



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ v PRAZE

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

Sledování teplotní zátěže hasičů pomocí senzorů umístěných v pracovním oděvu

Monitoring the thermal strain of firefighters using sensors placed in uniform

Bakalářská práce

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

Vedoucí práce: Ing. Pavel Smrčka, Ph.D.

Daniela Vaňková

Kladno, květen 2017

Z a d á n í b a k a l á ř s k é p r á c e

Student: **Daniela Vaňková**
Obor: Plánování a řízení krizových situací
Téma: **Sledování teplotní zátěže hasičů pomocí senzorů umístěných v pracovním oděvu**
Téma anglicky: Monitoring the thermal strain of firefighters using sensors placed in uniform

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

Cílem bakalářské práce je ověření možnosti automatického vyhodnocení tepelné zátěže hasičů pomocí senzorů, které snímají povrchovou teplotu pokožky, teplotu pod pracovním oděvem a teplotu okolního prostředí.

V teoretické části bude provedena rešerše možností a metod stanovení teplotní zátěže u členů IZS.

V části praktické bude navrženo vhodné rozmístění senzorů uvnitř a vně pracovního oděvu s využitím poskytnutých technických prostředků pro telemetrický sběr dat. Budou provedeny laboratorní a poloterénní experimenty a srovnány průběhy teplot z jednotlivých senzorů při definované tepelné zátěži a v několika stupních fyzické aktivity. Získaná data budou exportována, přehledně vizualizována a budou prozkoumány možnosti vyhodnocení teplotní zátěže probanda, včetně vhodné metody stanovení individuálních bezpečnostních prahů a signalizace jejich překročení.

Seznam odborné literatury:

- [1] HAVLÍČKOVÁ, L. a kol., Fyziologie tělesné zátěže I - obecná část., ed. 2., Praha: Karolinum, 2004, 203 s., ISBN 80-7184-875-1
- [2] ČSN EN ISO 9886, Ergonomie - Hodnocení tepelné zátěže podle fyziologických měření
- [3] Podrobná konstrukčně-technologická dokumentace funkčního vzorku výcvikového modulu FlexiGuard a metodika užití systému, výzkumná zpráva, FBMI ČVUT, 2015
- [4] Česko, Zákon č. 258/2000 Sb. o ochraně veřejného zdraví v platném znění

Zadání platné do: 11.09.2018

Vedoucí: Ing. Pavel Smrčka, Ph.D.


vedoucí katedry / pracoviště


děkan

V Kladně dne 23.02.2017

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem: **Sledování teplotní zátěže hasičů pomocí senzorů umístěných v pracovním oděvu** 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).

V Kladně dne 19.05.2017

.....
podpis

Poděkování

Touto cestou bych ráda poděkovala vedoucímu mé bakalářské práce, Ing. Pavlovi Smrčkovi, Ph.D., za jeho věcné připomínky a rady důležité pro dokončení této práce. Děkuji Společnému pracovišti biomedicínského inženýrství FBMI a 1. LF UK za poskytnutí prostředků a prostor pro realizaci experimentu. Dále bych chtěla poděkovat také všem probandům experimentálního měření. A v neposlední řadě patří velké poděkování mé rodině za podporu během studií na vysoké škole.

Abstrakt

Teplotní zátěž organismu nastává vlivem dvou faktorů: vnějšího, když je člověk vystaven působení tepelné radiace nebo horkého prostředí a vnitřního z důvodu změny vnitřního prostředí organismu (fyzická aktivita, stres, nemoc). Hasič se potýká s kombinací obou faktorů. Nedávno se rozšířilo využití telemetrických systémů k detekci životních funkcí pro pacienty v domácí péči. Dnes je snaha integrovat tyto systémy do složek IZS. Pro členy HZS je to možnost kontrolovat, zdali není v ohrožení života, jelikož se často nachází v nebezpečných podmínkách. Pro měření veličin (teplota kůže, teplota a relativní vlhkost v pracovním oděvu a míra aktivity) byl použit systém FlexiGuard, který byl vyvinut na půdě Společného pracoviště biomedicínského inženýrství FBMI s 1. LF UK. Systém je zcela neinvazivní. V rámci této bakalářské práce proběhlo pilotní měření tepelné zátěže. Experiment proběhl v několika fázích. Na probanda v hasičském pracovním oděvu bylo působeno regulovaným teplem v místech umístění senzorů, následoval Harvardský StepTest, 15 minut jízdy na bicyklovém ergometru a působení regulovaným teplem na propocený pracovní oděv. Mezi jednotlivými fázemi zátěže byly klidové fáze, aby nedocházelo k stupňované zátěži. Z měření lze vidět závislost teploty pod oděvem na teplotě kůže. Ze získaných dat lze vyčíst, kdy byl hasič vystaven vnější teplotní zátěži a kdy vnitřní. Prahová hodnota pocitu nekomfortního zahřátí se u probandů snížila s promočením pracovního oděvu. Z úspěšně proběhlého experimentálního měření lze konstatovat, že sledování a vyhodnocení teplotní zátěže u hasičů pomocí telemetrických systémů je možné.

Klíčová slova

Teplotní zátěž, Hasičský záchranný sbor, telemetrický sběr dat, FlexiGuard, teplota kůže, teplota a vlhkost v pracovním oděvu.

Abstract

Thermal strain of human organism is caused by two factors: external when man is exposed to the effect of thermal radiation or hot environment and internal when a change of inner organism environment occurs (physical activity, stress, illness). Fire fighter deals with combination of both factors. Recently, telemetric systems have been used to detect life functions of patients in home care. Today, an effort is made to implement these systems to the Integrated Rescue System. For the members of the fire department it means they are able to check if their life is being threatened, because they work in dangerous conditions. FlexiGuard system was used for the measurement of quantities (temperature of skin, temperature and relative humidity inside the uniform and activity rate). This system was developed in the cooperation of Faculty of Biomedical Engineering of Czech Technical University in Prague and First Faculty of Medicine of Charles University. The system is completely non-invasive. This bachelor thesis includes pilot measurement of the thermal strain. The experiment was divided into several phases. Proband in fire-fighting equipment was exposed to regulated heat in places where the sensors were located. Harvard StepTest and 15 minutes of bicycle ergometry followed. Afterwards the sweat-drenched uniform was exposed to regulated heat. Resting phases were included to eliminate escalated strain. The measurements show the dependence of the temperature under the uniform on the skin temperature. It can be seen from the results when the fire fighter was exposed to external or internal thermal strain. Threshold of feeling of uncomfortable warming was decreased by the increase of sweat in the uniform. The successful experimental measurement shows that it is possible to monitor and assess the fire fighter's thermal strain by telemetric systems.

Keywords

Thermal strain, firefighters, telemetry, FlexiGuard, skin temperature, temperature and humidity in uniform.

Obsah

1	Úvod.....	10
2	Současný stav.....	11
2.1	Tělesná teplota.....	13
2.1.1	Faktory ovlivňující tělesnou teplotu.....	13
2.2	Teplotní pohoda.....	14
2.3	Přehřátí organismu.....	14
2.4	Termoregulace.....	15
2.4.1	Mechanismy snižování tělesné teploty.....	15
2.5	Lidská kůže.....	16
2.6	Teplotní zátěž u hasiče.....	17
2.7	Legislativa.....	17
2.7.1	ČSN EN ISO 9886 Ergonomie – Hodnocení tepelné zátěže podle fyziologických měření.....	18
2.7.2	ČSN EN ISO 7726 Ergonomie tepelného prostředí – Přístroje pro měření fyzikálních veličin.....	23
2.7.3	ČSN EN ISO 7730 Ergonomie tepelného prostředí – Analytické stanovení a interpretace tepelného komfortu pomocí výpočtu ukazatelů PMV a PPD a kritéria místního tepelného komfortu.....	24
2.8	Měření teploty.....	24
2.8.1	Kontaktní teploměry.....	25
2.8.2	Bezdotykové teploměry.....	25
2.9	Dohledové podpůrné systémy pro záchranné složky.....	25
2.9.1	LifeNet.....	25
2.9.2	FireNet.....	26
2.9.3	ProeTex.....	26
2.9.4	FlexiGuard.....	26

3	Cíl práce	29
3.1	Dílčí cíle:	29
4	Metodika	30
4.1	Popis studované skupiny	30
4.2	Použité přístroje.....	30
4.2.1	FlexiGuard.....	31
4.3	Příprava na experiment.....	33
4.4	Průběh experimentu.....	33
4.4.1	První vnější zahřívání.....	36
4.4.2	Harvardský StepTest	36
4.4.3	Bicyklový ergometr.....	37
4.4.4	Druhé vnější zahřívání	37
4.5	Zpracování naměřených dat	39
5	Výsledky	41
5.1	Řídící jednotka.....	43
5.1.1	Proband číslo 1	43
5.1.2	Proband číslo 2.....	44
5.1.3	Proband číslo 3	45
5.1.4	Proband číslo 4.....	46
5.1.5	Proband číslo 5.....	47
5.2	Senzor 3 – umístěn na zádech	49
5.2.1	Proband číslo 4.....	49
5.2.2	Proband číslo 5.....	50
5.3	Senzor 3 – umístěn na pravé loketní jamce	52
5.3.1	Proband číslo 1	52
5.3.2	Proband číslo 3	53
5.3.3	Proband číslo 4.....	54

5.3.4	Proband číslo 5	55
5.4	Senzor číslo 8 – umístěn na pravém koleni	57
5.4.1	Proband číslo 1	57
5.4.2	Proband číslo 2	58
5.4.3	Proband číslo 3	59
5.4.4	Proband číslo 4	60
5.4.5	Proband číslo 5	61
6	Diskuze	63
7	Závěr	68
8	Seznam použitých zkratek	69
9	Seznam použitých symbolů	70
10	Seznam použité literatury	71
11	Seznam použitých obrázků	74
12	Seznamu použitých tabulek	78
13	Seznam Příloh	80

1 ÚVOD

Teplotní zátěž nastává při pobytu v horkých podmínkách či při těžké fyzické případně i psychické zátěži, nemoci a stresu. Tím rozdělujeme teplotní zátěž na vnější a vnitřní. U členů HZS je typická kombinace obou faktorů. Sledování teplotní zátěže u hasičů je v poslední době hodně diskutované téma. Lidský život je nejvyšší hodnota a detekování jeho ohrožení je smysluplné. Přehřátí organismu má za následek narušení jeho funkce. Hasiči se pohybují v horkém prostředí a zároveň vykonávají práci. Při zkolabování hasiče během zásahu se stává sám hasič obětí, potřebuje pomoc a zároveň nemůže pokračovat v záchranných pracích. Při zkonstruování funkčního snímání a vyhodnocení teplotní zátěže by se riziko ohrožení života zmírnilo a tím by si hasič mohl vrátit ze zásahu včas do bezpečí.

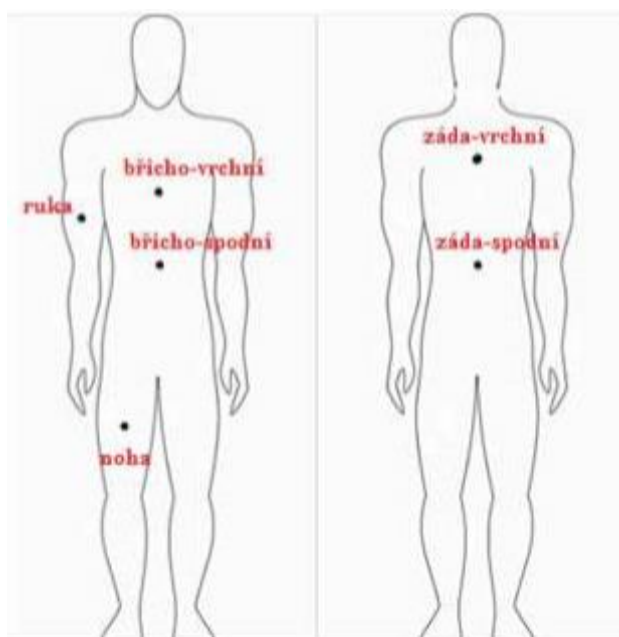
V současné době se rozšířily osobní telemetrické systémy, které dokáží detekovat více veličin na sledovaných osobách. Právě takový systém – FlexiGuard – bude využit pro detekci teploty kůže, teploty prostředí pod pracovním oděvem, vlhkost a míru pohybu. Telemetrické systémy se již v praxi využívají u záchranných složek (hasičů, pilotů či v armádě ČR), ale také u seniorů, pacientů či sportovců.

Práce se drží zadání a je v ní navrženo umístění a upevnění senzorů a následná signalizace nebezpečné hodnoty.

2 SOUČASNÝ STAV

V této kapitole jsou nejdříve popsány publikace a měření, které se týkají tématu teplotní zátěže a ze kterých bylo nejvíce čerpáno pro navrhnutí metodiky praktické části. Další zdroje jsou uvedeny v seznamu použité literatury. Dále se zabývá popisem tematiky teplotní zátěže.

MIČUNEK, Jakub [1] se ve své diplomové práci zabývá především porovnáním různých typů ochranných obleků u hasičů. V rámci praktické části se zaměřuje na jejich funkčnost. Ke stanovení závěrů využívá 6 termočlánků pro měření teploty na těle hasiče. Teplota z termočlánků byla odečítána každých 30 s. Rozmístění termočlánku lze vidět na obrázku. Dále se zajímá o váhu, která byla naměřena na probandovi před a po experimentu s oblekem a bez něho. Experimentu se zúčastnili 3 probandi [1].



Obrázek 1: Rozmístění termočlánků dle Jakuba Mičunka [1]

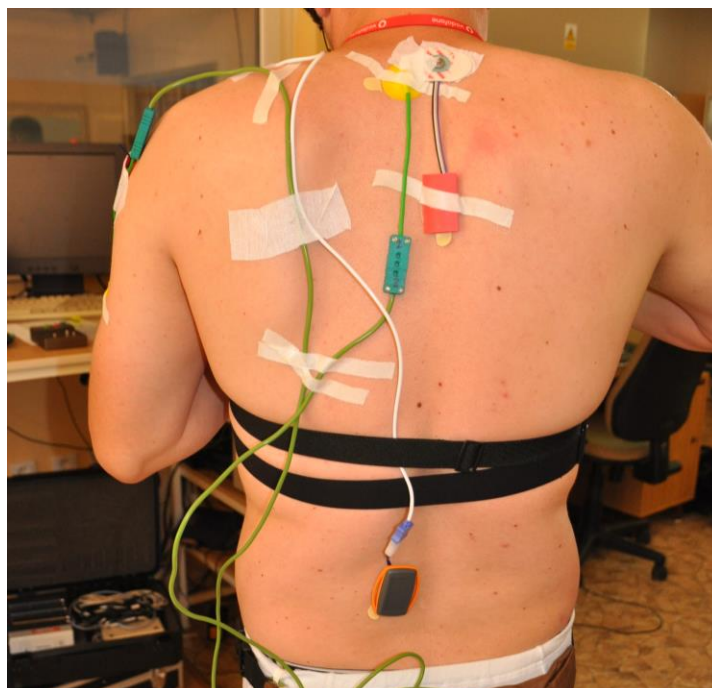
LJUBICIC, Anita a et al. v článku Response to thermal and physical strain during flashover training in Croatian firefighters. *Applied Ergonomics* se zabývá bojem s ohněm ve stádiu flashover a reakcí probandů z Chorvatska na danou situaci. V experimentu se zabývali tepovou frekvencí, BMI a teplotou snímanou z ušního bubínku. Měření proběhlo před začátkem výkonu a následně po každém vystavení horkým teplotám. Teplota se měřila

pomocí teploměru na bázi infračerveného záření. Měřené veličiny v závislosti na čase měly strmější růst u dobrovolníků než u profesionálních hasičů [2].

Státní ústav jaderné, chemické a biologické ochrany již 20 let studuje teplotní zátěž u hasičů v uniformě a chemickém obleku. Má 3 standardizovaná místa pro měření teploty. Umístění lze vidět na obrázku 2 a 3. V několika pilotních měřeních byl rovněž použit systém FlexiGuard a zároveň kabelové provedení senzorů od SÚJCHBO (na obrázku žluté sondy) [3].



Obrázek 2: Rozmístění senzorů podle SÚJCHBO. Paže a levý prsní sval. Archiv autorů FlexiGuard.



Obrázek 3: Rozmístění senzorů podle SÚJCHBO. Záda blízko krku. Archiv autorů FlexiGuard.

Další experimentální měření probíhala mimo jiné ve spolupráci s HZS Středočeského kraje. V polygonu ve Zbirohu probíhal hasičský výcvik. Zde se testovaly nody systému FlexiGuard a jejich funkčnost. Rozmístění senzorů a výcvik v polygonu lze vidět na obrázku 4 [3].



Obrázek 4: Vlevo rozmístění senzorů během výcviku ve Zbirohu. Archiv autorů FlexiGuard.

2.1 Tělesná teplota

Teplota lidského těla se liší dle části, kde je měřena. Závisí na stavu a aktivitě organismu, teplotě okolí či oblečení jedince. Teplota tělesného jádra je konstantní a málo ovlivnitelná okolím. Hodnoty se pohybují mezi 39–40 °C v břišní dutině. Běžným měřením nelze zjistit teplotu tělesného jádra, ale změny lze sledovat při rektálním měření, kde je teplota o 0,5 °C vyšší než v axile. Teplota tělní slupky je variabilnější než teplota jádra a měříme ji nejčastěji v axile. Příčiny ovlivnění jsou různé, ale nejzásadnější je teplota okolního prostředí [4] [5].

2.1.1 Faktory ovlivňující tělesnou teplotu

- Denní doba – teplota se během dne mění. Nejnižší teplota lidského organismu je ve 4 hodiny ráno a nejvyšší v pozdním odpoledni.
- Aktivita organismu – jakmile se aktivita organismu zvýší (například při příjmu potravy), stoupne také teplota tělesné slupky.
- Sekrece hormonů – teplotu dokáže zvýšit například vyplavení progesteronu, tyroxin, růstový hormon, testosteron, adrenalin a noradrenalin.
- Teplota okolního prostředí.

- Tvorba a výdej tepla – když je tvorba tepla v organismu vyšší než výdej, teplota se zvyšuje.
- Svalové kontrakce – při zvýšené svalové práci, se zvýší svalový tonus a nastane svalový třes [4].

2.2 Teplotní pohoda

Teplotní pohoda jádra se pohybuje v rozmezí 37,0–38,5 °C. Jakmile teplota přesáhne danou hranici v jakékoliv části organismu, nastávají obranné mechanismy pro snížení teploty v intervalu teplotní pohody jádra. Centrum korigování termoregulace se nachází v hypotalamu. Detekci správné teploty zajišťují tepelné senzory – tzv. termoreceptory. Centrální termoreceptory se nacházejí v samotném hypotalamu. Hluboké periferní senzory jsou uloženy v míše, břišní dutině a v okolí velkých žil. Povrchové periferní senzory jsou v kůži [5].

2.3 Přehřátí organismu

Hypertermie vzniká při těžké fyzické zátěži, v horkých podmínkách či v kombinaci obou. Přehřátí organismu nastává, když mechanismy, určené k vyrovnávání tepla v těle, nefungují nebo vlivem nepříznivých podmínek nestíhají odvádět přebytečné teplo z těla. Metabolické procesy těla využijí 20–25 % energie. Zbytek energie se přemění na teplo. Při práci svalů funguje stejný poměr využití energie, proto se tělo přehřívá. Čím více je jedinec trénovaný, tím více je zvyklý na pocit zahřátí. Tělo však není schopno reagovat stejně flexibilně. Při velké námaze, může teplota stoupnout z 37 °C na 40 °C. Když se teplo nestihne odpařit – například v horkém a vlhkém klimatu, které je typické pro prostředí hasičů – může teplota vystoupat na 42 °C a více stupňů. Tato teplota se stává kritickou pro lidský organismus, a především destruktivní pro buňky mozku. Nastává zde denaturace bílkovin. První příznaky jsou: bolest hlavy, zmatenost, závrať, zvracení, vyčerpání až bezvědomí. Jakmile dojde k přehřátí organismu, termoregulační procesy se zpomalují, až zastavují. Selhává přirozené snižování teploty těla. K následnému snižování teploty těla je zapotřebí externích mechanismů – studené zábaly, ochlazování vzduchem či vodou [5].

2.4 Termoregulace

Termoregulace je proces, při kterém se tělo brání ztrátám tepla nebo odvádí teplo, aby nedošlo k přehřátí organismu. Nejúčinnější obrana je mechanická – oblékání, svlékání, ukrytí do zástěrky a do budov [4].

2.4.1 Mechanismy snižování tělesné teploty

Nejjednodušší vypořádání těla s vysokou teplotou je snížení metabolismu – omezení příjmu potravy a tělesné aktivity. Tělo se samo vyrovnává s přehřátím pomocí vazodilatace cév v kůži. Dokáže zvýšit přestup tepla z jádra do slupky těla až osmkrát. Výdej tepla ze slupky umožňuje několik způsobů [4] [5]:

- Sálání – vydávání tepla v podobě infračerveného záření. Pokud je teplota organismu vyšší než teplota okolí, tělo vydává více tepla, než přijímá.
- Vedení – vedením odvádí tělo jen malé množství tepla. Když je tělo v kontaktu s prostředím dochází k výměně tepla – například při kontaktu se stolem, židlí či vzduchem.
- Proudění – výměna tepla pomocí vzduchu. Nejdříve se ohřeje tenká vrstvička vzduchu v bezprostřední blízkosti těla a následkem proudění se vymění ohřátý vzduch se studeným.
- Odpařování – odpařování je jediný způsob termoregulace lidského organismu, kdy se dokáže samotné tělo vyrovnat s teplejším prostředím. Spočívá v procesu vytváření potu na pokožce a následné přeměně tekutiny na plynné skupenství. Při odpařování odebrává tělu určité množství tepla. V závislosti na tomto procesu se ochladí krev v podkoží, ta následně proudí do hlubších tkání a tím ochlazuje tělesné jádro. Odpařování potu závisí na více faktorech. Jeden z hlavních faktorů je vlhkost vzduchu. Čím více je vzduch nasycen vodní parou, tím se pot odpařuje pomaleji. Při vlhkosti 90 % se odpařování zcela zastaví. Tekutina se odpařuje z povrchu těla, plic a sliznic. Během normálního dne se takto odpaří 450–800 ml tekutiny [4] [5].

2.5 Lidská kůže

V praktické části bakalářské práce bude sledována teplota kůže na několika předem definovaných bodech. Kůže je největší plošný lidský orgán. Plocha kůže je cca 1,7 m² a váží v průměru 4,5 kg. Lidská kůže se skládá z povrchové pokožky, škáry a podkožního vaziva [6].

Pokožka neboli epidermis se vrství z plochých buněk. Na povrchu buňky vždy rohovatí a odumírají. Pokožka obsahuje bílkoviny, které jsou nerozpustné ve vodě. Proto při zahřívání kůže, může dojít k denaturaci bílkovin i zde. Poškození bílkovin na pokožce není tolik nebezpečně jako v hypotalamu. Vazivové buňky pokožky obsahuje melanin, který má za následek pigmentaci [6].

Škára se skládá z vazivových buněk a elastických vláken. Ve škáře se nacházejí krevní a mízní cévy, proto je kůže dobře prokrvena. Škára prostupuje pokožkou pomocí výběžků, ve kterých jsou nervová zakončení pro vnímání bolesti, tepla a chladu. Výběžky jsou viditelné například na bříškách prstů, kde tvoří ucelené kresby, známé jako otisky prstů. Výběžky jsou jedinečné pro každého jedince. Vždy, když jsou odstraněny, dorostou do stejných tvarů. Aby se struktura změnila nebo zničila, je třeba odstranit škáru. Ve škáře se nacházejí mazové žlázy a potní žlázy. Mazové žlázy nalezneme u vlasu a chlupu. Maz se dostává úzkým kanálem na pokožku a vytváří tenký filtr na povrchu. Potní žlázy jsou uloženy v kůži nesouměrně. V kůži se nachází cca 2,5 milionu žlázek. Nejvíce jsou rozloženy v oblasti dlaní, čela a ploskách nohou. Potní žlázy nejsou na okraji rtů. Pot se začíná tvořit při teplotě kůže 34,5°C a člověk ho vyprodukuje během dne od 1 do 10 a více litrů. Pocení závisí na teplotě prostředí, vlhkosti ovzduší, příjmu tekutin i na psychickém stavu člověka [6].

Podkožní vazivo se skládá z kolagenních a elastických vláken s vazivovými buňkami. Podkožní vazivo umožňuje posouvání kůže [6].

Funkce kůže lze rozdělit do 3 charakteristik.

- Ochrana těla – kůže tvoří obal lidského těla a chrání organismus před mechanickým i chemickým poškozením. Díky svým vlastnostem, pevnost, pružnost a tažnost, je odolná vůči tlaku, tahu, určitým chemikáliím i UV zářením.
- Smysly – jelikož je v kůži zabudováno velké množství receptorů, je člověk schopen vnímat tepelné a hmatavé počitky.
- Udržování tělesné teploty – kůže je prokrvena, proto dokáže tělo oteplovat. Na druhou stranu je kůže dostatečně tlustá, aby dokázala odizolovat vyšší tepelné záření [6].

2.6 Teplotní zátěž u hasiče

Teplotní zátěž lze rozdělit na vnější a vnitřní. Vnější tepelná zátěž vzniká působením tepelné radiace z plamene a horní vrstvy kouře, nebo vysokou teplotou prostředí, ve kterém se hasič pohybuje. Vnitřní tepelná zátěž vzniká změnou vnitřního prostředí organismu. Zde je nejčastější svalová aktivita, stres a nemoc. [7]

Vnější tepelná zátěž má za následek zahřívání pokožky. Jakmile pokožka dosáhne kritické teploty, překračuje se práh bolesti. V takovém okamžiku člověk dokáže na bolest reagovat uhnutím vystavené části těla. Když dochází k působení tepla nadále, dojde k popálenině. K poškození kůže vzniká při přímém či dostatečně dlouhém působení tepla nad prahovou hodnotu. Rozlišujeme tři stupně popálenin [8]:

- I. stupeň – Zarudnutí, otok, bolest na povrchu kůže, vzniká při teplotě 48°C.
- II. stupeň – kůže je narušena, bolest, tvorba puchýřů, otok i okolní tkáně, možnost vstupu infekce do rány.
- III. stupeň – odumřená kůže v celé tloušťce, zuhelnatění, potřeba autotransplantace. Vzniká při působení tepla nad 55 °C [8].

2.7 Legislativa

Pro Bakalářskou práci je stěžejní držet se norem, které se týkají průběhu, měření a vyhodnocování dat. Pro účely praktické části je důležitá rešerše 3 norem: ČSN EN ISO 9886 Ergonomie – Hodnocení tepelné zátěže podle fyziologických měření; ČSN EN ISO 7726 Ergonomie tepelného prostředí – Přístroje pro měření fyzikálních veličin; ČSN EN ISO 7730 Ergonomie tepelného prostředí – Analytické stanovení a interpretace tepelného

komfortu pomocí výpočtu ukazatelů PMV a PPD a kritéria místního tepelného komfortu. Tyto normy jsou podrobněji popsány v následujících kapitolách.

2.7.1 ČSN EN ISO 9886 Ergonomie – Hodnocení tepelné zátěže podle fyziologických měření

Nejvýznamnější normou pro bakalářskou práci je mezinárodní norma ČSN EN ISO 9886. Jedná se o dokument, který se věnuje posuzování tepelného stresu a zátěže. Popisuje způsob reagování lidského organismu na dané tepelné prostředí. Reakce se odlišují dle klimatických podmínek a způsobu ochrany [9].

Předmětem normy jsou metody měření a interpretace fyziologických parametrů. Popisuje následné proměnné:

- nitrotělní teplota;
- teplota kůže;
- srdeční frekvence;
- ztráta tělesné hmotnosti [9].

Norma doporučuje používat návrhy v ní popsané ohledně zkoušek v laboratoři. Přímé měření na jedincích lze provádět jen za dvou podmínek [9]:

- Proband musí být plně informovaný o nepohodlí a potencionálním riziku, které při testování může nastat a musí dobrovolně souhlasit s měřením.
- Měření nesmí způsobovat riziko, které je nepřijatelné dle etických zásad [9].

2.7.1.1 Měření nitrotělní teploty (t_{cr})

Tepelné nitro jsou tkáně umístěné hluboko v těle tak, aby nebyly ovlivněny tepelným spádem skrz povrchovou tkáň. Rozdíly teplot v těle jsou ovlivněny procesy výměny látek, koncentrací cévních sítí a změnami krevního toku. Pro měření nitrotělní teploty jsou různá měřítka, jelikož ji nelze jednoduše změřit. Měření se provádí na různých místech v těle: v jícnu, rektu, gastrointestinálním traktu, ústech, na ušním bubínku, ve zvukovodu, či se měří teplota moči [9].

Měření nitrotělní teploty se používá pro určení průměrné tělesné teploty či k vyjádření teploty krve zásobující mozek – tím lze zjistit schopnost termoregulace mezimozku [9].

2.7.1.1.1 Teplota v jícnu (t_{es})

Tepelné čidlo se zavádí do nižší části jícnu, které je v blízkosti ouška levé srdeční předsíně a zadního povrchu sestupné aorty. Zde čidlo snímá teplotu tepenné krve. Když je teplo zavedeno do horní části jícnu, ovlivňuje teplotu výměna plynů dýchacího traktu, a naopak při příliš nízkém zavedení je měřena teplota žaludku. Teplotu v jícnu ovlivňují polykané sliny [9].

Metoda měření t_{es} nejlépe reflektuje změny teploty krve proudící ze srdce, tzn. i teplotu krve, která zásobuje hypothalamus – centrum termoregulace [9].

2.7.1.1.2 Rektální teplota (t_{re})

Tepelné čidlo je zavedeno do rekta, které je protkáno abdominálními tkáněmi s nízkou vodivostí. Rektální teplota je nezávislá na okolí. Když je jedinec v klidu, je t_{re} konstantní. Mění se při vykonávání práce. Faktor ovlivňující měření je především způsob aktivity těla. Při svalové aktivitě rukou, je t_{re} nižší než t_{cr} a naopak, když je aktivita vykonávána především nohama [9].

2.7.1.1.3 Nitrobřišní teplota (t_{ab})

Princip metody je, že osoba spolkne teplotní čidlo, které následně prochází střevním traktem. Při měření t_{ab} je potřeba kontinuálně sledovat lokaci čidla, jelikož se teplota odvíjí dle pozice v těle – pokud je v blízkosti velkých cév, u orgánů s vysokou výměnou látek, či u břišní stěny. Čím blíže bude čidlo postupovat směrem k rektu, tím se bude teplota blížit t_{re} . Měření je relativně neovlivněné okolím až na sálavé teplo působící na břicho [9].

2.7.1.1.4 Orální teplota (t_{or})

Tepelné čidlo je umístěné v podjazykovém prostoru, které těsně přiléhá na tepenné větve jazykové tepny. Měření teploty v této části dává výsledky o teplotě krve ovlivňující centrální

termoregulaci. Měřená teplota zde může být ovlivněna mnoha faktory: otevřená nebo zavřená ústa, teplotní podmínky působící na tvář, sliny [9].

2.7.1.1.5 Teplota ušního bubínku (t_{ty})

Ušní bubínek je zásoben částečně vnitřní i vnější krkavicí. Metoda měření t_{ty} se používá, protože bazální část mozku je také zásobena vnitřní krkavicí. U měření t_{ty} je důležité sledovat změny teplot více než teplotu samotnou, jelikož tepelná setrvačnost ušního bubínku je velice nízká [9].

Kontakt senzoru s ušním bubínkem je bolestivý, proto se čidlo umísťuje k němu co nejbližší a teplota membrány se měří pomocí infračerveného záření [9].

2.7.1.1.6 Teplota zvukovodu (t_{ac})

Senzor je umístěn u ušního bubínku na straně zvukovodu. Snímá tak teplotu krve vnější krkavice. Výsledná teplota je ovlivněna teplotou tepenné krve v srdci a kožním krevním tokem kolem ucha. Metoda měření t_{ac} je velice podobná měření t_{ty} . Výsledkem je kombinace teplot nitra a kůže [9].

2.7.1.1.7 Teplota moči (t_{ur})

Metoda měření teploty moči se považuje za postup měření t_{cr} , jelikož se moč nachází v močovém měchýři, tzn. dutině břišní. Měření se provádí pomocí čidla umístěného ve sběrném zařízení. Teplota moči závisí na množství moči v měchýři [9].

2.7.1.2 Měření teploty kůže (t_{sk})

Teplota povrchu těla se mění a záleží na místě, kde je měřena. Teplota kůže neoblečené osoby se dá měřit pomocí infračerveného čidla. Zde lze zjistit střední a lokální teplotu kůže. Když je osoba oblečená, provádí se měření pomocí senzorů umístěných na kůži [9].

Teplota povrchu těla je ovlivněná [9]:

- tepelnými výměnami – sáláním, vedením, prouděním a vypařováním z povrchu kůže;

- změnami povrchového krevního toku a teploty tepenné krve, která zásobuje části těla.

Pro správné měření při zátěžových testech je potřeba sledovat více bodů na těle. Ve studeném prostředí je nezbytné sledovat teplotu na prstech na nohou i na ruce z bezpečnostních důvodů. Existuje zde riziko omrznutí. V horkých podmínkách je typické stejné rozprostření teploty po těle kromě případů asymetrického sálání [9].

2.7.1.3 Srdeční frekvence (*HR*)

Další metodou posuzování tepelné zátěže je sledování srdeční frekvence probanda. Srdeční frekvence je definovaná jako:

$$HR = \frac{n}{t}, \quad [9]$$

kde n je počet srdečních pulsů za časový interval a t je čas [9].

Zvýšení *HR* úzce souvisí se zvýšením teploty nitra. Tepelná srdeční reaktivita je vyjádřena v pulsech za minutu a za stupeň Celsia. Vyjadřuje zvýšení *HR* při zvýšení teploty nitra o 1 °C [9].

2.7.1.4 Ztráta tělesné hmotnosti

Celková ztráta tělesné hmotnosti se počítá rozdílem hmotnosti před zkoumaným obdobím a hmotností po něm. [9]

2.7.1.5 Příloha B.2

Pro potřeby bakalářské práce je důležitá příloha B.2, která se zabývá měřením teploty kůže [9].

Teplotu kůže lze měřit pomocí zařízení s nekontaktním infračerveným zářením. Tato metoda je nepraktická, jelikož proband musí být bez oblečení [9].

Norma určuje, že měření teploty kůže musí být prováděno za určitých podmínek [9]:

- čidla musí mít přesnost $\pm 0,1$ °C,

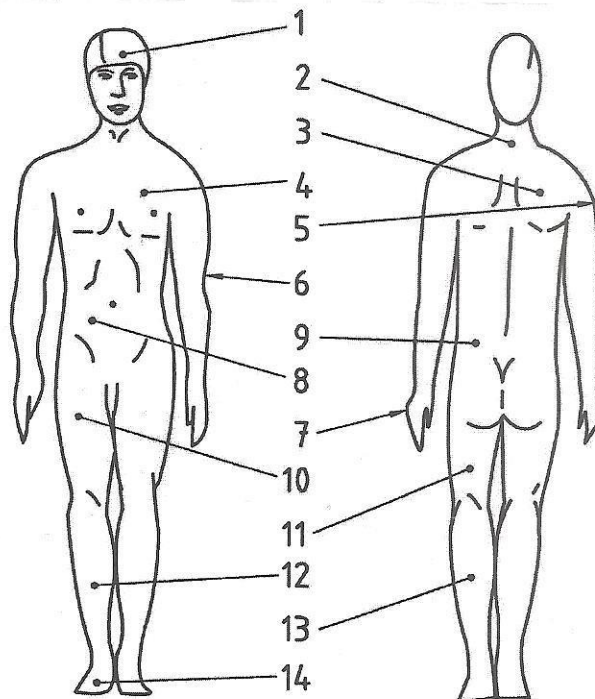
- rozsah 25–40 °C,
- malá tepelná kapacita
- čas odezvy v 90 % menší než 30 sekund [9].

U kontaktních měření, jako jsou v praktické části bakalářské práce, musí být senzor plochý. Povrch čidla, který není v kontaktu s pokožkou musí být tepelně izolován. Je doporučeno v co nejmenší možné míře používat fixační pásky, které mohou ovlivnit procesy výměny tepla. Jestliže je použití takovýchto pomůcek nezbytné, musí být následně provedeny korekce výsledků [9].

Norma dále navrhuje 3 schémata pro měření. Schémata se liší počtem kontrolních bodů – 4, 8 a 14 – přičemž norma navrhuje i váhové koeficienty [9].

Tabulka 1: Návrh umístění senzorů dle normy ČSN EN ISO 9886 [9]

	Místa	Váhový koeficient		
		4 body	8 bodů	14 bodů
1	Čelo		0,07	1/14
2	Krk	0,28		1/14
3	Pravá lopatka	0,28	0,175	1/14
4	Levý vrchní hrudník		0,175	1/14
5	Pravá paže na vyšším místě		0,07	1/14
6	Levá paže na nižším místě		0,07	1/14
7	Levá ruka	0,16	0,05	1/14
8	Pravá část břicha			1/14
9	Levý paraverbral			1/14
10	Přední část pravého stehna		0,19	1/14
11	Zadní část levého stehna			1/14
12	Pravá holeně	0,28		1/14
13	Levé lýtko		0,2	1/14
14	Pravý nárt			1/14



Obrázek 5: Znáornění senzorů popsané v Tabulce 1 dle normy ČSN EN ISO 9886, [8]

Příloha normy C.3 se zabývá limitními hodnotami teploty kůže. Je zde definováno, že v horkém prostředí je možná maximální teplota kůže 43 °C [9].

2.7.2 ČSN EN ISO 7726 Ergonomie tepelného prostředí – Přístroje pro měření fyzikálních veličin

ČSN EN ISO 7726 je mezinárodní norma zabývající se charakteristikami přístrojů pro měření fyzikálních veličin, které popisují prostředí. Předmětem normy jsou také metody pro měření a popis fyzikálních veličin. Cílem normy je standardizovat proces sběru a zpracovávání informací [10].

Norma je referenční při stanovení technických podmínek, které musí dodržet výrobci a uživatelé přístrojů, které měří fyzikální veličiny prostředí. Dále je referenční při stanovení písemných kontraktů mezi danými smluvními stranami, které se týkají měření veličin. Norma se zabývá působením horkých, mírných komfortních a chladných prostředí na člověka [10].

Dokument obsahuje normu komfortu, normu zátěže a fyzikální veličiny charakterizující prostředí – tzn. základní fyzikální veličiny a odvozené fyzikální veličiny [10].

2.7.3 ČSN EN ISO 7730 Ergonomie tepelného prostředí – Analytické stanovení a interpretace tepelného komfortu pomocí výpočtu ukazatelů PMV a PPD a kritéria místního tepelného komfortu

ČSN EN ISO 7730 jedna z řady mezinárodních norem, která se zabývá hodnocením nerovnoměrné tepelné zátěže. Norma prezentuje metody předpovídání celkového tepelného pocitu a stupně diskomfortu. Tepelný pocit člověka závisí na celkovém stavu těla, na národnosti člověka a zeměpisných rozdílech, kde jedinec žije. Faktor ovlivňující rovnováhu je teplota vzduchu, rychlost proudění vzduchu a vlhkost [11].

Dále se norma zabývá předpovědí středního tepelného pocitu (*PMV*). Subjektivní pocit probandů posuzují podle sedmistupňové škály (+3 horko, +2 teplo, +1 mírné teplo, 0 neutrální, -1 mírné chladno, -2 chladno, -3 zima). Metoda se používá pro určení kritérií komfortu a zjištění úrovně přijatelnosti [11].

Předpověď procentuálního podílu nespokojených (*PPD*) se zabývá určením tepelného diskomfortu u velké skupiny lidí. Jde o kvantitativní předpověď a vyjadřuje se v procentech. Dle normy je člověk nespokojen s tepelným prostředím, když zvolí na stupnici možnosti horko, teplo, chladno, zima [11].

PMV a *PPD* popisují tepelný diskomfort člověka jako celku. Pocit nepříjemného tepla může být způsoben oteplováním či ochlazováním lokální části těla. Nejběžnějším faktorem diskomfortu je průvan či rozdílná teplota mezi kotníky a hlavou [11].

2.8 Měření teploty

Měření tělesné teploty pro medicínské účely lze provádět různorodými přístroji na mnoha místech těla. Existují přístroje, které jsou dostupné pro každého. Téměř každý člověk vlastní teploměr pro měření teploty těla. Možnosti, kde lze teplotu těla měřit, byly popsány v kapitole 2.5.1 ČSN EN ISO 9886 Ergonomie – Hodnocení tepelné zátěže podle fyziologických měření.

2.8.1 Kontaktní teploměry

- Kapalinové – Kapalinové teploměry pro měření těla jsou známé hlavně díky rtuťovému teploměru (dnes je zakázaný, rtuť je nahrazena jinou kapalinou). Je sestaven z rtuťového rezervoáru s kapilárou a ze stupnice. Funguje na principu změny objemu při změně teploty. Maximální teploměr je teploměr, který změří nejvyšší teplotu, na ní se ukazatel zastaví. Pro nové měření se musí rtuť sklepat z rezervoáru.
- Elektrické teploměry – Jsou založeny na změně odporu (odporový teploměr s termistorem) nebo napětí (polovodičový teploměr s termistorem).
- Chemické teploměry – Teploměry signalizují teplotu změnou barvy. Dle informací tyto teploměry mají srovnatelnou přesnost jako ostatní teploměry. Vyráběním chemických teploměrů se zabývá například značka NexTemp [12].

2.8.2 Bezdotykové teploměry

Měřit teplotu těla jedince můžeme i bez kontaktu díky tepelného záření probanda. Každé těleso, které má více než 0 K vyzařuje elektromagnetické záření. To se využívá při měření teploměry na bázi infračerveného záření. Lze takto měřit teplotu povrchu těla, když se senzor zamíří na holou kůži. Výhodou bezkontaktních teploměrů je jejich hygieničnost a rychlost odezvy. Obvykle se měří teplota na čele, v oblasti spánku a v axile [13] [12].

2.9 Dohledové podpůrné systémy pro záchranné složky

Pro účely monitorování složek integrovaného záchranného systému při zásahu při mimořádné situaci je realizováno několik výzkumů. Systémy se zaměřují na sledování fyziologických parametrů (teplota kůže, tepová frekvence, dechová frekvence, pohyb jedince). Na základě těchto proměnných se často počítá aktuální a celkový energetický výdej [14].

2.9.1 LifeNet

Jedná se o systém, který snímá lokalizaci osob v určitém prostoru. Tento systém lze přirovnat k vodícímu lanu, které záchranné složky již používají. Lano je vodící jednotkou. Hasič, který jde do zakouřeného prostředí, má na sobě upevněné lano. Díky lano se dokáže navrátit stejnou cestou i bez vizuální orientace. Lano se také využívá ke spojení dvou hasičů.

Připoutané osoby mají pojem o vzájemné poloze. Systém LifeNet funguje pomocí ultrazvukových vysílačů. Jsou rozhazovány majáky, které slouží jako přístupové body. Na botě hasiče je upevněno zařízení schopné lokalizace. Lze dálkově zjistit, kde se jaký člen záchranného týmu nachází. Dokonce je možné implementovat miniaturní monitor do dýchací masky hasiče. Ten vidí, pokud je kolega v jeho blízkosti. Na botu lze dále umístit i teplený senzor či akcelerometr [15] [16].

2.9.2 FireNet

Firenet je bezdrátové rozhraní, které bylo vyvinuto přímo pro potřeby hasičských záchranných složek. Síť je typu Ad-Hoc, která dokáže sebe sama rekonfigurovat a přenášet data na dané místo. Na síť lze připojit několik senzorů včetně tepelného či lokalizačního. Například je umístěn na vozidle hasičského záchranného sboru a tím pomocí GPS signálu lze sledovat pohyb vozidla v terénu. Data, která jsou získána, jsou přenášena do zobrazovacího monitoru veliteli zásahu či pomocí internetu na základnu IZS. Po skončení zásahu, je možné zpětně dohledat a analyzovat zásah [17].

2.9.3 ProeTex

Jedná se o projekt podporován z 6. rámcového programu EU. Projekt se zabývá vývojem chytrých textilií pro účely záchranných složek. Je zkonstruováno tričko, které měří srdeční tep, dechovou frekvenci, a teplo, bundu s tepelným senzorem, akcelerometrem, jednotkou pro zpracování dat, textilní anténou, ohebnou baterií a sluchovým a vizuálním alarmem a body se senzorem plynů. Ne všechny přístroje jsou možné realizovat v jednom pracovním oděvu. Dle obrázků a dostupných informací je systém zabezpečen kabelově, což má výhodu v nižší spotřebě energie, jelikož má mnohem menší ztrátovost než systém bezdrátový. Naopak je systém více namáhán a tím náchylnější k únavovému poškození materiálu. Textilní senzory dokáží snímat základní životní funkce, aktivitu jedince a fyziologické parametry [18] [19].

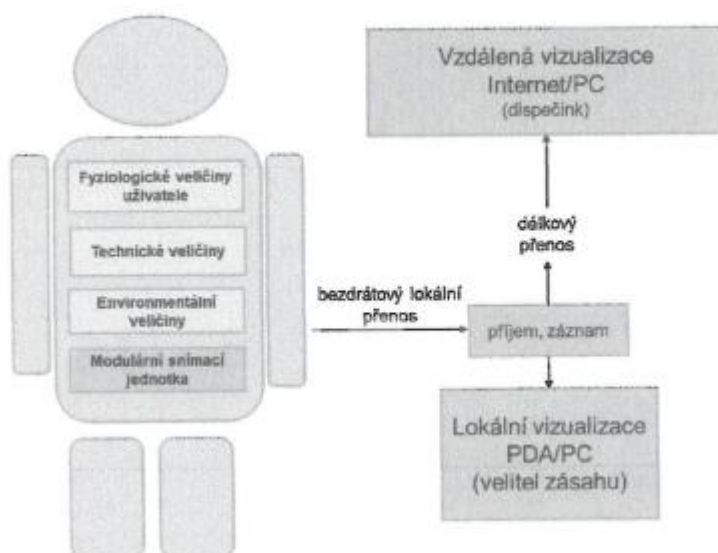
2.9.4 FlexiGuard

FlexiGuard je dohledový systém pro podporu zásahu a výcviku složek IZS. Jedná se o projekt probíhající na půdě Fakulty biomedicínského inženýrství ČVUT v Praze. Je zřízen vědecký tým, který se zabývá vývojem zodolněného telemetrického zařízení. Toto zařízení

je schopno snímat několik proměnných (tep, tlak, kožní odpor, teplota) v reálném čase a skrze ně automaticky detekovat a signalizovat rizikové stavy (fyzické vyčerpání, nadměrný stres, přehřátí, apod.). Při vyhodnocení je využíváno i detekce vnějších parametrů – teplota prostředí, kouř, ionizující záření [20].

Aby byla metoda co nejúčinnější, musí být hodnocení přizpůsobeno daným složkám IZS a druhům jejich úkonů [21].

Mechanismus dohledového systému je realizován bezdrátově a využívá senzory umístěné na těle a v jeho blízkosti – např. v obleku nebo na kůži. Data, která jsou naměřena pomocí senzorů, jsou digitalizována a bezdrátově přenesena do modulární snímací jednotky dle obrázku [17].



Obrázek 6: Princip fungování dohledového systému FlexiGuard. [17]

Systém je založen na BAN (Body Area Network). Síť senzorů je rozmístěna na těle jedinců, kterou lze zabudovat do pracovního oděvu. Data se shlukují v modulární řídicí snímací jednotce každého hasiče a dále jsou odesílána do lokální vizualizační jednotky. Data jsou také možné ukládat na záznamové medium (Micro SD). [22]

Projekt zahrnuje také vývoje hardwarových platform, které umožňují flexibilitu systému. Sestavené jednotky umožňují sledovat základní fyziologické a environmentální parametry v reálném čase, které jsou [17]:

- tepová frekvence – díky které lze odhadnout energetický výdej;
- aktigram měřený 3osým akcelerometrem – slouží jako ukazatel aktivity jedince v prostoru (dokáže rozeznat klid, chůzi, plazení a běh);
- tělesná teplota – zahrnuje několik jednotek, které dokáží snímat teplotu na více místech zároveň (hardware, který je stěžejní pro praktickou část);
- vzdušná vlhkost – ta je zakomponovaná v jednotkách pro měření tělesné teploty [17].

Pro snímání parametrů byla vyvinuta sada příslušenství, která se skládá z [17]:

- modulární snímací řídicí jednotky – snímá data z daných senzorů a vysílá je telemetricky do vizualizační jednotky;
- přijímač dat – přijímá data z modulárních snímacích řídicích jednotek, je připojený USB kabelem k PC nebo tabletu;
- hrudní pás – má zabudován senzor pro měření tepové frekvence;
- čidla pro určité specifické snímání – v našem případě pro snímání teploty kůže a vlhkosti pod oděvem [17].

Dále jsou v systému FlexiGuard připraveny moduly pro měření saturace krve kyslíkem, měření krevního tlaku, kožního odporu či dechové frekvence. Specifické sady se budou vyvíjet dle potřeb Hasičského záchranného sboru ČR či poptávky. Lze například dodat i snímač vybraných plynů či monitorování expozice oxidem uhelnatým. [20]

Pro potřeby bakalářské práce je použita modulární snímací řídicí jednotka a 8 jednotlivých senzorů (nodů) pro snímání specifických dat.

3 CÍL PRÁCE

Cílem bakalářské práce je ověření možnosti automatického vyhodnocení tepelné zátěže hasičů pomocí senzorů, které snímají teplotu kůže a teplo a vlhkost pod oděvem. Myšlenka této práce vznikla při vyhodnocování dat měření hasičů, kteří prováděli výcvik v zátěžovém speciálním polygonu ve Zbirohu. Tam se tepelná zátěž sledovala jako podružná veličina. Cílem bakalářské práce bude nasimulovat fyzickou a teplotní zátěž v laboratorních podmínkách. V teoretické části budou formou rešerše uceleně zpracovány informace, které se týkají fyzické zátěže, termoregulace a možností a metod stanovení teplotní zátěže.

V části praktické bude navrženo experimentální měření hodnot u pěti probandů v hasičském pracovním oděvu. Bude navrženo rozmístění a upevnění senzorů na těle probanda. Dále bude navrženo měření veličin, které s teplotní zátěží mohou souviset. Z experimentálních zkoušek budou data exportována a vizualizována pomocí vhodných programových prostředků. Data budou sloužit ke stanovení možnosti vyhodnocení teplotní zátěže probanda. Bude navržena metoda ke stanovení individuálních bezpečnostních prahů. Dále bude navržena možnost signalizace při překročení prahu.

Experiment provedený v rámci bakalářské práce je dílčí částí v projektu FBMI ČVUT. Tento projekt směřuje k ochraně jednotek hasičského záchranného sboru při jejich náročné a nebezpečné práci. Měl by najít novou cestu komplexního sledování hasiče. Data by se následně měla telemetricky přenášet do monitorovací jednotky, vyhodnocovat a vizualizovat v jednoduchém a uživatelsky přívětivém softwaru, který může využít velitel zásahu.

3.1 Dílčí cíle:

- návrh rozmístění senzorů
- navrhnout a zkonstruovat upevňovací zařízení pro senzory
- navrhnout průběh experimentu
- provést experimentální měření
- zpracovat data v programových prostředcích
- vyhodnotit data
- stanovit metodu určení prahu teplotního diskomfortu
- navrhnout možnost signalizace při překročení prahu

4 METODIKA

Praktická část bakalářské práce je pilotní studie charakteru prospektivní intervenční studie s osobami. Experimenty podobného charakteru lze realizovat v terénních podmínkách, kde se snímají a vyhodnocují data při hasičském výcviku nebo v laboratoři, kde lze nasimulovat podmínky pro přesnější kontrolu průběhu. Experiment bakalářské práce byl uskutečněn v laboratoři Společného pracoviště biomedicínského inženýrství FBMI a 1. LF UK.

Průběh experimentu byl schválen odbornou etickou komisí Fakulty biomedicínského inženýrství ČVUT. V Příloze 1 lze vidět rozhodnutí odborné komise. Syllabus pro etickou komisi viz Příloha 2.

4.1 Popis studované skupiny

Experiment probíhal na lidských dobrovolnících, jelikož součástí výzkumu je subjektivní pocit a zároveň nedochází k téměř žádným rizikům pro lidský organismus. Experiment byl prováděn na vybraných dobrovolnících, zejména z řad studentů a pracovníků FBMI. Jelikož je projekt cílen na vývoj systému pro automatické vyhodnocení teplotní zátěže u hasičů a ve výjezdových jednotkách HZS ČR jsou pouze muži, bude studovaná skupina obsahovat muže v rozmezí 20-40 let. Věková skupina je vybírána dle nejčastějšího stáří ve výjezdových jednotkách.

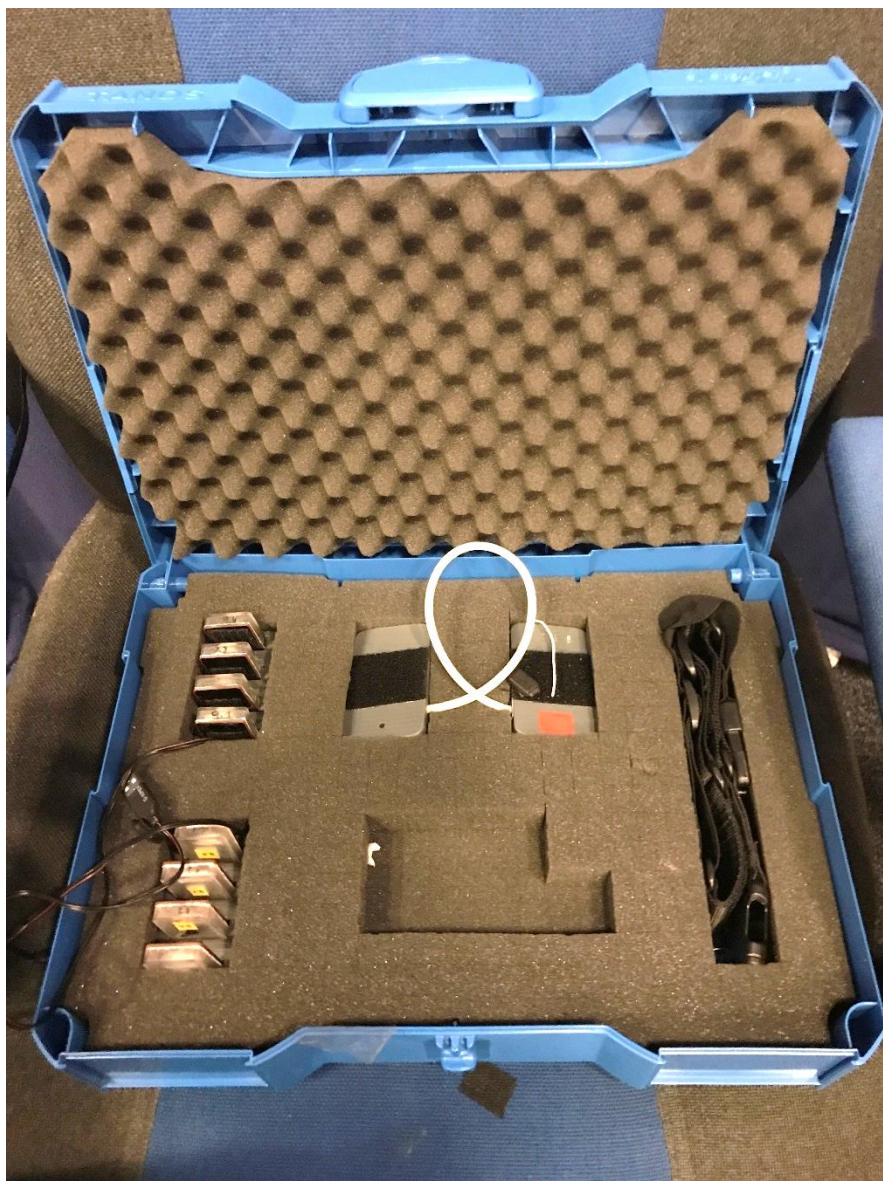
Experimentu se zúčastnili pouze osoby, které netrpí nemocí pohybového ústrojí, nemocemi dýchacího ústrojí a osoby bez kardiovaskulární choroby. Proband stvrdil svůj zdravotní stav podpisem v informovaném souhlasu, který je k nahlédnutí v Příloze 3. Experimentu se zúčastnilo 5 probandů.

4.2 Použité přístroje

Pro měření probandů byla využita specifická přístrojová technika, která je v souladu s normami a zákony pro experiment teplotní zátěže. V následujících kapitolách jsou popsány parametry využitých přístrojů a systémů.

4.2.1 FlexiGuard

Jedná se o systém, který byl obecně popsán v kapitole 2.7.4 Flexiguard. Přesněji byla použita centrální řídicí jednotka, jednotka pro měření tepové frekvence a senzory pro snímání teploty a vlhkosti. Data ze senzorů byla přenášena do přijímací řídicí jednotky a v reálném čase reflektována v PC. Aktuální provedení systému, se kterým bylo pracováno, lze vidět na obrázku 7:



Obrázek 7: Senzory použité pro měření. Vlevo 8 senzorů pro místní snímání teploty, vlhkosti a míry aktivity. Uprostřed centrální jednotka pro měření teploty, vlhkosti, tepové frekvence a akcelometr a řídicí centrální jednotka pro přijímání a odesílání dat s anténou; Vpravo hrudní pás. Vlastní tvorba.

K upevnění senzorů byly zkonstruovány pásy, které se skládají ze statických popruhů, variabilní měkké gumy a suchého zipu. Sensory na teplotu jsou upevnitelné pomocí odnímatelného suchého zipu pro jednodušší manipulaci. 3 pásy byly zkušební a pro upevnění ostatních 5 senzorů byla použita lékařská páska. Použité upevňovacích popruhů lze vidět na obrázku 9. Řídící jednotka byla upevněna pomocí hrudního pásu, který je již standardizován v systému FlexiGuard.

Řídící jednotka je vybavena bezdrátovým rozhraním pro komunikaci s nody a PC, Li-Pol akumulátorem, mini SD kartou, zdírkou na mini USB konektor, akcelerometrem MMA8452QT, teplotním čidlem TMP112 a vlhkostním čidlem SHT21. [3]

Pro snímání teploty na více částech těla bylo použito 8 jednotek sensorových nod. Sensorový nod dokáže měřit 3 veličiny současně. V provedení, které bylo použito v experimentu v bakalářské práci, se jednalo o měření relativní vlhkosti, teploty a agregovanou pohybovou aktivitu. Nody jsou vlhkotěsné, obsahují integrovaný akumulátor typu Li-Pol (3,7 V, 150 mAh), senzor pro vlhkost a teplotu pod oděvem (MEMS čidlo Sensirion SHT21), senzor pro povrchovou teplotu těla (Texas Instruments TMP112) a zařízení pro měření aktivity z dat získaných MEM akcelerometrem (Freescale MMA8452). K nodům patří základna, která slouží k dobíjení a zároveň k přepnutí jednotek do stavu pohotovosti. Při odejmutí ze základny se jednotky zapnou a jsou připravené pro měření. [3]

Pro další získávání dat byly použity následující přístroje:

- **Pulsní oxymetr** – Nonin Vantage 9590 ONYX. Jedná se o citlivý pulzní oxymetr.
- **Osobní váha** – Professor DV1507. Osobní váha s vážicí plochou 30,2–30,2 cm a nosností 150 kg. Přesnost vážení je 100 g.
- **Tonometr** – Fora Active P30 Plus. Tlakoměr pro měření systolického a diastolického tlaku krve a tepové frekvence. K měření slouží nafukovací manžeta.
- **Teploměr** – Fluke 52 II Dual je teploměr s dvěma vstupy. Přesnost měření je 0,05 %.
- **Fén** – Bosch PHP 3305 fén o příkonu 1600 W. Experimentálně naměřená teplota byla 80 °C.
- **Technické fén** - Horkovzdušná pistole, Bosch GHG 660 LCD Professional o příkonu 2300 W. Pracovní teplota je 50–660 °C.

4.3 Příprava na experiment

Před samotným měřením byly všechny přístroje prověřeny. Postupně byla ověřena funkčnost jednotlivých senzorů a jejich datových spojení s řídicí jednotkou FlexiGuard. Na senzory bylo postupně působeno fénem o teplotě 80 °C a následně byla data vyhodnocena v programu MATLAB. Dále byla zkontrolována funkčnost popruhů a proces telemetrického i kabelového přenosu dat do PC.

Pro účely experimentu byla sestavena karta probanda (viz Příloha 4) pro rychlé a účinné zapisování dat. Probandovi bylo přiděleno identifikační číslo (ID) a do kolonek byly zaznamenávány následující data:

- osobní údaje: jméno, příjmení, pohlaví, věk, datum narození, bydliště a kontakt;
- naměřené údaje před začátkem měření: výška, váha, saturace krve, teplota v axile, tepová frekvence, tlak;
- zdravotní stav: konzumace alkoholu, kouření, četnost a čas posledního kouření, nemoci respirační a kardiovaskulární soustavy, nemoci pohybového ústrojí a zlomeniny, trénovanost probanda;
- potvrzení: datum, místo a podpis.

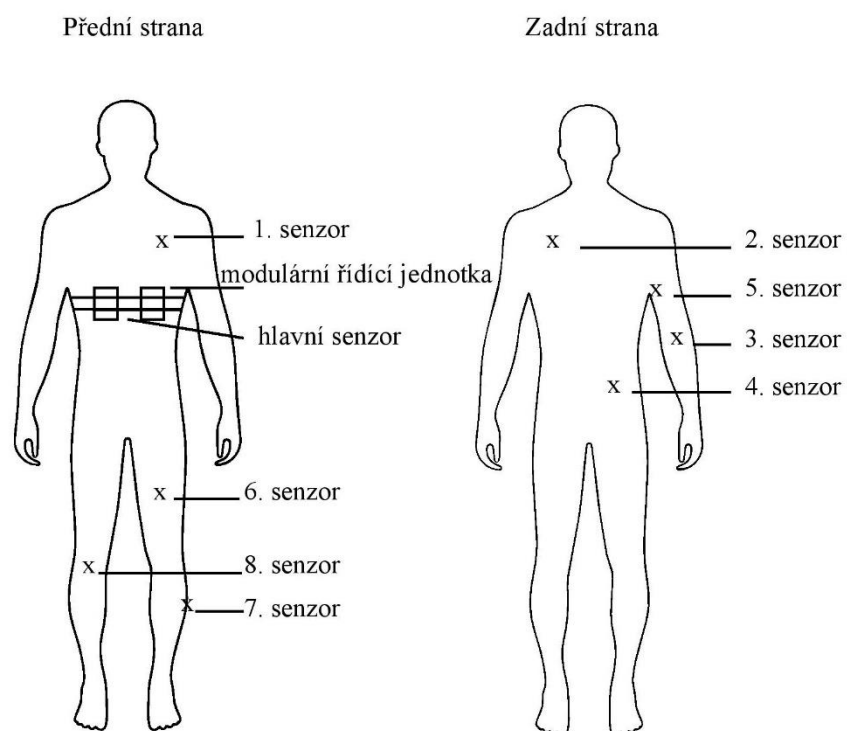
V protokolu je zaznamenáno, že proband podepsal informovaný souhlas, bez kterého měření nemohlo proběhnout. Byla zapsána teplota v místnosti. Dále je do protokolu zapisován průběh experimentu, kde se klade důraz na čas a na parametry, které jsou nezbytné pro vyhodnocení průběhu měření. Protokol je rozdělen na 3 části: Vnější zahřívání, StepTest a bicyklový ergometr. Kartu probanda lze nalézt v Příloze 4.

4.4 Průběh experimentu

Po příchodu probanda do laboratorní místnosti dostal proband základní informace, jak experiment bude probíhat. Následně mu byl předložen k přečtení a podepsání informovaný souhlas, kde se dozvěděl podrobnosti o následně realizovaném experimentu. Podpisem stvrdil, že smí experiment absolvovat a byl poučen, že může experiment kdykoliv bez udání důvodu ukončit. Následně bylo na probanda nainstalováno 8 senzorů a řídicí jednotka. Aby mohly být umístěny senzory, byl proband vyzván k vysvlečení do spodního prádla.

Na začátku byly umístěny senzory na holou kůži probanda na předem definovaná místa. Nákres lze vidět na obrázku 8. Fotografie umístění senzorů viz obrázek 9.

- Řídící jednotka byla upevněna na hrudník pomocí popruhu v místech mečovitého výběžku sternu. Popruh má dva úchyty na zařízení, vpravo se nachází odesílací jednotka a vlevo senzor pro měření teploty a tepové frekvence. Toto umístění je již standardizované a zavedené při využívání FlexiGuard systému.
- 1. senzor teploty a vlhkosti byl umístěn na hrudník ventrálně na levý prsní sval pomocí lékařské pásky.
- 2. senzor teploty a vlhkosti byl umístěn na hrudník distálně nad levou lopatku pomocí lékařské pásky. Senzor se nacházel ve stejné výšce i pozici jako senzor 1.
- 3. senzor teploty a vlhkosti byl umístěn pod pravý loket distálně pomocí lékařské pásky.
- 4. senzor teploty a vlhkosti byl umístěn na pravou dolní část zad distálně ve výšce bederních obratlů pomocí lékařské pásky
- 5. senzor teploty a vlhkosti byl umístěn distálně na pravém nadloktí pomocí popruhu ve vzdálenosti $\frac{1}{3}$ délky od ramenního po loketní kloub. Měřeno distálně od ramenního kloubu.
- 6. senzor teploty a vlhkosti byl situován na levém stehnu ventrálně pomocí popruhu ve vzdálenosti $\frac{1}{2}$ délky od kyčelního po kolenní kloub. Měřeno distálně od kyčelního kloubu.
- 7. senzor teploty a vlhkosti byl upevněn na levé holeni laterálně pomocí popruhu ve vzdálenosti $\frac{1}{2}$ délky od kolenního kloubu ke kotníku. Měřeno distálně od kolenního kloubu.
- 8. senzor teploty a vlhkosti byl umístěn pod pravým kolenem ventrálně v podkolenní jamce.



Obrázek 8: Schéma umístění senzorů. Vlastní tvorba.



Obrázek 9: Fotografie umístění senzorů: vlevo přední strana, vpravo zadní strana. Vlastní tvorba.

Proband si následně oblékl tričko a kalhoty pracovního oděvu. Byl usazen na židli za účelem absolvování první klidové fáze a proběhlo vyplnění dotazníku v kartě probanda. Probandovi byla změřena teplota v axile, tlak a nasycení krve kyslíkem. Senzory měly dost času se ustálit na teplotě kůže. Během klidové části byl názorně ukázán StepTest, aby proband věděl, jak probíhá. Klidová část trvala 5-10 minut. Na konci klidové části byl proband vyzván k oblečení kabátu.

4.4.1 První vnější zahřívání

Během měření na prvním probandovi byla použita expozice vnějšího tepla pomocí fěnu v místech umístěných senzorů. Při použití fěnu s teplotou 80 °C nebyl zjištěn signifikantní nárůst teploty v pracovním oděvu. V dalším průběhu byl tudíž použit technický fén – horkovzdušnou pistolí. Na technickém fěnu byla nastavena teplota 350 °C. U posledního – pátého – probanda se teplota horkého vzduchu pokusně zvýšila na 500 °C. Bylo sledováno, jak na vnější působení teplotou reaguje teplota pod pracovním oděvem a teplota pokožky. Při působení regulovanou teplotou na pracovní oděv bylo komunikováno s probandem. Ten jakýkoliv pocit nastupujícího tepelného diskomfortu oznámil a působení tepla na danou část bylo ukončeno. Byly takhle oteplovány 4 lokace v místě upevnění senzorů. Působení tepla na senzory probíhalo v následujícím pořadí: hrudník v oblasti hrudního pásu, podkolenní jamka, loket a záda nad lopatkou. Po dokončení oteplování si proband sundal hasičský kabát a byl mu změřen tlak, tepová frekvence a saturace krve kyslíkem. Proband měl kabát sundaný po celou dobu klidové části, která trvala 5-10 minut. Klidová část nastala, aby proband vychladnul.

4.4.2 Harvardský StepTest

Druhá část experimentu proběhla pomocí standardizovaného harvardského StepTestu. Proband stoupal na stupínek 45 cm vysoký v intervalu 30 výstupů za minutu bez opory rukou po dobu 3-5 minut. Interval 5 minut byl realizován u prvního probanda. Při zjištění přílišné náročnosti úkonu, byl časový interval snížen na 3 minuty. K určení rytmu kroku byl zapnutý metronom. Interval byl nastaven na 2 údery za sekundu. Jeden zvuk znamenal jeden krok tzn. 1 sekundu trval výstup na stupínek a jednu sekundu sestup. Tento test je náročný a má za následek zrychlení tepu za velmi krátkou chvíli. Po skončení aktivity si proband sundal kabát a byla mu změřena tepová frekvence 3 krát v intervalu 75 sekund, tlak 2 krát v rozestupu 150 s. Po ukončení měření nastala další klidová fáze pro uklidnění organismu. Kdyby se

přistoupilo rovnou k dalšímu měření, nastala by nechtěná stupňovaná zátěž. Provedení StepTestu lze vidět na obrázku 10 vlevo.

4.4.3 Bicyklový ergometr

Třetí část experimentu probíhala pomocí bicyklového ergometru. Proband si oblékl kabát a usadil se na bicyklový ergometr. Ten započal odpočet až v době, kdy se proband rozjel. Na bicyklovém ergometru bylo vytvořeno individuální nastavení připraveno pro tento experiment: výkon začínal na hodnotě 60 W; v intervalu jedné minuty se hodnota výkonu zvýšila o 10 W. Hodnota se ustálila po 7 minutách na hodnotě výkonu 130 W, která zůstala až do konce. Během jízdy nebylo potřeba dodržovat otáčky, protože ergometr vždy zvýšil zátěž, když proband zpomalil. Jízda na bicyklovém ergometru trvala 15 minut. Po ukončení jízdy si proband sundal hasičský kabát, posadil se na židli a byl mu změřen tlak, tep a saturace krve kyslíkem. Nastala další klidová fáze pro vychladnutí. Trvala 5-10 minut dle pocitu probanda. Fotografie viz obrázek 10 vpravo.

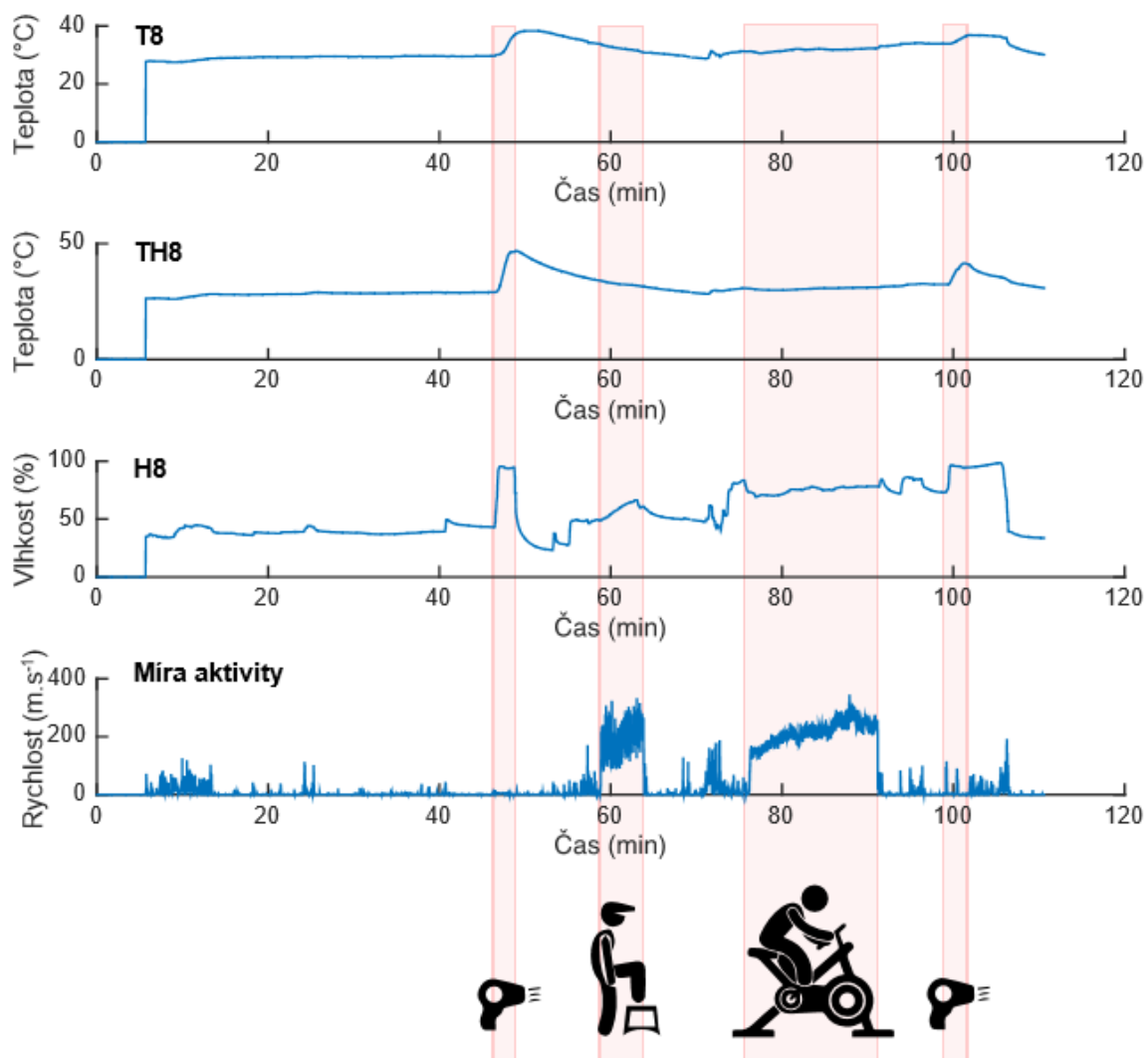


Obrázek 10: Vlevo StepTest; vpravo jízda na bicyklovém ergometru. Vlastní tvorba

4.4.4 Druhé vnější zahřívání

Na pracovní oděv probanda bylo opět působeno horkovzdušnou pistolí o teplotě 350/500 °C ve stejných místech a ve stejném pořadí jako při první části experimentu. Proband

opět hodnotil subjektivní pocit tepla a jakmile bylo teplo nekomfortní, řekl stop a oteplování bylo ukončeno. Následně proběhla poslední klidová fáze. Celý proces průběhu experimentu je znázorněný na obrázku 11.



Obrázek 11: Schéma průběhu experimentu. Ukázka naměřených veličin ze senzoru 8, který se nachází pod kolenem. Veličiny: teplota kůže (T8), teplota v pracovním oděvu (TH8), vlhkost v pracovním oděvu (H8), míra aktivity. Vlastní tvorba.

Po zahřívání si proband sundal pracovní oděv a tričko a byl zvážen na váze. Byly z něho odinstalovány senzory a řídicí jednotka, ze které byla data přenesena pomocí USB kabelu do počítače. Proband odešel.

4.5 Zpracování naměřených dat

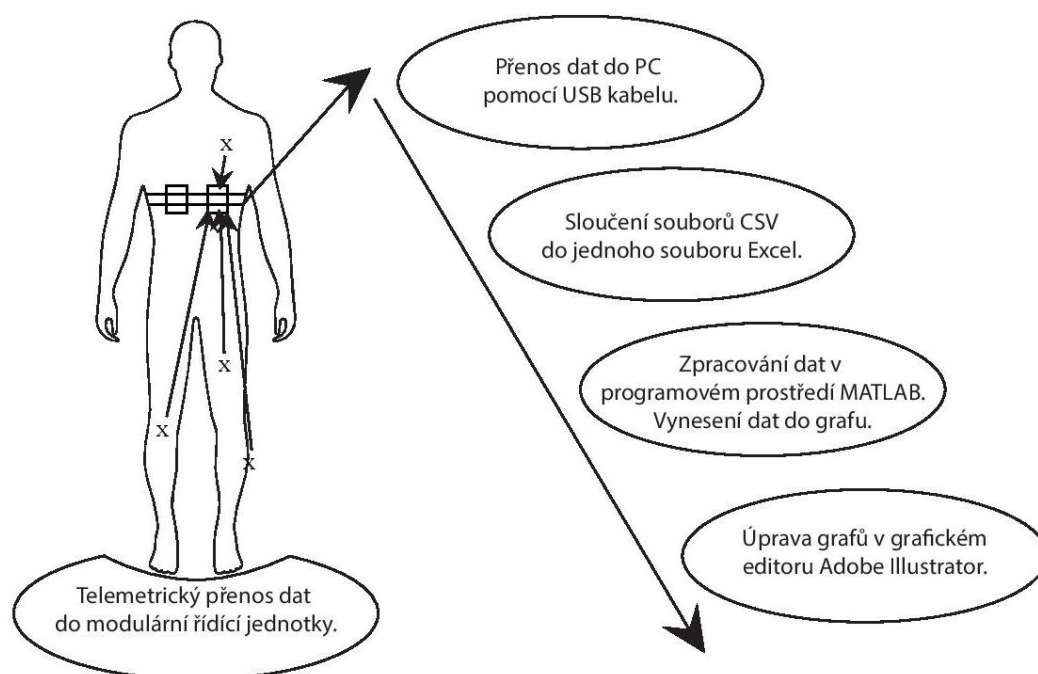
Naměřená data ze systému FlexiGuard se ukládala na paměťovou kartu v řídicí jednotce, ze které se pomocí USB kabelu přenesla do počítače. Mezi jednotlivými probandy byla data z řídicí jednotky vždy smazána, aby nedošlo k nechtěné záměně. Měřená data na hrudním pásu byla přenášena online a vizualizována v reálném čase. Online data se používala jen pro informační účely v průběhu měření probanda. Data na řídicí jednotce se ukládají do formátu CSV, který lze předzpracovat v programu MS EXCEL (Microsoft Corporation, Redmond, Washington, USA). Z jednoho měření vzniklo více souborů, které bylo potřeba sloučit do jednoho dokumentu. Jakmile byly výsledky sloučeny, byla potřebná data importována do programového prostředí MATLAB (The MathWorks, Natick, USA), kde byla dále zpracována.

Protože bylo při experimentu použito 8 sensorových nodů, byly vzhledem k použité technologii XBee na mezi přenosových možností. XBee je z principu funkce kolizní protokol optimalizovaný na extrémně malou spotřebu elektrické energie a na nízké datové toky. Z tohoto důvodu byla surová data zarušená vlivem nasycení datového kanálu. Čím méně senzorů je připojeno telemetricky k řídicí jednotce, tím jsou data méně zarušená. 8 senzorů je na pomezí funkčnosti. Vyhlazení dat bylo provedeno pomocí mediánového filtru řádu 150. Kód lze vidět v příloze na přiloženém DVD.

System zároveň měřil další hodnoty, jako je tepová frekvence, datum, čas atd. Pro potřeby bakalářské práce byly použity záznamy o teplotě na kůži (T), teplotě v pracovním oděvu (TH), vlhkosti (H) a míry aktivity (MAX, MAY, MAZ, X, Y, Z). Grafy lze vidět v kapitole 5. Pro vizualizaci byla data od všech probandů vynesena do grafů k následnému posouzení. Pro grafickou úpravu grafů byl použit editor pro práci s vektorovou grafikou Adobe Illustrator (Adobe Systems, California, USA). V grafickém prostředí Illustrator byly grafy upraveny pro lepší čtení. Byly odstraněny přebytečné linky. Jelikož se přesné časy započetí jednotlivých fází experimentu zapisovaly do protokolu experimentu (součást karty probanda), byly vyneseny časové značky do grafů, které jsou použity v kapitole 5 Výsledky. Data ze senzorů, které byly vystaveny vnějšímu oteplování, byla následně tabulárně zpracována. Surová data vygenerovaná z programového prostředí MATLAB jsou vidět na přiloženém CD. Schéma popisující zpracování dat viz Obrázek 12.

Data zapsaná akcelerometrem fungují na bázi měření dynamického zrychlení. V zařízení je aktigram měřený 3osým akcelerometrem, který udává informaci o zrychlení. Systém FlexiGuard zpracovává data tak, že zapisuje pouze rychlé pohyby a pomalé zanedbává, dále se hodnoty převedou do absolutní hodnoty, integrují v čase a vznikne záznam rychlosti. Signál se zapisuje do 3 vektorů, ze kterého následně lze vypočítat vztahem $v = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}$, kde v je výsledný vektor průměrné rychlosti. Pracuje se s dobou integrace 1 s.

Schémata byla vytvořena v programu Illustrator.



Obrázek 12: Schéma přenosu a následné zpracování dat v programech. Vlastní tvorba.

5 VÝSLEDKY

Experimentální měření proběhlo dle popisu průběhu experimentu v podkapitole 4.4. Experimentu se zúčastnilo 5 probandů mužského pohlaví ve věku 21–32 let bez nemoci pohybové, kardiovaskulární nebo dechové soustavy. Žádný z probandů nebyl kuřák.

V tabulce 2–6 jsou zaznamenána data naměřená data z experimentu, která byla měřena mimo systém FlexiGuard. Měřená data byla zapisována do karty probanda. Proband je zapsán pod individuálním číslem (ID)

V podkapitolách 5.1–5.4 se nacházejí grafy a tabulky naměřených dat. Měření, během kterých senzory nefungovaly celou dobu, jsou v přílohách na CD.

Tabulka 2: Naměřená data při první klidové fázi: nasycení krve kyslíkem (SpO_2), teplota v axile (t), tepová frekvence (HR), tlak (TK).

ID probanda	1	2	3	4	5
SpO_2	98	98	97	99	96
t (°C)	36,1	36,1	37,0	36,6	37,0
HR (min^{-1})	70	74	72	63	74
TK (mmHg)	132/81	134/83	145/97	125/71	135/98

Tabulka 3: Naměřená data po zahřívání technickým fěnem: tepová frekvence (HR), tlak (TK), nasycení krve kyslíkem (SpO_2).

ID probanda	1	2	3	4	5
HR (min^{-1})	75	79	68	60	78
TK (mmHg)	127/98	135/91	142/87	111/67	127/85
SpO_2	98	98	98	95	96

Tabulka 4: Naměřená data po Harvardském StepTestu: tepová frekvence bezprostředně po ukončení StepTestu (HR_1), tepová frekvence po 75 s (HR_2), tepová frekvence po 150 s (HR_3), tlak bezprostředně po ukončení StepTestu (TK_1), tlak po 150 s po ukončení StepTestu (TK_2), nasycení krve kyslíkem (SpO_2).

ID probanda	1	2	3	4	5
HR_1 (min^{-1})	125	132	159	140	164
HR_2 (min^{-1})	105	109	135	99	115
HR_3 (min^{-1})	102	105	114	82	89
TK_1 (mmHg)	166/103	162/96	155/110	155/75	144/99
TK_2 (mmHg)	131/81	127/91	134/66	115/80	137/87
SpO_2	97	97	96	97	96

Tabulka 5: Naměřená data po jízdě na bicyklovém ergometru: tepová frekvence (HR), tlak (TK), nasycení krve kyslíkem (SpO_2).

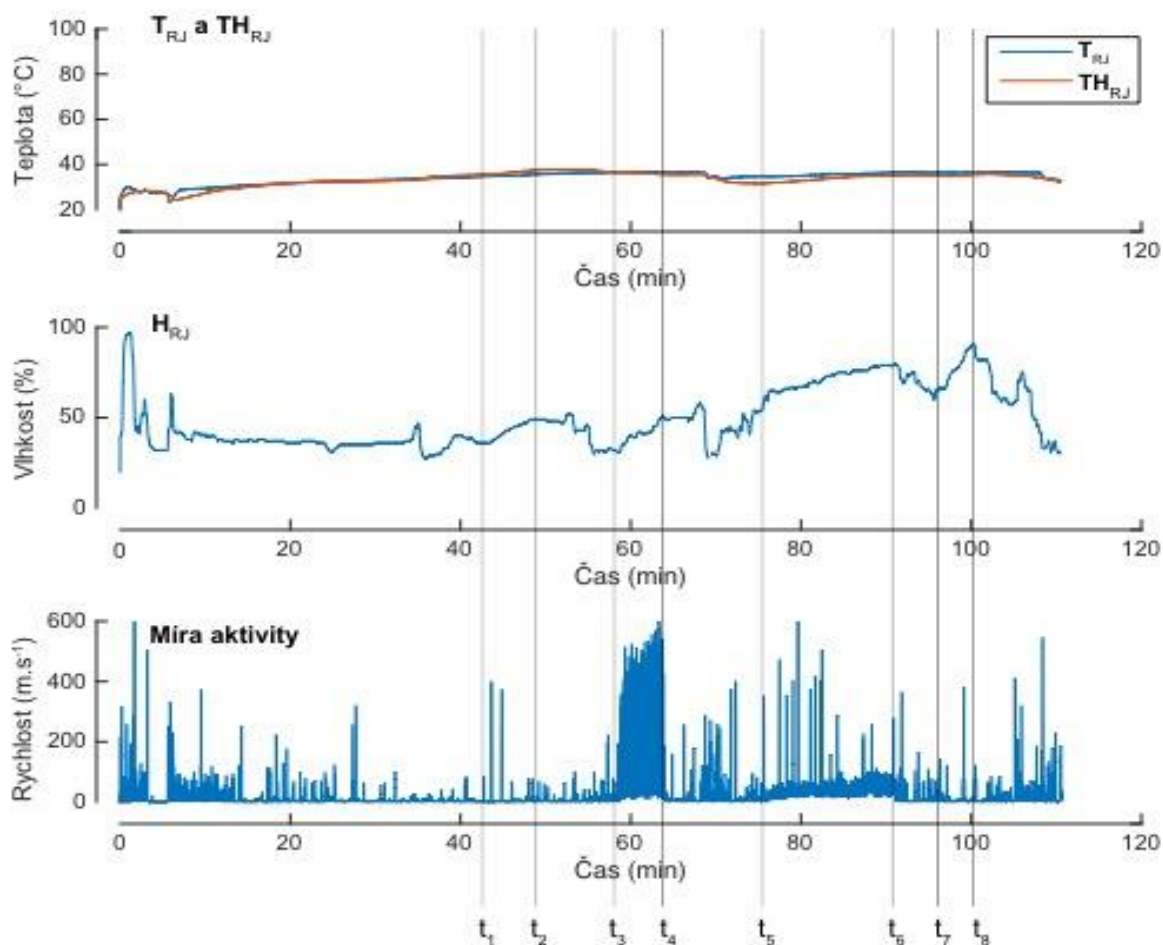
ID probanda	1	2	3	4	5
HR (min^{-1})	114	139	110	91	131
TK (mmHg)	137/92	163/113	143/94	116/82	128/83
SpO_2	98	97	97	96	95

Tabulka 6: Hmotnost naměřená před začátkem experimentu (m_1) a po konci experimentu (m_2) a jejich rozdíl.

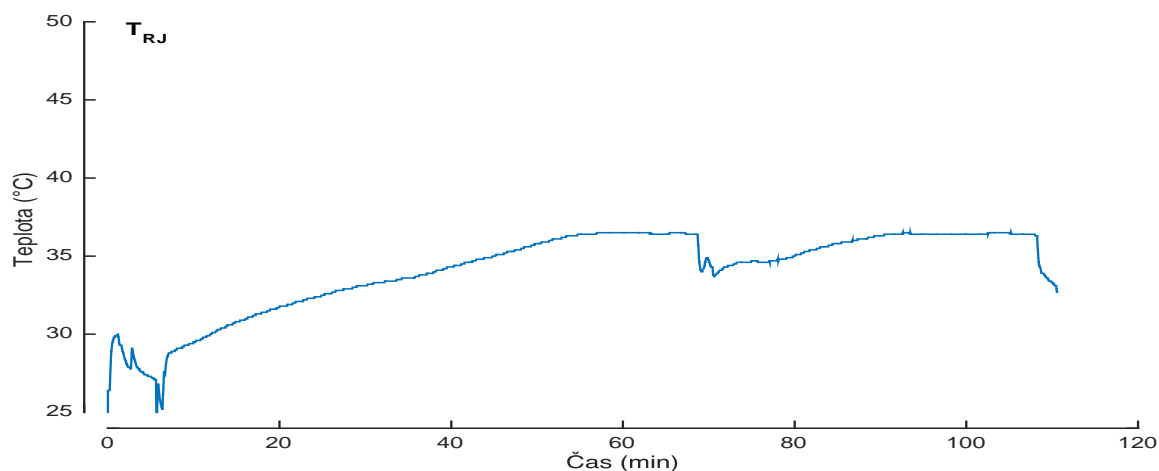
ID probanda	1	2	3	4	5
m_1 (kg)	71,1	89,5	76,6	95,4	91,7
m_2 (kg)	70,8	89,2	76,2	95,0	91,5
$m_1 - m_2$ (kg)	0,3	0,3	0,4	0,4	0,3

5.1 Řídicí jednotka

5.1.1 Proband číslo 1

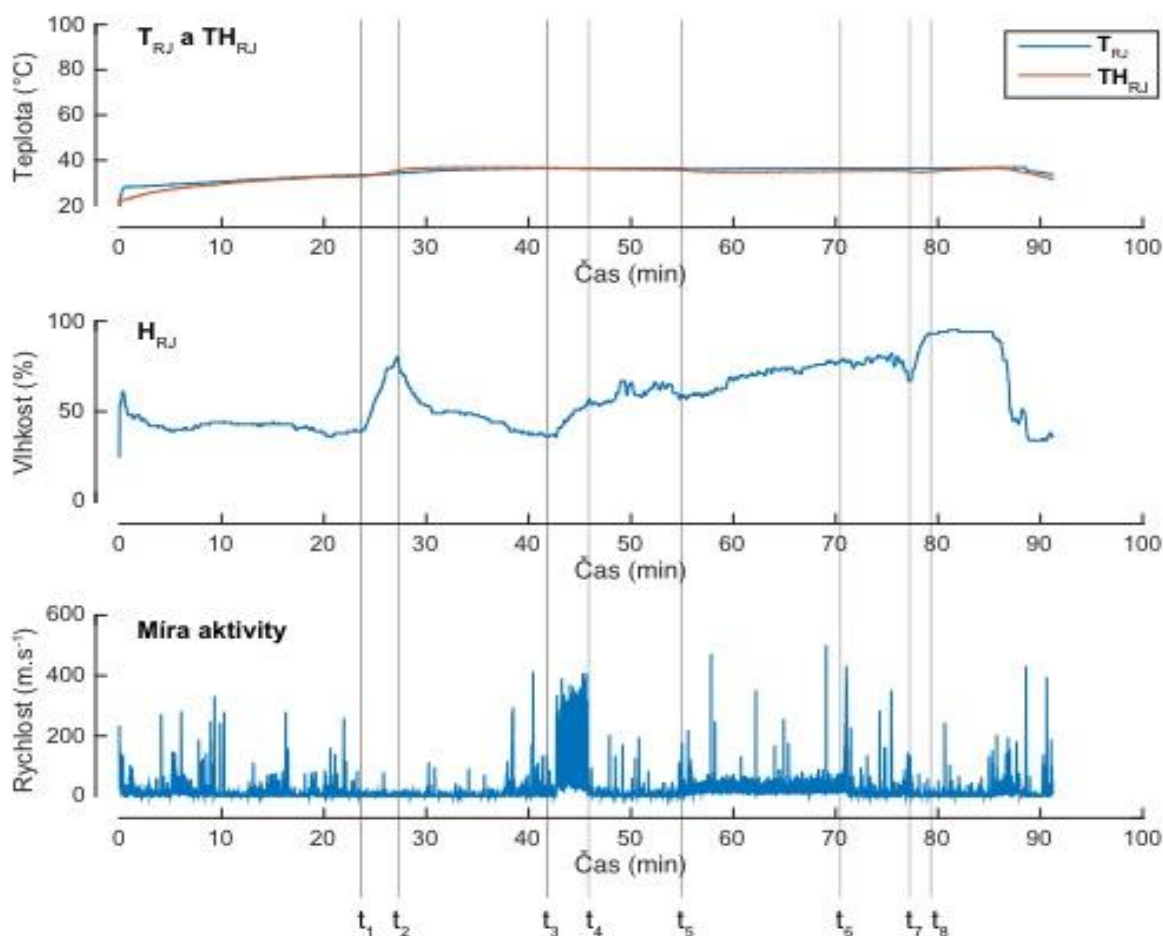


Obrázek 13: Grafy závislosti měřených veličin na čase měřené řídicí jednotkou v oblasti hrudníku u probanda č. 1. Nahoře: graf teplot závislosti teploty na čase: modrá křivka znázorňuje teplotu kůže, červená křivka teplotu pod oděvem. Uprostřed graf závislosti vlhkosti na čase. Dole graf míry aktivity závislosti rychlosti na čase.

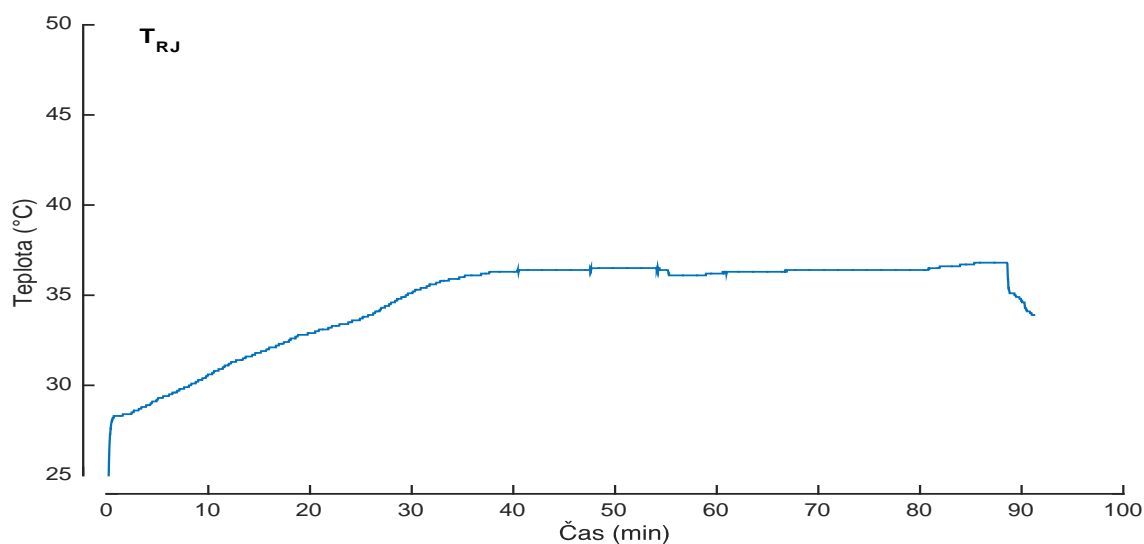


Obrázek 14: Graf závislosti teploty na čase. Teplota na kůži měřená řídicí jednotkou u probanda č. 1.

5.1.2 Proband číslo 2

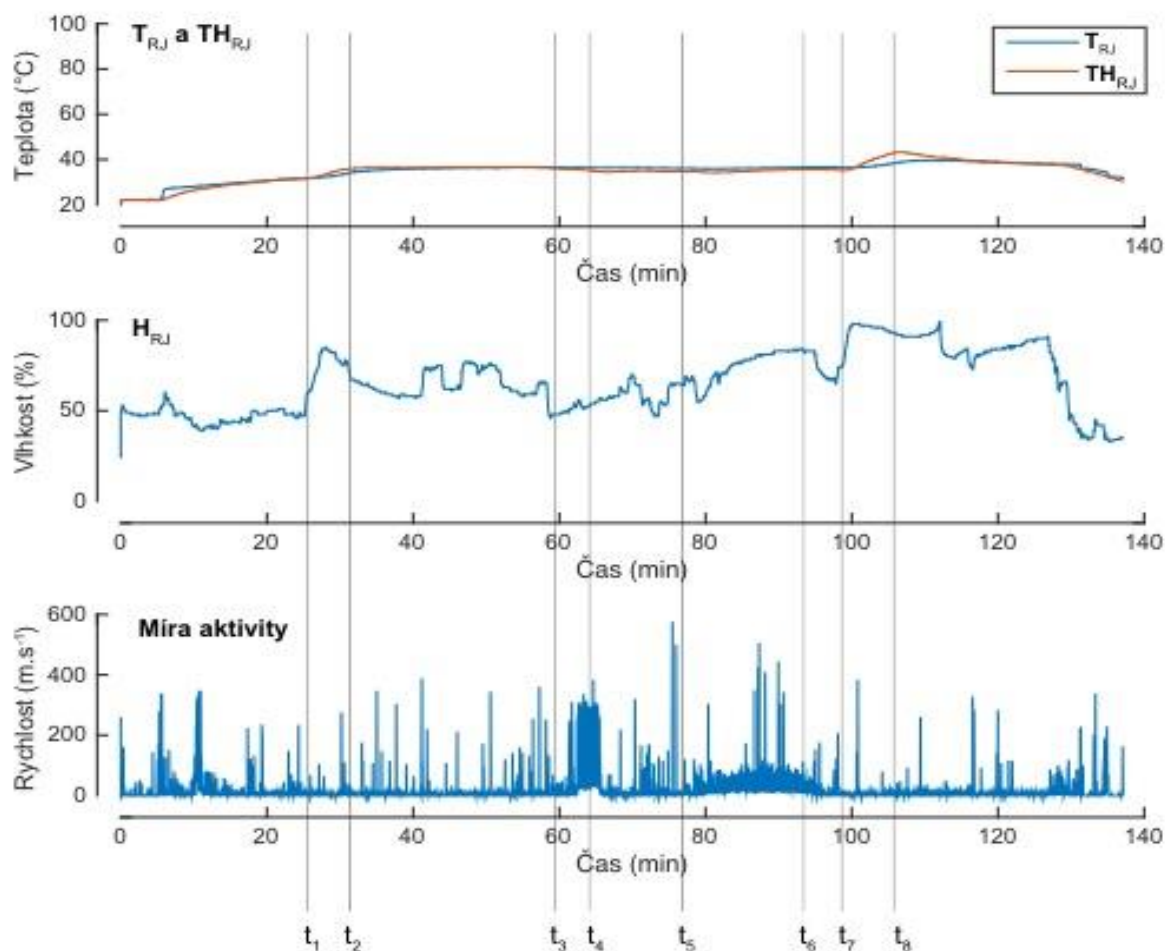


Obrázek 15: Grafy závislosti měřených veličin na čase měřené řídicí jednotkou v oblasti hrudníku u probanda č. 2. Nahoře: graf teplot závislosti teploty na čase: modrá křivka znázorňuje teplotu kůže, červená křivka teplotu pod oděvem. Uprostřed graf závislosti vlhkosti na čase. Dole graf míry aktivity závislosti rychlosti na čase.

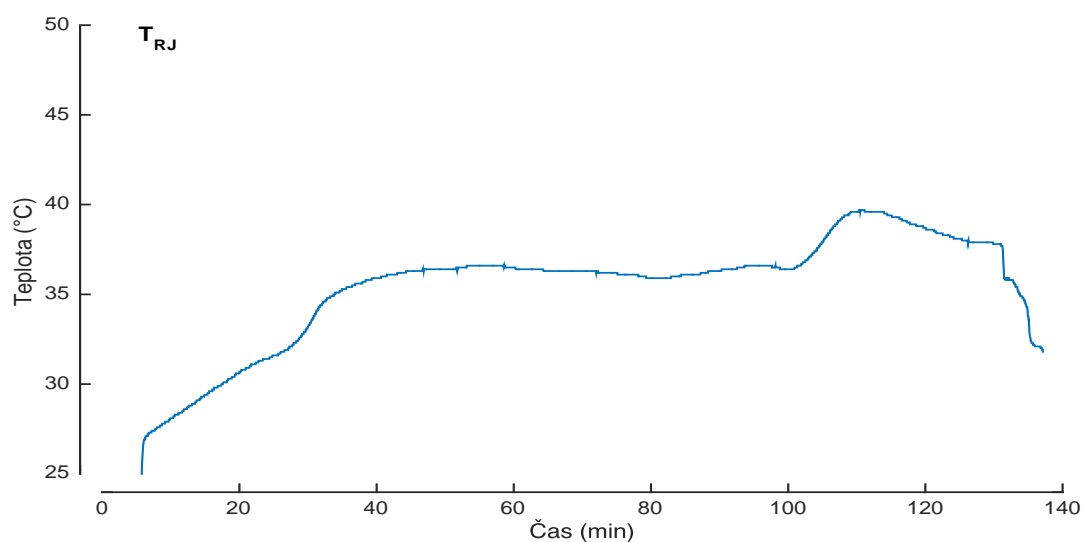


Obrázek 16: Graf závislosti teploty na čase. Teplota na kůži měřená řídicí jednotkou u probanda č. 2.

5.1.3 Proband číslo 3

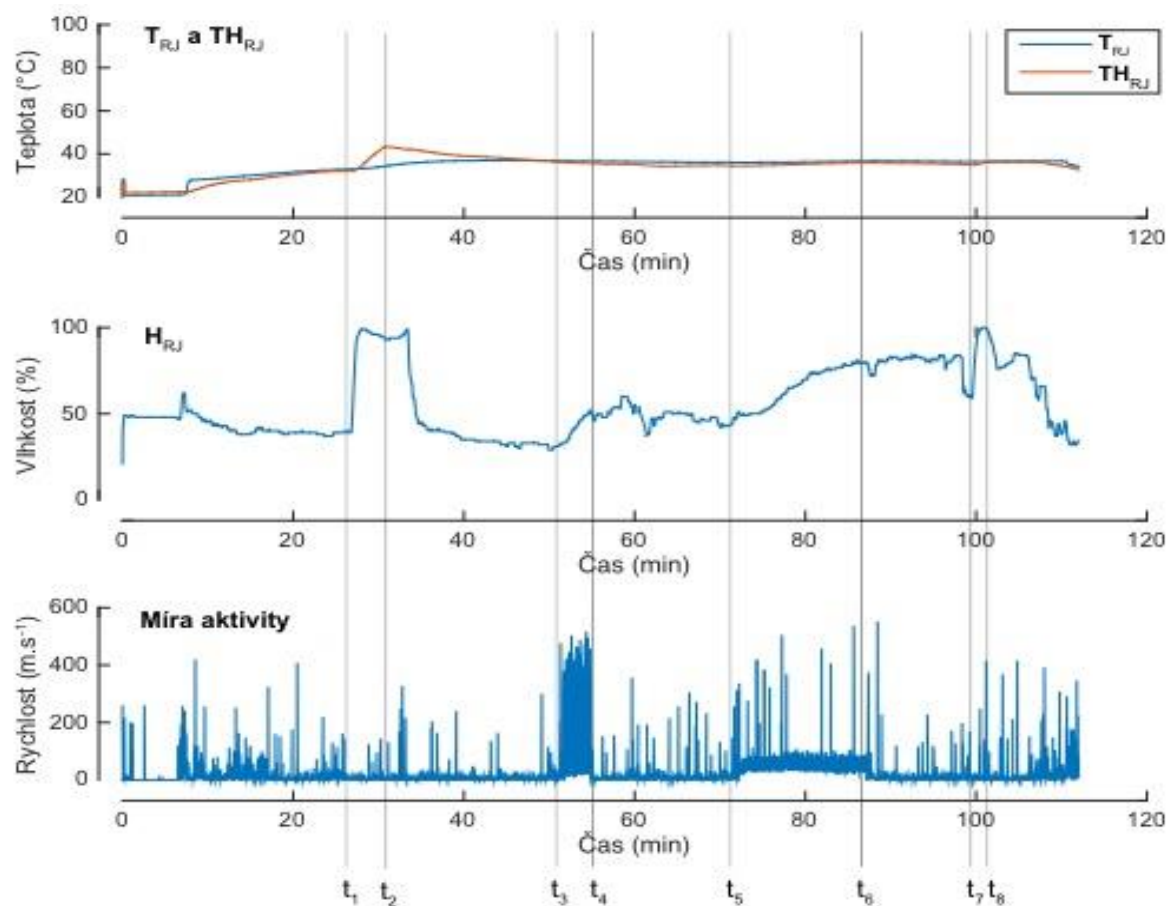


Obrázek 17: Grafy závislosti měřených veličin na čase měřené řídicí jednotkou v oblasti hrudníku u probanda č. 3. Nahoře: graf teplot závislosti teploty na čase: modrá křivka znázorňuje teplotu kůže, červená křivka teplotu pod oděvem. Uprostřed graf závislosti vlhkosti na čase. Dole graf míry aktivity závislosti rychlosti na čase.

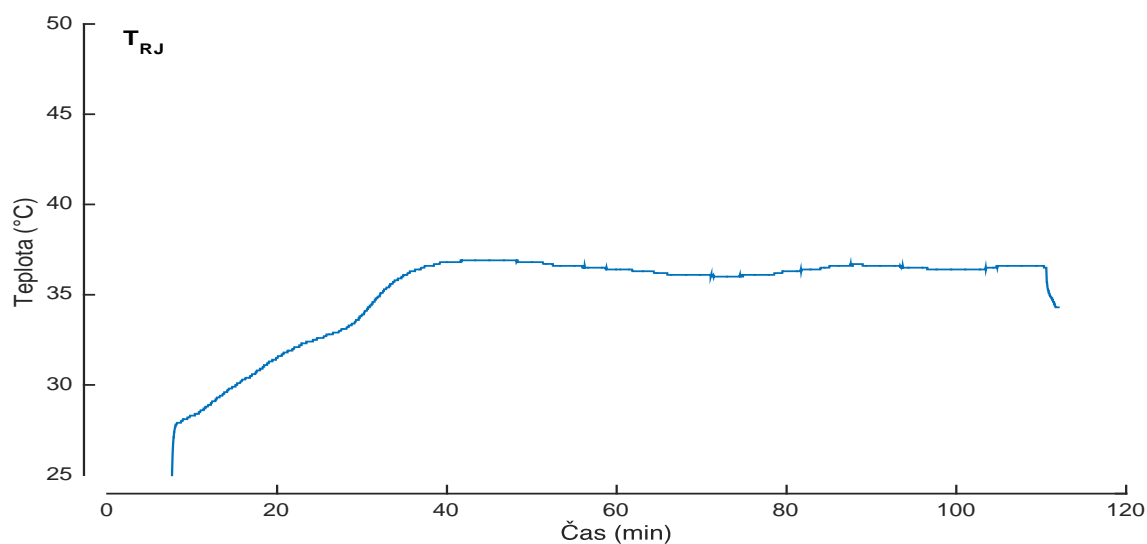


Obrázek 18: Graf závislosti teploty na čase. Teplota na kůži měřená řídicí jednotkou u probanda č. 3.

5.1.4 Proband číslo 4

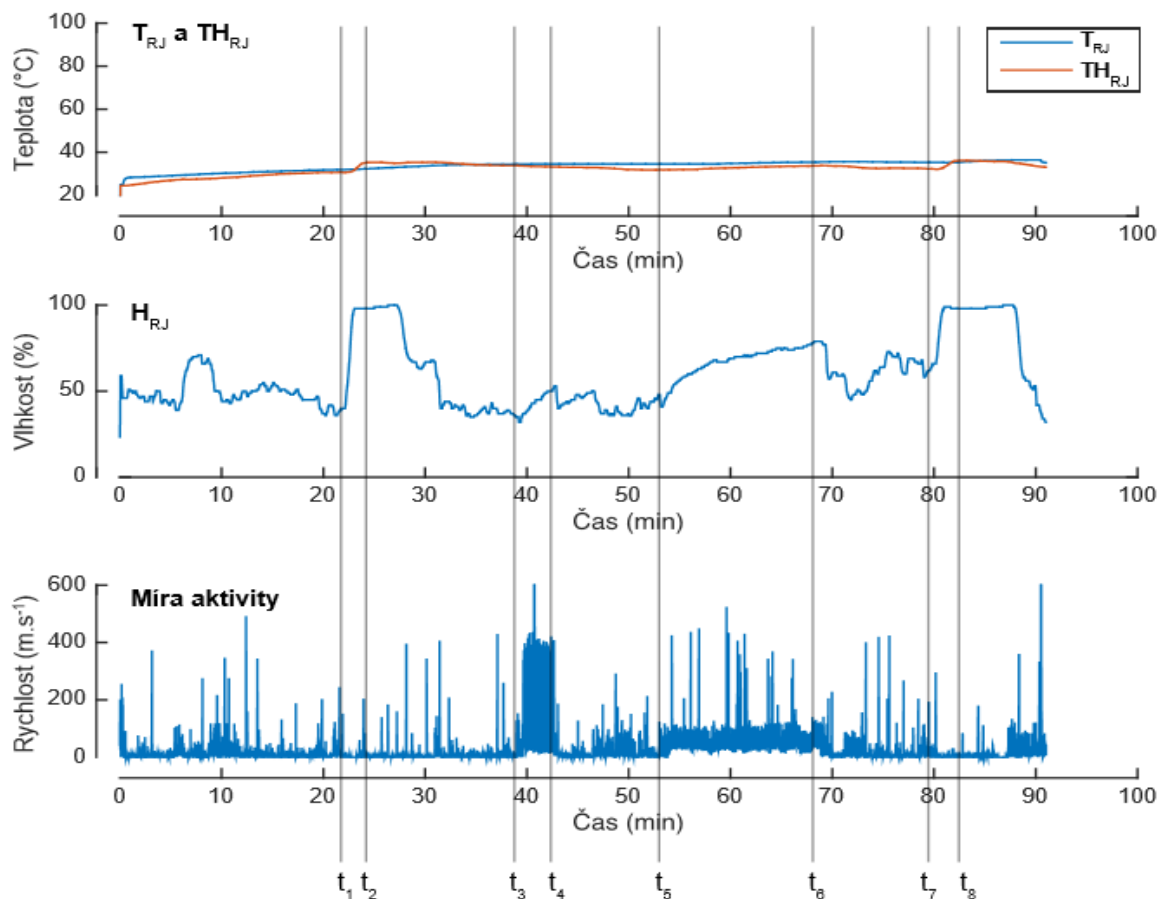


Obrázek 19: Grafy závislosti měřených veličin na čase měřené řídicí jednotkou v oblasti hrudníku u probanda č. 4. Nahoře: graf teplot závislosti teploty na čase: modrá křivka znázorňuje teplotu kůže, červená křivka teplotu pod oděvem. Uprostřed graf závislosti vlhkosti na čase. Dole graf míry aktivity závislosti rychlosti na čase.

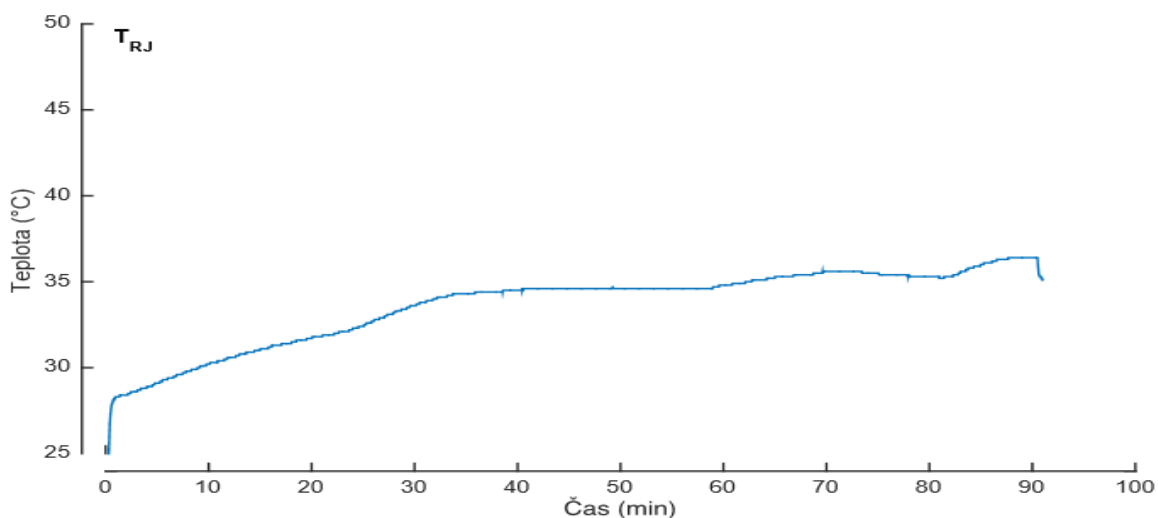


Obrázek 20: Graf závislosti teploty na čase. Teplota na kůži měřená řídicí jednotkou u probanda č. 4.

5.1.5 Proband číslo 5



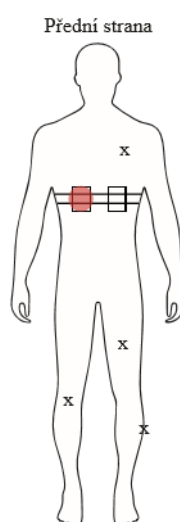
Obrázek 21: Grafy závislosti měřených veličin na čase měřené řídicí jednotkou v oblasti hrudníku u probanda č. 5. Nahoře: graf teplot závislosti teploty na čase: modrá křivka znázorňuje teplotu kůže, červená křivka teplotu pod oděvem. Uprostřed graf závislosti vlhkosti na čase. Dole graf míry aktivity závislosti rychlosti na čase.



Obrázek 22: Graf závislosti teploty na čase. Teplota na kůži měřená řídicí jednotkou u probanda č. 4

Tabulka 7: Naměřená data z řídicí jednotky pomocí systému FlexiGuard: teplota první klidové fáze před zahříváním (t_1), nejvyšší naměřená teplota při první fázi zahřívání technickým fénem (t_2), teplota na konci druhé klidové fáze před zahájením StepTestu (t_3), teplota bezprostředně před ukončením StepTestu (t_4), teplota na konci třetí klidové fáze před zahájením jízdy na bicyklovém ergometru (t_5), nejvyšší naměřená teplota při jízdě na bicyklovém ergometru (t_6), teplota na konci čtvrté klidové fáze před zahájením druhé fáze zahřívání horkovzdušnou pistolí (t_7), nejvyšší naměřená teplota při druhé fázi zahřívání horkovzdušnou pistolí (t_8)

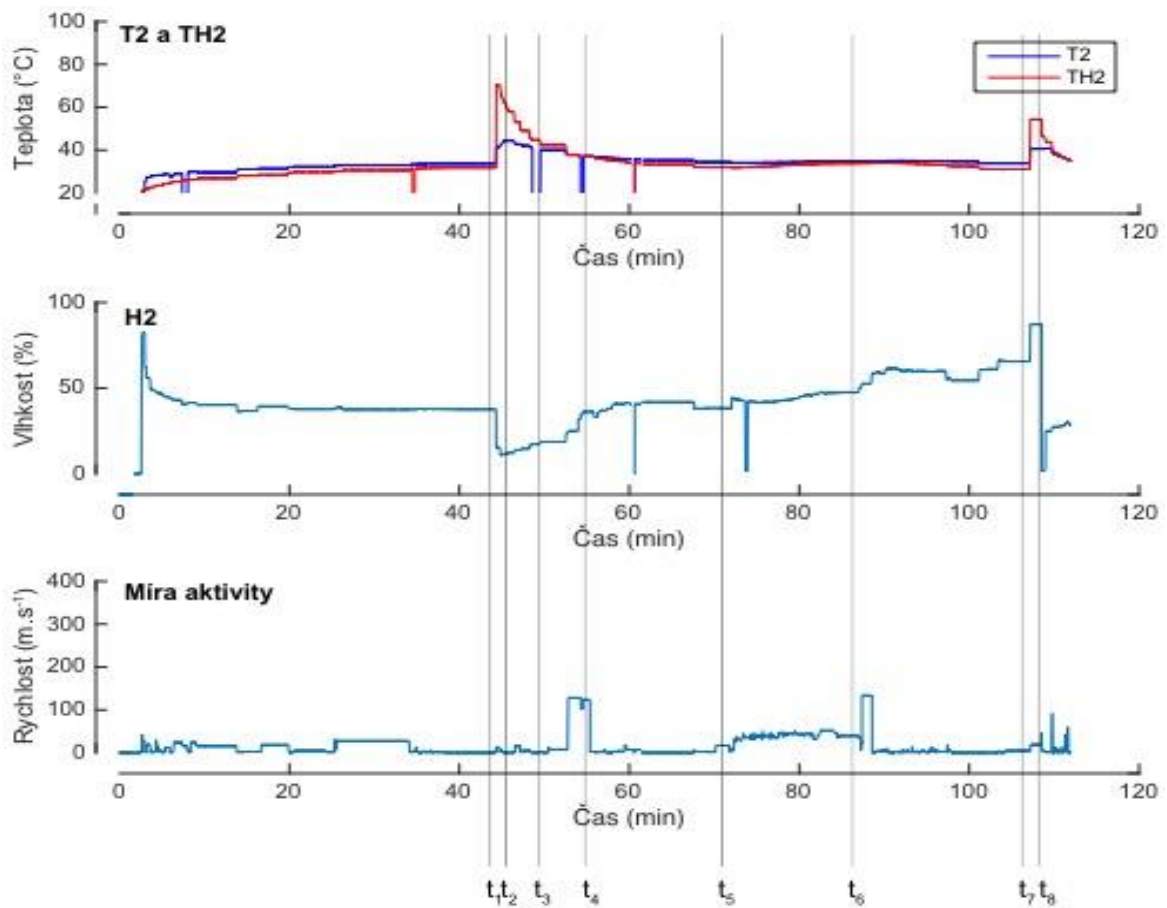
ID	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
t_1 (°C)	34,8	35,5	33,5	33,0	31,5	31,6	32,6	32,0	32,0	33,7
t_2 (°C)	35,4	37,2	35,3	36,7	34,9	36,0	36,7	36,3	32,3	35,2
$t_2 - t_1$ (°C)	1,4	2,3	1,7	3,7	3,4	3,7	4,1	4,3	0,3	1,5
t_3 (°C)	36,5	36,7	36,4	36,6	36,4	35,6	36,0	34,4	34,5	33,5
t_4 (°C)	36,4	35,6	36,4	36,2	36,3	34,8	36,6	35,7	34,6	33,1
$t_4 - t_3$ (°C)	-0,1	-1,1	0	-0,4	-0,1	-0,8	0,6	1,3	0,1	-0,4
t_5 (°C)	34,6	31,7	36,4	35,7	35,9	34,3	36,1	34,5	34,6	31,8
t_6 (°C)	36,3	35,3	36,4	35,2	36,4	35,6	36,6	35,9	35,5	33,8
$t_6 - t_5$ (°C)	1,7	3,6	0	-0,5	0,5	1,3	0,5	1,4	0,9	2
t_7 (°C)	36,4	35,3	36,4	35,3	36,6	35,5	36,4	35,3	35,3	32,4
t_8 (°C)	36,4	35,7	36,7	36,2	39,6	43,2	36,4	36,5	35,4	36,1
$t_8 - t_7$ (°C)	0	0,4	0,3	0,9	3	7,7	0	1,2	0,1	3,7



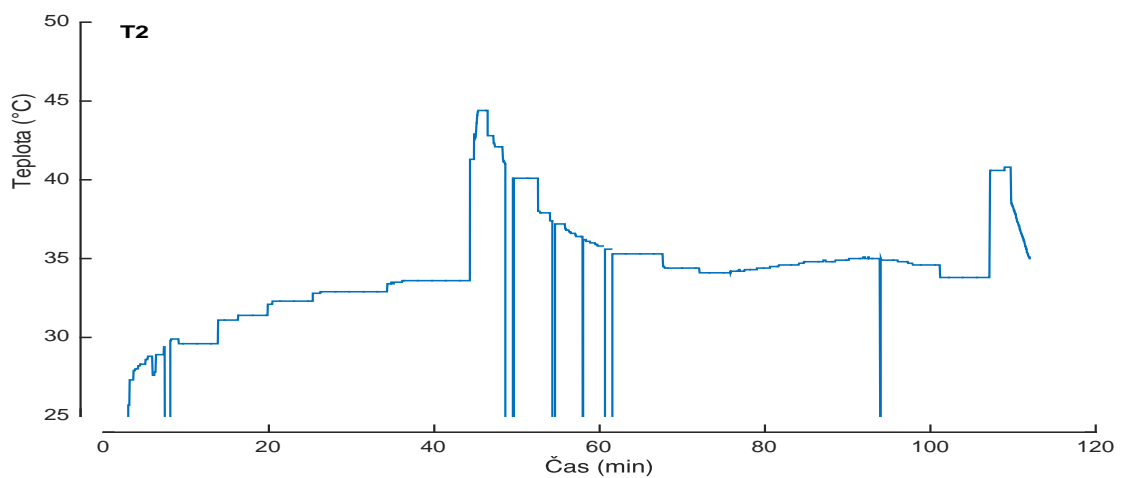
Obrázek 23: Umístění snímací řídicí jednotky. Vlastní tvorba.

Senzor 3 – umístěn na zádech

5.1.6 Proband číslo 4

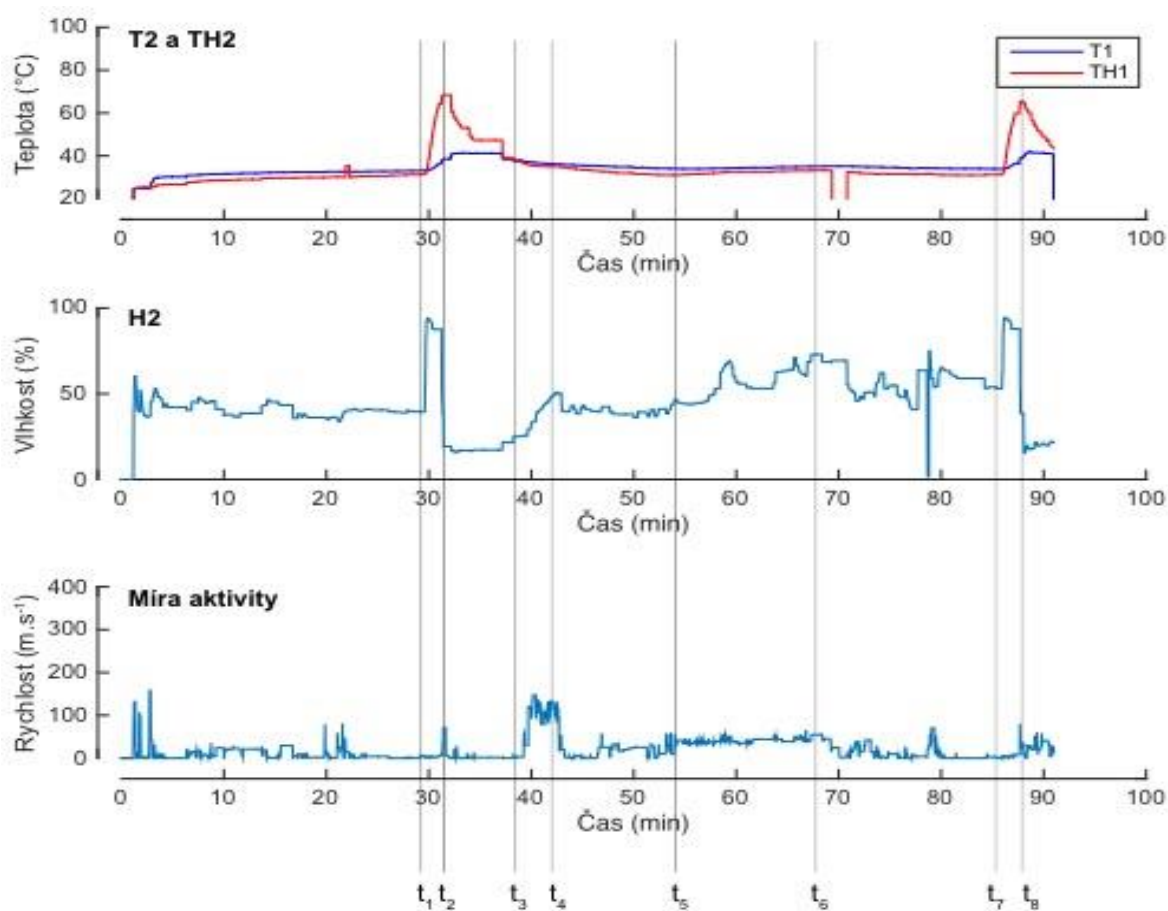


Obrázek 24: Grafy závislosti měřených veličin na čase senzorem číslo 2 měřené na zádech nad lopatkou u probanda č. 4. Nahoře: graf teplot závislosti teploty na čase: modrá křivka znázorňuje teplotu kůže, červená křivka teplotu pod oděvem. Uprostřed graf závislosti vlhkosti na čase. Dole graf míry aktivity závislosti rychlosti na čase.

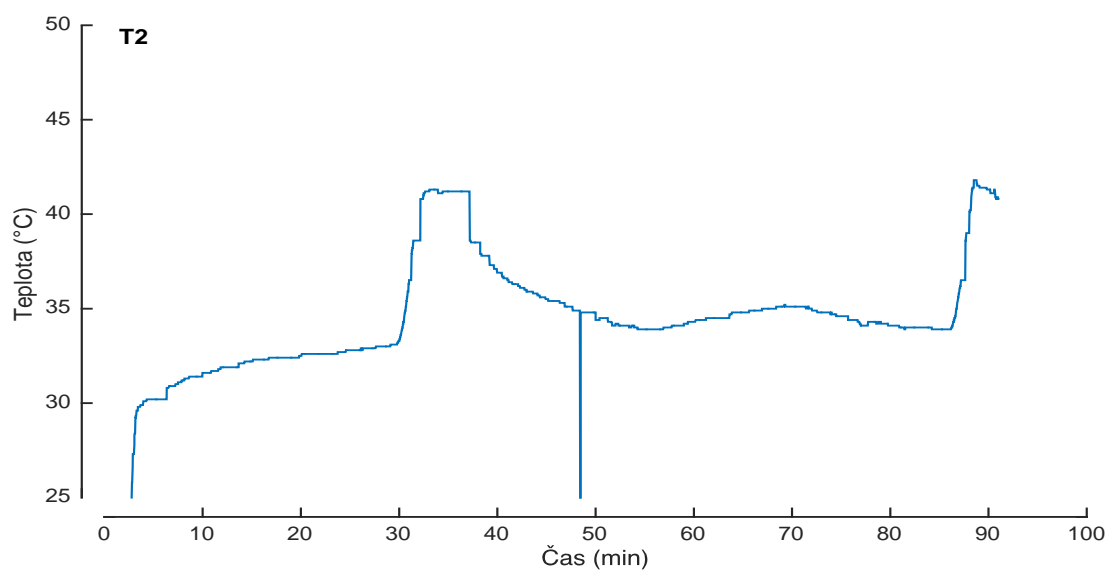


Obrázek 25: Graf závislosti teploty na čase. Teplota na kůži měřená senzorem 2 u probanda č. 4.

5.1.7 Proband číslo 5



Obrázek 26: Grafy závislosti měřených veličin na čase senzorem číslo 2 měřené na zádech nad lopatkou u probanda č. 5. Nahoře: graf teplot závislosti teploty na čase: modrá křivka znázorňuje teplotu kůže, červená křivka teplotu pod oděvem. Uprostřed graf závislosti vlhkosti na čase. Dole graf míry aktivity závislosti rychlosti na čase.

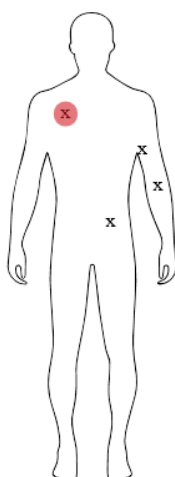


Obrázek 27: Graf závislosti teploty na čase. Teplota na kůži měřená senzorem 2 u probanda č. 5.

Tabulka 8: Naměřená data ze senzoru číslo 2, umístěného na zádech, pomocí systému FlexiGuard: teplota první klidové fáze před zahříváním (t_1), nejvyšší naměřená teplota při první fázi zahřívání fénem (t_2), teplota na konci druhé klidové fáze před zahájením StepTestu (t_3), teplota bezprostředně před ukončením StepTestu (t_4), teplota na konci třetí klidové fáze před zahájením jízdy na bicyklovém ergometru (t_5), nejvyšší naměřená teplota při jízdě na bicyklovém ergometru (t_6), teplota na konci čtvrté klidové fáze před zahájením druhé fáze zahřívání horkovzdušnou pistolí (t_7), nejvyšší naměřená teplota při druhé fázi zahřívání horkovzdušnou pistolí (t_8)

ID	1		2		3		4		5	
t_1 (°C)	32,3	32,4	-	-	34,7	32,9	33,6	31,8	33,1	31,3
t_2 (°C)	38,3	46,7	-	-	57,1	104,7	44,4	70,3	40,7	68,4
$t_2 - t_1$ (°C)	6	14,3	-	-	22,4	71,8	10,8	38,5	7,6	37,1
t_3 (°C)	37,1	36,4	-	-	39,9	44,9	-	-	37,3	36,2
t_4 (°C)	36,3	35,9	-	-	37,9	38,9	-	-	36,6	35,1
$t_4 - t_3$ (°C)	-0,8	-0,5	-	-	-2	-6	-	-	-0,7	-1,1
t_5 (°C)	-	-	-	-	-	-	34,8	31,8	34,1	31,1
t_6 (°C)	-	-	-	-	-	-	34,8	33,8	35,0	33,2
$t_6 - t_5$ (°C)	-	-	-	-	-	-	0	2	0,9	2,1
t_7 (°C)	-	-	-	-	-	-	33,8	31,1	33,9	31,4
t_8 (°C)	-	-	-	-	-	-	40,6	54,3	41,8	65,3
$t_8 - t_7$ (°C)	-	-	-	-	-	-	6,8	23,2	7,9	33,9

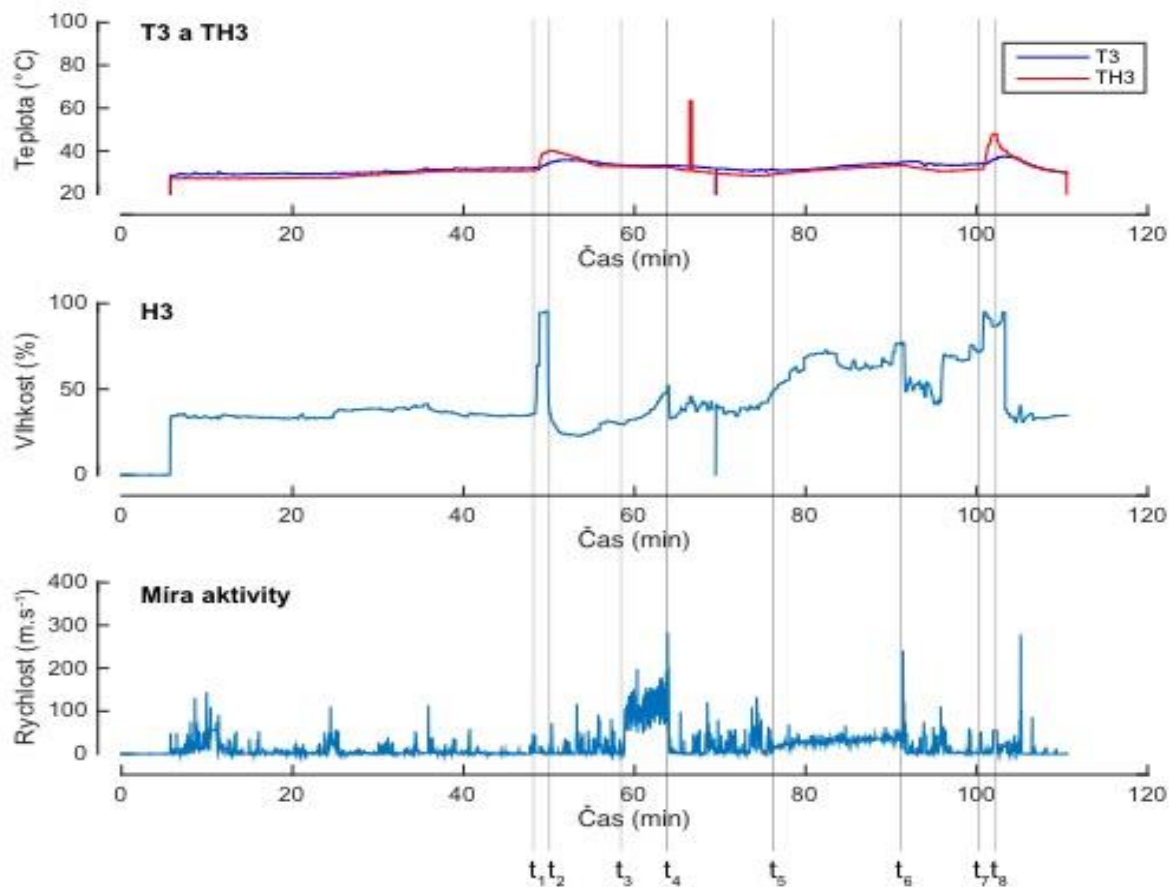
Zadní strana



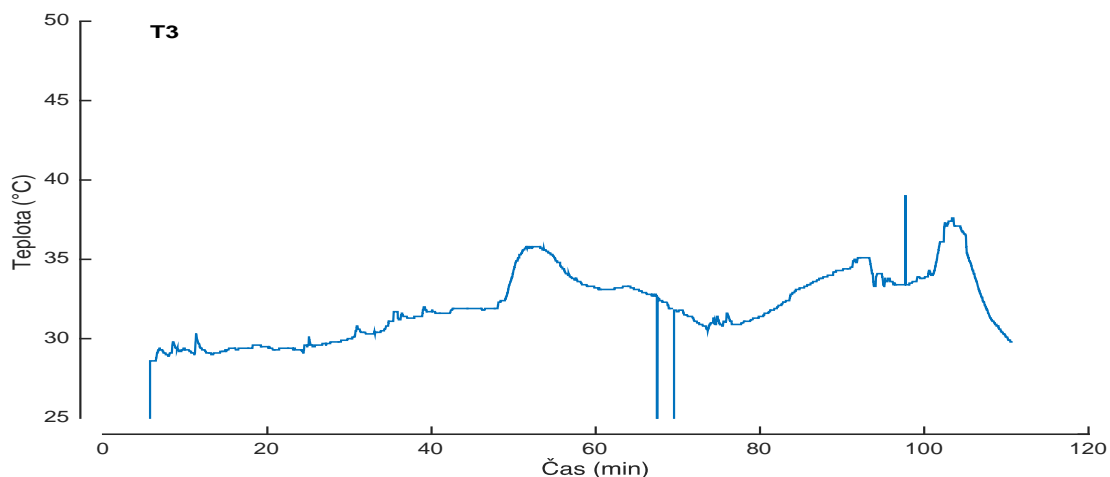
Obrázek 28 Umístění senzoru na zádech. Vlastní tvorba.

5.2 Senzor 3 – umístěn na pravé loketní jamce

5.2.1 Proband č. 1

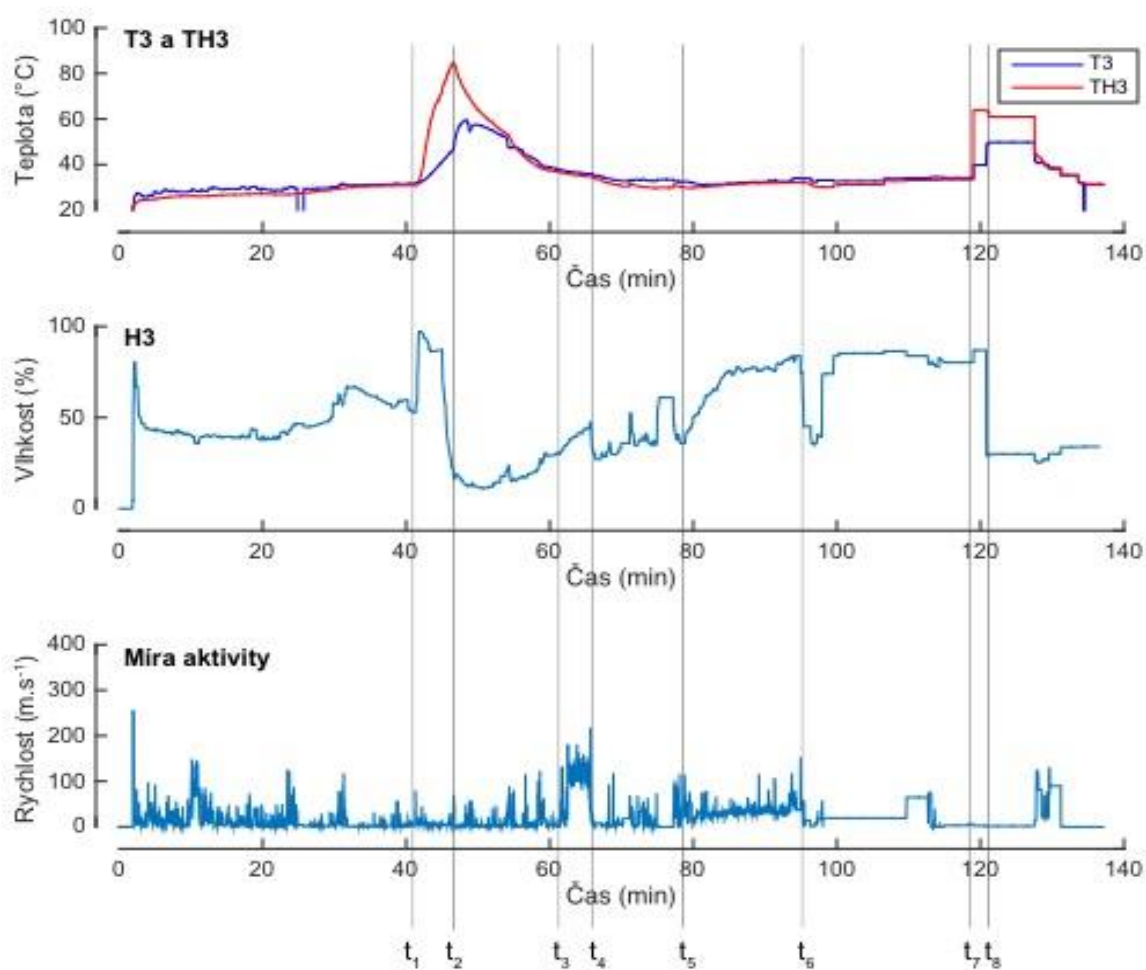


Obrázek 29: Grafy závislosti měřených veličin na čase měřené senzorem 3 v oblasti pod loktem u probanda č. 1. Nahoře: graf teplot závislosti teploty na čase: modrá křivka znázorňuje teplotu kůže, červená křivka teplotu pod oděvem. Uprostřed graf závislosti vlhkosti na čase. Dole graf míry aktivity závislosti rychlosti na čase.

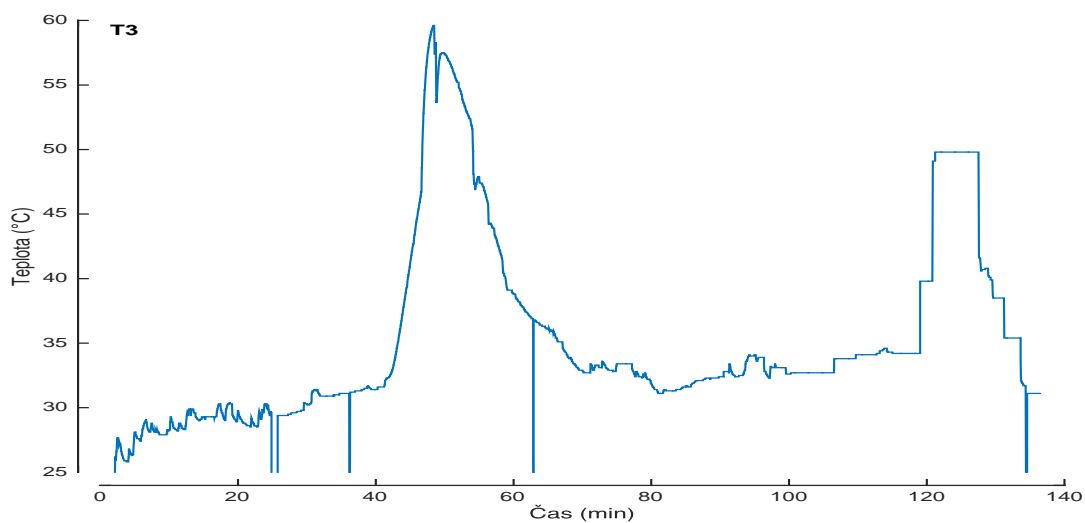


Obrázek 30: Graf závislosti teploty na čase. Teplota na kůži měřená senzorem 3 u probanda č. 1.

5.2.2 Proband číslo 3

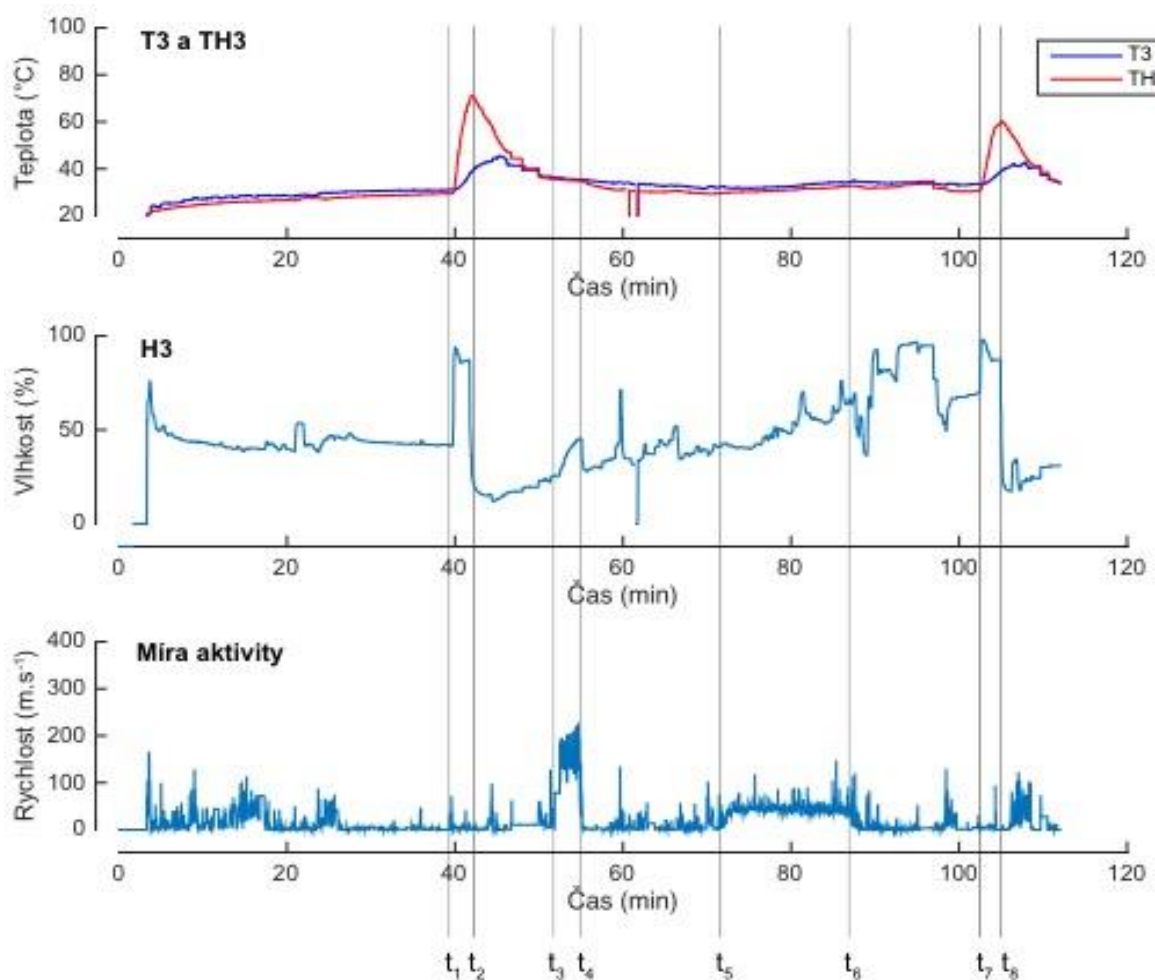


Obrázek 31: Grafy závislosti měřených veličin na čase měřené senzorem 3 v oblasti pod loktem u probanda č. 3. Nahoře: graf teplot závislosti teploty na čase: modrá křivka znázorňuje teplotu kůže, červená křivka teplotu pod oděvem. Uprostřed graf závislosti vlhkosti na čase. Dole graf míry aktivity závislosti rychlosti na čase.

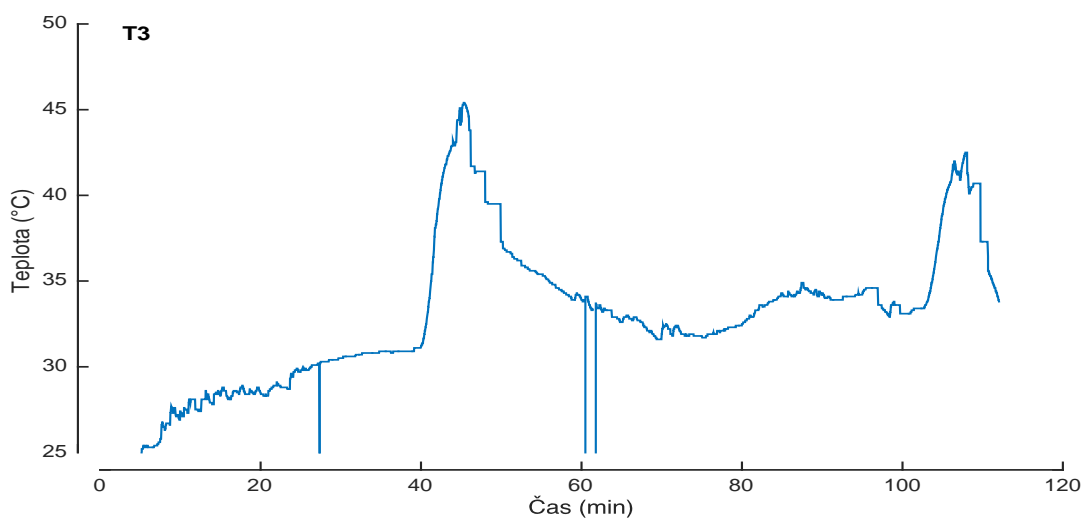


Obrázek 32: Graf závislosti teploty na čase. Teplota na kůži měřená senzorem 3 u probanda č. 3.

5.2.3 Proband číslo 4

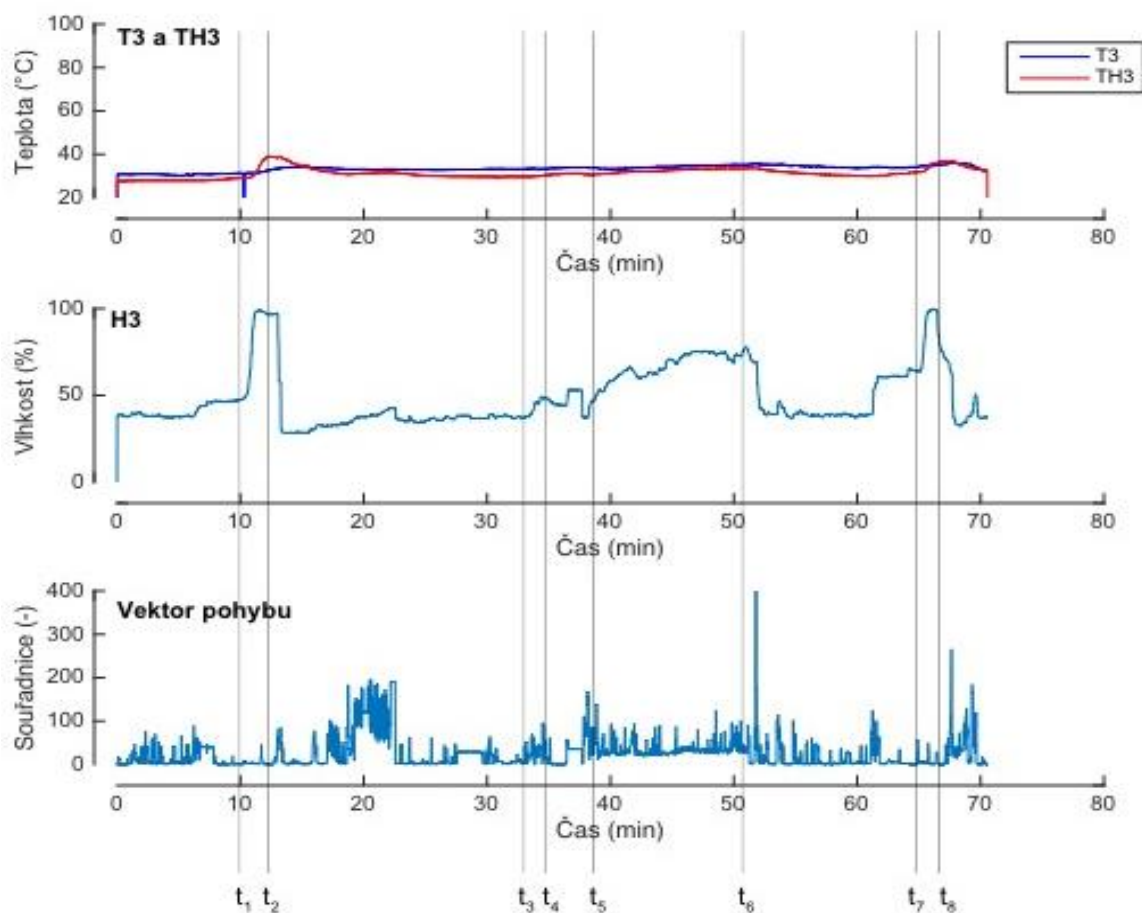


Obrázek 33: Grafy závislosti měřených veličin na čase měřené senzorem 3 v oblasti nad loktem u probanda č. 4. Nahoře: graf teplot závislosti teploty na čase: modrá křivka znázorňuje teplotu kůže, červená křivka teplotu pod oděvem. Uprostřed graf závislosti vlhkosti na čase. Dole graf míry aktivity závislosti rychlosti na čase.

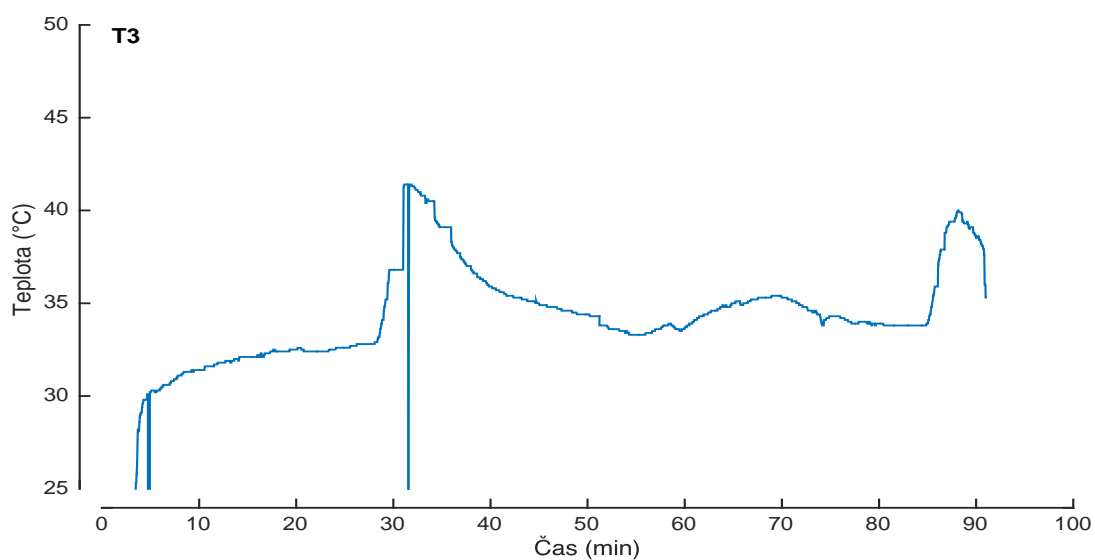


Obrázek 34: Graf závislosti teploty na čase. Teplota na kůži měřená senzorem 3 u probanda č. 4.

5.2.4 Proband číslo 5



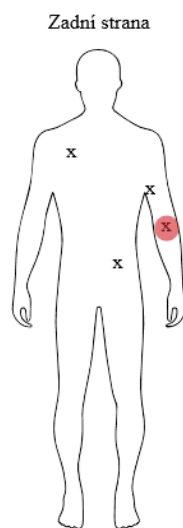
Obrázek 35: Grafy závislosti měřených veličin na čase měřené senzorem 3 v oblasti nad loktem u probanda č. 5. Nahoře: graf teplot závislosti teploty na čase: modrá křivka znázorňuje teplotu kůže, červená křivka teplotu pod oděvem. Uprostřed graf závislosti vlhkosti na čase. Dole graf míry aktivity závislosti rychlosti na čase.



Obrázek 36: Graf závislosti teploty na čase. Teplota na kůži měřená senzorem 3 u probanda č. 5.

Tabulka 9: Naměřená data ze senzoru číslo 3 umístěného na pravém lokti pomocí systému FlexiGuard: teplota první klidové fáze před zahříváním (t_1), nejvyšší naměřená teplota při první fázi zahřívání horkovzdušnou pistolí (t_2), teplota na konci druhé klidové fáze před zahájením StepTestu (t_3), teplota bezprostředně před ukončením StepTestu (t_4), teplota na konci třetí klidové fáze před zahájením jízdy na bicyklovém ergometru (t_5), nejvyšší naměřená teplota při jízdě na bicyklovém ergometru (t_6), teplota na konci čtvrté klidové fáze před zahájením druhé fáze zahřívání horkovzdušnou pistolí (t_7), nejvyšší naměřená teplota při druhé fázi zahřívání horkovzdušnou pistolí (t_8)

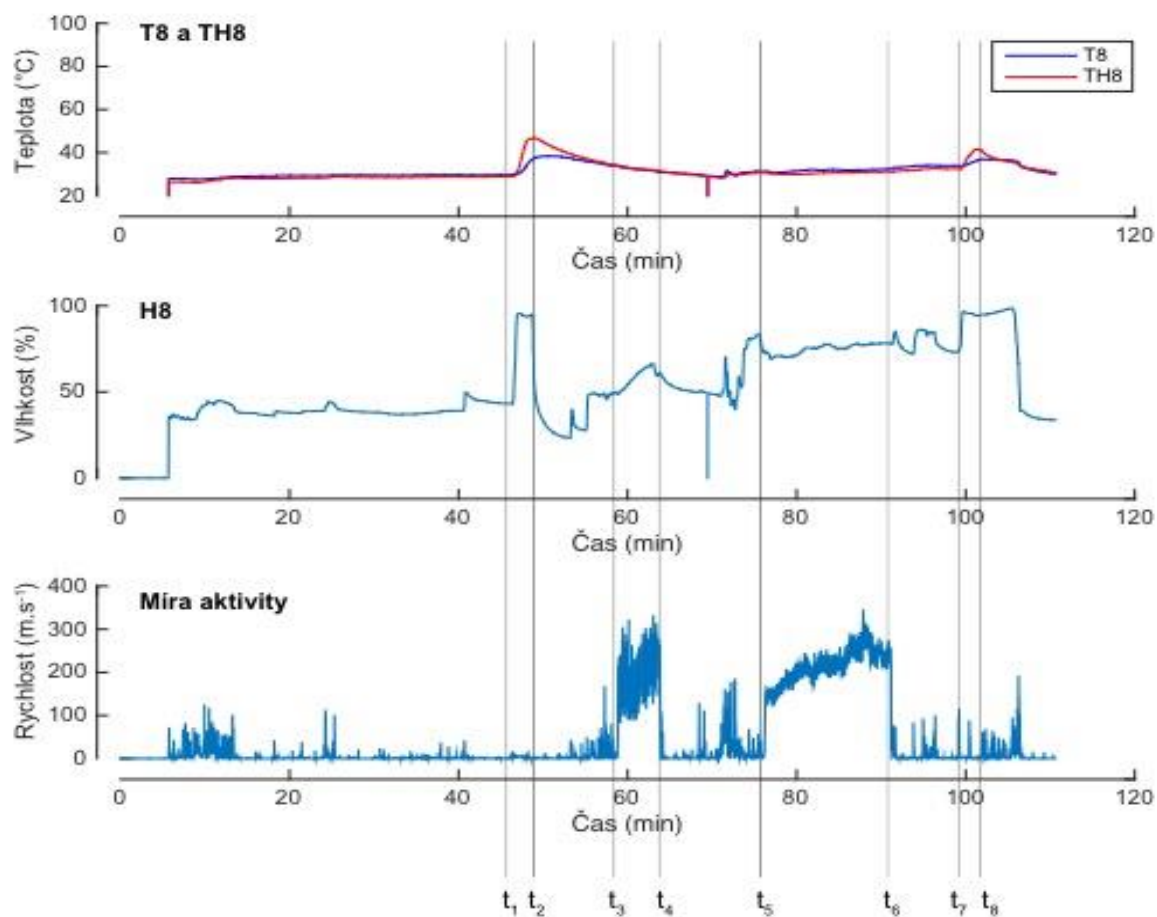
ID	341		782		563		554		866	
t_1 (°C)	31,9	30,9	32,1	30,7	31,4	30,9	30,9	29,4	32,8	30,7
t_2 (°C)	35,7	40,2	42,6	64,3	59,6	84,8	45,3	71,1	41,1	58,6
$t_2 - t_1$ (°C)	3,8	9,3	10,5	33,6	28,2	53,9	14,4	41,7	8,3	27,9
t_3 (°C)	33,4	32,8	-	-	37,4	36,4	36,3	35,6	36,3	34,6
t_4 (°C)	33,3	32,5	-	-	35,9	34,5	35,4	34,9	35,3	33,9
$t_4 - t_3$ (°C)	-0,1	-0,3	-	-	-1,5	-1,9	-0,9	-0,7	-1	-0,7
t_5 (°C)	31,4	29,0	-	-	32,6	30,4	31,9	29,5	33,6	29,7
t_6 (°C)	34,4	33,4	-	-	34,0	32,3	34,3	32,4	35,3	33,3
$t_6 - t_5$ (°C)	3	4,4	-	-	1,4	1,9	2,4	2,9	1,7	3,6
t_7 (°C)	33,8	31,5	-	-	34,2	33,4	33,4	30,4	33,8	30,4
t_8 (°C)	37,6	47,9	-	-	49,8	63,8	42,4	60,2	33,9	55,0
$t_8 - t_7$ (°C)	3,8	16,4	-	-	15,6	30,4	9	29,8	0,1	24,6



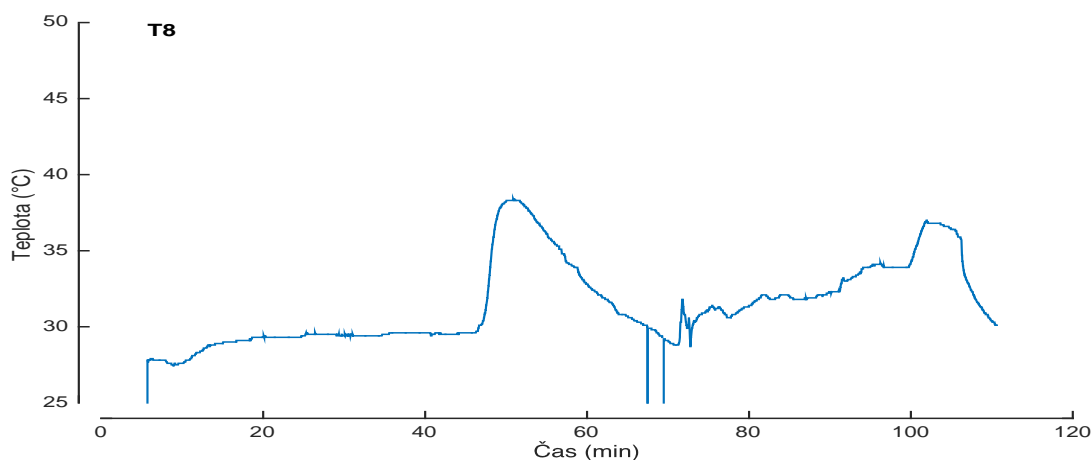
Obrázek 37: Umístění senzoru na loktu. Vlastní tvorba.

5.3 Senzor číslo 8 – umístěn na pravém koleni

5.3.1 Proband číslo 1

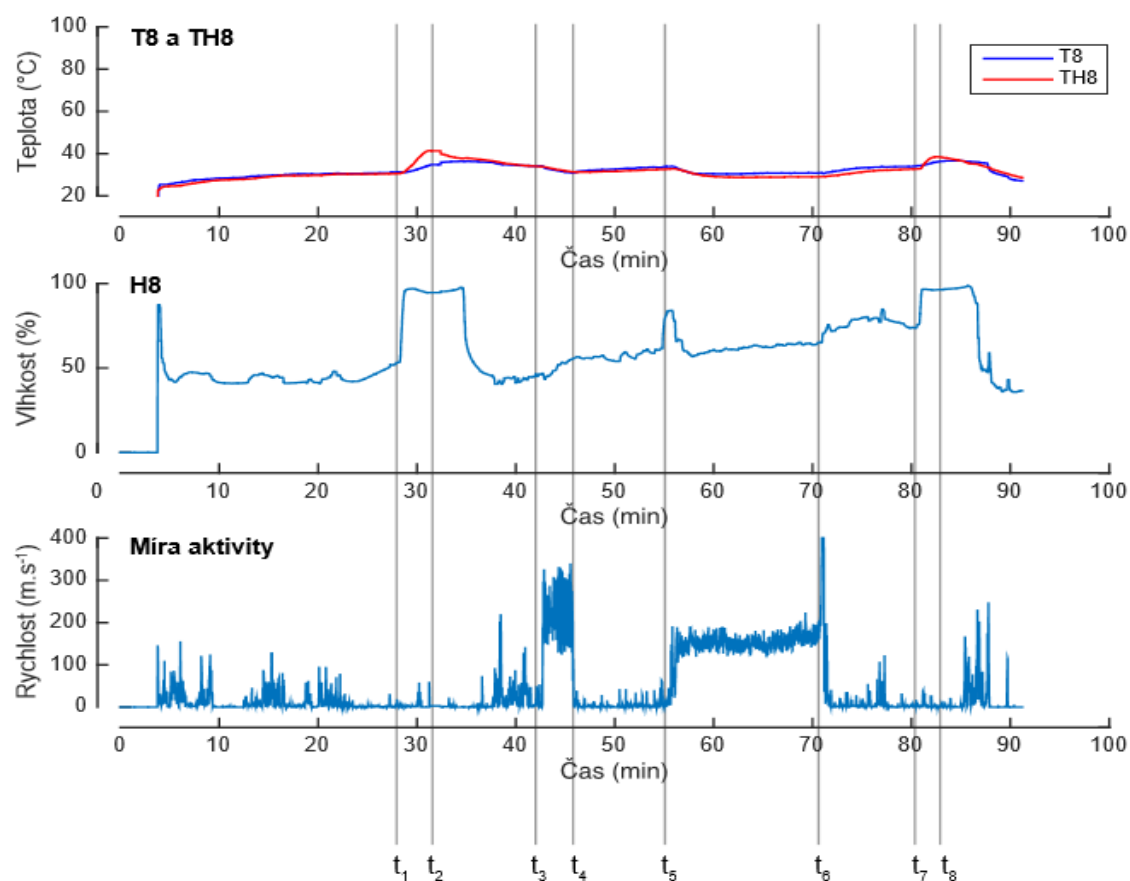


Obrázek 38: Grafy závislosti měřených veličin na čase měřené senzorem 8 v oblasti pod kolenem u probanda č. 1. Nahoře: graf teplot závislosti teploty na čase: modrá křivka znázorňuje teplotu kůže, červená křivka teplotu pod oděvem. Uprostřed graf závislosti vlhkosti na čase. Dole graf míry aktivity závislosti rychlosti na čase.

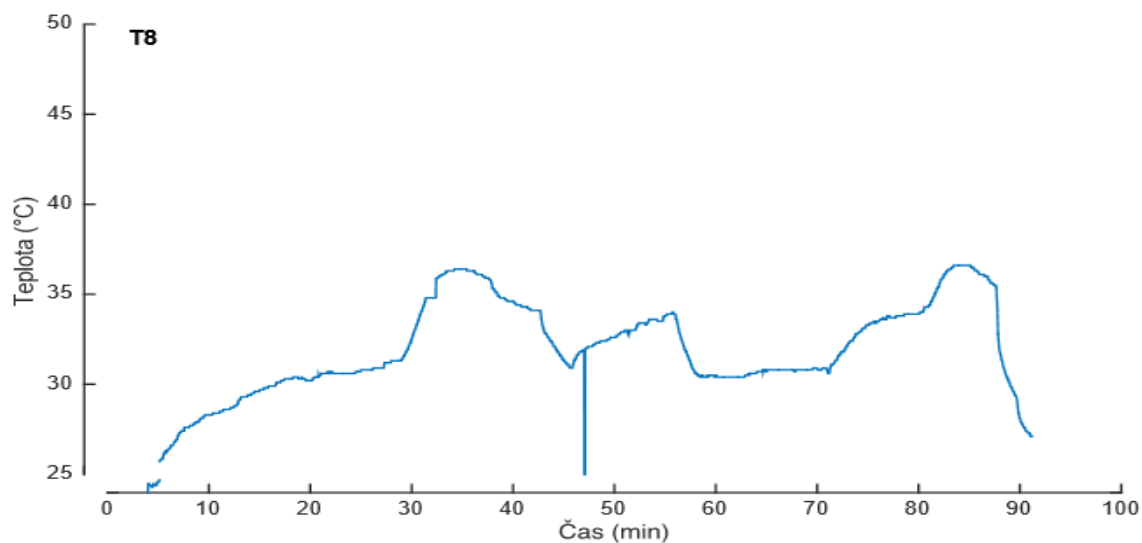


Obrázek 39: Graf závislosti teploty na čase. Teplota na kůži měřená senzorem 8 u probanda č. 1.

5.3.2 Proband číslo 2

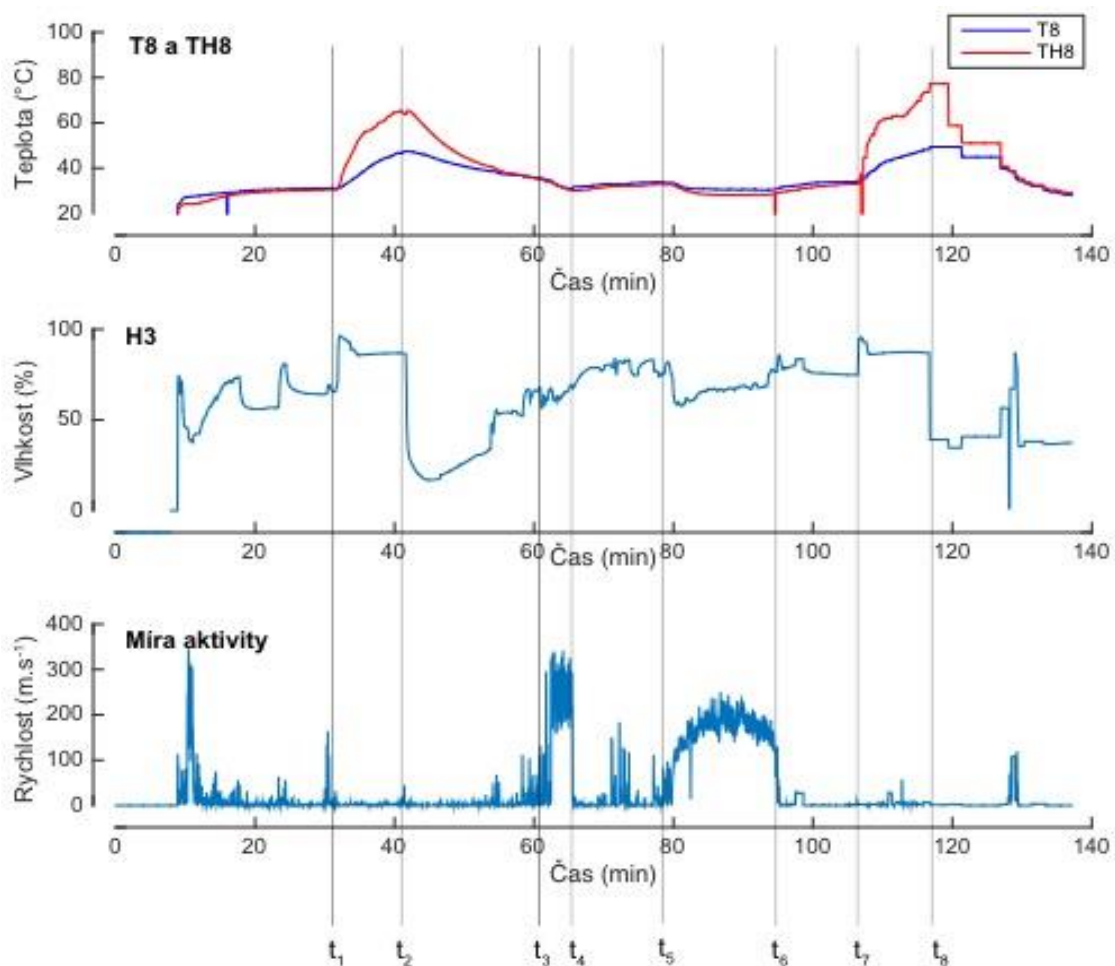


Obrázek 40: Grafy závislosti měřených veličin na čase měřené senzorem 8 v oblasti pod kolenem u probanda č. 2. Nahoře: graf teplot závislosti teploty na čase: modrá křivka znázorňuje teplotu kůže, červená křivka teplotu pod oděvem. Uprostřed graf závislosti vlhkosti na čase. Dole graf míry aktivity závislosti rychlosti na čase.

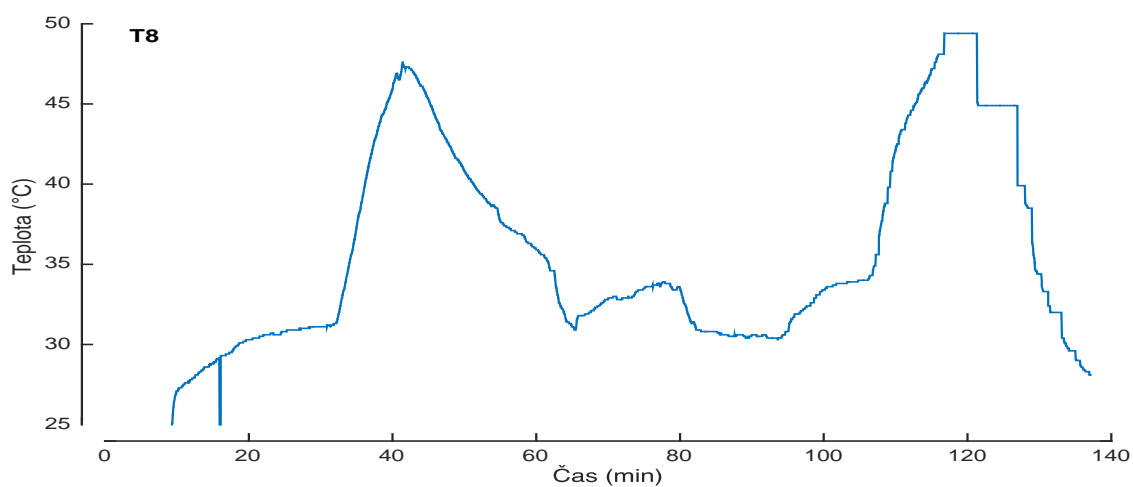


Obrázek 41: Graf závislosti teploty na čase. Teplota na kůži měřená senzorem 8 u probanda č. 2.

5.3.3 Proband číslo 3

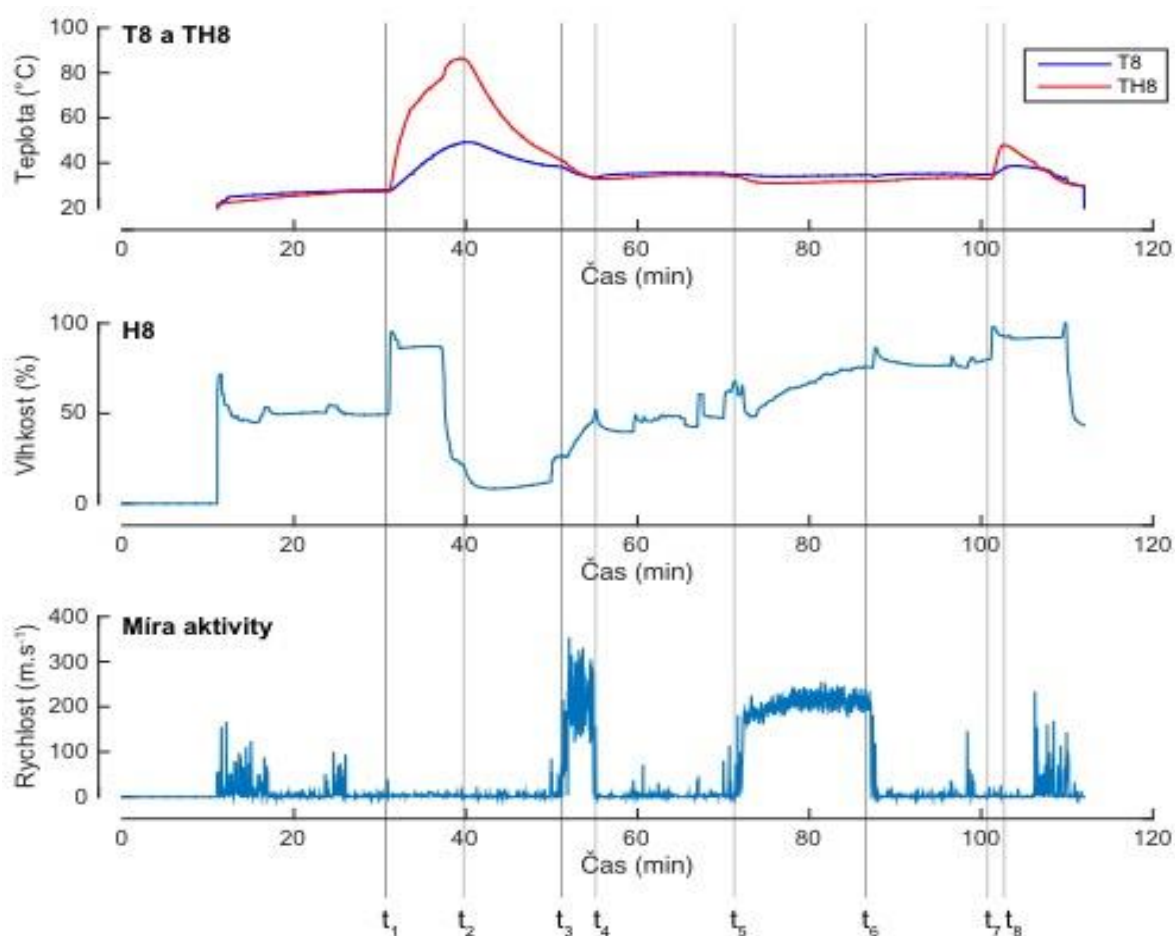


Obrázek 42: Grafy závislosti měřených veličin na čase měřené senzorem 3 v oblasti pod loktem u probanda č. 3. Nahoře: graf teplot závislosti teploty na čase: modrá křivka znázorňuje teplotu kůže, červená křivka teplotu pod oděvem. Uprostřed graf závislosti vlhkosti na čase. Dole graf míry aktivity závislosti rychlosti na čase.

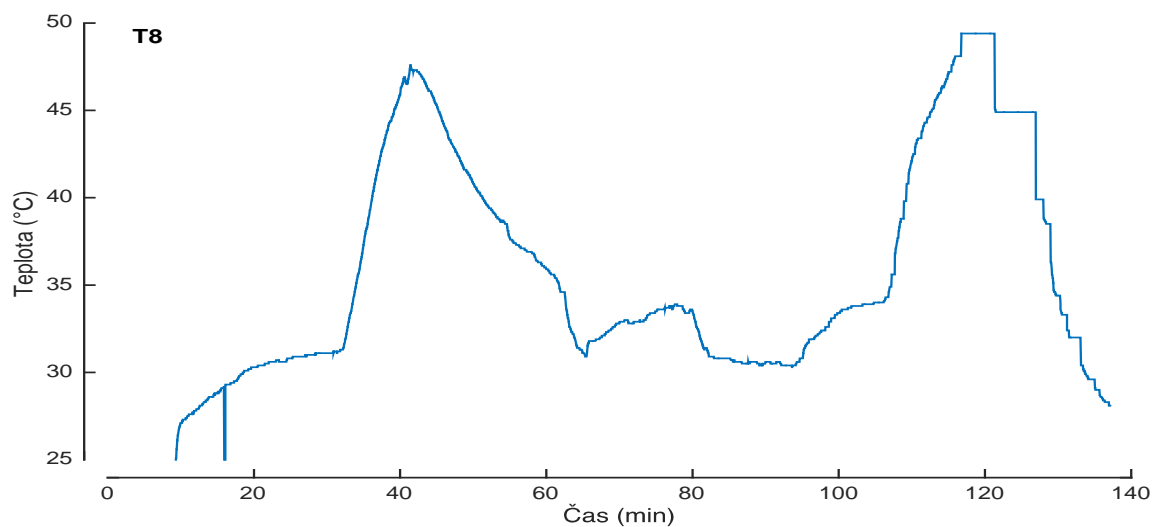


Obrázek 43: Graf závislosti teploty na čase. Teplota na kůži měřená senzorem 8 u probanda č. 3.

5.3.4 Proband číslo 4

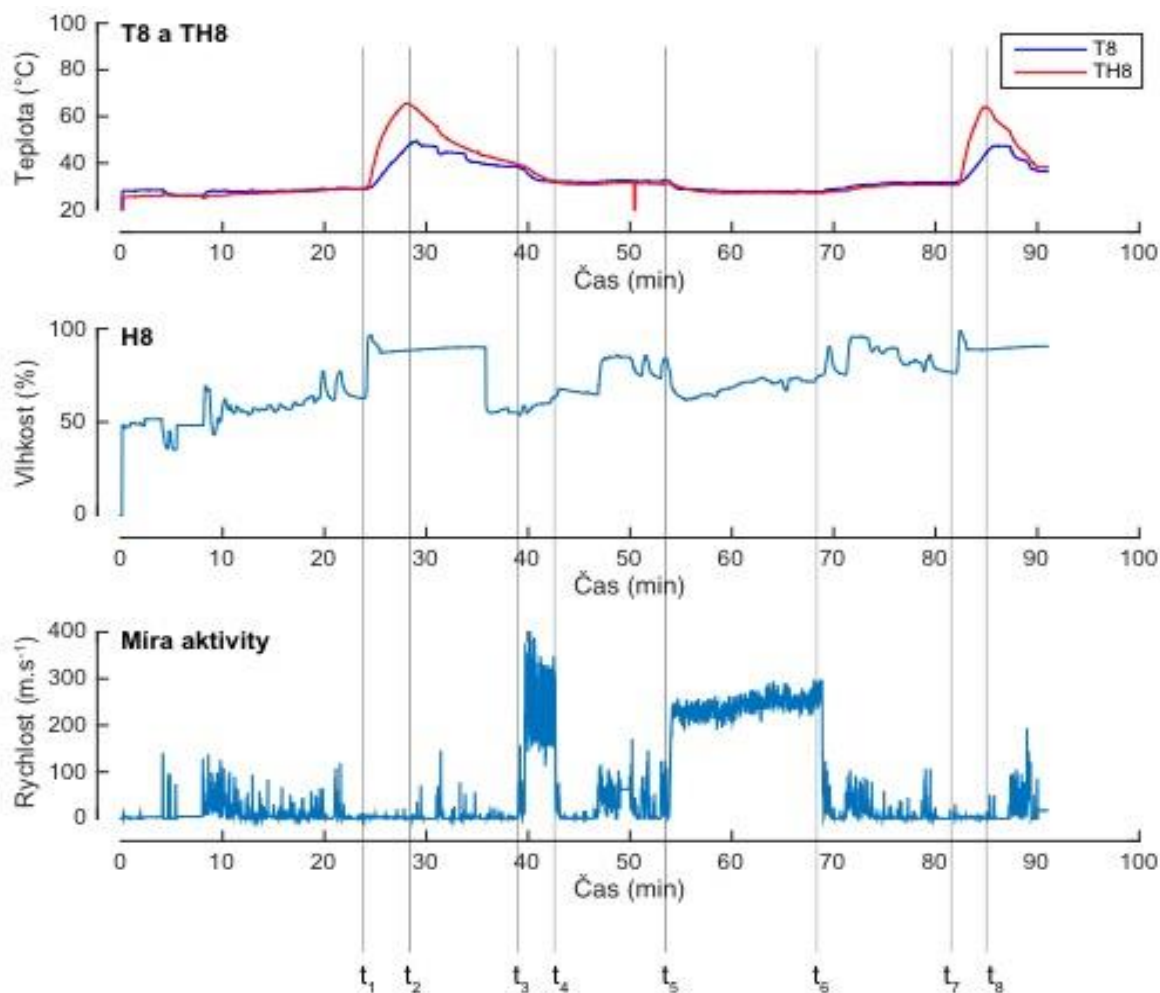


Obrázek 44: Grafy závislosti měřených veličin na čase měřené senzorem 3 v oblasti pod loktem u probanda č. 4. Nahoře: graf teplot závislosti teploty na čase: modrá křivka znázorňuje teplotu kůže, červená křivka teplotu pod oděvem. Uprostřed graf závislosti vlhkosti na čase. Dole graf míry aktivity závislosti rychlosti na čase.

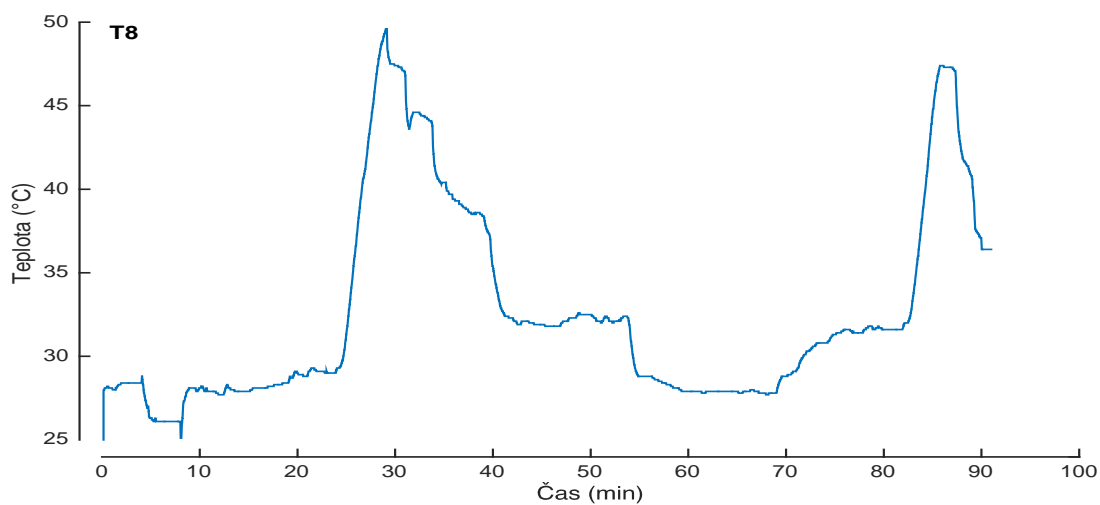


Obrázek 45: Graf závislosti teploty na čase. Teplota na kůži měřená senzorem 8 u probanda č. 4.

5.3.5 Proband číslo 5



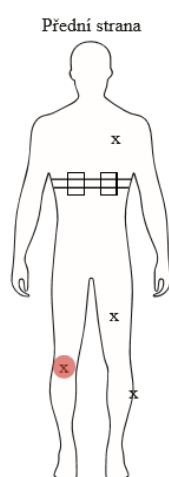
Obrázek 46: Grafy závislosti měřených veličin na čase měřené senzorem číslo 8 v oblasti pod kolenem u probanda č. 5. Nahoře: graf teplot závislosti teploty na čase: modrá křivka znázorňuje teplotu kůže, červená křivka teplotu pod oděvem. Uprostřed graf závislosti vlhkosti na čase. Dole graf míry aktivity závislosti rychlosti na čase.



Obrázek 47: Graf závislosti teploty na čase. Teplota na kůži měřená senzorem 8 u probanda č. 5.

Tabulka 10: Naměřená data ze senzoru číslo 8 umístěného na koleni pomocí systému FlexiGuard: teplota první klidové fáze před zahříváním (t_1), nejvyšší naměřená teplota při první fázi zahřívání technickým fénem (t_2), teplota na konci druhé klidové fáze před zahájením StepTestu (t_3), teplota bezprostředně před ukončením StepTestu (t_4), teplota na konci třetí klidové fáze před zahájením jízdy na bicyklovém ergometru (t_5), nejvyšší naměřená teplota při jízdě na bicyklovém ergometru (t_6), teplota na konci čtvrté klidové fáze před zahájením druhé fáze zahřívání horkovzdušnou pistolí (t_7), nejvyšší naměřená teplota při druhé fázi zahřívání horkovzdušnou pistolí (t_8)

ID	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
t_1 (°C)	29,6	29,0	31,2	30,6	31,2	30,6	27,9	27,3	29,2	28,7
t_2 (°C)	38,3	46,9	36,1	41,4	47,3	65,3	49,2	86,3	49,5	65,5
$t_2 - t_1$ (°C)	8,7	17,9	4,9	10,8	16,1	34,7	21,3	59	20,3	36,8
t_3 (°C)	34,1	34,6	34,1	33,9	34,6	33,8	36,9	38,7	38,4	39,6
t_4 (°C)	34,8	31,4	30,9	31,4	31,0	30,3	34,6	35,3	32,1	31,3
$t_4 - t_3$ (°C)	0,7	-3,2	-3,2	-2,5	-3,6	-3,5	-2,3	-3,4	-6,3	-8,3
t_5 (°C)	31,2	30,6	33,9	32,8	33,5	32,8	35,5	34,5	32,2	31,0
t_6 (°C)	32,3	31,1	30,8	29,0	30,4	28,4	34,6	31,8	27,8	27,3
$t_6 - t_5$ (°C)	1,1	0,5	-3,1	-3,8	-3,1	-4,4	-0,9	-2,7	-4,4	-3,7
t_7 (°C)	33,9	32,4	33,9	32,6	33,9	32,9	34,9	33,0	32,0	30,6
t_8 (°C)	36,9	41,5	36,6	38,4	49,4	77,2	38,7	37,9	47,1	64,0
$t_8 - t_7$ (°C)	3	9,1	2,7	5,8	15,5	44,3	3,8	4,9	15,1	33,4



Obrázek 48: Umístění senzoru na koleni. Vlastní tvorba.

6 DISKUZE

S bakalářskou prací [1] se shodují v umístění senzorů s jednou lokalitou a to na stehenní kosti. Umístění senzorů doprostřed zad a na střed břicha je nereálné pro praktické využití u hasičů, jelikož na zádech mají hasiči dýchací přístroj a místa podléhají častým ohybům. To je pro práci v těžkých podmínkách nekomfortní. Umístění na paži je podobné s umístěním na paži blízko axily v mé bakalářské práci. Odečítání teplot po 30s intervalech je příliš dlouhý interval, který se neshoduje s normou ČSN EN ISO 9886 Ergonomie – Hodnocení tepelné zátěže podle fyziologických měření. Z tohoto důvodu byl signál vzorkován vzorkovací frekvencí 1 Hz.

V článku [2] je snímána teplota ušního bubínku hned po vykonání práce. Zde je jiný styl měření, a to pomocí bezkontaktního teploměru.

Senzory byly umístěny dle možnosti upevnění v praxi. Umístění bylo určeno kombinací již proběhlých experimentů a vědomostí problematiky opotřebení v ohybech velkých kloubů. Dále bylo umístění inspirováno dalšími podobnými systémy a normou ČSN EN ISO 9886 [9].

Z grafů na obrázcích 23-44 v 5. kapitole bakalářské práce lze vidět, že při vnějším zahřívání probanda vzroste prvně teplota pod oděvem, zároveň se zvýší vlhkost prostředí a zvýší se teplota na kůži. Z grafů lze vidět, že křivka teploty v pracovním oděvu (červená křivka) roste strměji a dosahuje vyšších hodnot než křivka teploty na kůži (modrá křivka).

Dle publikace [8] se píše o popáleninách třetího stupně již při působení tepla 55 °C. Měření dosahovaly teploty pokožky až na 59,6 °C a k popálenině jakéhokoliv stupně nedošlo.

Na obrázcích grafů lze vidět rozdíl hodnot naměřených pomocí řídicí jednotky a 8 nodů. Příčina může nastat z několika důvodů. Konstrukce řídicí jednotky je větší, těžší a má proto větší tepelnou kapacitu, senzor pro měření teploty a vlhkosti pod oděvem má zabudován pod úrovní obalu jednotky a senzor pro měření teploty kůže má větší plochu snímání. 8 dílčích měřících jednotek má nižší hmotnost a menší velikost. Dílčí jednotky mají senzory pro měření teploty a vlhkosti pod oděvem umístěné v rovině obalu zařízení. Z grafů lze vidět, že řídicí jednotka reaguje na změny teplot a vlhkosti odlišně. Na grafech na obrázcích 13-22 lze

vidět, že senzor snímá teplotu prostředí odlišně než senzory 1-8, jejichž grafy jsou na obrázcích 23-44. To může být způsobeno zabudováním senzoru pod úroveň obalu, jelikož se může ve skulině stále držet malá část studeného vzduchu a výměna mezi teplotou prostředí v pracovním oděvu a teplotou prostředí ve skulině je pomalá. Zároveň lze vidět na grafech na obrázcích 13-22, že senzor snímající teplotu na kůži na řídicí jednotce reaguje mírněji než jednotky 1-8. Zároveň si teplotu udržuje déle i po skončení vnějšího oteplení. To je způsobeno větší plochou, která doléhá na pokožku, která má větší izolační účinky. V tabulce 7 lze vidět, že teplota se mění, ale z grafů nejsou rozpoznat rozdíly zřetelně ve stejném měřítku, jako z grafů z ostatních měřících jednotek 1-8. Další příčinou může být skutečnost, že v oblasti hrudníku se nachází pod pracovním oděvem větší objem vzduchu a tím teplota pod oděvem roste pomaleji než v ostatních lokacích.

První ohřívání horkovzdušnou pistolí proběhlo za suchého stavu uniformy a druhé ohřívání bylo realizováno po ukončení fyzické aktivity při které byl oděv propocen. U všech probandů byla použita stejná teplota v obou fázích experimentu. Z grafů lze vidět, že většinou kromě jednoho probanda teplota vnějšího prostředí vystoupala níže u druhé fáze ohřívání, ale proband cítil nepříjemné horko po kratší době a při nižších teplotách. Všichni probandi během druhé fáze ohřívání deklarovali, že teplo prostupuje rychleji a je nepříjemnější. Na časové ose lze vidět, že měření druhého ohřívání tepelnou pistolí bylo kratší.

Zkonstruované popruhy na upevnění senzorů fungovaly jako další izolace a tím zkreslovaly průběh signálu. V následující verzi je třeba nechat volný prostor nad senzorem teploty a vlhkosti pod oděvem. Problém lze také vyřešit vyvedením senzoru pomocí výběžku mimo popruhu či změnit konstrukci fixace.

Změny teplot lze vidět nejexplicitněji v ohybech velkých kloubů. Tato část uniformy nejvíce podléhá opotřebení a tím dochází k narušení struktury a funkce uniformy. Dále zde dochází k přilnutí oděvu ke kůži. Mezi pracovním oděvem a kůží probanda se zmenšuje objem vzduchu, a tak dochází k lepšímu přenosu tepla. Na obrázcích grafů 35-44 a v tabulce 9, které popisují průběh změn veličin pod kolenem, lze vidět, že probandi signalizovali pocit tepelného diskomfortu při vyšších teplotách než v ostatních lokacích. To může být způsobeno přítomností malého množství termoreceptorů. Doporučila bych umístění senzorů právě v těchto místech, a to pod kolenem a nad loktem. Zároveň zde lze vidět na akcelerometru

pohyb probanda. Nejčastější aktivitou hasiče je běh, což se projeví na akcelerometru na kolenu nebo stoj a práce rukama, což lze vidět na záznamu z lokte.

Při ohřívání dosahuje teplota v ohybech velkých kloubů vysokých hodnot. Naopak při StepTestu a jízdě na bicyklové ergometru nastává u probandů č 2-5 pokles teploty na kolenu. To může být způsobeno tím, že probandi neměli při absolvování experimentu hasičské boty, ale své sportovní. Tím nedošlo k izolaci nohavic od okolního prostředí a došlo k odvětrání tepla z nohavic. Teplota lokte stoupá, ač probandi neměli hasičské rukavice.

Senzory sice malé, ale stále příliš hluboké. Při použití v praxi jsou nekomfortní. Senzory je potřeba zploštit a tím nebudou hasiče omezovat při ležení, klečení či pohybu.

Chyby v měření mohly nastat z důvodu, že probandi měli stejnou uniformu jedné velikosti a každý měl odlišnou stavbu těla. Když měl proband uniformu velkou, vznikl velký prostor pro odvětrávání, ale zároveň při práci v horkém prostředí by to byla přítěž. Teplota okolního prostředí by se rychle vyměnila s teplotou pod oděvem. Hasiči mají oblek přizpůsoben své postavě.

Sledování teplotní zátěže je v praxi využitelné, jelikož u hasičů hrozí přehřátí organismu a následné kolabování hasičů, což má za následek ohrožení života. Pro budoucí využití by bylo možné určit parametry, které jsou pro člověka ohrožující a velitel zásahu by mohl hasiče ze zásahu odvolat. Z grafů lze vidět, že pro vychladnutí těla stačí pár minut mimo expozici tepla a člověk se může vrátit zpět do zásahu. Během zásahu je potřeba dodržovat pitný režim, jelikož ztráta vody je velká. V měření to lze vidět na ztrátě hmotnosti, ač váha nebyla kalibrovaná a může docházet k odchýlkám. Ztráta hmotnosti během experimentu je zaznamenána v tabulce 6. Medián ztráty hmotnosti z naměřených dat je 0,3 kg.

Z naměřených dat lze vyčíst souvislost mezi teplotou v pracovním oděvu a teplotou na kůži. Když odečteme teplotu v pracovním oděvu od teploty na kůži, získáme kladnou hodnotu v případě, když je proband zahříván z vnějšku a zápornou hodnotu, když proband vykazuje fyzickou aktivitu.

Medián naměřeného prahu diskomfortu u senzoru 3, který se nacházel na lokti je u suchého oděvu na pokožce 42,6 °C a pod pracovním oděvem 64,3 °C. U propoceního materiálu byl medián prahu teplotního diskomfortu na kůži 40 °C a pod oděvem 57,6 °C.

Na senzoru 8, který je umístěn pod kolenem je medián prahové teploty u suchého oděvu na kůži 47,3 °C a teplota pod uniformou má medián 65,3 °C. Vypočítaný medián u propoceního oděvu je na kůži 38,7 °C a pod oděvem 41,5 °C.

Pro určení prahové hodnoty je statisticky důležité vypočítat medián, ale vzhledem k individualitám nelze nekompromisně určit stupeň prahové hodnoty. Protože pro uvedení senzorů do praxe musí být řešení co nejjednodušší a nejméně omezující pro hasiče, doporučila bych použití teplotních senzorů, které měří teplotu pod oděvem v kombinaci s výpočtem rychlosti růstu teploty (směrnice křivky) v kombinaci s akcelerometrem vlhkoměrem. Z těchto veličin lze určit míru promočení pracovního oděvu, který mění své vlastnosti, fyzickou aktivitu a lze také odhadnout teplotu kůže. Pro další postup v tomto tématu bych navrhla systém vyhodnocení, které dokáže z již zmíněných parametrů určit teplotní zátěž.

Pro signalizaci navrhuji dvojité opatření. Signalizace je viditelná jak pro samotného hasiče, tak pro velitele zásahu. Při dosažení nebezpečné hodnoty se hasiči rozsvítí oranžová žárovka na levém předloktí. Velitel zásahu má vizualizační program v tabletu, kde jsou kontrolky pro všechny hasiče. Zeleně svítí hasiči, kteří mají hodnoty v pořádku, oranžově ti, kteří jsou na kritické hodnotě a červeně hasiči, kteří jsou bez pohybu a s kritickými hodnotami. Vizualizace nebezpečného prahu je již v systému FlexiGuard softwarově předpřipravena. Je důležité dublovat signalizaci, jelikož si samotný hasič nemusí všimnout rozsvícené kontrolky nebo nemusí být v dosahu signálu s vizualizačním monitorem.

Při dalším měření bych změnila některá umístění senzorů, aby nedocházelo k vypadávání komunikace s řídicí jednotkou. Například senzor 2 byl umístěn na zádech, a tak často měl problém s napojením na řídicí jednotku. Dále bych zvolila více probandů pro směrodatnější vyhodnocení.

Jiné měření by bylo dobré provést opět v laboratoři, kde by se nasimulovaly podmínky podobné lidskému organismu. Na tkáň v uniformě by bylo působeno regulovaným teplem a byly by sledovány její reakce.

7 ZÁVĚR

Využitím senzorů, které měří teplotu pokožky, teplotu a relativní vlhkost a aktivitu pohybu lze vyhodnotit, že probíhá teplotní zátěž u probandů v hasičském pracovním oděvu. Pomocí předchozích experimentů, norem a zkušeností byly určeny lokace pro umístění a fixaci senzorů. Byl navržen a realizován experiment pro praktickou část bakalářské práce, ve kterém bylo sledováno 5 dobrovolníků v laboratorních podmínkách simulování tepelné zátěže. U probandů byla monitorována povrchová teplota kůže, teplota a vlhkost pod pracovním oděvem a fyzická aktivita, a to v 9 odlišných pozicích. Po naměření parametrů byla data zpracována (export, spojení jednotlivých datových souborů, číslicová filtrace) a vizualizována pomocí programového prostředku MATLAB. Dále bylo na signálech vytipováno 8 parametrů v časové oblasti. Hodnoty těchto parametrů byly spočítány u všech lokací a probandů a sestaveny do souhrnných tabulek.

Z naměřených dat bylo potvrzeno, že teplota pod oděvem souvisí s teplotou naměřenou na kůži, a to charakteristickým způsobem (viz kapitola Diskuze) – zjištěné skutečnosti bude možné využít k predikci lokálního přehřátí hasiče, a to pravděpodobně pouze na základě kombinace průběhu teploty pod pracovním oděvem, vlhkosti a signálu o míře fyzické aktivity. Dále byla navržena metoda, jak odlišit vnější a vnitřní tepelnou zátěž – když se odečte teplota pod oděvem od teploty na kůži, získáme kladnou hodnotu pro vnější tepelnou zátěž a zápornou hodnotu pro vnitřní tepelnou zátěž.

Probandi během experimentu deklarovali konstantní teplo v oděvu při pokojové teplotě 21 °C. Byly stanoveny mediány teplot ve vybraných lokacích, při kterých probandi signalizovali pocit znatelného oteplení – jejich hodnoty se liší podle relativní vlhkosti pod oděvem - při zahřívání fénem v propocené uniformě si stěžovali na rychlejší a nepříjemnější pocit tepla. Získané mediány je možné využít jako výchozí nastavení pro stanovení prahových hodnot při budoucí automatizované signalizaci lokálního přehřátí. Z naměřených dat je zřejmé, že pro určení prahu teplotního diskomfortu je potřeba pracovat se čtyřmi parametry – aktuální teplotou pod pracovním oděvem, rychlostí růstu této teploty, relativní vlhkostí pod oděvem a mírou fyzické aktivity probanda.

8 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

Zkratka	Význam
PPD	Střední podíl nespokojených lidí
PMV	Střední tepelný pocit
FBMI ČVUT	Fakulta biomedicínského inženýrství Českého vysokého učení technického v Praze
1. LF UK	1. Lékařská fakulta Univerzity Karlovy
HZS ČR	Hasičský záchranný sbor České republiky
ID	Identifikační číslo
IZS	Integrovaný záchranný systém

9 SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ

Symbol	Jednotka	Význam
m	kg	Hmotnost
t_{cr}	°C	Nitrotělní teploty
t_{es}	°C	Teplota v jícnu
t_{re}	°C	Rektální teplota
t_{ab}	°C	Nitrobřišní teplota
t_{or}	°C	Orální teplota
t_{ty}	°C	Teplota ušního bubínku
t_{ac}	°C	Teplota zvukovodu
t_{ur}	°C	Teplota moči
t_{sk}	°C	Teplota kůže
HR		Srdeční frekvence
T	°C	Teplota kůže
TH	°C	Teplota v pracovním oděvu
H	°C	Relativní vlhkost
v	m.s ⁻¹	Rychlost
a	m.s ⁻²	Zrychlení
C	mAh	Kapacita
U	V	Napětí
P	W	Výkon

10 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] MIČUNEK, Jakub. *Fyzická zátěž hasiče při použití ochranného oděvu pro zásahy na volném prostranství*. Ostrava, 2012. Diplomová práce. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Fakulta bezpečnostního inženýrství. Vedoucí práce Adam Thomitzek.
- [2] LJUBICIC, Anita. Response to thermal and physical strain during flashover training in Croatian firefighters. *Applied Ergonomics*. 2014, **45**(4), 544-549. ISSN 0003-6870.
- [3] *Závěrečná technická zpráva systému Flexiguard*. Praha, 2013-2015.
- [4] ROKYTA, Richard a kol. *Fyziologie*. Třetí, přepracované vydání (první vydání v nakladatelství Galén). Praha: Galén, 2016. ISBN 978-80-7492-238-1.
- [5] ROKYTA, Richard a kol. *Fyziologie a patologická fyziologie: pro klinickou praxi*. 1. vydání. Praha: Grada Publishing, 2015. ISBN 978-80-247-4867-2.
- [6] DYLEVSKÝ, Ivan. *Základy funkční anatomie*. 1. Olomouc: Poznání, 2011. ISBN 978-80-87419-06-9.
- [7] BALOG, Karol. *Dynamika požáru*. 1. vyd. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 1999. ISBN 80-861-1144-X.
- [8] KÖNIGOVÁ, Radana. *Komplexní léčba popálenin*. 1. vyd. Praha: Grada, 1999. ISBN 80-716-9416-9.
- [9] ČSN EN ISO 9886 *Ergonomie – Hodnocení tepelné zátěže podle fyziologických měření*. 1., 2004.

- [10] ČSN EN ISO 7726 *Ergonomie tepelného prostředí – Analytické stanovení a interpretace tepelného stresu pomocí výpočtu předpovídané tepelné zátěže*. Květen 2005. Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [11] ČSN EN ISO 7730. *Mírné tepelné prostředí – Stanovení ukazatelů PMV a PPD a popis podmínek tepelné pohody*. Březen 1997. Praha: Český normalizační institut, 1996.
- [12] KREIDL, Marcel. *Měření teploty: senzory a měřící obvody*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2005. Senzory neelektrických veličin. ISBN 80-730-0145-4.
- [13] CHMELAR, Milan, Jiří ROZMAN a Aleš DRASTICH. *Lékařská přístrojová technika II*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1984. ISBN 80-858-6763-X.
- [14] HON, Zdeněk a kol. Biotelemetrie a její využití pro záchranné složky. *Urgentní medicína*. 2013, **16**(1), 4. ISSN 1212-1924.
- [15] LÖFFLER, Jobst. a Markus. KLANN. *Mobile response: Second International Workshop on Mobile Information Technology for Emergency Response 2008, Bonn, Germany, May 29-30, 2008 : revised selected papers*. New York: Springer, 2008. Lecture notes in computer science, 5424. ISBN 978-3-642-00439-1.
- [16] KLANN, Marcus. LifeNet: an Ad-hoc Sensor Network and Wearable System to Provide Firefighters with Navigation Support. *UbiComp: Demos Extended Abstracts*. Innsbruck, 2007, , 4.
- [17] HON, Zdeněk, Pavel SMRČKA, Karel HÁNA, Jan KAŠPAR a Jan MUŽÍK. *Dohledový podpůrný systém pro složky IZS*. b.r., **2015**, 12.
- [18] ProeTEX - PROtection E-TEXtiles: MicroNanoStructured Fibre Systems for Emergency-Disaster Wear (2006 - 2010). *Department of Materials, Textiles and Chemical Engineering: Center for textile science and engineering* [online].

Zwijnaarde: Ghent University, b.r. [cit. 2017-03-02]. Dostupné z:
<https://www.ugent.be/ea/match/textiles/en/research/projects/afgelopenprojecten/proetex.htm>

- [19] Important Protective Equipment that Fire and Rescue Workers Should Use. *ProeTex* [online]. ProeTex, 2016 [cit. 2017-05-08]. Dostupné z:
<http://www.proetex.org/important-protective-equipment-fire-rescue-workers-use.htm>
- [20] HON, Zdeněk a kol. Biotelemetry and its Use for Rescue Teams. *Urgent Medicine*. 2013, **16**(1), 29-32. ISSN 1212-1924.
- [21] SCHLENKER, Jakub. FlexiGuard: Modular biotelemetry system for military applications. *Military Technologies (ICMT), 2015 International Conference on*. b.r., **2015**, 1-6.
- [22] VESELÝ, Tomáš. a kol *Personal Security System for the Support of the Training Process and Increasing the Safety of Members of the Integrates Resue System*. Požární ochrana 2015. Ostrava, 2015.

11 SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Rozmístění termočlánků dle Jakuba Mičunka [1].....	11
Obrázek 2: Rozmístění senzorů podle SÚJCHBO. Paže a levý prsní sval. Archiv autorů FlexiGuard.	12
Obrázek 3: Rozmístění senzorů podle SÚJCHBO. Záda blízko krku. Archiv autorů FlexiGuard.	12
Obrázek 4: Vlevo rozmístění senzorů během výcviku ve Zbirohu. Archiv autorů FlexiGuard.	13
Obrázek 5: Znázornění senzorů popsané v Tabulce 1 dle normy ČSN EN ISO 9886, [8]23	
Obrázek 6: Princip fungování dohledového systému FlexiGuard. [17].....	27
Obrázek 7: Sensory použité pro měření. Vlevo 8 senzorů pro místní snímání teploty, vlhkosti a míry aktivity. Uprostřed centrální jednotka pro měření teploty, vlhkosti, tepové frekvence a akcelometr a řídicí centrální jednotka pro přijímání a odesílání dat s anténou; Vpravo hrudní pás. Vlastní tvorba.	31
Obrázek 8: Schéma umístění senzorů. Vlastní tvorba.	35
Obrázek 9: Fotografie umístění senzorů: vlevo přední strana, vpravo zadní strana. Vlastní tvorba.	35
Obrázek 10: Vlevo StepTest; vpravo jízda na bicyklovém ergometru. Vlastní tvorba	37
Obrázek 11: Schéma průběhu experimentu. Ukázka naměřených veličin ze senzoru 8, který se nachází pod kolenem. Veličiny: teplota kůže (T8), teplota v pracovním oděvu (TH8), vlhkost v pracovním oděvu (H8), míra aktivity. Vlastní tvorba.	38
Obrázek 12: Schéma přenosu a následné zpracování dat v programech. Vlastní tvorba.	40
Obrázek 13: Grafy závislosti měřených veličin na čase měřené řídicí jednotkou v oblasti hrudníku u probanda č. 1. Nahoře: graf teplot závislosti teploty na čase: modrá křivka znázorňuje teplotu kůže, červená křivka teplotu pod oděvem. Uprostřed graf závislosti vlhkosti na čase. Dole graf míry aktivity závislosti rychlosti na čase.	43
Obrázek 14: Graf závislosti teploty na čase. Teplota na kůži měřená řídicí jednotkou u probanda č. 1.....	43
Obrázek 15: Grafy závislosti měřených veličin na čase měřené řídicí jednotkou v oblasti hrudníku u probanda č. 2. Nahoře: graf teplot závislosti teploty na čase: modrá křivka znázorňuje teplotu kůže, červená křivka teplotu pod oděvem. Uprostřed graf závislosti vlhkosti na čase. Dole graf míry aktivity závislosti rychlosti na čase.	44

Obrázek 16: Graf závislosti teploty na čase. Teplota na kůži měřená řídicí jednotkou u probanda č. 2.....	44
Obrázek 17: Grafy závislosti měřených veličin na čase měřené řídicí jednotkou v oblasti hrudníku u probanda č. 3. Nahoře: graf teplot závislosti teploty na čase: modrá křivka znázorňuje teplotu kůže, červená křivka teplotu pod oděvem. Uprostřed graf závislosti vlhkosti na čase. Dole graf míry aktivity závislosti rychlosti na čase.	45
Obrázek 18: Graf závislosti teploty na čase. Teplota na kůži měřená řídicí jednotkou u probanda č. 3.....	45
Obrázek 19: Grafy závislosti měřených veličin na čase měřené řídicí jednotkou v oblasti hrudníku u probanda č. 4. Nahoře: graf teplot závislosti teploty na čase: modrá křivka znázorňuje teplotu kůže, červená křivka teplotu pod oděvem. Uprostřed graf závislosti vlhkosti na čase. Dole graf míry aktivity závislosti rychlosti na čase.	46
Obrázek 20: Graf závislosti teploty na čase. Teplota na kůži měřená řídicí jednotkou u probanda č. 4.....	46
Obrázek 21: Grafy závislosti měřených veličin na čase měřené řídicí jednotkou v oblasti hrudníku u probanda č. 5. Nahoře: graf teplot závislosti teploty na čase: modrá křivka znázorňuje teplotu kůže, červená křivka teplotu pod oděvem. Uprostřed graf závislosti vlhkosti na čase. Dole graf míry aktivity závislosti rychlosti na čase.	47
Obrázek 22: Graf závislosti teploty na čase. Teplota na kůži měřená řídicí jednotkou u probanda č. 4.....	47
Obrázek 23: Umístění snímací řídicí jednotky. Vlastní tvorba.	48
Obrázek 24: Grafy závislosti měřených veličin na čase senzorem číslo 2 měřené na zádech nad lopatkou u probanda č. 4. Nahoře: graf teplot závislosti teploty na čase: modrá křivka znázorňuje teplotu kůže, červená křivka teplotu pod oděvem. Uprostřed graf závislosti vlhkosti na čase. Dole graf míry aktivity závislosti rychlosti na čase.	49
Obrázek 25: Graf závislosti teploty na čase. Teplota na kůži měřená senzorem 2 u probanda č. 4.....	49
Obrázek 26: Grafy závislosti měřených veličin na čase senzorem číslo 2 měřené na zádech nad lopatkou u probanda č. 5. Nahoře: graf teplot závislosti teploty na čase: modrá křivka znázorňuje teplotu kůže, červená křivka teplotu pod oděvem. Uprostřed graf závislosti vlhkosti na čase. Dole graf míry aktivity závislosti rychlosti na čase.	50
Obrázek 27: Graf závislosti teploty na čase. Teplota na kůži měřená senzorem 2 u probanda č. 5.....	50

Obrázek 28 Umístění senzoru na zádech. Vlastní tvorba.	51
Obrázek 29: Grafy závislosti měřených veličin na čase měřené senzorem 3 v oblasti pod loktem u probanda č. 1. Nahoře: graf teplot závislosti teploty na čase: modrá křivka znázorňuje teplotu kůže, červená křivka teplotu pod oděvem. Uprostřed graf závislosti vlhkosti na čase. Dole graf míry aktivity závislosti rychlosti na čase.	52
Obrázek 30:Graf závislosti teploty na čase. Teplota na kůži měřená senzorem 3 u probanda č. 1.....	52
Obrázek 31: Grafy závislosti měřených veličin na čase měřené senzorem 3 v oblasti pod loktem u probanda č. 3. Nahoře: graf teplot závislosti teploty na čase: modrá křivka znázorňuje teplotu kůže, červená křivka teplotu pod oděvem. Uprostřed graf závislosti vlhkosti na čase. Dole graf míry aktivity závislosti rychlosti na čase.	53
Obrázek 32: Graf závislosti teploty na čase. Teplota na kůži měřená senzorem 3 u probanda č. 3.....	53
Obrázek 33: Grafy závislosti měřených veličin na čase měřené senzorem 3 v oblasti nad loktem u probanda č. 4. Nahoře: graf teplot závislosti teploty na čase: modrá křivka znázorňuje teplotu kůže, červená křivka teplotu pod oděvem. Uprostřed graf závislosti vlhkosti na čase. Dole graf míry aktivity závislosti rychlosti na čase.	54
Obrázek 34: Graf závislosti teploty na čase. Teplota na kůži měřená senzorem 3 u probanda č. 4.....	54
Obrázek 35: Grafy závislosti měřených veličin na čase měřené senzorem 3 v oblasti nad loktem u probanda č. 5. Nahoře: graf teplot závislosti teploty na čase: modrá křivka znázorňuje teplotu kůže, červená křivka teplotu pod oděvem. Uprostřed graf závislosti vlhkosti na čase. Dole graf míry aktivity závislosti rychlosti na čase.	55
Obrázek 36: Graf závislosti teploty na čase. Teplota na kůži měřená senzorem 3 u probanda č. 5.....	55
Obrázek 37: Umístění senzoru na loktu. Vlastní tvorba.	56
Obrázek 38: Grafy závislosti měřených veličin na čase měřené senzorem 8 v oblasti pod kolenem u probanda č. 1. Nahoře: graf teplot závislosti teploty na čase: modrá křivka znázorňuje teplotu kůže, červená křivka teplotu pod oděvem. Uprostřed graf závislosti vlhkosti na čase. Dole graf míry aktivity závislosti rychlosti na čase.	57
Obrázek 39: Graf závislosti teploty na čase. Teplota na kůži měřená senzorem 8 u probanda č. 1.....	57

Obrázek 40: Grafy závislosti měřených veličin na čase měřené senzorem 8 v oblasti pod kolenem u probanda č. 2. Nahoře: graf teplot závislosti teploty na čase: modrá křivka znázorňuje teplotu kůže, červená křivka teplotu pod oděvem. Uprostřed graf závislosti vlhkosti na čase. Dole graf míry aktivity závislosti rychlosti na čase.	58
Obrázek 41: Graf závislosti teploty na čase. Teplota na kůži měřená senzorem 8 u probanda č. 2.....	58
Obrázek 42: Grafy závislosti měřených veličin na čase měřené senzorem 3 v oblasti pod loktem u probanda č. 3. Nahoře: graf teplot závislosti teploty na čase: modrá křivka znázorňuje teplotu kůže, červená křivka teplotu pod oděvem. Uprostřed graf závislosti vlhkosti na čase. Dole graf míry aktivity závislosti rychlosti na čase.	59
Obrázek 43: Graf závislosti teploty na čase. Teplota na kůži měřená senzorem 8 u probanda č. 3.....	59
Obrázek 44: Grafy závislosti měřených veličin na čase měřené senzorem 3 v oblasti pod loktem u probanda č. 4. Nahoře: graf teplot závislosti teploty na čase: modrá křivka znázorňuje teplotu kůže, červená křivka teplotu pod oděvem. Uprostřed graf závislosti vlhkosti na čase. Dole graf míry aktivity závislosti rychlosti na čase.	60
Obrázek 45: Graf závislosti teploty na čase. Teplota na kůži měřená senzorem 8 u probanda č. 4.....	60
Obrázek 46: Grafy závislosti měřených veličin na čase měřené senzorem číslo 8 v oblasti pod kolenem u probanda č. 5. Nahoře: graf teplot závislosti teploty na čase: modrá křivka znázorňuje teplotu kůže, červená křivka teplotu pod oděvem. Uprostřed graf závislosti vlhkosti na čase. Dole graf míry aktivity závislosti rychlosti na čase.	61
Obrázek 47: Graf závislosti teploty na čase. Teplota na kůži měřená senzorem 8 u probanda č. 5.....	61
Obrázek 48: Umístění senzoru na koleni. Vlastní tvorba.	62

12 SEZNAMU POUŽITÝCH TABULEK

Tabulka 1: Návrh umístění senzorů dle normy ČSN EN ISO 9886 [9]	22
Tabulka 2: Naměřená data při první klidové fázi: nasycení krve kyslíkem(SpO_2), teplota v axile (t), tepová frekvence (HR), tlak (TK).....	41
Tabulka 3: Naměřená data po zahřívání technickým fénem: tepová frekvence (HR), tlak (TK), nasycení krve kyslíkem(SpO_2).....	41
Tabulka 4: Naměřená data po Harvardském StepTestu: tepová frekvence bezprostředně po ukončení StepTestu ($HR1$), tepová frekvence po 75 s ($HR2$), tepová frekvence po 150 s ($HR3$), tlak bezprostředně po ukončení StepTestu ($TK1$), tlak po 150 s po ukončení StepTestu ($TK2$), nasycení krve kyslíkem(SpO_2).....	42
Tabulka 5: Naměřená data po jízdě na bicyklovém ergometru: tepová frekvence (HR), tlak (TK), nasycení krve kyslíkem(SpO_2).....	42
Tabulka 6: Hmotnost naměřená před začátkem experimentu ($m1$) a po konci experimentu ($m2$) a jejich rozdíl.	42
Tabulka 7: Naměřená data z řídicí jednotky pomocí systému FlexiGuard: teplota první klidové fáze před zahříváním ($t1$), nejvyšší naměřená teplota při první fázi zahřívání horkovzdušnou pistolí ($t2$), teplota na konci druhé klidové fáze před zahájením StepTestu ($t3$), teplota bezprostředně před ukončením StepTestu ($t4$), teplota na konci třetí klidové fáze před zahájením jízdy na bicyklovém ergometru ($t5$), nejvyšší naměřená teplota při jízdě na bicyklovém ergometru ($t6$), teplota na konci čtvrté klidové fáze před zahájením druhé fáze zahřívání horkovzdušnou pistolí ($t7$), nejvyšší naměřená teplota při druhé fázi zahřívání horkovzdušnou pistolí ($t8$)	48
Tabulka 8: Naměřená data ze senzoru číslo 2, umístěného na zádech, pomocí systému FlexiGuard: teplota první klidové fáze před zahříváním ($t1$), nejvyšší naměřená teplota při první fázi zahřívání horkovzdušnou pistolí ($t2$), teplota na konci druhé klidové fáze před zahájením StepTestu ($t3$), teplota bezprostředně před ukončením StepTestu ($t4$), teplota na konci třetí klidové fáze před zahájením jízdy na bicyklovém ergometru ($t5$), nejvyšší naměřená teplota při jízdě na bicyklovém ergometru ($t6$), teplota na konci čtvrté klidové fáze před zahájením druhé fáze zahřívání horkovzdušnou pistolí ($t7$), nejvyšší naměřená teplota při druhé fázi zahřívání horkovzdušnou pistolí ($t8$).....	51
Tabulka 9: Naměřená data ze senzoru číslo 3 umístěného na pravém lokti pomocí systému FlexiGuard: teplota první klidové fáze před zahříváním ($t1$), nejvyšší naměřená teplota při	

první fázi zahřívání horkovzdušnou pistolí (*t2*), teplota na konci druhé klidové fáze před zahájením StepTestu (*t3*), teplota bezprostředně před ukončením StepTestu (*t4*), teplota na konci třetí klidové fáze před zahájením jízdy na bicyklovém ergometru (*t5*), nejvyšší naměřená teplota při jízdě na bicyklovém ergometru (*t6*), teplota na konci čtvrté klidové fáze před zahájením druhé fáze zahřívání horkovzdušnou pistolí (*t7*), nejvyšší naměřená teplota při druhé fázi zahřívání horkovzdušnou pistolí (*t8*).....56

Tabulka 10: Naměřená data ze senzoru číslo 8 umístěného na koleni pomocí systému FlexiGuard: teplota první klidové fáze před zahříváním (*t1*), nejvyšší naměřená teplota při první fázi zahřívání horkovzdušnou pistolí (*t2*), teplota na konci druhé klidové fáze před zahájením StepTestu (*t3*), teplota bezprostředně před ukončením StepTestu (*t4*), teplota na konci třetí klidové fáze před zahájením jízdy na bicyklovém ergometru (*t5*), nejvyšší naměřená teplota při jízdě na bicyklovém ergometru (*t6*), teplota na konci čtvrté klidové fáze před zahájením druhé fáze zahřívání horkovzdušnou pistolí (*t7*), nejvyšší naměřená teplota při druhé fázi zahřívání horkovzdušnou pistolí (*t8*).....62

13 SEZNAM PŘÍLOH

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

Příloha 1: Rozhodnutí etické komise



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta biomedicínského inženýrství
nám. Sítná 3105, 272 01 Kladno

Žádost o projednání výzkumného projektu v etické komisi FBMI ČVUT *Application for approval of a research project by FBMI CTU Institutional Ethical/Review Board*

Název projektu: Sledování teplotní zátěže hasičů pomocí senzorů umístěných v pracovním oděvu

Name of the project: Monitoring the thermal strain of firefighters using sensors placed in uniform

Hlavní řešitel projektu (Jméno, pracoviště, e-mail): Daniela Vaňková, Společné biomedicínské pracoviště FBMI ČVUT v Praze a I. lékařské fakulty UK v Praze, vankodan@fbmi.cvut.cz

Stručný popis projektu (do 100 slov):

Cílem projektu je ověření možnosti automatického vyhodnocení tepelné zátěže hasičů pomocí bezdrátového monitorovacího systému, který snímá teplotu, tepovou frekvenci a vlhkost pod oděvem. Získaná data budou zpracována do grafů. Na základě grafů bude diskutováno, jak působení tepla a energetický výdej organismu ovlivňuje teplotu kůže a zdali z tohoto parametru je možné analyzovat tepelnou zátěž.


Charakter projektu:

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

Seznam příkládaných dokumentů:

- sylabus projektu
- informovaný souhlas vč. informace pro subjekt hodnocení
- karta probanda

V Kladně dne 3.5.2017


podpis hlavního řešitele

Vyjádření souhlasu etické komise FBMI ČVUT *FBMI CTU Institutional Ethical/Review Board approval*

Projekt byl schválen etickou komisí FBMI ČVUT dne: 15.5.2017
pod číslem: C5/017

platný do: 30.5.2017

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

Řešitel projektu splnil podmínky nutné k získání souhlasu etické komise.

V Kladně dne 15.5.2017

ETICKÁ KOMISE
České vysoké učení technické v Praze
Fakulta biomedicínského inženýrství
nám. Sítná 3105
272 01 Kladno


Mgr. Martina ŠLIKOVÁ
podpis předsedy etické komise

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

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

IČ: 68407700
DIČ: CZ68407700
Bankovní spojení: KB Praha 6
č.ú. 27-7380010287/0100

Příloha 2: Sylabus výzkumného projektu

<p>V případě, že ano, popište rozdíly: Proband bude vykonávat specifické činnosti popsané výše. Měření se budou používat prostředky, které jsou taktéž popsány výše.</p>	
<p>Možná rizika, nesnáze a obtíže pro subjekt hodnocení (včetně etických): Rizika spojená s měřením jsou minimální. Z projektu budou vyloučeny subjekty s nemocemi dýchacích cest, kardiovaskulárních chorob. Informace plynou z vyplněné karty probanda. Diskomfort může nastat z tepelného zatížení, kdy se proband vystaví řízenému vlivu tepla zvenčí. Jelikož bude teplota nízká a k ochraně kůže použit certifikovaný tepelně odolný hasičský pracovní oděv, nemůže dojít k popálení. Lehký diskomfort může nastat z umístění držáků měřicích senzorů, tento diskomfort je obdobný jako při použití standardního sport-testeru. Senzory jako takové jsou malé a nepředstavují žádnou zátěž.</p>	
<p>Jak je zajištěna bezpečnost testovaného subjektu: Probandi budou poučeni, že je možné test kdykoliv ukončit. Systém FlexiGuard pro snímání tepové frekvence, teploty kůže a pohybové aktivity je vlastní systém vyvinutý na Společném pracovišti biomedicínského inženýrství FBMI s 1. LF UK. Jeho konstrukce a použití nepředstavuje pro uživatele žádné riziko.</p>	
<p>Kdo ponese náklady na odškodnění v případě poškození subjektu hodnocení: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta biomedicínského inženýrství.</p>	
<p>C: Charakteristika souboru laboratorních zvířat:</p>	
Druh laboratorních zvířat:	Počet:
Doba trvání celého projektu (datum od-do):	Doba trvání pro jeden subjekt hodnocení:
<p>Jak bude zajištěna péče o zvířata v průběhu experimentu:</p>	
<p>D: Doplnující informace k výzkumnému projektu:</p>	

V Kladně dne

_____ *podpis hlavního řešitele*

Příloha 3: Informovaný souhlas

Informovaný souhlas

a informace pro subjekt hodnocení

Název: Sledování teplotní zátěže hasičů pomocí senzorů umístěných v pracovním oděvu.

Hlavní řešitel, spoluředitel: Daniela Vaňková,

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

Vážený probande,

Projekt *Sledování teplotní zátěže hasičů pomocí senzorů umístěných v pracovním oděvu* je výzkumný projekt Fakulty biomedicínského inženýrství Českého vysokého učení technického v Praze.

Projekt je realizován v rámci stejnojmenné bakalářské práce a slouží k získání dat pro jejich následné zpracování a vyhodnocení.

Tepelná zátěž nastává při vystavení lidského organismu vyšším teplotám než je teplota pokojová, což je typické pro povolání hasiče. K experimentu budou použity hasičské uniformy, které i při pokojových teplotách organismus oteplují. Ve spojení s fyzickou námahou se zvyšuje teplota pokožky, jelikož se organismus brání přehřátí pomocí termoregulace.

Pro měření teploty kůže se využívá bezdrátový systém FlexiGuard, který je vyvinut na půdě Společného pracoviště biomedicínského inženýrství FBMI a 1. LF UK. Systém obsahuje několik senzorů pro měření teploty kůže a vlhkosti v uniformě a řídicí jednotku pro měření teploty kůže a tepové frekvence. Řídicí jednotka odesílá data do počítače v reálném čase. Pro upevnění senzorů a řídicí jednotky jsou použity popruhy se statickou a flexibilní částí, opatřené suchým zipem.

Senzory budou umístěny pomocí pásů na pravé paži posterior, levém stehně anterior a laterálně na levé holeni. Řídicí jednotka bude umístěna pomocí pásu okolo hrudního koše v úrovni mečovitého výběžku sternu.

Metoda měření pomocí senzorů je zcela neinvazivní. Může nastat pocit diskomfortu při užívání upevňovacích popruhů. Ty lze dle potřeby povolit či přitáhnout. Díky bezdrátovému systému je účastník experimentu bez omezení v prostoru, jen musí být v dosahu antény.

Cílem experimentu je ověření možnosti vyhodnocení tepelné zátěže pomocí parametru teploty kůže a tepoty pod oděvem.

Experiment bude prováděn na vybraných dobrovolnících (probandech) zejména z řad studentů a pracovníků FBMI mužského pohlaví, jelikož hasiči ve výjezdových jednotkách v České Republice, na které měření směřujeme, jsou pouze mužského pohlaví. Věk probandů je v rozmezí 20–40 let. Po příchodu do experimentální místnosti bude proband podroben vstupnímu vyšetření, při kterém mu budou zjištěny následující údaje: výška, váha, věk, tepová frekvence, teplota v axile, tlak a nasycení krve

kyslíkem. Dále bude zaznamenáno, zda je proband aktivní kuřák, zda netrpí nemocemi respirační a kardiovaskulární soustavy. Dále bude zaznamenáno, zda proband netrpí nebo netrpěl nemocemi pohybového ústrojí. Na probanda budou umístěny senzory a řídicí jednotka pomocí popruhů. Proband si obleče uniformu a následuje klidová fáze na židli pro ustálení teploty na senzorech. V první části měření bude na uniformu v místech umístěných senzorů působeno regulovaným teplem pomocí fěnu. Dále následuje 2. klidová fáze (10 minut) na židli na vychladnutí. Následuje Harvardský StepTest k navození mírné fyzické aktivity. Samotná fyzická aktivita bude trvat 5 minut a následuje měření tepové frekvence, tlaku a nasycení krve kyslíkem 3 krát v intervalu 75 sekund. Následuje 3. klidová fáze na židli po dobu 10 minut a 15minutový test na bicykovém ergometru, kdy se zátěž zvyšuje po 3 minutách. Na závěr experimentu budou změřeny hodnoty: tlak, nasycení krve kyslíkem a váha probanda.

Experimentu se nesmí zúčastnit osoby, které trpí nemocí pohybového ústrojí, nemocemi dýchacího ústrojí a osoby s kardiovaskulárními chorobami. Proband svým podpisem tohoto informovaného podpisu stvrzuje, že porozuměl těmto vylučujícím kritériím, a že tato vylučovací kritéria nenaplnuje.

Diskomfort pro probandy je nošení upevňovacích pásů, čímž může dojít k mechanickému poškození pokožky. Dalším diskomfortem pro probanda může být zvýšení působení tepla na pokožku. Zde není riziko popálení, jelikož bude teplota pokožky sledována v reálném čase. V případě, že teplota kůže dosáhne 41 °C, bude měřená fáze předčasně ukončena. Kromě uvedených vylučujících kritérií je experiment zcela bezpečný. Z naměřených dat nebudou vyvozovány jakékoli závěry o Vašem zdravotním stavu.

Náklady na odškodnění v případě poškození probanda ponese ČVUT FBMI, nicméně riziko je minimalizováno využitím přístrojů, která využívají bateriové napájení. Dále má proband právo test kdykoliv ukončit. **Účast na experimentu je zcela dobrovolná, bez nároku na jakoukoliv odměnu. Zároveň se nepředpokládají žádné finanční výdaje probanda.**

Podepsáním tohoto písemného informovaného souhlasu souhlasíte s tím, že hlavní řešitelé a etická komise budou mít umožněn přímý přístup k původní klinické dokumentaci za účelem ověření průběhu studie anebo údajů, aniž dojde k porušení důvěrnosti informací o Vaší osobě, v míře povolené právními předpisy. Záznamy, podle nichž lze identifikovat probanda, budou uschovány jako důvěrné a nebudou, v míře zaručené právními předpisy, veřejně zpřístupněny. Budou-li výsledky studie publikovány, totožnost probanda nebude zveřejněna.

Vyskytne-li se informace, která by mohla mít vliv na rozhodnutí probanda, zda pokračovat v účasti ve studii nebo ne, bude proband o této skutečnosti včas informován. Další informace týkající se této studie a práv probandů lze získat u výše zmíněných řešitelů. V případě poškození zdraví v souvislosti se studií kontaktujte hlavního řešitele

projektu. Vaše účast ve studii je dobrovolná, můžete ji odmítnout nebo můžete od účasti ve studii kdykoliv odstoupit, a to bez udání důvodu a bez jakýchkoliv finančních, právních či jiných následků. Z účasti na experimentu může být proband vyloučen z těchto důvodů: nemoci respiračního systému, nemoci kardiovaskulárního systému, zvýšená tělesná teplota, těhotenství, poranění v oblasti hrudníku a místech pro připojení modulů pohybové aktivity. Předpokládaná doba trvání experimentu v rámci jednoho probanda je typicky 2 hodiny. Studie se zúčastní 5–10 probandů.

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

Jméno probanda:

Datum narození:

Proband byl do studie zařazen pod číslem:

Odpovědný řešitel:

Podpis probanda:

Datum:

Podpis odpovědného řešitele:

Datum:

Příloha 4: Karta probanda

ID probanda:

Karta probanda

Výzkumný projekt:

Sledování teplotní zátěže hasičů pomocí senzorů umístěných v pracovním oděvu

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

<u>ID Probanda:</u>	
<u>Základní údaje:</u>	
Příjmení:	Jméno:
Pohlaví: <input type="checkbox"/> muž	<input type="checkbox"/> žena
Věk:	Datum Narození:
Bydliště:	Kontakt:

<u>Naměřené údaje (před začátkem měření):</u>	
Výška (cm):	Váha (kg):
SpO₂ (%) :	Teplota v Axile (°C):
Teplota frekvence (min⁻¹):	Tlak (mmHg):

<u>Zdravotní stav probanda:</u>	
Alkohol: <input type="checkbox"/> ano <input type="checkbox"/> ne	Kouření: <input type="checkbox"/> ano <input type="checkbox"/> ne
Četnost kouření (den⁻¹):	Čas posledního kouření (hh:mm):
Nemoci respirační a kardiovaskulární soustavy (např: astma alergie, srdeční příhody, infarkt myokardu, epilepsie, ...): <input type="checkbox"/> ano <input type="checkbox"/> ne	
Zdali ano, jaké:	
Nemoci pohybového ústrojí, zlomeniny končetin: <input type="checkbox"/> ano <input type="checkbox"/> ne	
Zdali ano, jaké:	
Jaký druh zaměstnání vykonáváte:	
<input type="checkbox"/> Spíše sedavá práce. (kancelář, práce na PC atd.),	
<input type="checkbox"/> Během pracovní doby jsem více v pohybu (práce mimo budovu, častá chůze atd.),	
<input type="checkbox"/> Fyzicky náročné zaměstnání (hasič, policista, záchranář, profesionální sportovec atd.),	
<input type="checkbox"/> Jiné:	
Vaše trénovanost:	
<input type="checkbox"/> Aktivně se věnuji sportování,	
<input type="checkbox"/> Sportování se věnuji rekreačně,	
<input type="checkbox"/> Příležitostně si například zaběhám nebo zahraji nějakou z týmových her,	
<input type="checkbox"/> Nesportuji,	
<input type="checkbox"/> Jiné (popište):	

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

.....
Místo a datum

.....
Podpis probanda

ID probanda:

Proband podepsal informovaný souhlas:	<input type="checkbox"/> ano	<input type="checkbox"/> ne
Datum měření (rrrr-mm-dd):		
Měření provedl:		
Podpis:		

Teplota v místnosti (°C)	
---------------------------------	--

Umístění senzorů (hh:mm)	
---------------------------------	--

<u>1. část: Vnější zahřívání</u>	
Začátek (hh:mm):	
Tepová frekvence (min⁻¹):	
Tlak (mmHg):	
SpO₂ (%) :	
Konec (hh:mm):	

<u>2. část: Step test</u>			
Začátek (hh:mm):			
Číslo měření	1	2	3
Tepová frekvence (min⁻¹):			
Tlak (mmHg):			
SpO₂ (%) :			
Konec (hh:mm):			

<u>3. část: Ergometr</u>	
Začátek (hh:mm):	
Tepová frekvence (min⁻¹):	
Tlak (mmHg):	
SpO₂ (%) :	
Konec (hh:mm):	

Váha (Kg)	
------------------	--

Příloha 5: Seznam příloh na DVD

- Klíčová slova
- Abstrakt česky
- Abstrakt anglicky
- Zadání bakalářské práce
- Skript z programového prostředí MATLAB
- Grafy ze všech senzorů od všech probandů