný souhlas s informacemi pro subjekt hodnocení

**Název projektu:** Srovnání tří různých druhů měření fyziologických funkcí

**Hlavní řešitel:** Erik Ryšlavý

**Pracoviště:** Společné pracoviště biomedicínského inženýrství FBMI a 1.LF UK

Projekt *Srovnání tří různých druhů měření fyziologických funkcí* je výzkumný projekt Fakulty biomedicínského inženýrství Českého vysokého učení technického v Praze.

Cílem projektu je porovnat a vyhodnotit tři odlišné a nezávislé možnosti měření a vyhodnocení fyziologických parametrů. Budou provedena reálná měření tepové frekvence a tělesné teploty u skupiny 20 probandů. Dále bude provedeno testování za účelem porovnání nekonvenčních metod (nositelná elektronika, FlexiGuard) s metodou konvenční referenční a kvantifikovat přesnost jednotlivých metod.

Přínosem projektu by mělo být popsání a zhodnocení kladů a záporů těchto metod v oblasti nasazení metod ve výcviku a zásahu složek IZS. Půjde nejen o přesnost daných měření ale i o schopnost vyhodnotit naměřená data a poskytnout tak podporu veliteli zásahu, či jiné osobě, která bude zodpovídat za průběh cvičení/zásahu. Přínos tedy tkví v ověření přesnosti měřící metody dohledového systému FlexiGuard pro její případné praktické využití. Všechna měření prováděná během experimentu jsou neinvazivní a nedochází k žádnému odběru vzorku. Subjekty budou podrobeni měření tepové frekvence a tělesné teploty, a to za pomoci systému FlexiGuard, běžně dostupných komerčních sport testerů a laboratorních přístrojů. Proband bude po příchodu vyzván k vyplnění dotazníku a podepsání informovaného souhlasu. Probandovi budou na tělo nasazeny měřící systémy. Samotné testování bude probíhat formou klidové aktivity a lehce zvýšené pohybové aktivity (běžecký pás, chůze/běh). Režim bude nastaven tak, aby odpovídal lehké sportovní aktivitě.

Experiment bude prováděn na vybraných dobrovolnících (probandech) zejména z řad studentů a pracovníků FBMI obou pohlaví. Vybraný proband bude po příchodu na pracoviště požádán o vyplnění dotazníku, ve kterém budou zjištěny následující údaje: Jméno, výška, váha, věk, subjektivní stupeň trénovanosti a popis zdravotního stavu,

zameřeného zejména na nemoci dýchacího ústrojí či kardiovaskulární choroby. Probandovi bude poté vysvětlen průběh a délka měření a bude poučen, že měření může kdykoliv ukončit.

Nejprve bude probandovi nasazen hrudní pás systému FlexiGuard pro měření tepové frekvence a pohybové aktivity. Poté bude připojen k EKG a k dalšímu systému měření fyziologických funkcí (sport tester). Měření budou probíhat zhruba po dobu jedné hodiny, avšak k ukončení může dojít i dříve, dle aktuálního stavu probanda.

Použité systémy budou používány v laboratořích katedry informačních a komunikačních technologií v lékařství biomedicínského inženýrství FBMI a I. LF UK. Náklady na odškodnění v případě poškození probanda ponese CVUT FBMI, nicméně riziko je minimalizováno využitím certifikovaných přístrojů, která využívají bateriové napájení. Dále má proband právo test kdykoliv ukončit. **Účast na experimentu je zcela dobrovolná, bez nároku na jakoukoliv odměnu. Zároveň se nepředpokládají žádné finanční výdaje probanda.**

Podepsáním tohoto písemného informovaného souhlasu souhlasíte s tím, že hlavní řešitelé a etická komise budou mít umožněn přímý přístup k původní klinické dokumentaci za účelem ověření průběhu studie anebo údaje, aniž dojde k porušení důvěrnosti informací o Vaší osobě, v míře povolené právními předpisy. Záznamy, podle nichž lze identifikovat probanda, budou uschovány jako důvěrné a nebudou, v míře zaručené právními předpisy, veřejně zpřístupněny. Budou-li výsledky studie publikovány, totožnost probanda nebude zveřejněna. Vyskytne-li se informace, která by mohla mít vliv na rozhodnutí probanda, zda pokračovat v účasti ve studii nebo ne, bude proband o této skutečnosti ihned informován. V případě poškození zdraví v souvislosti se studií kontaktujte hlavního řešitele projektu. Vaše účast ve studii je dobrovolná, můžete ji odmítnout nebo můžete od účasti ve studii kdykoliv odstoupit, a to bez udání důvodu a bez jakýchkoliv finančních, právních či jiných následků.

Z účasti na experimentu může být proband vyloučen z těchto důvodů: nemoci respiračního systému, nemoci kardiovaskulárního systému, zvýšená tělesná teplota, těhotenství, poranění v oblasti hrudníku a místech pro připojení modulu pohybové aktivity.

Předpokládaná doba trvání experimentu v rámci jednoho probanda je typicky 1-2 hodiny.  
Studie se zúčastní 20 probandu.

**Prohlášení:** Prohlašuji a svým podpisem stvrzuji, že jsem se seznámil/a a porozuměl/a všemu výše uvedenému a souhlasím s účastí ve studii. Prohlašuji, že nesplňuji žádné kritérium výše uvedené, které by neumožňovalo moji účast ve studii.

Jméno probanda: Datum narození: Proband byl do studie zařazen pod číslem:

Podpis probanda:

Datum:

Odpovědný řešitel:

Podpis odpovědného řešitele:

Datum:

## **Příloha 4: Sylabus výzkumného projektu**

## Sylabus výzkumného projektu

<b>A: Základní údaje o výzkumném projektu:</b>	
Název projektu: Srovnání tří různých druhů měření fyziologických funkcí	
Typ studie:	<input type="checkbox"/> intervenční <input type="checkbox"/> prospektivní <input checked="" type="checkbox"/> <b>observační</b> <input type="checkbox"/> retrospektivní
Půjde o práci:	<input checked="" type="checkbox"/> <b>s osobami</b> <input type="checkbox"/> s laboratorními zvířaty <i>(V závislosti na typu testovaných subjektů vyplňte buď část B, nebo část C tohoto sylabu)</i>
Cíl projektu, testovaná hypotéza: Cílem projektu je porovnat a vyhodnotit tři odlišné a nezávislé možnosti měření a vyhodnocení fyziologických parametrů. Budou provedena reálná měření tepové frekvence a tělesné teploty u skupiny 20 probandů. Dále bude provedeno testování za účelem porovnání přístroje z kategorie nositelné elektroniky a dohledového systému FlexiGuard s metodou referenční (běžný laboratorní přístroj) a kvantifikace přesnosti jednotlivých metod.	
Přínos projektu v technické, diagnostické, léčebné oblasti, pro lékařské poznání nebo individuální subjekt hodnocení: Přínosem projektu by mělo být popsání a zhodnocení kladů a záporů těchto metod v oblasti nasazení metod ve výcviku a zásahu složek IZS. Půjde nejen o přesnost daných měření, ale i o schopnost vyhodnotit naměřená data a poskytnout tak podporu veliteli zásahu či jiné osobě, která bude zodpovídat za průběh cvičení/zásahu. Přínos tedy tkví v ověření přesnosti měřicí metody dohledového systému FlexiGuard pro její případné praktické využití.	
<b>B: Charakteristika souboru subjektů (osob) klinického hodnocení:</b>	
Počet: 20	Věková struktura: 15-55
Pohlaví: muži a ženy	Způsob jejich náboru: vzorek obyvatel s různým koeficientem trénovanosti
Odměna za účast: není (0 Kč)	Jiné:
Doba trvání celého projektu (datum od-do): 20. dubna 2018 – 15. května 2018	Doba trvání pro jeden subjekt hodnocení: Max 2 hod., včetně přípravy k měření
Popis nakládání se subjekty, popis intervence, odebírání vzorků apod.: Všechna měření prováděná během experimentu jsou neinvazivní a nedochází k žádnému odběru vzorků. Subjekty budou podrobeni měření tepové frekvence a tělesné teploty, a to za pomoci systému FlexiGuard, běžně dostupných komerčních sporttesterů a laboratorních přístrojů. Proband bude po příchodu vyzván k vyplnění dotazníku a podepsání informovaného souhlasu. Probandovi budou na tělo nasazeny měřicí systémy. Samotné testování bude probíhat formou klidové aktivity a lehce zvýšené pohybové aktivity (běžecký pás, chůze/běh). Režim bude nastaven tak, aby odpovídal lehké sportovní aktivitě.	
Liší se projekt od standardního postupu v denní praxi: <input checked="" type="checkbox"/> <b>ANO</b> <input type="checkbox"/> <b>NE</b> V případě, že ano, popište rozdíly: Proband bude vykonávat specifické činnosti popsané výše a při měření bude používat rovněž výše popsané měřicí prostředky.	

<p>Možná rizika, nesnáze a obtíže pro subjekt hodnocení (včetně etických):  Rizika spojená s měřením jsou minimální. Z projektu budou automaticky vyloučeni jedinci s nemocemi dýchacích cest a kardiovaskulárních chorob, a to dle vyplněného dotazníku, který proband odevzdá před začátkem testování. Jediným rizikem je vyčerpanost probanda při zvýšené pohybové aktivitě. Režim bude však nastaven tak, aby odpovídal lehké sportovní aktivitě. Proband bude mít při celém průběhu testu možnost měření okamžitě ukončit. Aplikované systémy měření zaručují minimální diskomfort, byť i při zvýšené tělesné aktivitě.</p>	
<p>Jak je zajištěna bezpečnost testovaného subjektu:  Probandi budou poučeni, že test je možné kdykoli ukončit. Systém FlexiGuard pro snímání tepové frekvence a pohybové aktivity je vlastní systém vyvinutý na katedře informačních a komunikačních technologií v lékařství biomedicínského inženýrství FBMI a I.LF UK. Vzhledem k jeho konstrukci a použití nepředstavuje pro uživatele žádné riziko.</p>	
<p>Kdo ponese náklady na odškodnění v případě poškození subjektu hodnocení:  České vysoké učení technické v Praze, Fakulta biomedicínského inženýrství</p>	
<p>C: Charakteristika souboru laboratorních zvířat:</p>	
Druh laboratorních zvířat:	Počet:
Doba trvání celého projektu (datum od-do):	Doba trvání pro jeden subjekt hodnocení:
<p>Jak bude zajištěna péče o zvířata v průběhu experimentu:</p>	
<p>D: Doplnující informace k výzkumnému projektu:</p>	

V Kladně dne 23. dubna 2018

  
\_\_\_\_\_  
*podpis hlavního řešitele*

## **Příloha 5: Obsah DVD**

- Klíčová slova
- Abstrakt česky
- Abstrakt anglicky
- Zadání bakalářské práce

