



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

---

FAKULTA BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ

Katedra zdravotnických oborů a ochrany obyvatelstva

# **Ergonomie ochranných pomůcek používaných složkami IZS**

## **Ergonomics of Protective Equipment Used by IRS Components**

Diplomová práce

Studijní program: Aplikovaná fyzioterapie

Autor diplomové práce: Bc. Kateřina Matoušková

Vedoucí diplomové práce: Ing. Slávka Čubanová

---

Kladno 2023

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Matoušková** Jméno: **Kateřina** Osobní číslo: **482997**  
Fakulta: **Fakulta biomedicínského inženýrství**  
Garantující katedra: **Katedra zdravotnických oborů a ochrany obyvatelstva**  
Studijní program: **Aplikovaná fyzioterapie**

## II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

**Ergonomie ochranných pomůcek používaných složkami IZS**

Název diplomové práce anglicky:

**Ergonomics of Protective Equipment Used by IRS Components**

Pokyny pro vypracování:

Předmětem diplomové práce bude vyhodnotit současný stav ergonomických vlastností ochranných prostředků jednotlivce pro složky IZS. V teoretické části bude provedena rešerše zaměřena na metody hodnocení ergonomie ochranných prostředků a současný stav této problematiky. Bude navržen záznam a hodnocení fyzikálních veličin majících vliv na ergonomii. Bude provedena analýza a návrh opatření proti rizikovým faktorům spojených s nošením ochranných pomůcek při výkonu náročných úkolů složek IZS. Praktická část se bude věnovat kvantitativnímu výzkumu měřením a hodnocením fyzikálních veličin majících vliv na ergonomii. Měření probandů z řad příslušníků IZS bude probíhat metodou fyzické zátěže. Pro měření bude využit multisenzorický systém vyvinutý na FBMI. V kapitole výsledky budou získaná data statisticky zpracována a prezentována formou tabulek, grafů a slovního popisu. Výsledkem diplomové práce budou návrhy na zlepšení ergonomie ochranných pomůcek používaných složkami IZS.

Seznam doporučené literatury:

- [1] FRANCÉS-MORCILLO, Leire, Paz MORER-CAMO, María Isabel RODRÍGUEZ-FERRADAS a Aitor CAZÓN-MARTÍN, Wearable Design Requirements Identification and Evaluation, Sensors [online], ročník 20, číslo 9, 2020, Přístupné z: doi:10.3390/s20092599, 1424-8220
- [2] ROKYTA, Richard a kol., Fyziologie, ed. Třetí, přepracované vydání, Praha: Galén, 2016, ISBN 978-80-7492-238-1
- [3] MAREK, Jakub a Petr, SKŘEHOT, Základy aplikované ergonomie, Praha: VÚBT, 2009, Bezpečný podnik, ISBN 978-80-86973-58-6

Jméno a příjmení vedoucí(ho) diplomové práce:

**Ing. Slávka Čubanová**

Jméno a příjmení konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **15.02.2023**

Platnost zadání diplomové práce: **20.09.2024**

doc. Mgr. Zdeněk Hon, Ph.D.  
vedoucí katedry

prof. MUDr. Jozef Rosina, Ph.D., MBA  
děkan

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem Ergonomie ochranných pomůcek používaných složkami IZS vypracovala 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 Kladně dne 17.05.2023

.....  
Bc. Kateřina Matoušková

## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto bych ráda poděkovala vedoucí bakalářské práce Ing. Slávce Čubanové za odborné vedení, trpělivost, cenné rady a zapůjčení technických prostředků. Dále bych chtěla poděkovat za pomoc se zpracováním dat.

V neposlední řadě děkuji všem příslušníkům IZS za bezproblémovou spolupráci a čas, který byli ochotni věnovat.

## **ABSTRAKT**

Tato diplomová práce se zabývá ergonomií ochranných pomůcek, konkrétně balistických vest a ochranných zásahových obleků, používaných v rámci složek integrovaného záchranného systému. Cílem této práce je provést analýzu a hodnocení ergonomických aspektů těchto prostředků a navrhnout možná vylepšení z hlediska pohodlí a účinnosti.

V přehledu současného stavu jsou popsány základní principy ergonomie a faktory, které ovlivňují pohodlí a výkonnost uživatele. Práce se dále zaměřuje na specifika balistických vest a ochranných zásahových obleků, jejich konstrukci, materiály a funkčnost.

Metodická část zahrnuje popis použitých přístrojů, balistické vesty a ochranného zásahového obleku a prováděných cviků.

Ve výsledcích je provedena analýza naměřených fyzikálních veličiny. Jsou vyhodnocovány veličiny, jako jsou vlhkost, teplota a tepová frekvence. Získaná data jsou statisticky zpracována a pro lepší přehled prezentována formou grafů a slovního popisu.

Na základě analýzy je v závěrečné části práce zhodnocena balistická vesta a ochranný zásahový oblek. Dále jsou diskutovány potenciální změny v designu, materiálech a konstrukci, které by mohly vést k většímu pohodlí a efektivitě při používání ochranných pomůcek.

## **Klíčová slova**

Ergonomie; tepelný komfort; balistická vesta; ochranný zásahový oblek; multisenzorický systém.

## **ABSTRACT**

This Diploma thesis deals with the ergonomics of protective equipment, specifically ballistic vests and protective intervention suits, used by integrated rescue system. The aim of this thesis is to analyze and evaluate the ergonomic aspects of these devices and propose possible improvements in terms of comfort and efficiency.

In the overview of the current situation are described basic principles of ergonomics and factors that affect user comfort and performance. The thesis also focuses on the specifics of ballistic vests and protective intervention suits, their construction, materials and functionality.

The methodological part includes a description of the used devices, ballistic vest and the protective intervention suit and the exercises performed.

In the results part are analyzed the measured physical quantities. Variables such as humidity, temperature and heart rate are evaluated. The collected data are statistically processed and presented in the form of graphs and verbal descriptions for a better comprehension.

Based on the analysis, the ballistic vest and protective intervention suit are evaluated in the final part of the thesis. Potential changes in design, materials and construction that could lead to greater comfort and efficiency in the use of protective equipment are also discussed.

## **Keywords**

Ergonomics; thermal comfort; ballistic vest; protective intervention suit; multisensory system.

## Obsah

1	Úvod.....	9
2	Cíle práce a hypotézy .....	10
3	Přehled současného stavu.....	12
3.1	Ergonomie .....	12
3.1.1	Oděvní komfort.....	13
3.2	Integrovaný záchranný systém (IZS) .....	17
3.2.1	Složky IZS .....	17
3.3	Balistická vesta.....	18
3.3.1	Legislativa balistických vest.....	19
3.3.2	Typy balistických vest.....	21
3.3.3	Textilní materiály balistických vest.....	25
3.4	Ochranný zásahový oblek.....	27
3.4.1	Legislativa ochranného zásahového obleku .....	28
3.4.2	Textilní materiály ochranného zásahového obleku .....	31
4	Metodika.....	33
4.1	Balistická vesta.....	34
4.2	Ochranný zásahový oblek.....	35
4.3	Přístroje .....	36
4.3.1	Multisenzorický systém .....	36
4.3.2	Vlhkoměr a teploměr.....	37
4.4	Použité cviky.....	37
5	Výsledky.....	39

5.1	Verifikace výzkumných hypotéz .....	39
5.1.1	První výzkumná hypotéza .....	39
5.1.2	Druhá výzkumná hypotéza.....	42
5.2	Slovní interpretace výsledků .....	44
6	Diskuze .....	47
7	Závěr .....	56
8	Seznam použitých zkratk.....	57
9	Seznam použité literatury .....	58
10	Seznam použitých obrázků .....	65
11	Seznam použitých tabulek.....	66
12	Seznam příloh.....	67



# 1 ÚVOD

Ergonomie je oblastí, která se zabývá navrhováním a optimalizací prostředků a pracovního prostředí s ohledem na lidské schopnosti, pohodlí a bezpečnost. V kontextu ochrany a bezpečnosti složek integrovaného záchranného systému (IZS) je důležité zajistit, aby ochranné prostředky byly nejen efektivní při ochraně před různými nebezpečími, ale také ergonomicky navrženy s ohledem na pohodlí a výkonnost uživatele. Ochranné prostředky převážně zajišťují ochranu před tělesnými zraněními a samotnou smrtí. Vývoj vysokorychlostních projektilů, výbušných a hořlavých materiálů, chemikálií a plynů podpořil rozvoj pokročilého systému ochrany.

Mezi různými systémy osobní ochrany je balistická vesta jedním z nejdůležitějších prvků, které chrání před různými kritickými a smrtelnými zraněními. Stále probíhá vývoj balistických vest, které splňují požadavky uživatele. Mezi nejčastější kritéria patří např. nízká pořizovací cena, odolnost, flexibilita, lehkost, pohodlnost nošení a účinná schopnost absorbovat energii. Nicméně vysoká úroveň ochrany je často spojena s výrazným nepohodlím, které může způsobovat zdravotní problémy nositele.

Kromě zlepšení balistické ochrany je důležité zaměřit se na zlepšení pohodlí ochranných zásahových obleků. Při záchranných akcích jsou hasičské sbory vystaveni náročným situacím, zejména v horkém prostředí a fyzické námaze. Pohodlí hasiče je velmi důležitý pro bezproblémovou a účinnou činnost při zásahu a minimalizaci rizika zranění.

Tato diplomová práce se zabývá ergonomií balistických vest a ochranných zásahových obleků. Naměřené fyzikální veličiny, které ovlivňují ergonomii, poskytnou přehled o rizicích spojených s nošením těchto ochranných pomůcek při vykonávání náročných úkolů složek IZS.

## 2 CÍLE PRÁCE A HYPOTÉZY

Cílem této práce je provést hodnocení ergonomie balistických vest a ochranných zásahových obleků určených pro IZS. Na základě zjištěného stavu a analýzy naměřených fyzikálních veličin navrhnout opatření a změny, které by mohly vest ke zlepšení ergonomie a uživatelského komfortu těchto ochranných pomůcek.

Na základě stanoveného cíle byly formulovány následující hypotézy:

H1: Předpokládá se, že analýza naměřených fyzikálních veličin poskytne relevantní informace pro hodnocení ergonomie balistických vest určených pro složky IZS.

H0a: Při porovnávání naměřených fyzikálních veličin (vlhkost a teplota) před a po provedení vybraných cviků se neočekává žádná změna.

H0a: Při porovnávání naměřených fyzikálních veličin (vlhkost a teplota) před a po provedení vybraných cviků se očekává významná změna.

H0b: Při porovnávání naměřených fyzikálních veličin (vlhkost a teplota) není přesaženo dané maximální hodnoty (vlhkost 60%, teplota 37°C).

H0b: Při porovnávání naměřených fyzikálních veličin (vlhkost a teplota) je přesaženo dané maximální hodnoty (vlhkost 60%, teplota 37°C).

H2: Předpokládá se, že analýza naměřených fyzikálních veličin poskytne relevantní informace pro hodnocení ergonomie ochranných zásahových obleků určených pro složky IZS.

H0a: Při porovnávání naměřených fyzikálních veličin (vlhkost a teplota) před a po provedení vybraných cviků se neočekává žádná změna.

HAa: Při porovnávání naměřených fyzikálních veličin (vlhkost a teplota) před a po provedení vybraných cviků se očekává významná změna.

HOb: Při porovnávání naměřených fyzikálních veličin (vlhkost a teplota) není přesaženo dané maximální hodnoty (vlhkost 60%, teplota 37°C).

HAb: Při porovnávání naměřených fyzikálních veličin (vlhkost a teplota) je přesaženo dané maximální hodnoty (vlhkost 60%, teplota 37°C).

## 3 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU

### 3.1 Ergonomie

Pojem ergonomie pochází z řeckých slov „ergon“ (práce) a „nomos“ (zákon, pravidlo). Jedná se o multidisciplinární vědní obor, který se zabývá studiem činností člověka, jeho interakcí s technikou a prostředím. Ergonomie využívá poznatků z biomechaniky, fyziologie práce, antropologie, psychologie, bezpečnosti práce a také se zapojuje do společensko-ekonomických oborů [1].

Cílem ergonomie je hodnotit práci a její náročnost, najít souladu mezi výkonovou kapacitou člověka a požadavky pracovního úkolu a podmínek, za kterých se úkol vykonává. Ergonomie doporučuje postupy pro zlepšení pracovního prostředí a manipulaci s břemeny, protože nesprávná ergonomie práce může vést k nadměrné pracovní zátěži s důsledkem přetížení určitých svalových skupin a kloubů. Následkem přetížení dochází k únavě, selhání a poškození pohybového aparátu vedoucí až k pracovní neschopnosti a k profesionálním zdravotním problémům [2].

Mezinárodní ergonomická asociace (International Ergonomics Association, IEA) koordinuje ergonomii na mezinárodní úrovni. Na 14. kongresu v San Diegu v roce 2001 vytvořila oficiální definici, která zní: „*Ergonomie je vědecká disciplína optimalizující interakci mezi člověkem a dalšími prvky systému a využívající teorii, poznatky, principy, data a metody k optimalizaci pohody člověka a výkonnosti systému.*“ V České republice je rozvoj ergonomie a její aplikace podporována Českou ergonomickou společností. Existuje také mnoho institucí v jednotlivých resortech, např. Výzkumný ústav bezpečnosti práce, Ministerstvo zdravotnictví; organizacích, např. AutoŠkoda Ml. Boleslav, Vítkovice; stejně jako vysokých

školách, např. Fakulta strojní ČVUT v Praze, VUT Brno, VŠB Ostrava) a dalších, které se zabývají ergonomií [3].

### 3.1.1 Oděvní komfort

Ovlivnění výkonu a celkového pocitu nositele ochranných oděvů při provádění pracovních úkolů je závislé na správném výběru a použití těchto ochranných oděvů. Při výběru osobních ochranných pomůcek má nejvyšší prioritu ochranná funkce, ale pohodlí hraje také důležitou roli. Ochranné funkce by nemělo být dosaženo na úkor komfortu oděvu. Oděvní komfort lze definovat jako souhrn vjemů, které nositel zažívá při nošení oděvu, přičemž fyziologické funkce organismu jsou udržovány na optimální úrovni a prostředí nevyvolává nepříjemné pocity a vjemy. Porušení optimálních hodnot často způsobuje nepříjemné pocity tepla nebo chladu [4, 5].

Oděvní komfort zahrnuje dvě složky:

- a) Funkční komfort – zahrnuje fyziologický, sensorický a patofyziologický komfort.
  - a. Fyziologický komfort je stav lidského organismu, kdy fyziologické funkce fungují optimálně a jedinec vnímá tento stav jako pohodlí. V tomto stavu může být udržován neomezeně dlouhou dobu. Fyziologický komfort závisí na dvou základních parametrech – tepelném a výparném odporu. Při zvýšené fyzické námaze tělo reguluje svou teplotu zvýšeným pocením. Pokud jsou textilní materiály nasákavé, vlhkost se váže v materiálu a pot se hromadí. V klidové fázi se následně dostaví pocit vlhka a chladu snižující oděvní komfortu a psychickou pohodu nositele. Proto je žádoucí používat speciální vlákna, která odvádějí pot a vlhkost z těla [5].

- b. Sensorický komfort se týká vjemů a pocitů, které člověk zažívá při přímém styku pokožky s první vrstvou oděvu. Je ovlivněn povrchovými vlastnostmi textilie, jako je její hladkost, měkkost, a tepelnými vlastnostmi, jako je tepelná izolace. Dále záleží na splývavosti a stlačitelnosti materiálu, konstrukci oděvu a jeho velikosti. Všechny tyto faktory mají vliv na pohodlí a subjektivní vnímání nositele [5].
  - c. Patofyziologický komfort se zabývá vzájemnou interakcí mezi organismem a oděvem. Chemické látky obsažené v materiálu oděvu a přítomnost mikroorganismů na lidské pokožce ovlivňují patofyziologický komfort. Dlouhodobé i krátkodobé působení oděvu na pokožku může vyvolat kožní onemocnění [5].
- b) Psychologický komfort – závisí na kulturní a sociální úrovni a vyjadřuje individualitu jedince. V případě nákupu oděvu pro denní nošení může dokonce požadavek na psychologický komfort převážit nad funkčním. Tato složka komfortu zahrnuje styl , módnost, pohodlí, barvu a konstrukční řešení [5].

Mikroklimatické parametry, jako je teplota, vlhkost a rychlost proudění vzduchu, jsou klíčovými faktory z hlediska tepelného komfortu, pracovního výkonu a bezpečnosti práce. Tyto fyzikální veličiny jsou navzájem provázané a změna jedné z nich může mít dopad na ostatní. Ovlivňují také fyziologické stavy člověka a subjektivní pocit pohody nebo nepohody [6].

Jednou z významných vlastností lidského těla je udržování teplotní homeostázy. Při různých aktivitách produkuje lidský organismus teplo, které musí být odvedeno, aby nedošlo k výraznému zvýšení či snížení tělesné teploty. Tato regulační funkce souvisí s tepelným komfortem, tedy s pocitem, který jedinec vnímá v daném prostředí. Tepelný komfort závisí na různých

parametrech, jako je teplota vzduchu, vlhkost, rychlost proudění vzduchu, atmosférický tlak, intenzita světla, osobní charakteristiky daného jedince (věk, pohlaví, zdravotní stav, genetické predispozice) a další faktory, jako je úroveň fyzické aktivity, hluk, druh použitého oděvu a sociální podmínky, včetně zaměstnání, bydlení a momentální psychický stav jedince [6].

#### Teplota:

Vyprodukované teplo lidského těla musí být odpovídajícím způsobem odvedeno, aby nedošlo významné změně tělesné teploty. Optimální hodnoty teploty kůže se pohybují v rozmezí 32 až 34 °C. Teplota kůže nad 37 °C je varovná a naznačuje vysokou úroveň zátěže. Při vyšších teplotách může dojít k nadměrné únavě a nesoustředěnosti vedoucí ke zvýšenému riziku chyb a úrazů. Při dlouhodobém vystavení vysokým teplotám nebo překročení mezních teplotních hodnot může dojít k selhání organismu. Teplota vzduchu mezi povrchem těla a první vrstvou oděvu je pro lidský organismus klíčová a tato optimalizovaná teplota závisí na fyzické aktivitě jedince [5].

#### Vlhkost:

Vlhkost pokožky je ovlivněna množstvím vyprodukovaného potu. Pocení je fyziologický proces sloužící k udržení stabilní tělesné teploty, zvlhčování a ochlazování povrchu těla a udržování mechanických a bariérových vlastností kůže. Množství vyloučeného potu závisí na fyzické aktivitě, klimatických podmínkách, věku a pohlaví. Odpařování potu nejen ochlazuje pokožku, ale také umožňuje pokožce dýchat. Proto je důležité, aby oděv byl schopen rychle absorbovat a odvést vyprodukovaný pot. Za podmínek tepelné pohody se vlhkost vzduchu pod oděvem pohybuje v rozmezí 40-60 %. Zvýšená vlhkost může nastat v teplém i chladném prostředí. Pokud je venkovní teplota nižší než teplota pod oděvem, může dojít ke kondenzaci vodní páry dříve, než projde

svrchní vrstvou textilie. To způsobuje zvlhčení spodních vrstev oděvu a zhoršení tepelné izolace [7].

#### Tepová frekvence:

Tepová frekvence je jedním z hlavních a nejčastěji sledovaných fyziologických parametrů. Vyjadřuje počet srdečních stahů za minutu a je reprezentativním ukazatelem zatížení srdečně-oběhového systému. Rychle reaguje na změny zátěže organismu a slouží jako ukazatel prováděné fyzické aktivity. V klidovém stavu se fyziologická tepová frekvenci dle amerického Institutu národní zdraví (National Institutes of Health, NIH) pohybuje v rozmezí 60 až 100 tepů za minutu u jedinců nad deset let. Během fyzické námahy by se měla tepová frekvence udržovat v rozmezí 60-80 % maximální tepové frekvence. Správné monitorování tepové frekvence během pohybových aktivit může poskytnout cenné informace o intenzitě zátěže a úrovni fyzické kondice. [8].

Při pohybových nebo sportovních aktivitách se v organismu vyvolávají různé změny a reakce, které slouží k udržení homeostázi. Jednou z těchto změn je tepová frekvence, která začíná stoupat již před samotným výkonem. Po zahájení aktivity tepová frekvence rychle stoupá a postupně se ustaluje na hodnotách odpovídajících podávané zátěži. Po ukončení aktivity se srdeční frekvence postupně vrací k původním hodnotám. Maximální tepová frekvence je hodnota, kterou srdce dosáhne při maximální zátěži a přesto je schopno normálně fungovat. Její maximální doporučené hodnoty závisí na věku jedince. Americká asociace pro kardiovaskulární onemocnění (American Heart Association, AHA) uvádí ve svých doporučení vzorec pro výpočet maximální tepové frekvence při cvičení jako 220 minus věk osoby. Tento vzorec se v praxi často používá pro orientační stanovení zátěžových pásem při tréninku [8, 9].



Vyhodnocování tepelného komfortu, vlhkosti pokožky a tepové frekvence při nošení oděvu je klíčové pro zajištění pohodlí, ochrany a bezpečnosti práce. Správný výběr oděvu a optimalizace mikroklimatických podmínek mohou přispět k udržení fyziologického a psychologického komfortu jedince, což má pozitivní vliv na výkon a celkový pocit nositele ochranného oděvu [6].

### **3.2 Integrovaný záchranný systém (IZS)**

Integrovaný záchranný systém je efektivním systémem, který spojuje a koordinuje záchranné a bezpečnostní složky, orgány státní správy a samosprávy, fyzické osoby a právnické subjekty při provádění společných záchranných a likvidačních prací a při přípravě na mimořádné události [10].

Koncept integrovaného záchranného systému zahrnuje koordinovaný postup jeho složek při přípravě na mimořádné události a provádění záchranných a likvidačních prací. V České republice je základním právním předpisem zákon č. 239/2000 Sb., o integrovaném záchranném systému. Integrovaný záchranný systém v České republice existuje od roku 2001, přestože jeho základy byly položeny již v roce 1993. Hasičský záchranný sbor České republiky je hlavním koordinátorem integrovaného záchranného systému [10].

#### **3.2.1 Složky IZS**

Hlavními složkami integrovaného záchranného systému jsou Hasičský záchranný sbor České republiky, jednotky požární ochrany, které jsou součástí celostátního pokrytí kraje, poskytovatelé zdravotnické záchranné služby a Policie České republiky. Další složky IZS zahrnují vyčleněné síly a prostředky ozbrojených sil, další ozbrojené bezpečnostní sbory, další záchranné sbory, orgány ochrany veřejného zdraví, havarijní, pohotovostní, odborné a jiné služby,

zařízení civilní ochrany, neziskové organizace a občanské sdružení, které mohou být využity pro záchranné a likvidační práce. Tyto další složky integrovaného záchranného systému poskytují plánovanou pomoc na vyžádání [10].

### 3.3 Balistická vesta

Balistická vesta je ochranný oděv navržený k ochranně trupu a dalších důležitých částí těla před střelami různých velikostí, tvarů a rychlostí, které jsou vystřeleny ze střelných zbraní. Tento typ vesty se převážně používá v policejních a vojenských silách, ale také ve službách osobní ochrany a soukromých sektorech, kdy jsou ohroženy životy a zdraví lidí [11].

Balistické vesty slouží k ochraně před střelami, bodnutím a nárazy. Principy fungování balistických vest lze rozdělit do dvou kategorií: absorpce nárazové energie a redistribuce nárazové energie. Tyto principy umožňují rychlou přeměnu a rozptýlení kinetické energie z projektilu na deformační energii v balistické vestě. Existují tři různé způsoby, jak balistické vesty poskytují ochranu před střelami a dalšími projektily a tím minimalizují riziko zranění při nebezpečných situacích:

- a) Balistická vesta zpomaluje a zastavuje balistický projektil tím, že rozptyluje jeho kinetickou energii podél roviny dopadaného materiálu. Tento mechanismus zahrnuje absorpci a rozptýlení energie z projektilu do různých vrstev a materiálů ve vestě. Materiály obsažené ve vestě mají schopnost absorbovat energii a rozptýlit je, čímž snižují pravděpodobnost průniku projektilu do těla [12].
- b) Některé balistické vesty jsou navrženy tak, aby projektil zcela odrazily. Tyto vesty využívají materiály s vysokou tvrdostí a pevností, které jsou

schopny odrazet projektil zpět směrem, odkud přišel. Tímto způsobem se minimalizuje pravděpodobnost průniku projektilu do těla [12].

- c) Mnoho moderních balistických vest kombinuje oba výše uvedené principy. Tyto vesty mají vrstvenou konstrukci, která kombinuje materiály s absorpčními a odrazovými vlastnostmi. Tímto způsobem je dosaženo maximální úrovně ochrany proti projektilům různých velikostí a kinetických energií [12].

Způsob, jakým se rozptyluje energie nárazu, závisí na pevnosti v tahu tkanin a přízí, strukturách tkaniny a počtu vrstev tkaniny. Každá vrstva balistické vesty absorbuje energii, dokud se střela nezastaví. V případě balistických vest, které kombinují kov a zesílený plast, dochází k částečnému odražení střely a zároveň k absorpci energie nárazu. Při dopadu se nárazový impuls na povrchu projeví jako tahová vlna. Pokud je velikost tahového napětí vyšší než pevnost materiálu v tahu, dochází ke zlomeninám, které vedou k mechanickému selhání a vytvoření otvoru [12].

Balistické vesty jsou navrženy na základě typu a úrovně ohrožení, kterému je třeba odolat. Oblečení používané pro balistickou ochranu však může být těžké a omezovat pohyb těla. Při navrhování balistických vest by měla být zachována optimální rovnováha mezi ochranou a pohyblivostí, aby nositel vesty mohl efektivně reagovat na nebezpečné situace [12].

### **3.3.1 Legislativa balistických vest**

V jednotlivých zemích existují různé úrovně ochrany, ale nejčastěji používanými a nejuznávanějšími standardy pro balistické vesty jsou americký Národní institut spravedlnosti (National Institute of Justice, NIJ) a britská pobočka pro vědecký rozvoj ministerstva vnitra (Home Office Science

Development Branch, HOSDB). Obě instituce často spolupracují na testování balistických a bodných vest a používají podobné testovací metody. NIJ se specializuje na testování balistických vest, zatímco HOSDB se zaměřuje na testy odolnosti proti bodnutí. Normy vydané těmito institucemi přesně určují úroveň odolnosti, kterou může vesta poskytnout. Je důležité si uvědomit, že to, že je vesta označena jako balistická, neznamena, že dokáže zastavit všechny typy zbraní. Úroveň ochrany závisí na konkrétním balistickém výkonu vesty [13].

Od roku 1972 stanovuje NIJ celonárodně uznávané standardy pro balistické vesty. NIJ také spravuje program pro testování balistických vest, aby ověřil, zda vesty splňují minimální výkonnostní požadavky. Balistické vesty jsou klasifikovány podle různých úrovní balistického výkonu. Testovací protokol NIJ pro každou výkonnostní úroveň vyžaduje, aby střela nepronikla vestou a vesta poskytovala ochranu před tupým poraněním [14].

Normy NIJ:

- a) Norma NIJ 0101.06 stanovuje minimální požadavky na výkon a testování balistických vest určených k ochraně před střelbou. Tato norma je revizí předchozí verze NIJ 0101.04 z roku 2005. Zaměřuje se pouze balistickou odolností vesty, odolností proti seknutím a bodnutím se totiž zabývá jiná norma. Testování balistických vest podle NIJ probíhá ve dvou podmínkách: vesta je testována v zcela novém a nenošeném stavu a za specifických podmínek, jako je testování při různých teplotách pro simulaci vlhkosti. Balistické vesty, které spadají pod tuto normu, jsou rozděleny do čtyř základních tříd označených římskými číslicemi (I, II, III, IV) a dvou doplňkových tříd (IIA a IIIA). Jednotlivé třídy jsou schopné odolat různým typům střelných zbraní [13].

b) Norma NIJ 0115.00 specifikuje zkušební metody, které se používají k testování vest na odolnost proti seknutím a bodnutím. Stanoví minimální požadavky na výkon a testování odolnosti. Vesta je rozdělena do tří úrovní ochrany, které odpovídají různým velikostem tlaků, kterým je schopna odolat [13].

### 3.3.2 Typy balistických vest

Moderní balistické vesty lze rozdělit do dvou kategorií – vesty určené pro vrchní nošení, známé také jako tvrdé balistické vesty, a vesty určené pro skryté nošení, nazývané měkké balistické vesty. Oba typy balistických vest mají své specifické výhody a jsou vhodné pro různé situace. Tvrdé balistické vesty, často vyrobené z materiálu jako je keramika nebo kompozitní pláty, jsou používány vojenskými a policejními jednotkami nebo při vysoko rizikových operacích, kde je vyžadována maximální ochrana. Poskytují vysokou úroveň ochrany proti průstřelu, jsou však těžší a méně flexibilní při pohybu těla. Měkké balistické vesty jsou navrženy tak, aby lehké, tenké a pohodlné při nošení pod oděvem. Jsou často preferovány civilisty, osobami pracujícími v bezpečnostních službách a těmi, kteří potřebují ochranu ve všedních situacích. Měkké vesty využívají speciálních balistických materiálů, které absorbují energii výstřelu a rozptyluje ji po celé ploše vesty. Tím poskytují účinnou ochranu před střelami menšího kalibru. Při výběru balistické vesty je důležité zvážit požadovanou úroveň ochrany, komfort při nošení a specifické potřeby uživatele. Každá vesta by měla splňovat příslušné standardy a být pravidelně testována. Bez ohledu na typ vesty je nezbytné dodržovat správné postupy nošení, údržby a skladování, aby byla zajištěna její dlouhodobá účinnost a spolehlivost [11].

### 3.3.2.1 Balistická vesta skrytá

Balistická vesta vybavená měkkou balistickou vložkou kryje horní polovinu těla, zejména hrudní koš, břicho, boky, oblasti ramenního kloubu a lze ji volitelně doplnit chrániči krku, paží atd. Měkká balistická vložka má význam především v ochraně proti pistolové munici a může být dovybavena vrstvou proti bodnutí. V armádě bývá využívána k ochraně proti střepinám a dalším produktům vznikajícím explozí různorodých trhavin, např. granáty, miny, IED [11].

Balistická vesta skrytá je určena pro nošení pod oděvem. Konstrukce vesty musí poskytovat maximální komfort po celou dobu výkonu služby v rozdílných klimatických podmínkách, musí umožňovat snadné navlečení, pevné, přesné a stabilní upnutí podle tělesných parametrů. Spojení předního a zadního dílu vesty na bocích je pevné a v jedné, plynule přecházející linii, bez viditelných nerovností nebo výstupků. Krycí plocha je z velké části tvořena flexibilní měkkou balistickou vložkou skládající se z několika vrstev vysoce výkonných textilních materiálů vyrobených z vláken, které mají vysokou pevnost a nízkou tažnost. Dále závisí stupeň balistické ochrany na vlastnostech příze, konstrukci tkaniny, počtu a typu vrstev. Na úroveň ochrany má vliv také typ střely, rychlost a úhel dopadu. V některých případech lze úroveň ochrany zlepšit zvýšením hustoty s více vrstvami stejných tkanin [12, 15].

Szołucha (2014) naznačuje, že odolnost vesty proti propíchnutí nožem nebo podobnými zbraněmi na blízko je samostatný problém. Projektil vystřelený ze střelné zbraně nepronikne balistickým vláknem ochranného panelu, zatímco čepel pronikne těsně mezi vlákna, a je tedy obtížnější ji zastavit. Existují speciální vesty odolné proti nožům, ale jsou mnohem tužší než klasické vesty a tedy i méně komfortní [11].

Vnější potah vesty je vysoce odolný proti oděru. Požadován je materiál s vodoodpudivou úpravou. Vlastnosti materiálu musí zabezpečit bezproblémovou použitelnost po celou dobu životnosti balistických materiálů vesty. Vnitřní strana povlaku vesty musí být vyrobena z termoregulačního materiálu, který zabraňuje přehřívání uživatele a nedochází k pocení, s antibakteriální úpravou s pevností v tahu. Musí zajišťovat uživateli ,pocit sucha na těle v rozsahu deklarovaných klimatických podmínek a to i při dlouhodobém nošení. Vnitřní část vesty musí být antibakteriálně ošetřena k omezení pachu z lidského potu a musí umožňovat zachování hygieny (možnost praní, čištění). Vlastnosti použitého materiálu musí zabezpečit bezproblémovou použitelnost po celou dobu životnosti balistických materiálů vesty. Veškeré použité materiály, které mohou přicházet do přímého styku s pokožkou, tj. vnitřní vrstvy potahu balistické vesty, musí být hygienicky nezávadné [15].

### **3.3.2.2 Balistická vesta pro vrchní nošení**

Balistická vesta pro vrchní nošení je primárně určena pro armádu a poskytuje vysokou úroveň balistické ochrany a ochrannou plochu. Skládá se z předního a zadního dílu, které jsou spojeny pomocí velkoplošných suchých zipů, tzv. velcro systém. Tento systém umožňuje nastavit vesty dle výšky a obvodu postavy nositele. Vesta poskytuje ochranu i na ramenech a může být doplněna o odnímatelný límec a chránič klínu. Přední a zadní část vesty je vybavena kapsou, do které se vkládá balistický plát. Balistický plát je klíčovou součástí vesty. Velikost kapsy by měla odpovídat velikosti hrudního koše uživatele. U některých balistických vest může nastat problém, kdy je kapsa špatně navržena a neodpovídá velikosti plátu vhodného pro uživatele vesty nebo je plát přišit do kapsy natrvalo, a tím omezuje možnost přizpůsobení. Dalším problémem je, že uživatelé mají balistickou vestu dovybavenou balistickým plátem, který je umístěn nevhodně, zpravidla velmi nízko, nebo má špatnou

velikost a nekryje tam, kde by měl. Nastavit celý systém balistické vesty tak, aby plát dobře seděl do měkké balistické vložky, zvolit správnou velikost tvrdého plátu a ještě umístit plát do správné pozice, je obtížné [12, 16].

Tvrdé balistické vesty fungují na principu absorbování energie střely pomocí kinetické deformace. Pláty jsou vyrobeny z materiálů s vysokou pevností a nízkou tažností, jako je keramika, vyztužené plasty, kovové desky. Standardní tvrdé balistické vesty se skládají z více vrstev, obvykle keramických plátů a laminovaných kompozitních panelů. Keramické pláty mají omezený rozsah ochrany, proto byly vyvinuty hybridní systémy, které kombinují keramiku s balistickým nylonem a vysoce výkonnou textilií. Některé tvrdé vesty mohou obsahovat i ocelové vrstvy. Hlavními nevýhodami vesty obsahující ocel zůstává zůstává vysoká hmotnost a nepružnost. Ocelové pláty jsou obvykle těžší než pláty vyrobené z jiných materiálů. Dalším faktorem je nepružnost oceli, ocel nemá takovou schopnost deformace a při zasažení projektilem může dojít k většímu přenosu energie na tělo nositele, což zvyšuje riziko zranění. Jiné vesty jsou vybaveny antitraumatickou vrstvou. Ta je navržena tak, aby snížila potenciální zranění způsobené dynamickou deformací plátu do těla nositele [12].

Existují různé typy balistických plátů. Pláty označené "ICW" ("in conjunction with") poskytují balistickou odolnost pouze ve spojení s měkkou balistickou vložkou. U ICW plátů se počítá s tím, že střela plátem projde, a k jejímu zastavení dojde až uvnitř měkké balistické vložky [16]. Pláty označené "STA" ("stand-alone") jsou navrženy tak, aby poskytovaly odolnost samy o sobě, tedy bez kombinace s měkkou balistickou vložkou, ale jsou doplněny antitraumatickou vložkou. STA pláty jsou oproti ICW těžší a tlustší. Výjimku tvoří ocelové pláty, které jsou tenčí než většina kompozitních plátů a některé varianty jsou dokonce tenčí než měkká balistická vložka [16].



### 3.3.3 Textilní materiály balistických vest

V konstrukci balistických ochranných materiálů došlo k obrovskému zlepšení. Starověké materiály používané pro balistickou ochranu, které byly vyrobeny z kovů, byly velmi těžké. Díky pokrokům v textilním průmyslu je dnes možné vyrábět balistické vesty s ekvivalentním nebo lepším výkonem než jejich kovoví předchůdci. Použití textilních materiálů má mnoho výhod, jako je nižší hmotnost, větší pohodlí, flexibilita pohybu těla a snadná výroba pro různé velikosti těla. Vývoj technologie výroby vysoce výkonných vláken a výrobních procesů umožnil výrobu lehkých balistických vest se zlepšenou úrovní ochrany. První návrhy měkkých balistických vest na textilní bázi využívaly tkané látky z hedvábí, které byly později nahrazeny nylonem. Tato vlákna mají vysokou pevnost v tahu. Při zásahu projektilu se energie rozptýlí a přenáší se z místa dopadu přes vrstvy látky roztahováním a lámáním [12].

V 70. letech 20. století byla představena nová vlákna, která posunula hranice ve výrobě balistických vest. Mezi ně patří vlákna, jako je aramid (Kevlar®, Twaron® a Technora®), vysoce výkonný polyethylen (HPPE-Spectra® a Dyneema®) a vysoce pevný nylon. Tato vysoce výkonná vlákna umožňují dosáhnout lepší ochrany. Zde je uveden stručný přehled těchto vláken:

- Kevlar® je para-aramidové vlákno, které bylo vyvinuto společností DuPont v roce 1965. Původně bylo používáno jako náhrada ocelových drátů v pneumatikách závodních vozů a na počátku 70. let 20. století se začalo komerčně využívat i v balistické ochraně. Kevlar® vlákna jsou vyráběna z polyparafenylentereftalamidu a mají dlouhé molekulární řetězce. Vysoký stupeň zarovnání molekulárních řetězců má za následek jeho jedinečné vlastnosti. Má vysokou pevnost v tahu, nízké prodloužení

při přetržení, vysokou chemickou odolnost, nízké tepelné smrštění, vysokou houževnatost, rozměrovou stálost a odolnost proti ohni. Kromě toho má vysoký poměr pevnosti v tahu k hmotnosti, ale nízkou pružnost. Jeho komfortní vlastnosti jsou obecně považovány za špatné. Často je v kombinaci s dalšími materiály. [12].

- Twaron® je para-aramidové vlákno vyvinuté společností Akzo Nobel (nyní Teijin Twaron). Má dobrou tepelnou odolnost a vysokou pevnost v tahu. V porovnání s jinými aramidovými vlákny je vesta vyrobená z mikrovlákn Twaron® CT o 23 % lehčí. Vlákna se skládají z velkého množství jemných mikrofilamentů, což zlepšuje jejich schopnost absorbovat nárazy v ochranných tkaninách [12].
- Technora® je další para-aramidové vlákno vyvinuté společností Teijin. Jeho vlastnosti ho předurčují pro využití v oblastech, kde je vyžadována vysoká pevnost a chemická odolnost. Používá se také k výrobě kabelů a lan. Toto vlákno se vyznačuje dobrou odolností proti únavě a díky rozměrové stabilitě si udržuje svou tvarovou integritu i za náročných podmínek. Disponuje i vysokou tepelnou odolností [12].
- Spectra® je vlákno vyrobené z ultra-vysokomolekulárního polyetylenu (UHMWPE) a je vyráběno společností Allied Signal Inc. (nyní Honeywell). Jedná se o termoplastické vlákno s extrémně dlouhými molekulárními řetězci. Díky dlouhým řetězcům je schopno efektivně přenášet zatížení na kostru polymeru, což vede k vytvoření velmi houževnatého materiálu s nejvyšší rázovou houževnatostí ze všech dostupných termoplastických vláken. Má několik významných vlastností, které ho vyzdvihují. Jednou z nich je extrémně nízká absorpce vlhkosti, nízký koeficient tření a velmi

vysokou odolnost proti oděru. Díky své pevnosti je o 40 % pevnější než aramidová vlákna [12].

- Dyneema® je další vlákno z UHMWPE a je podobné vláknu Spectra®. Toto vlákno má extrémně vysoký poměr pevnosti k hmotnosti a díky své nízké hustotě je schopné plavat na vodě. Další významnou vlastností je jeho schopnost absorbovat vysokou energii, což umožňuje rychle rozptýlit rázové vlny generované nárazem [12].
- Zylon® (poly(p-fenylen-2,6-benzobisoxazol, PBO)) byl vyvinut společností SRI International v 80. letech a nyní je komerčně vyráběn společností Toyobo Corporation. Má vysokou pevnost v tahu, která je 1,6krát vyšší než Kevlar®. Využívá se v situacích, kde je požadována velmi vysoká pevnost v kombinaci s dobrou tepelnou stabilitou. Balistické vesty vyrobené z tohoto materiálu jsou lehčí, pohodlnější a pevnější než výrobky vyrobené z aramidových vláken. Je třeba poznamenat, že jeho pevnost v tahu za určitých extrémních podmínek prostředí, jako je vysoké ultrafialové záření, může klesat [12].

Materiály, jako je Dyneema® a Zylon® představují významný pokrok ve vývoji balistických ochranných materiálů. Díky jejich vlastnostem se dosahuje vyšší úrovně ochrany při snížení hmotnosti a zvýšení pohodlí pro nositele balistických vest [12].

### **3.4 Ochranný zásahový oblek**

Podstatou a hlavní funkcí ochranného zásahového obleku je ochrana před působením okolních vlivů. Při záchranných akcích plní pracovní úkoly vysoké intenzity, často v horkém prostředí. Obleky jsou navrženy tak, aby poskytovaly ochranu těla, krku, paží a nohou. [17].

Vzhledem k povaze činností hasičů je kladen důraz na zvýšenou pevnost materiálu, tepelnou ochranu a ochranu proti dešti při co nejnížší hmotnosti. Je důležité najít rovnováhu mezi tepelnou izolací, která je žádoucí, a zajištěním přenosu tepla mezi tělem a okolím, aby se pot mohl během fyzické námahy odpařovat. Pro minimalizaci tepelné námahy je důležité správně zvolit strukturu ochranného oděvu, která umožňuje rozptýl tělesného tepla a snižuje tepelnou námahu na co nejnížší možnou úroveň. Ochranný oděv by měl také poskytovat maximální komfort, včetně pohyblivosti, slučitelnost s ostatním vybavením, odvodu par z těla a vyztužení namáhaných míst [18].

Typický ochranný oděv pro hasiče má vícevrstvou strukturu, která se skládá ze tří vrstev označovaných jako bariéry. Jednotlivé vrstvy od sebe nelze oddělit. Vnější vrstva musí odolávat mechanickým a chemickým vlivům, současně chránit proti teplu a krátkodobému působení plamenů. Pro tuto vrstvu se často používá kombinace materiálů, například Nomex a Kevlar. Druhá vrstva slouží jako bariéra proti vlhkosti a průniku vody do dalších vrstev. Je důležité, aby byla maximálně prodyšná směrem ven a umožňovala odvod potu z těla. Vnitřní vrstva, umístěná nejbližší k tělu, se nazývá termální bariéra. Tato vrstva poskytuje tepelnou izolaci před externím zdrojem tepla a předchází prochlazení. Důležité je, aby nezadržovala vlhkost těla, protože při působení vysokých vnějších teplot by mohlo dojít k zapaření a ohrozit tak nositele teplotním stresem. Pro výrobu této vrstvy se používají podobné materiály jako pro vrstvu první [17].

### **3.4.1 Legislativa ochranného zásahového obleku**

Každý ochranný zásahový oblek musí splňovat právní předpisy a technické parametry stanovené příslušnými vyhláškami a normami. Musí vyhovovat minimálním požadavkům a hodnotám potřebných pro technické provedení ochranných obleků při likvidaci mimořádné události norem ČSN EN 469 a ČSN EN 1149-1. V případech, kdy zásahový oblek nedokáže

poskytnout dostatečnou ochranu, používá se oblek specificky navržený pro danou situaci, nebo se doplňuje vhodnými ochrannými prostředky. Oblek musí být dvoudílný, tedy složený z kabátu a kalhot, přičemž kabát musí překrývat kalhoty o nejméně 30 cm [17].

**ČSN EN 469 - Ochranné oděvy pro hasiče - Technické požadavky na ochranné oděvy pro hasičské činnosti.** Tato norma stanovuje minimální požadavky pro ochranné obleky používané při hašení požáru a záchraně budov. Mezi hlavní požadavky normy patří design, odolnost vůči teplu a plamenům, mechanická a chemická odolnost a viditelnost. Norma také specifikuje zkušební metody, které se používají k určení výkonnosti ochranného oděvu. Rozlišují se dvě výkonnostní úrovně, které se hodnotí na základě posouzení rizik:

- Úroveň 1: Tato úroveň stanovuje minimální požadavky pro práci spojenou s hašením venku nebo podpůrnými činnostmi. Úroveň 1 se nevztahuje na ochranu při hašení požáru nebo záchraně při požárních zásazích, pokud není kombinována s úrovní 2 [19].
- Úroveň 2: Tato úroveň udává minimální požadavky na hasičské obleky pro rizika spojená s hašením požárů a záchranou budov před požárem [19].

Rozdíl mezi úrovní 1 a 2 se především týká požadavků na tepelnou odolnost a odolnost vůči plamenům. Kromě toho se může uvádět dodatečné značení Y, jako ochrana proti pronikání vody, a Z, jako odolnost proti vodní páře [19].

**ČSN EN 1149-1 - Ochranné oděvy - Elektrostatické vlastnosti - Část 1: Zkušební metoda pro měření povrchového odporu elektrostatických oděvů.** Tato norma specifikuje metodu testování povrchového odporu elektrostatických oděvů a ukazuje, jak moc dokáže oblek minimalizovat riziko vzniku nebezpečného výboje. [20].

**ČSN EN 1486 - Ochranné oděvy pro hasiče - Požadavky a zkušební metody pro reflexní oděvy pro speciální hašení ohně.** Tato norma stanovuje zkušební metody a minimální technické požadavky pro ochranný oblek používaný při hašení požárů. Oblek musí poskytovat nositeli ochranu proti plamenům a intenzivnímu sálavému teplu. Norma se týká pouze pro krátkodobé nošení obleku [21].

Příkladem dalších norem pro hasičské obleky jsou následující normy:

**ČSN EN 15384 - Ochranné oděvy pro hasiče - Laboratorní metody zkoušení a technické požadavky na provedení oděvů pro likvidaci požárů v otevřeném terénu.** Tato norma se zabývá požadavky a zkušební metodou pro ochranné oděvy, které mají chránit před chemickými látkami a znečištěním. [22].

**ČSN EN 16689 - Ochranné oděvy pro hasiče - Požadavky na provedení ochranných oděvů pro technické zásahy** [23].

**ČSN EN 18640-1 - Ochranné oděvy pro hasiče - Fyziologický dopad - Část 1: Měření spojeného přenosu tepla a vlhkosti pomocí figuríny pro pocení** [24].

**ČSN EN 18640-2 - Ochranné oděvy pro hasiče - Fyziologický dopad - Část 2: Stanovení fyziologického tepelného zatížení způsobeného hasičským ochranným oděvem (Technické normy ČSN, 2018)** [25].

Kromě českých norem existují i mezinárodní normy. Pár jich bude zmíněno níže:

**ISO 11999-1:2015 - PPE for firefighters - Test methods and requirements for PPE used by firefighters who are at risk of exposure to high levels of heat and/or flame while fighting fires occurring in structures - Part 1: General** [26].

**ISO 11999-2:2015 - PPE for firefighters - Test methods and requirements for PPE used by firefighters who are at risk of exposure to high levels of heat and/or flame while fighting fires occurring in structures - Part 2: Compatibility [27].**

**ISO 11999-3:2015 - PPE for firefighters - Test methods and requirements for PPE used by firefighters who are at risk of exposure to high levels of heat and/or flame while fighting fires occurring in structures - Part 3: Clothing [28].**

**ISO/TR 2801:2007 - Clothing for protection against heat and flame - General recommendations for selection, care and use protective clothing [29].**

**ISO 6942:2002 Protective clothing - Protection against heat and fire - Method of test: Evaluation of materials and material assemblies when exposed to a source of radiant heat [30].**

**ISO 9151:2016 - Protective clothing against heat and flame - Determination of heat transmission on exposure to flame [31].**

### **3.4.2 Textilní materiály ochranného zásahového obleku**

V dnešní době je nezbytné, aby ochranné zásahové obleky poskytovaly odolnost a ochranu před plamenem, agresivními chemikáliemi a pronikáním vody. Při navrhování ochranného obleku poskytujícího odpovídající ochranu a pohodlí, je třeba zvážit typ vlákn, konstrukci textilního materiálu a úpravu. Nové materiály s vylepšenou prodyšností efektivněji odvádí vlhkost, a tím snižují teplotu těla. Obleky jsou zároveň lehčí, a práce se tak stává efektivnější. V chladných podmínkách poskytuje oblek také dostatečnou ochranu před prochladnutím. Toto lze dosáhnout použitím více druhů materiálu tvořící řadu vrstev. Používají se především aramidová vlákna, která mají dobrou tepelnou vodivost a schopnost odvádět vlhkost [32].

Vnější vrstva obleku je nejčastěji vyrobena z tkaniny, která je nehořlavá, nesráží se a chrání ostatní vrstvy před ohněm a žářem. Tato vrstva by měla být lehká, ohebná, pružná a odolná proti otěru. Používají se především para-amidová vlákna, jako je Kevlar a meta-aramidová vlákna, jako je Nomex. Kevlar je známé pro svou vysokou odolnost a pevnost, zatímco Nomex má výbornou odolnost vůči vysokým teplotám. Oba materiály byly vyvinuty firmou DuPont [17].

Na střední vrstvu se využívají tkaniny s funkcí tenké membrány obsahující póry. Póry zajišťují nepromokavost, ochranu proti vlhkosti a větru, zároveň umožňují odpařování vodních par z povrchu těla. Membrány jsou nehořlavé a jejich kvalita a schopnost dýchat jsou klíčovými faktory pro celkový komfort při nošení obleku. Jednou z nejčastěji používaných membrán je GORE-TEX [17].

Vnitřní vrstva ochranného obleku má izolační vlastnosti a je navržena tak, aby odolávala konvekčnímu, kondukčnímu a radiačnímu teplu. Je klíčová pro poskytování tepelné izolace a ochrany těla před vlivem vysokých teplot. Pro tuto vrstvu se často používají materiály, které jsou obsaženy ve vnější vrstvě obleku. Mezi tyto materiály patří Nomex, Kevlar, PBI (polybenzimidazol) a jejich směsi. Další používané materiály jsou Aralite nebo Sontara. Použití těchto materiálů v kombinaci umožňuje dosáhnout požadovaných izolačních vlastností a zajišťuje pohodlí při nošení obleku [17].



## 4 METODIKA

Výzkumnou skupinu tvořilo 20 mužů, kteří jsou členy IZS. Z tohoto počtu bylo 10 osob měřeno pro balistickou vestu a 10 osob pro ochranný zásahový oblek. Jeden proband ze skupiny balistických vest musel pro zdravotní důvody předčasně ukončit testování a proto byl vyřazen. Do práce se tedy zapojilo celkem 19 osob. Základní charakteristiky souboru jsou uvedeny v tabulce 1. Zbylí účastníci byli schopní pohybové aktivity a neměli zdravotní komplikace. Průměrný věk byl  $24,2 \pm 4,35$  let a průměrná váha  $75,5 \pm 4,68$  kg.

*Tabulka 1 - Charakteristika zkoumaného souboru*

Číslo probanda	Věk	Výška [cm]	Váha [kg]	Nemoc	Cvičení/týden
1	19	189	70	astma	3x
2	25	180	73	ne	4x
3	19	183	77	ne	2x
4	20	179	79	ne	3x
5	21	174	82	zlomenina	3x
6	20	194	78	ne	6x
7	29	171	70	ne	5x
8	32	179	69	ne	2x
9	25	190	73	ne	4x
10	24	182	79	ne	4x
11	23	175	69	astma	3x
12	25	183	85	alergie	3x
13	35	168	77	ne	4x
14	28	170	72	ne	5x
15	22	181	81	ne	4x
16	24	184	81	ne	3x
17	19	182	75	ne	3x
18	23	174	72	ne	3x
19	27	180	73	ne	2x

Všichni testovaní vyjádřili souhlas s průběhem testů a před zahájením podepsali informovaný souhlas. Následující kapitoly popisují testovanou balistickou vestu, ochranný zásahový oblek, použité měřicí přístroje a prováděné testy v rámci této diplomové práce.

#### 4.1 Balistická vesta

Pro praktickou část diplomové práce byla použita balistická vesta Diplomat 96. Latent diplomat určená pro skryté nošení pod oděvem. Jedná se o vysoce kvalitní balistickou vestu navrženou pro poskytování ochrany proti střelným projektilům a účinkům výbušnin. Vesta je vyrobená s využitím moderních materiálů a technologií, aby zajistila maximální úroveň ochrany a pohodlí pro uživatele. Je vybavena regulovatelnými popruhy a zapínáním, které umožňují přizpůsobit vestu velikosti. Standardně se vyrábí v bílé, bambusové, šedé, černé, tmavě modré, hnědé, zelené khaki a maskáčové barvě. Součástí vesty jsou antišokové vložky, balistická odolnost proti střelám je dle NIJ 0101.03 úrovně IIIA.



Obrázek 1 Balistická vesta (vlastní zdroj)

## 4.2 Ochranný zásahový oblek

Pro měření byl použit ochranný zásahový oděv GEPARD PREMIUM. Tento oděv je vyroben s využitím moderních materiálů a technologií, aby poskytoval maximální úroveň ochrany a komfortu pro uživatele. Oděv je vyroben z odolných materiálů, které jsou odolné vůči teplu, plamenům, chemikáliím a mechanickému namáhání. Je určen pro profesionální záchranáře, hasiče, pohotovostní jednotky a další pracovníky účastnící se zásahů a mimořádných událostí. Vrchní materiál GLADIATOR VFL, 240 g/m<sup>2</sup> – SOFIGUARD® Performance je unikátní tkanina odolná proti abrazi a zajišťuje vysokou životnost obleku. Vnější vrstva zajišťuje ochranu proti vodě a chemikáliím. Membrána FIREBLOCKER N 2L – GORE-TEX® Moisture Barrier s GORE® CROSSTECH® produktovou technologií, 140 g/m<sup>2</sup> – membrána Goretex s technologií Crosstech je testována dle ISO 16604 a chrání před krvetvornými patogeny, viry a bakteriemi či HIV. Podšívka Nomex® Comfort / Aramid Grid, 200 g/m<sup>2</sup> – SOFIDRY® je vybavena technologií přenosu a odvodu vlhkosti zvyšuje komfort a také ochranné vlastnosti oděvu. Volitelně tepelná bariéra ISO AIR® WQA 5102, 190 g/m<sup>2</sup> [33].



Obrázek 2 - Zásahový oděv GEPARD PREMIUM [33]

## 4.3 Přístroje

### 4.3.1 Multisenzorický systém

Nositelný multisenzorový systém (Wearable Telehealth Multi-Senzor Monitor, WTMSM) je inovativní systém navržený pro sběr biologických a fyzikálních dat. Své uplatnění najde v diagnostických a rehabilitačních systémech. Tento systém se skládá ze tří zařízení - senzory pro měření EKG, senzor pro monitorování dechové frekvence a senzor pro měření kožního odporu. Tyto senzory mohou být použity samostatně nebo v kombinaci a získávají data pro hodnocení fyzické zátěže. Senzory jsou propojeny s paměťovou jednotkou, která provádí synchronizaci a agregaci dat [34].

Umístění EKG elektrod na tělo bylo následující: nejprve byla lokalita důkladně odmaštěna, aby elektrody správně přilnuly na tělo. Poté byla jedna elektroda umístěna do oblasti pravého podklíčku a druhá do oblasti mezi 4. a 5. mezižebřím na levé straně těla.



Obrázek 3 Nositelný multisenzorový systém  
(vlastní zdroj)

### 4.3.2 Vlhkoměr a teploměr

Pro měření vlhkosti a teploty byl použit digitální vlhkoměr a teploměr obsahující externí sondu. Vlhkoměr měří relativní vlhkost vzduchu a vyjadřuje ji v procentech.



Obrázek 4 Digitální vlhkoměr a teploměr [37]

## 4.4 Použité cviky

Veškerá měření byla prováděna v prostorách laboratoře fakulty biomedicínského inženýrství v Kladně za konstantních podmínek vnitřní teploty a vlhkosti. Toto opatření bylo přijato s cílem zajistit konzistentní a přesné výsledky měření. Stabilní vnitřní teplota a vlhkost prostoru minimalizují vliv okolního prostředí na měřené proměnné a zajišťují opakovatelnost experimentu. Díky tomu lze lépe porovnávat naměřená data a vyvodit spolehlivé závěry při testovaných aktivitách.

Pro získání dat k balistické vestě a ochrannému zásahovému obleku byly použity následující cviky: Harwardský step-test, běh na běžícím páse na vzdálenost 1000 metrů a celomotorický test. Těsně před zahájením a ihned po ukončení testu byly naměřeny hodnoty. Mezi jednotlivými cviky měli probandi pětiminutovou pauzu.

Jako první byl prováděn Harvardský steptest. Tento test byl na Harvardu vypracován v roce 1942. Je znám též jako Brouhův či Harvardský zátěžový test a jedná se o jeden z nejstarších zátěžových testů. Pro měření je potřeba stupínku o výšce dané věkem – dospělí muži 50 cm a stopky. Měřená osoba stojí před stupínkem, po odstartování položí libovolnou nohu na stupínek a vystupuje střídavě nahoru na stupínek. Jakmile jsou obě nohy na stupínku, dává se jedna noha zpět na zem a následuje druhá. Výstup se musí provádět bez opory a ve vzpřímené poloze v tempu jeden výstup za cca 2 sekundy po dobu 3 minut [35].

Po pauze následoval běh na 1000m na běžeckém pásu. Pro tento test byla zvolena rychlost 10 km/h, která odpovídá průměrné mužské rychlosti pro tuto vzdálenost. Běžecký pás umožňuje udržovat konstantní rychlost a přesně měřit uběhlou vzdálenost, což usnadňuje porovnávání výsledků. Tato rychlost je často používána jako referenční bod pro měření běžecké kondice a výkonnosti [38].

Jako poslední, opět po pětiminutové pauze, byl testován celomotorický test. Pro jeho provedení jsou zapotřebí stopky a měkkí podložka. Cílem je provést maximální počet cviků stanoveným způsobem po dobu dvou minut. Testování začíná ve stoje spatném, po odstartování se jde přes dřep do lehu na břicho a zvednout ruce z podložky. Poté přejde zpět přes dřep do stoje spatného, pokračuje přes dřep do lehu na napřímená záda, ruce se dotknou podložky podél těla a zpět přes sed a dřep do stoje spatného. Tento cvik testuje silově-obratnostní vytrvalost [36].

## 5 VÝSLEDKY

Tato kapitola je věnována prezentaci výsledků získaných porovnáním fyzikálních hodnot naměřených pomocí multisenzorického systému a vlhkoměru s teploměrem. V rámci této části budou také vyhodnoceny výzkumných hypotéz, které byly stanoveny na začátku práce. Výsledky poskytnou ucelený pohled na získaná data a umožní formulovat závěry a doporučení na základě provedeného výzkumu.

### 5.1 Verifikace výzkumných hypotéz

Tato kapitola se zaměřuje na testování výzkumných hypotéz stanovených na začátku práce. Během testování hypotéz budou prezentovány naměřené hodnoty vlhkosti a teploty a výsledky statistických testů. Tepová frekvence z důvodu zašumění signálu nelze být zcela hodnocena. Lze pouze určit, že se tepová frekvence nacházela mezi 60 a 80 % maximální tepové frekvence. Pro představu jsou v příloze 1 vybrány dvacetisekundové grafy vytvořené z dat z multisenzorického systému.

#### 5.1.1 První výzkumná hypotéza

H1: Předpokládá se, že analýza naměřených fyzikálních veličin poskytne relevantní informace pro hodnocení ergonomie balistických vest určených pro složky IZS.

Pro provedení statistické analýzy jsou použity naměřené hodnoty vlhkosti a teploty. V tabulce 2 jsou zaznamenány hodnoty vlhkosti pro balistickou vestu naměřené během jednotlivých cviků. Podobně v tabulce 3 jsou zaneseny hodnoty teploty pro balistickou vestu naměřené během jednotlivých cviků.

Tabulka 2 - Naměřené hodnoty vlhkosti pro balistickou vestu

Vlhkost (%)										
Proband	X	1	2	3	4	5	6	7	8	9
H. step-test	Před	41	45	49	60	33	49	55	48	51
	Po	60	60	74	62	36	55	59	65	70
Běh 1000 m	Před	64	65	80	65	64	53	60	58	65
	Po	80	79	92	87	73	85	92	81	88
Celomotorický test	Před	83	83	90	87	80	86	96	81	91
	Po	85	82	88	84	77	81	95	84	92

Tabulka 3 - Naměřené hodnoty teploty pro balistickou vestu

Teplota (°C)										
Proband	X	1	2	3	4	5	6	7	8	9
H. step-test	Před	29,8	27,6	27,6	29,5	30,2	31,8	30,3	28,5	29,1
	Po	38,9	33,7	33,7	34,3	32,6	33,6	31,1	34,8	36,6
Běh 1000 m	Před	32,8	34,3	34,5	34,6	34,9	34,2	32,6	34,9	34,5
	Po	31,1	34,7	35,0	34,8	35,5	36,6	31,8	35,2	36,0
Celomotorický test	Před	32,3	34,3	34,5	35,1	36,2	37,0	34,3	35,1	36,1
	Po	31,2	33,2	32,8	32,0	35,4	35,7	32,1	34,5	35,7

Byly stanoveny hypotézy  $H_0$  a  $H_A$ . Pro statistickou analýzu byl použit párový T-test. Výsledky párového T-testu jsou zaneseny v tabulce 4. Na základě párového T-testu pro oboustrannou variantu na hladině významnosti 5 % byla zamítnuta nulová hypotéza, platí tedy hypotéza alternativní. Tedy při porovnávání naměřených fyzikálních veličin (vlhkost a teplota) před a po provedení vybraných cviků byla napozorována významná změna.



Tabulka 4 - Párový T-test pro vlhkost a teplotu balistické vesty

Vlhkost			Teplota		
Průměr	Rozdíl Po-Před	p-hodnota	Průměr	Rozdíl Po-Před	p-hodnota
47,89			29,38		
60,11	12,22222	0,00261392	34,37	4,98889	0,00065946
63,78			34,14		
84,11	20,33333	0,00007738	34,52	0,37778	0,36528677
86,33			34,99		
85,33	-1	0,28153692	33,62	-1,36667	0,00132946
Výsledná p-hodnota		0,00000010	Výsledná p-hodnota		0,00016444

Dále byly stanoveny hypotézy  $H_0b$  a  $H_{Ab}$ . Pro statistickou analýzu byl použit jednovýběrový T-test s jednostrannou alternativou, kde byly použity hraniční hodnoty 60 % pro vlhkost a 37 °C pro teplotu. Výsledky T-testu jsou zaneseny v tabulce 5. Na základě tohoto T-testu na hladině významnosti 5 % byla nulová hypotéza zamítnuta ve prospěch alternativní hypotézy. Zjistilo se, že konečná hodnota vlhkosti dalece přesahovala maximální hodnotu 60 %, zatímco konečná hodnota teploty se ani nepřiblížila maximální teplotě 37 °C.

Tabulka 5- Jednovýběrový T-test s jednostrannou alternativou pro vlhkost a teplotu

Vlhkost		Teplota	
Průměr	p-hodnota	Průměr	p-hodnota
47,89	0,00081456	29,38	0,00000007
60,11	0,48802694	34,37	0,00410139
63,78	0,08069493	34,14	0,00000411
84,11	0,00000163	34,52	0,00192501
86,33	0,00000018	34,99	0,00117653
85,33	0,00000039	33,62	0,00019757

### 5.1.2 Druhá výzkumná hypotéza

H2: Předpokládá se, že analýza naměřených fyzikálních veličin poskytne relevantní informace pro hodnocení ergonomie ochranných zásahových obleků vest určených pro složky IZS.

Pro provedení statistické analýzy jsou použity naměřené hodnoty vlhkosti a teploty. V tabulce 6 jsou zaznamenány hodnoty vlhkosti pro ochranný zásahový oblek naměřené během jednotlivých cviků. Podobně v tabulce 7 jsou zaneseny hodnoty teploty pro ochranný zásahový oblek naměřené během jednotlivých cviků.

*Tabulka 6 - Naměřené hodnoty vlhkosti pro ochranný zásahový oblek*

Vlhkost (%)											
Proband	X	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H. step-test	Před	44	45	49	59	40	49	55	47	49	45
	Po	60	59	74	65	56	55	59	63	69	60
Běh 1000 m	Před	62	65	80	65	64	53	60	65	68	60
	Po	79	78	82	87	73	85	92	80	89	75
Celomotorický test	Před	81	74	72	87	80	86	96	76	78	71
	Po	85	81	79	84	77	81	95	80	84	77

*Tabulka 7 - Naměřené hodnoty teploty pro ochranný zásahový oblek*

Teplota (°C)											
Proband	X	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H. step-test	Před	29,8	27,6	27,6	29,5	30,2	31,8	30,3	28,4	27,9	29,1
	Po	37,9	33,7	33,7	34,3	32,6	33,6	31,1	35,3	32,5	34,6
Běh 1000 m	Před	31,8	33,3	34,5	34,6	34,9	34,2	32,6	33,2	31,6	34,1
	Po	31,1	34,7	34,8	34,8	35,5	36,6	31,8	34,1	33,5	36,7
Celomotorický test	Před	32,3	35,3	33,4	35,1	36,2	37	34,3	34,2	33,1	35,0
	Po	32,2	34,2	33,2	32,4	35,4	35,7	32,1	34,6	32,8	35,4

Byly stanoveny hypotézy  $H_{0a}$  a  $H_{Aa}$ . Pro statistickou analýzu byl použit párový T-test. Výsledky párového T-testu jsou zaneseny v tabulce 8. Na základě párového T-testu pro oboustrannou variantu na hladině významnosti 5 % byla zamítnuta nulová hypotéza, platí tedy hypotéza alternativní. Tedy při porovnávání naměřených fyzikálních veličin (vlhkost a teplota) před a po provedení vybraných cviků byla napozorována významná změna.

*Tabulka 8 - Párový T-test pro vlhkost a teplotu ochranného zásahového obleku*

Vlhkost			Teplota		
Průměr	Rozdíl PO-PŘED	p-hodnota	Průměr	Rozdíl PO-PŘED	p-hodnota
48,20			29,22		
62,00	13,80	0,00010328	33,93	4,71	0,00013667
64,20			33,48		
82,00	17,80	0,00020771	34,36	0,88	0,04433551
80,10			34,59		
82,30	2,20	0,17177092	33,8	-0,79	0,04100771
Výsledná p-hodnota		0,00000001	Výsledná p-hodnota		0,00001541

Dále byly stanoveny hypotézy  $H_{0b}$  a  $H_{Ab}$ . Pro statistickou analýzu byl použit jednovýběrový T-test s jednostrannou alternativou, kde byly použity hraniční hodnoty 60 % pro vlhkost a 37 °C pro teplotu. Výsledky T-testu jsou zaneseny v tabulce 9. Na základě tohoto T-testu na hladině významnosti 5 % byla nulová hypotéza zamítnuta ve prospěch alternativní hypotézy. Zjistilo se, že konečná hodnota vlhkosti dalece přesahovala maximální hodnotu 60 %, zatímco konečná hodnota teploty se ani nepřiblížila maximální teplotě 37 °C.

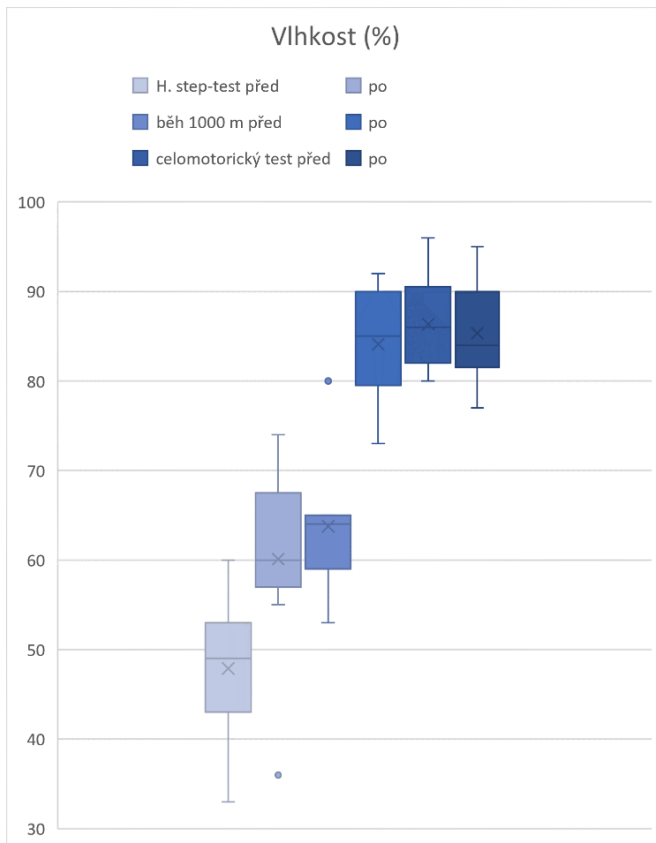
Tabulka 9 - Jednovýběrový T-test s jednostrannou alternativou pro vlhkost a teplotu

Vlhkost		Teplota	
Průměr	p-hodnota	Průměr	p-hodnota
48,20	0,00003985	29,22	0,00000001
62,00	0,15607838	33,93	0,00024875
64,20	0,04367371	33,48	0,00000282
82,00	0,00000064	34,36	0,00069185
80,10	0,00000922	34,59	0,00023956
82,30	0,00000015	33,8	0,00002844

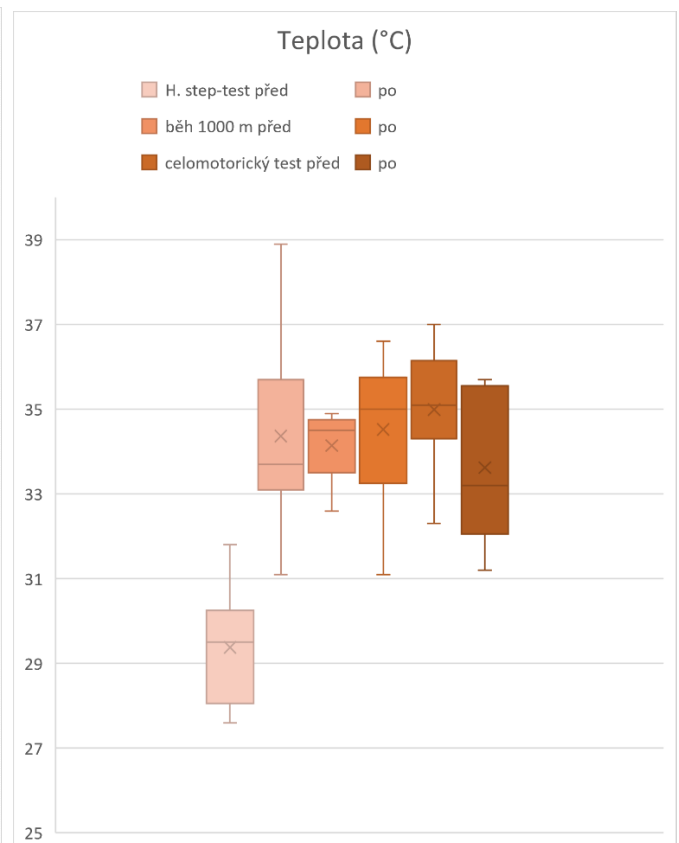
## 5.2 Slovní interpretace výsledků

V závěru této kapitoly jsou poskytnuty slovní interpretace výsledků. První výzkumná hypotéza se zabývala problematikou balistické vesty a její ergonomie, konkrétně tepelného komfortu. Naměřené hodnoty vlhkosti a teploty jsou znázorněny v tabulce 2 a 3. Z průměrných hodnot ve společné tabulce 4 a obrázku 5 lze vyvodit, že nejvýraznější nárůst vlhkosti nastal během druhého cvičení, konkrétně běhu na 1000 m, kdy překročil hranici 80 % a ustálil se kolem 85 %, aniž by dále stoupal. Naopak, z hodnot teploty v tabulce 4 a obrázku 6 vyplývá, že nejvýraznější nárůst teploty nastal již během prvního cviku, kdy dosáhla hodnoty 34,37 °C a do konce cvičení nepřekročila hranici 35 °C. Obě hodnoty, vlhkost i teplota, dosáhly během jednotlivých cviků i souhrně p-hodnoty < 0,05, což naznačuje, že existuje statisticky významný nárůst vlhkosti i teploty na hladině významnosti 5 %. Druhá část první výzkumné hypotézy se zabývala porovnáváním naměřené hodnoty vlhkosti s hodnotou 60 %, která je považována za hraniční hodnotu tepelné pohody, a hodnoty teploty s hodnotou 37 °C, která je brána za varovnou a ukazující velkou fyzickou zátěž. Z průměrných hodnot vlhkosti lze vyčíst, že již od druhého cviku překročila

hodnotu 60 %. Toto potvrzuje i p-hodnota  $< 0,05$ , což naznačuje, že dochází ke statisticky významnému nárustu vlhkosti a tedy i ke zhoršení tepelného komfortu na hladině významnosti 5 %. Na druhou stranu, průměrná hodnota teploty nepřekročila stanovenou hodnotu 37 °C a konečná průměrná hodnota zůstala v optimálním rozmezí 42-44 °C.



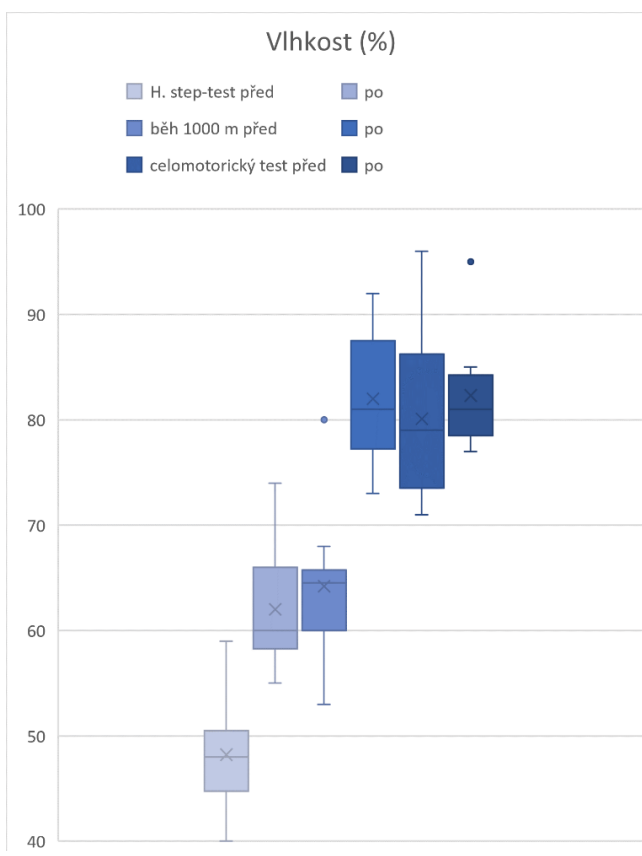
Obrázek 5 - Graf naměřených hodnot vlhkosti pro balistickou vestu (vlastní zdroj)



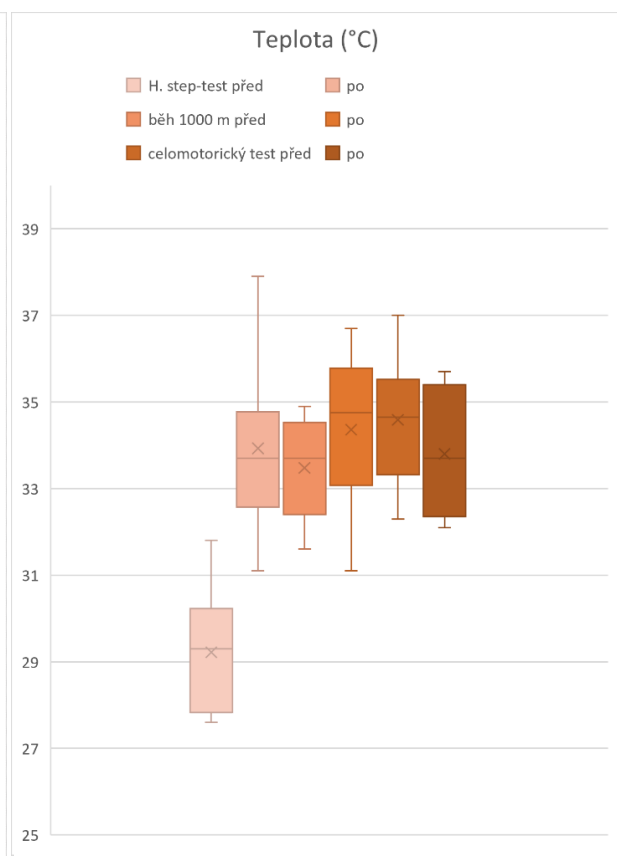
Obrázek 6 - Graf naměřených hodnot teploty pro balistickou vestu (vlastní zdroj)

Druhá výzkumná hypotéza se zabývala problematikou ochranného zásahového obleku a jeho ergonomií, konkrétně tepelného komfortu. Naměřené hodnoty vlhkosti a teploty jsou znázorněny v tabulce 6 a 7. Z průměrných hodnot ve společné tabulce 8 a obrázku 7 lze vyvodit, že nejvýraznější nárůst vlhkosti nastal během druhého cviku, konkrétně běhu na 1000 m, kdy překročil hranici 80 % a ustálil se kolem 82 %, aniž by dále stoupl. Naopak, z hodnot teploty v tabulce 8 a obrázku 8 vyplývá, že nejvýraznější nárůst teploty nastal

již během prvního cviku, kdy dosáhla hodnoty 33,93 °C a do konce cvičení nepřekročila hranici 35 °C. Obě hodnoty, vlhkost i teplota, dosáhly během jednotlivých cviků i souhrně p-hodnoty < 0,05, což naznačuje, že existuje statisticky významný nárůst vlhkosti i teploty na hladině významnosti 5 %. Druhá část první výzkumné hypotézy se zabývala porovnáváním naměřené hodnoty vlhkosti s hodnotou 60 %, která je považována za hraniční hodnotu tepelné pohody, a hodnoty teploty s hodnotou 37 °C, která je brána za varovnou a ukazující velkou fyzickou zátěž. Z průměrných hodnot vlhkosti lze vyčíst, že po ukončení druhého cviku překročila hodnotu 60 %. Toto potvrzuje i p-hodnota < 0,05, což naznačuje, že dochází ke statisticky významnému nárůstu vlhkosti a tedy i ke zhoršení tepelného komfortu na hladině významnosti 5 %. Na druhou stranu, průměrná hodnota teploty nepřekročila stanovenou hodnotu 37 °C a konečná průměrná hodnota zůstala v optimálním rozmezí 42-44 °C.



Obrázek 8 - Graf naměřených hodnot vlhkosti pro ochranný zásahový oblek (vlastní zdroj)



Obrázek 7 - Graf naměřených hodnot teploty pro ochranný zásahový oblek (vlastní zdroj)

## 6 DISKUZE

Tato diplomová práce se zabývá ochrannými oděvy, které slouží k ochraně svých nositelů. Při výběru vhodného ochranného oděvu je důležité zohlednit povahu prováděného úkolu a míru ohrožení, kterému bude nositel vystaven. Důležitým, avšak často podceňovaným faktorem, je celková pohodlnost systému ochrany. Protože to, co je nepohodlné, často vede k nepoužívání. V roce 2007 provedla organizace National Safety Council v Severní Americe průzkum, který ukázal, že nedodržování předpisů pro osobní ochranné prostředky na pracovišti stále představuje problém. Nejčastějším důvodem odmítání ochranných oděvů bylo snížené pohodlí při práci [16, 4].

Tepelný komfort představuje značný problém. V klidovém stavu se považuje teplota tělesného jádra za  $37,0 \pm 0,5$  °C. Během fyzické námahy nebo vystavení teplu může tato teplota vzrůst o 3 °C. Pokud tělesná teplota jádra stoupne přibližně na 41,5 °C, člověk je považován za vyčerpaného teplem. Další zvýšení teploty je spojeno se závažnými neurologickými příznaky vedoucími k život ohrožujícímu stavu. Proto je udržování tepelné rovnováhy mezi složkami IZS zásadní. Při nošení ochranného oděvu se však snižuje rychlost odpařování potu a rozptyl tepla. Ochranné oděvy pokrývají většinu povrchu těla, což narušuje proces odpařování potu a výměnu tepla. To může vést k život ohrožujícím situacím spojeným s fyzickou námahou při vysoké tepelné zátěži a omezenou funkcí tělesných systémů. Je tedy nutné najít řešení, které sníží fyziologické zatížení a tím ke zlepší výkon [39].

Dle Hadid a spol. (2008) je jedním z přístupů k řešení tohoto problému použití moderních oděvů, které poskytují lepší ventilaci a podporují odpařování potu. Tím lze snížit fyziologické zatížení. Moderní ochranné oděvy jsou totiž

navrženy tak, aby umožnily větší proudění vzduchu a odvádění potu, čímž usnadňují udržovat tělesnou teplotu na přijatelné úrovni.

V rámci této diplomové práce byla zkoumána problematika ergonomie balistických vest a ochranného zásahového obleku s cílem optimalizovat jejich design a zlepšit uživatelský komfort. Nositelé těchto pomůcek se často potýkají s nepohodlím a omezenou pohyblivostí během fyzické zátěže, což může negativně ovlivnit jejich výkon a bezpečnost při zásahových akcích. Na základě provedeného výzkumu a analýzy dosažených výsledků lze vyvodit několik závěrů.

Jako první byla řešena otázka balistické vesty. Balistická vesta nabízí mnoho výhod i nevýhod. Nabízí velkou krycí plochu chránící před střelami a střepinami, čímž předchází závažným až smrtelným zraněním. Možnost připojení dalších chráničů zvyšuje ochrannou plochu. Nicméně její nevýhodou je celková hmotnost, výrazné omezení pohyblivosti nositele, neohrabanost, zhoršená ventilace, apod. Jedním slovem nevýhody přispívají ke sníženému komfortu [16].

Výsledky ukázaly, že vlivem cvičení dochází pod zkoumanou balistickou vestou k významnému nárůstu vlhkosti, což může negativně ovlivnit pohodlí uživatele balistické vesty. Nicméně, průměrná hodnota teploty zůstává v optimálním rozmezí, což naznačuje, že tepelný komfort je stále zachován. Tato zjištění naznačují potřebu dalšího zkoumání a případných vylepšení, aby bylo dosaženo ještě vyššího stupně pohodlí a efektivity při používání ochranného vybavení.

Wang et al. (2014) uvádí několik kritérií, jež by se měla zohlednit při navrhování balistických vest. Prvním z nich je lehkost a minimalizace objemu vesty, aby byla co nejméně obtěžující pro nositele. Zároveň je nutné zajistit termofyziologický komfort a zachování mobility. Kromě toho je také třeba brát



v úvahu další faktory, jako jsou přežití v extrémních podmínkách, dosažení víceúčelové ochrany s minimem vrstev, minimalizace nákladů na údržbu spojených s používáním chemikálií a procesů šetrných k životnímu prostředí. Důležitým aspektem je také možnost recyklace nebo snadné likvidace balistické vesty bez negativního dopadu na životní prostředí.

Dále poukazuje na současný a budoucí vývoj balistických vest. Použití nové technologie pro výrobu kompozitních materiálů, jako jsou uhlíkové nanotrubičky a další nano materiály, má za cíl poskytnout vyšší lehkost vesty při zároveň zvýšené ochraně před vysokorychlostními projektily. Očekává také, že balistická vesta bude schopna integrovat další funkce, např. komunikační zařízení, zdroje energie atd [12].

Boussu et al. (2008) na mezinárodní vědecké konferenci přišli s novým programem s názvem ProFit. Tento program je určen výhradně pro vesty Sigma Six a Delta Five. Jeho cílem je získat lepší povědomí o velikostech a potřebách zákazníků, aby bylo možné vesty přizpůsobit zákazníkovi na míru. Návrh nové balistické vesty spočívá ve využití virtuální 3D figuríny. Vesta vytvořená v tomto programu má odhadovanou hmotnost balistických komponentů 750 g, zatímco standardní vesta úrovně IIIA může mít hmotnost od 700 do 1000 g. V porovnání s popisem balistické vesty používané ve Francii je patrné, že celková hmotnost je snížena z 4,9 kg/m<sup>2</sup> na navrhovaných 3,9 kg/m<sup>2</sup>. To představuje významné snížení hmotnosti přibližně o 20 %, což vede ke zlepšení komfortu při nošení a snížení nákladů na suroviny.

Dále naráží na problematiku dostatečné ochrany a komfortu ženské balistické vesty. Balistické vesty již nejsou unisex, mnoho společností nabízí vesty přizpůsobené morfologii ženy. K výrobě dámské vesty je totiž zapotřebí více detailů, hlavně kvůli složitému tvaru hrudníku. Boussu při navrhování

dámské balistické vesty přišel s použitím virtuální 3D ženská figurína dostupné v softwaru Design Concept, která umožňuje vytvořit dostatečný povrch tak, aby vesta odpovídala tvaru ženského těla a zároveň zajistila efektivitu balistické ochrany [40].

Marszałek et al. (2019) v rámci projektu hodnotili novou víceúčelovou balistickou vestu pro skryté nošení, která byla vyrobena novým přístupem zahrnující úpravu pomocí techniky 3D skenování. Vesta byla vybaven dvěma vložkami: základní neprůstřelnou vložkou třídy K2 s dalšími vlastnostmi ochrany dle polské normy PN-V-87000:2011 a vložkou třídy IIIA dle standardu NIJ 0101.04:2000, která poskytuje ochranu proti bodnutí. Cílem výzkumu bylo posoudit dva modely balistických vest: vesta 1 navržena na základě individuálních tělesných rozměrů a vesta 2 přizpůsobena velikostním podskupinám. Testy byly provedeny na šesti policistech ve věku 36-42 let v climatic-walk-in-test komoře při teplotách +50, +20 a -40 °C. V komoře bylo testováno 13 činností se zvyšující se zátěží. Hmotnost testovaných vest se pohybovala v rozmezí 3,7 až 4,2 kg. Studie neprokázala žádné statisticky významné rozdíly ve fyziologických reakcích probandů u obou variant balistických vest. Výsledky ukázaly mírnou akumulaci tepla u obou variant a nízkou míru pocení přes náročnost cvičení. V důsledku nízké míry pocení se v oděvu nahromadilo pouze malé množství potu, které představovalo 10 % celkového vyloučeného potu. Subjektivní hodnocení neukázalo problém s oblékáním, úpravou a sejmutím vesty, ačkoli vesta 1 by mohla být lépe upevněna, aby lépe přilnula k tělu. Mírně horší hodnocení při provádění činností bylo zaznamenáno u vest, které byly příliš těsné nebo volné, a při vysoké teplotě vzduchu. Nicméně rozdíly nebyly statisticky významné. Při možnosti výběru většina účastníků volila vestu 2, protože byla vepředu o něco delší, a lépe tak chránila oblast břicha.

Poté byla posunuta pozornost na ochranný zásahový oblek určený pro hasičské záchranné sbory. Ochranné prostředky jsou významným faktorem při zvyšování výkonu a ochraně zdraví, proto zlepšení ventilace a odpařování potu jsou klíčové pro minimalizaci rizik způsobených fyzickou námahou a vysokou tepelnou zátěží.

Výsledky ukázaly, že vlivem cvičení dochází pod zkoumaným ochranným zásahovým oblekem k významnému nárůstu vlhkosti, což může negativně ovlivnit pohodlí uživatele obleku. Nicméně, průměrná hodnota teploty zůstává v optimálním rozmezí, což naznačuje, že tepelný komfort je stále zachován. Tyto zjištění naznačují potřebu dalšího zkoumání a případných vylepšení, aby bylo dosaženo ještě vyššího stupně pohodlí a efektivity při používání ochranného vybavení.

Komfort ochranných zásahových obleků je velmi důležitou a v dnešní době často diskutovanou oblastí, jelikož jde o oblast, která je schopná z velké míry ovlivnit práci a celkový pocit hasiče při záchranné činnosti. Ochranné zásahové obleky jsou v dnešní době na velmi vysoké úrovni provedení a poskytují kompaktní komfort napříč všemi jednotlivými vrstvami obleku. Při vyloučení jedné vrstvy z celku dochází k značnému poklesu osobního komfortu hasiče [32].

Marszałek et al. (2020) ve své studii naráží na to, že ochranný zásahový oděv značně zatěžuje hasiče při plnění povolání. Testy tepelné izolace ochranných oděvů a hodnocení tepelného komfortu ukázaly, že hasiči oblečení v ochranných oděvech pociťují tepelné pohodlí pouze při nízkých teplotách vzduchu a minimální fyzické námaze. I když je tepelná izolace žádoucí, může vytvářet bariéru, která brání přenosu tepla mezi tělem a okolím. To znemožňuje odpařování potu během fyzické námahy. Výsledkem je zvýšení vnitřní teploty, zvýšené prokrvení kůže, vyšší tepelný stres a zvýšená činnost potních žláz.

Pro minimalizaci tepelného stresu je důležité, aby struktura ochranného oděvu byla navržena tak, aby umožňovala efektivní odvádění tělesného tepla a snižovala tepelnou námahu na nejnižší možnou úroveň.

Problém tepelné zátěže a nepohody mezi hasiči dokládají mimo jiné výsledky průzkumů. Lee et al. (2015) zkoumal funkce potřebné pro novou generaci ochranných prostředků. Z Austrálie, Japonska, Koreji a USA získal 1694 odpovědí na dotazník. Nejvýše hodnoceny byly následující položky: systém automatického chlazení těla, systém monitorování polohy, systém bezdrátové komunikace a systém podpory zraku. Nejméně preferovaný byl systém automatického zahřívání těla a systém hlasového záznamu.

V Koreji Kim et al. (2022) pomocí dotazníkového šetření prozkoumávali současnou situaci popálenin při hašení požárů. Na dotazník odpovědělo 536 hasičů, kteří byly aktuálně zodpovědní za likvidaci požáru nebo záchranné akce. 22 % dotázaných utrpělo popáleniny, ale z nich 93 % byly menší než 1 % celkové plochy těla. Nejčastějším místem popálenin na těle byly ruce a hlava. Tato popáleninová zranění lze snížit zlepšením hasičské ochranné přilby, kukly a rukavic.

Marszałek et al. (2020) porovnávali tepelnou zátěž hasičů při fyzickém cvičení různé intenzity v klimatické testovací komoře za mírných ( $20,0 \pm 0,1$  °C) a horkých ( $30,0 \pm 0,1$  °C) podmínek prostředí. Studie se zúčastnilo 10 hasičů vybraných na základě kvalifikačních testů. Byly použity dva typy ochranných oděvů: oblek 1 je oblek propustný pro vzduch a vodní páru o hmotnosti 1,74 kg a oblek 2 je klasický oblek bez přidaných položek o hmotnosti 5,35 kg. Porovnání výsledků testů studujících tepelné zatížení působící na organismus hasiče v závislosti na teplotě okolního vzduchu a na dvou typech oděvů při různých podmínkách souvisejících s fyzickou námahou prokázalo, že bez ohledu

na teplotu okolního vzduchu hodnoty fyziologických parametrů a subjektivní hodnocení (hodnocení vnímané námahy a tepelných vjemů) bylo vyšší, když bylo použito obleku 2. Struktura tohoto oděvu, která zajišťuje ochranu hasičů před vysokými teplotami a plameny, a přítomná vodotěsná vrstva výrazně ztěžují tělu odvod tepla konvekcí, sáláním a odpařováním potu. Oblečení je také více než dvakrát těžší, což se projevuje na jedné straně vyšší fyziologickou cenou vykonávané práce a na druhé straně ve větší míře brání přenosu tepla než oblek 1. který je lehčí.

To potvrzuje i Dorman a Havenith (2009), kteří analyzovali vliv hmotnosti a struktury ochranného oděvu. Testy provedené těmito autory ukazují, že metabolické náklady vynaložené fyzické námahy se mohou zvýšit v rozmezí 2,4–20,9 % při použití různých typů ochranných oděvů ve srovnání s testovacími podmínkami. Autoři zmíněného příspěvku navíc zdůrazňují, že těžké a tuhé oblečení může omezovat efektivní výkon odborných činností.

Dąbrowska et al. (2019) ve své publikaci upozorňují na rizikové faktory, jimiž jsou hasiči vystaveni při práci. Vyčerpávající fyzická námaha, emoční stres a enviromentální znečištění mohou ovlivnit kardiovaskulární systém a vést k zástavě oběhu. Náhlé srdeční zástavy nejčastěji nastávají při hašení požáru, zejména u hasičů se zúženými tepnami nebo strukturální srdeční chorobou. V souvislosti s tím byl v posledních letech pozorován stále větší zájem o monitorování fyziologického stavu hasičů a rizik, jimiž jsou během akcí vystaveni. Senzory a signalizátory rizik mohou být umístěny přímo v oděvu nebo na jeho přídatných prvcích. Rizika spojená se zdravotním stavem hasiče a prostředím během akce jsou analyzována pomocí speciálních učicích algoritmů a kritické situace jsou signalizovány. V oblasti inteligentních systémů integrovaných s ochranným oděvem již bylo provedeno mnoho výzkumných prací. Nicméně dosud neexistují jednotné požadavky a metody testování, které

by potvrdily bezpečnost a funkčnost těchto systémů v konkrétních podmínkách na evropském trhu. Elektronická řešení nesmí představovat další riziko pro hasiče, proto je důležitá jejich spolehlivost. Při návrhu chytrého hasičského oděvu je zejména nutné zohlednit možný vliv horkých faktorů (plamen, tepelné záření, konvektivní teplo) na správnou funkci elektronických systémů, stejně jako další environmentální podmínky během akce.

V současné době je v České republice dostupná řada výrobců ochranných zásahových obleků, které splňují kritéria stanovená platnými normami. Moderní zásahové obleky musí překonávat mnohem vyšší standardy než pouhou odolnost vůči plamenům a teplu. Díky novým materiálům, které jsou prodyšné, je možné daleko efektivněji odvádět vlhkost z těla a snižovat tak teplotu. Tyto nové obleky jsou také o mnoho lehčí než předchozí modely, což zvyšuje efektivitu práce hasiče. V zimním období pak obleky poskytují adekvátní ochranu před prochlazením a mrazem. Všechny vrstvy obleku musí být odolné vůči praní, údržbě a opakovanému nošení během zásahu, aniž by se znehodnotily jejich ochranné a komfortní vlastnosti. Správná velikost obleku je klíčová pro jeho správnou funkci a musí být každému hasiči přizpůsobena na míru, aby bylo dosaženo dokonalé harmonie mezi oblekem a dalšími ochrannými doplňky [32].

Existují stanovené standardy a testy, které musí výrobci dodržovat při výrobě ochranných zásahových obleků, aby zajistily jejich přehlednost a účinnost. Společnost DEVA F-M s.r.o. se zaměřuje na osobní komfort a nechává své nejnovější ochranné zásahové obleky specializovaně testovat. Výsledky těchto testů naznačují, že vylepšování materiálů vede ke zvyšování osobního komfortu a snižování únavy hasičů při zvyšování osobní ochrany. Mezi průkazné testy patří test v klimatické komoře a Sweating torso test [32].

V budoucnu by bylo dobré používat dva typy ochranných zásahových obleků – letní oblek pro běžnou zásahovou činnost a na těžkou zásahovou činnost stávající ochranný zásahový oblek [32].

Vzhledem k omezení a potřebě dalšího výzkumu je zde prostor pro rozšíření této práce. Další studie by měly provádět dodatečné experimenty s větším vzorkem uživatelů, aby se získalo více výsledků. Je také důležité provést další analýzu a srovnání s existujícími normami a směrnicemi pro ochranu před zraněním a ergonomickými standardy. Další možností pro budoucí výzkum je zkoumání nových materiálů a technologií, které by mohly přinést inovace v oblasti balistických vest a ochranných zásahových obleků. Například je možné zkoumat pokročilé materiály s vysokou odolností a flexibilitou, které by zajišťovaly lepší ochranu při současném zvyšování uživatelského komfortu. V neposlední řadě je také důležité zohlednit specifické potřeby a požadavky uživatelů, jako jsou hasiči, záchranáři a vojáci, kteří tyto ochranné oděvy používají. Je nutné provádět průzkum a sbírat zpětnou vazbu od těchto uživatelů, aby se lépe porozumělo jejich potřebám a přispělo k vytváření lepších ochranných prostředků.

V závěru lze konstatovat, že ergonomie balistických vest a zásahových obleků je důležitým aspektem při zajišťování bezpečnosti a komfortu uživatelů. Tato práce přispěla k pochopení této problematiky a navrhla možná řešení pro zlepšení ergonomie těchto ochranných prostředků. Budoucí výzkum a inovace v této oblasti by mohly přinést významné přínosy pro ochranu pracovníků v nebezpečných prostředích.

## 7 ZÁVĚR

Cílem této práce bylo zjistit ergonomii balistické vesty ochranného zásahového oděvu. Ergonomická analýza a návrh vhodných úprav mohou přinést významné zlepšení v oblasti pohodlí, snížení fyzické zátěže, zvýšení pohyblivosti a celkového výkonu nositelů balistických vest a zásahového obleku.

Výzkum odhalil možnost zlepšení v oblasti odvedení vlhkosti, kdy u obou zkoumaných veličin hodnoty překročily 80 %. Přestože se vlhkost výrazně zvýšila, konečné hodnoty teplot nepřesáhly 34 °C, což naznačuje dostačující odvod tepla z těla. To naznačuje potenciál pro vylepšení systému odvodu vlhkosti a zjištění ještě vyššího stupně pohodlí uživatele.

Výsledky této práce mohou sloužit jako podklad pro další vývoj a zdokonalování ochranných prostředků používaných v rámci složek IZS, aby mohlo být dosaženo synergie mezi ochranou a pohodlím uživatelů. To by přineslo významný přínos pro ochranu a bezpečnost složek IZS.



## 8 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

EKG – Elektrokardiogram

HOSDB – Home Office Scientific Development Branch

ICW – In-Conjunction With

IZS – Integrovaný záchranný systém

NIJ – National Institute of Justice

STA – Soft Trauma Armor

UHMWPE – Ultra-High Molecular Weight Polyethylene

## 9 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. MAREK, Jakub a Petr SKŘEHOT. *Základy aplikované ergonomie*. Praha: VÚBP, 2009. Bezpečný podnik. ISBN 978-80-86973-58-6.
2. Bozpinfo [online]. 2011 [cit. 2023-01-24]. Ergonomie. Dostupné z WWW: [http://www.bozpinfo.cz/knihovna-bozp/citarna/tematicke\\_prilohy/ergonomie/ergonomie1.html](http://www.bozpinfo.cz/knihovna-bozp/citarna/tematicke_prilohy/ergonomie/ergonomie1.html)
3. CHUNDELA, Lubor. *Ergonomie*. 3. vyd. V Praze: České vysoké učení technické, 2013. ISBN 978-80-01-05173-3.
4. TechPark.sk [online]. 2008 [cit. 2023-02-26]. Ochranné oděvy – rovnováha mezi pohodlím a ochranou. Dostupné z WWW: <http://www.techpark.sk/technika-122011/ochranne-odevy-rovnovaha-mezi-pohodlim-a-ochranou.html>
5. HES, Luboš; Sluka, Petr. Úvod do komfortu textilií. Liberec : Technická univerzita v Liberci, 2005. 109 s
6. ROŽNOVSKÝ, Jaroslav a Tomáš LITSCHMANN, ed. *Extrémny počasí, jejich dopady a bezpečnostní rizika: Broumov 8.-10.10.2019*. [Praha]: [Český hydrometeorologický ústav], [2019]. ISBN 978-80-87577-96-7.
7. RŮŽIČKOVÁ, D. *Oděvní materiály*. Liberec : Technická univerzita v Liberci, 2003.
8. VILÍMOVSKÝ, Michal. Jakou tepovou frekvenci byste měli mít?. *Medlicker* [online]. 21. října 2019 [cit. 2023-03-09]. Dostupné z: <https://cs.medlicker.com/1559-tepova-frekvence>
9. VAŠKOVÁ, Petra. *Zjišťování maximální tepové frekvence u vybrané populační skupiny zátěžovým testem* [online]. Brno, 2017 [cit. 2023-05-09]. Dostupné z: [https://theses.cz/id/rp8eg2/zaverecna\\_prace.pdf](https://theses.cz/id/rp8eg2/zaverecna_prace.pdf). Diplomová práce. Mendelova univerzita v Brně, Agronomická fakulta, Ústav technologie potravin. Vedoucí práce Veronika Rizinková

10. Zák. č. 239/2000 Sb. Zákon o integrovaném záchranném systému, § 19, odst. 2. [www.zakonyprolidi.cz](http://www.zakonyprolidi.cz) [online]. [cit. 2023-03-19]. Dostupné online.
11. MARSZALEK, Anna, Grażyna GRABOWSKA a Krzysztof ŁEŻAK. Evaluation of a new ballistic vest design for compliance with Standard No. PN-V-87000: 2011 using physiological tests. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics* [online]. 2019, **25**(2), 268-277 [cit. 2023-05-01]. ISSN 1080-3548. Dostupné z: doi:10.1080/10803548.2018.1450546
12. WANG, L, S KANESALINGAM, R NAYAK a R PADHYE. Recent Trends in Ballistic Protection. *Textiles and Light Industrial Science and Technology* [online]. 2014, **3** [cit. 2023-05-01]. ISSN 2304-9421. Dostupné z: doi:10.14355/tlist.2014.03.007
13. HOSDB and NIJ: The 2 most used ballistic standards for body armor. *Protection Group Danmark* [online]. 2020 [cit. 2023-02-01]. Dostupné z: <https://protectiongroupdenmark.com/articles/5-hosdb-and-nij-the-2-most-used-ballistic-standards-for-body-armor/>
14. *Body Armor Performance Standards* [online]. 2018 [cit. 2023-02-01]. Dostupné z: <https://nij.ojp.gov/topics/articles/body-armor-performance-standards#citation--0>
15. *Přehled - E-ZAK Ministerstvo vnitra České republiky* [online]. Copyright ©B [cit. 2023-01-03]. Dostupné z: [https://www.zakazky.mvcr.cz/document\\_audit\\_188005/priloha-c-1-specifikace-pdf](https://www.zakazky.mvcr.cz/document_audit_188005/priloha-c-1-specifikace-pdf)
16. Rady pro výběr balistické vesty / nosiče plátů a rozdíly mezi nimi.cz - *Ocelové pláty a terče z Armoxu a Hardoxu* [online]. Copyright © [cit. 2023-01-03]. Dostupné z: <https://www.strikeface.cz/blog/rady-pro-vyber-balisticke-vesty-a-nosice-platu/>

17. JÁNOŠÍK, Ladislav. *Osobní ochranné pracovní prostředky hasiče* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Fakulta bezpečnostního inženýrství, 2014 [cit. 2022-11-19]. ISBN 978-80-248-3491-7. Dostupné z: [https://fbiweb.vsb.cz/safeteach/images/pdf/Materialy/Osobni\\_ochranne\\_pracovni\\_prostredky\\_hasice.pdf](https://fbiweb.vsb.cz/safeteach/images/pdf/Materialy/Osobni_ochranne_pracovni_prostredky_hasice.pdf)
18. MARSZAŁEK, Anna a Magdalena MŁYNARCZYK. Physiological tests on firefighters whilst using protective clothing. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics* [online]. 2021, **27**(2), 384-392 [cit. 2023-04-01]. ISSN 1080-3548. Dostupné z: doi:10.1080/10803548.2020.1794370
19. ČSN EN 469 (832800) Ochranné oděvy pro hasiče - Technické požadavky na ochranné oděvy pro hasičské činnosti, *Technické normy ČSN* [online]. Hradec Králové: TECHNOR print, 2021 [cit. 2022-04-17]. Dostupné z: <https://www.technicke-normy-csn.cz/csn-en-469-832800-230680.html#>
20. ČSN EN 1149-1 (832845) Ochranné oděvy - Elektrostatické vlastnosti - Část 1: Zkušební metoda pro měření povrchového měrného odporu, *Technické normy ČSN* [online]. Hradec Králové: TECHNOR print, 2007 [cit. 2022-04-17]. Dostupné z: <https://www.technicke-normy-csn.cz/csn-en-1149-1-832845-230722.html>
21. ČSN EN 1486 (832801) Ochranné oděvy pro hasiče - Požadavky a zkušební metody pro reflexní oděvy pro speciální hašení ohně, *Technické normy ČSN* [online]. Hradec Králové: TECHNOR print, 2008 [cit. 2022-04-17]. Dostupné z: <https://www.technicke-normy-csn.cz/csn-en-1486-832801-230683.html#>
22. ČSN EN ISO 15384 (832803) Ochranné oděvy pro hasiče - Laboratorní metody zkoušení a technické požadavky na provedení oděvů pro likvidaci požárů v otevřeném terénu, *Technické normy ČSN* [online]. Hradec Králové: TECHNOR print, 2020 [cit. 2022-04-17]. Dostupné z: <https://www.technicke-normy-csn.cz/csn-en-iso-15384-832803-230687.html#>

23. ČSN EN 16689 (832804) Ochranné oděvy pro hasiče - Požadavky na provedení ochranných oděvů pro technické zásahy, *Technické normy ČSN* [online]. Hradec Králové: TECHNOR print, 2020 [cit. 2022-04-17]. Dostupné z: <https://www.technicke-normy-csn.cz/csn-en-16689-832804-230689.html#>
24. ČSN EN ISO 18640-1 (832805) Ochranné oděvy pro hasiče - Fyziologický dopad - Část 1: Měření spojeného přenosu tepla a vlhkosti pomocí figuríny pro pocení, *Technické normy ČSN* [online]. Hradec Králové: TECHNOR print, 2018 [cit. 2022-04-17]. Dostupné z: <https://www.technicke-normy-csn.cz/csn-en-iso-18640-1-832805-230690.html>
25. ČSN EN ISO 18640-2 (832805) Ochranné oděvy pro hasiče - Fyziologický dopad - Část 2: Stanovení fyziologického tepelného zatížení způsobeného hasičským ochranným oděvem, *Technické normy ČSN* [online]. Hradec Králové: TECHNOR print, 2018 [cit. 2022-04-17]. Dostupné z: <https://www.technicke-normy-csn.cz/csn-en-iso-18640-2-832805-230692.html>
26. ISO - ISO 11999-1:2015 - PPE for firefighters — Test methods and requirements for PPE used by firefighters who are at risk of exposure to high levels of heat and/or flame while fighting fires occurring in structures — Part 1: General. [online]. Copyright © All Rights Reserved [cit. 25.05.2022]. Dostupné z: <https://www.iso.org/standard/64017.html>
27. ISO - ISO/TS 11999-2:2015 - PPE for firefighters — Test methods and requirements for PPE used by firefighters who are at risk of exposure to high levels of heat and/or flame while fighting fires occurring in structures — Part 2: Compatibility. [online]. Copyright © All Rights Reserved [cit. 25.05.2022]. Dostupné z: <https://www.iso.org/standard/65537.html>

28. ISO - ISO 11999-3:2015 - PPE for firefighters — Test methods and requirements for PPE used by firefighters who are at risk of exposure to high levels of heat and/or flame while fighting fires occurring in structures — Part 3: Clothing. [online]. Copyright © All Rights Reserved [cit. 25.05.2022]. Dostupné z: <https://www.iso.org/standard/64019.html>
29. ISO - ISO/TR 2801:2007 - Clothing for protection against heat and flame — General recommendations for selection, care and use of protective clothing. [online]. Copyright © All Rights Reserved [cit. 25.05.2022]. Dostupné z: <https://www.iso.org/standard/39087.html>
30. ISO - ISO 6942:2002 - Protective clothing — Protection against heat and fire — Method of test: Evaluation of materials and material assemblies when exposed to a source of radiant heat. [online]. Copyright © All Rights Reserved [cit. 25.05.2022]. Dostupné z: <https://www.iso.org/standard/26327.html>
31. ISO - ISO 9151:2016 - Protective clothing against heat and flame — Determination of heat transmission on exposure to flame. [online]. Copyright © All Rights Reserved [cit. 25.05.2022]. Dostupné z: <https://www.iso.org/standard/55326.html>
32. STANĚK, David. *Hodnocení komfortu ochranných oděvů příslušníků jednotek PO za standardních a extrémních podmínek při zásahu*. Ostrava, 2008. Diplomová práce. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Fakulta bezpečnostního inženýrství, Katedra požární ochrany a ochrany obyvatelstva. Vedoucí práce Ing. Isabela Bradáčová, CSc.
33. Zásahový oděv GEPARD PREMIUM + nápis HASIČI DEVA. *X-flame.cz* [online]. Copyright © Ivan Hrdlička 2003 [cit. 10.05.2023]. Dostupné z: [https://www.x-flame.cz/zasahovy-odev-gepard-premium-napis-hasici/?gclid=Cj0KCQjwu-KiBhCsARIsAPztUF331txZtQrvbOAK\\_3zri6cS8nnNZUQrqvfHMS1rLqZwcQRXqrX007kaAj\\_gEALw\\_wcB](https://www.x-flame.cz/zasahovy-odev-gepard-premium-napis-hasici/?gclid=Cj0KCQjwu-KiBhCsARIsAPztUF331txZtQrvbOAK_3zri6cS8nnNZUQrqvfHMS1rLqZwcQRXqrX007kaAj_gEALw_wcB)

34. HÝBL, Ján, Petr VOLF, Jan HEJDA, Aleksei KARAVAEV a Patrik KUTÍLEK. Wearable multi-sensor system for telemedicine applications. *Trendy v biomedicínském inženýrství = BME: biomedical engineering*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2021, 63-67. ISBN 978-80-7494-585-4.
35. Harvardský step-test. Zjistěte svoji kardiorepirační zdatnost. | ProKondici.cz. *ProKondici - pro zdravý životní styl* [online]. Copyright © [cit. 2023-01-03]. Dostupné z: <https://www.prokondici.cz/harvardsky-step-test-zjistete-svoji-kardiorepiracni-zdatnost/>
36. Posouzení fyzické způsobilosti uchazeče - Policie České republiky. *Úvodní strana - Policie České republiky* [online]. Copyright © 2023 Policie ČR, všechna práva vyhrazena [cit. 2023-02-02]. Dostupné z: <https://www.policie.cz/clanek/posouzeni-fyzicke-zpusobilosti-uchazece.aspx>
37. TeraPlus Digitální vlhkoměr a teploměr s čidlem | TeraPlus.cz. *TeraPlus.cz* [online]. Copyright © [cit. 2023-01-03]. Dostupné z: <https://www.teraplus.cz/TeraPlus-Digitalni-vlhkomer-a-teplomer-s-cidlem-d92.htm>
38. KOVÁŘ, Jáchym. *Analýza testů fyzické způsobilosti složek IZS* [online]. Praha, 2020 [cit. 2023-05-17]. Dostupné z: <https://dspace.cuni.cz/bitstream/handle/20.500.11956/118142/120362149.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Diplomová práce. Univerzita Karlova, Fakulta tělesné výchovy a sportu. Vedoucí práce Miloš Fiala.
39. HADID, A., R. YANOVICH, T. ERLICH, G. KHOMENOK a D. S. MORAN. Effect of a personal ambient ventilation system on physiological strain during heat stress wearing a ballistic vest. *European Journal of Applied Physiology* [online]. 2008, **104**(2), 311-319 [cit. 2023-05-16]. ISSN 1439-6319. Dostupné z: doi:10.1007/s00421-008-0716-8

40. BOUSSU, Francois, Maria KULIŃSKA, Xavier LEGRAND a Arnaud RAGOT. *Customization of a lightweight ballistic vest* [online]. 2008 [cit. 2023-05-01]. Dostępne z: [https://www.researchgate.net/publication/260225018\\_Customization\\_of\\_a\\_lightweight\\_ballistic\\_vest](https://www.researchgate.net/publication/260225018_Customization_of_a_lightweight_ballistic_vest)
41. MARSZAŁEK, Anna a Magdalena MŁYNARCZYK. Physiological tests on firefighters whilst using protective clothing. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics* [online]. 2021, **27**(2), 384-392 [cit. 2023-05-16]. ISSN 1080-3548. Dostępne z: doi:10.1080/10803548.2020.1794370
42. LEE, Joo-Young, Joonhee PARK, Huiju PARK, Aitor COCA, Jung-Hyun KIM, Nigel A.S. TAYLOR, Su-Young SON a Yutaka TOCHIHARA. What do firefighters desire from the next generation of personal protective equipment? Outcomes from an international survey. *INDUSTRIAL HEALTH* [online]. 2015, **53**(5), 434-444 [cit. 2023-05-16]. ISSN 0019-8366. Dostępne z: doi:10.2486/indhealth.2015-0033
43. KIM, Do-Hee, Siyeon KIM a Joo-Young LEE. An empirical investigation of firefighting personal protective equipment and burn injuries in Korea. *Industrial Health* [online]. 2022, **60**(1), 2-15 [cit. 2023-05-16]. ISSN 0019-8366. Dostępne z: doi:10.2486/indhealth.2021-0068
44. DORMAN, Lucy E. a George HAVENITH. The effects of protective clothing on energy consumption during different activities. *European Journal of Applied Physiology* [online]. 2009, **105**(3), 463-470 [cit. 2023-05-16]. ISSN 1439-6319. Dostępne z: doi:10.1007/s00421-008-0924-2
45. DĄBROWSKA, Anna, Grażyna BARTKOWIAK a Agnieszka GRESZTA. *Systemy sygnalizacji zagrożeń do zastosowania w inteligentnej odzieży ochronnej dla strażaków* [online]. 2019 [cit. 2023-05-10]. Dostępne z: <https://www.ciop.pl/CIOPPortalWAR/file/89000/2019120693852&Materialy-informacyjne-systemy-sygnalizacji-III-N-16-A-Dabrowska.pdf>



## 10 SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Balistická vesta (vlastní zdroj).....	34
Obrázek 2 - Zásahový oděv GEPARD PREMIUM [33].....	35
Obrázek 3 Nositelný multisenzorový systém (vlastní zdroj) .....	36
Obrázek 4 Digitální vlhkoměr a teploměr [37].....	37
Obrázek 5 - Graf naměřených hodnot vlhkosti pro balistickou vestu (vlastní zdroj).....	45
Obrázek 6 - Graf naměřených hodnot teploty pro balistickou vestu (vlastní zdroj).....	45
Obrázek 7 - Graf naměřených hodnot teploty pro ochranný zásahový oblek (vlastní zdroj).....	46
Obrázek 8 - Graf naměřených hodnot vlhkosti pro ochranný zásahový oblek (vlastní zdroj).....	46
Obrázek 9 - Část grafu tepové frekvence pro Harwardský step-test (vlastní zdroj).....	68
Obrázek 10 - Část grafu tepové frekvence během pauzy po prvním cviku (vlastní zdroj).....	69
Obrázek 11 - Část grafu tepové frekvence během běhu na 1000 m (vlastní zdroj) .....	69
Obrázek 12 - Část grafu tepové frekvence během celomotorického testu (vlastní zdroj).....	70

## 11 SEZNAM POUŽITÝCH TABULEK

Tabulka 1 - Charakteristika zkoumaného souboru.....	33
Tabulka 2 - Naměřené hodnoty vlhkosti pro balistickou vestu.....	40
Tabulka 3 - Naměřené hodnoty teploty pro balistickou vestu.....	40
Tabulka 4 - Párový T-test pro vlhkost a teplotu balistické vesty .....	41
Tabulka 5- Jednovýběrový T-test s jednostrannou alternativou pro vlhkost a teplotu.....	41
Tabulka 6 - Naměřené hodnoty vlhkosti pro ochranný zásahový oblek .....	42
Tabulka 7 - Naměřené hodnoty teploty pro ochranný zásahový oblek .....	42
Tabulka 8 - Párový T-test pro vlhkost a teplotu ochranného zásahového obleku .....	43
Tabulka 9 - Jednovýběrový T-test s jednostrannou alternativou pro vlhkost a teplotu.....	44

## 12 SEZNAM PŘÍLOH

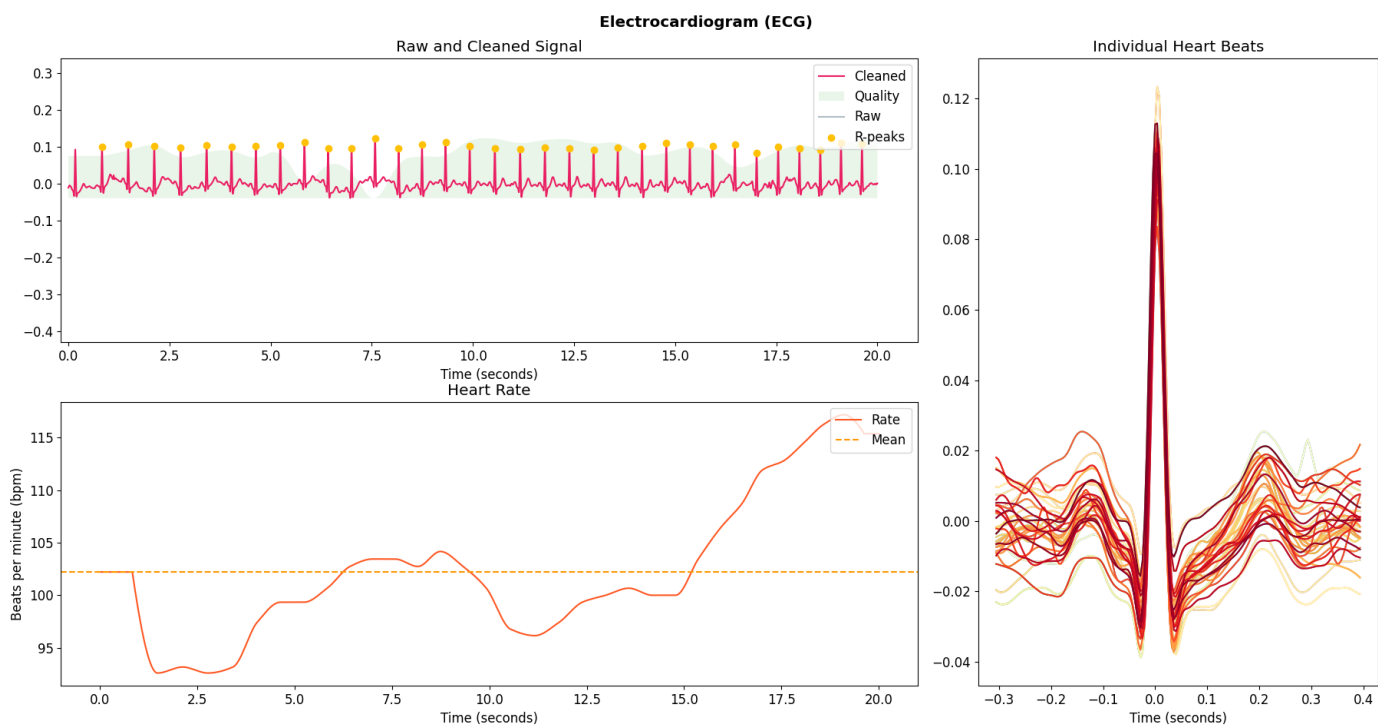
Příloha 1 - Grafy naměřené tepové frekvence .....	68
---	----

## Příloha 1 - Grafy naměřené tepové frekvence

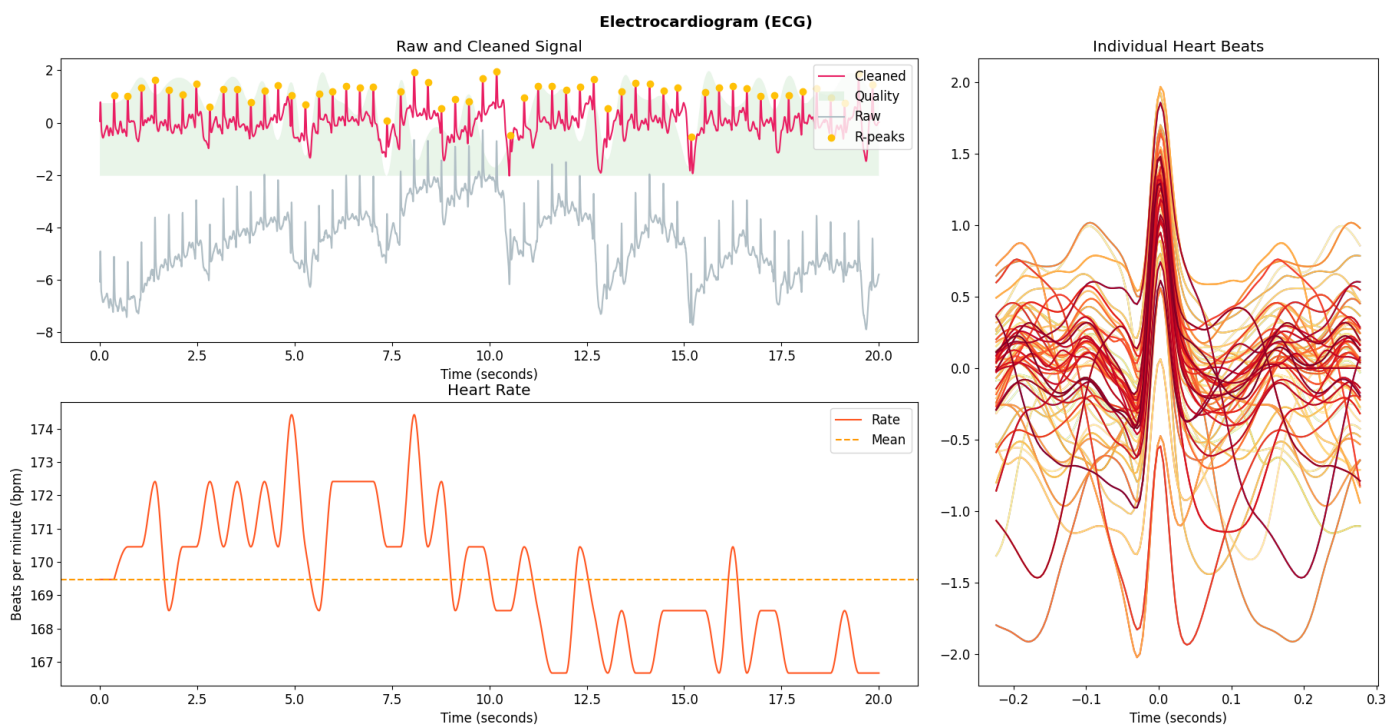
Obrázky 9, 10, 11, a 12 představují příklad srdeční aktivity během vykonávání prvního cviku, následné pauzy, druhého cviku a celomotorického testu pro balistickou vestu. Kvůli zašumění signálu nelze využít grafů pro jednotlivé cviky jako spolehlivý zdroj informací.



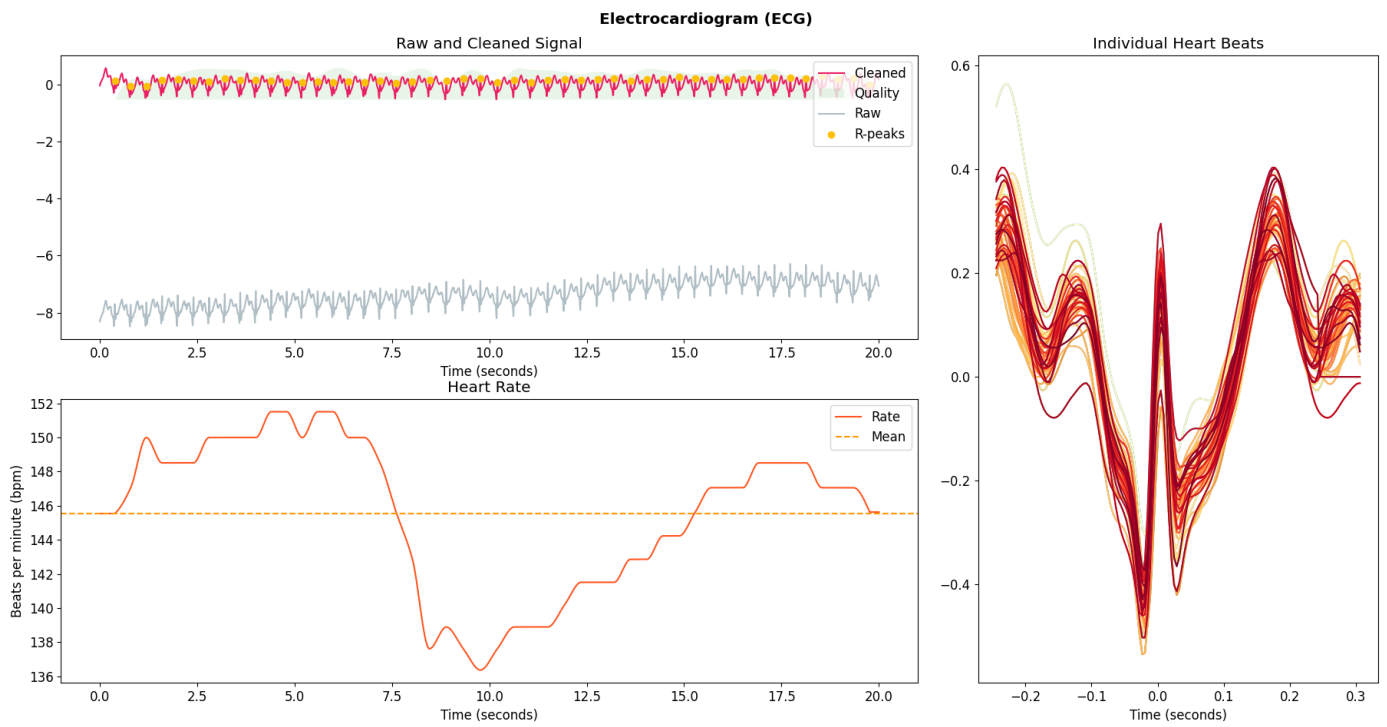
Obrázek 9 - Část grafu tepové frekvence pro Harwardský step-test (vlastní zdroj)



Obrázek 10 - Část grafu tepové frekvence během pauzy po prvním cviku (vlastní zdroj)



Obrázek 11 - Část grafu tepové frekvence během běhu na 1000 m (vlastní zdroj)



Obrázek 12 - Část grafu tepové frekvence během celomotorického testu (vlastní zdroj)