



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

TESTOVÁNÍ TEPELNÝCH VLASTNOSTÍ RUKAVIC POMOCÍ TEPELNÉHO MANEKÝNA

DETERMINATION OF THERMAL PROPERTIES OF GLOVES BY MEANS OF THERMAL MANIKIN

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Kateřina Pidrová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Bc.Ing. Jan Fišer, Ph.D.

BRNO 2016

Zadání diplomové práce

Ústav: Energetický ústav
Studentka: **Bc. Kateřina Pidrová**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Technika prostředí
Vedoucí práce: **Bc.Ing. Jan Fišer, Ph.D.**
Akademický rok: 2015/16

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Testování tepelných vlastností rukavic pomocí tepelného manekýna

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Ochranné rukavice proti chladu zabezpečují ochranu dlaní, prstů a hřbetů rukou před zvýšeným odvodem tepla v prostředích s nízkou teplotou. Dle normovaných postupů se rozlišují třídy ochrany pro odvod tepla konvekcí a pro odvod tepla vedením (v případě, že se v rukavicích například přenášejí předměty s nízkou teplotou). Pro dodržení normovaných postupů a korektní experimentální ověření vlastností vyvíjených ochranných rukavic je však třeba zavést a experimentálně ověřit metodiku pro stanovení celkového tepelného odporu ochranných rukavic s vybavením, které je na VUT FSI k dispozici.

Cíle diplomové práce:

Cílem práce je shromáždit poznatky a podklady (normy) týkající se testování tepelně technických vlastností ochranných rukavic a rukavic pro outdoorové aktivity. Následně pak navrhnout princip a proceduru testování s využitím tepelného manekýna Newtona. U vybraných referenčních vzorků rukavic změřit tepelný odpor, provést rozbor opakovatelnosti měření, rozptylu hodnot, statistické nejistoty měření atd. Výsledkem práce bude metodika měření a sada dat k referenčním výrobkům s kompletně popsanými vlastnostmi tepelného odporu.

Seznam literatury:

Nilsson, H.O. (2004): Comfort Climate Evaluation with Thermal Manikin Methods and Computer Simulation Models, PhD thesis, University of Gävle.

ČSN EN 511 (2006): Ochranné rukavice proti chladu. Český normalizační institut, Praha.

Goldman, R. F. (1994): Protecting Personnel At Hazardous Waste Sites - HEAT STRESS IN INDUSTRIAL PROTECTIVE ENCAPSULATING GARMENTS, Butterworth-Heinemann.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá testováním tepelných vlastností rukavic pomocí tepelného manekýna. V první části je uvedena rešerše vztahující se k dané problematice, společně s odvozením výpočetního vztahu použitého pro měření. Nejdůležitějším bodem práce je návrh metodiky pro měření tepelného odporu rukavic s pomocí tepelného manekýna, která vychází z normy ČSN EN 511. Tato metodika byla následně prověřena měřením na 5 vzorcích rukavic společně s rozbořem nejistot a ověřením opakovatelnosti měření. U měřených vzorků je dále uveden i nástin možností jejich použití při konkrétních činnostech a teplotách okolního vzduchu. Na konci práce je uvedeno stručné shrnutí dosažených výsledků.

Summary

This diploma thesis is focused on determination of thermal properties of gloves by means of thermal manikin. The background research with relation to this topic together with derivation of the computational equations used for the following measurement are presented in the first part. The most significant part of this work is suggestion of procedure for measuring the heat resistance of gloves with thermal manikin based on procedure from ČSN EN 511. This methodics was veriflicated with 5 pairs of gloves together with analysing the uncertainties and testing the repeatability of this measurement. This work also contains the outline for all of the measured pairs with possibilities of their usage in specific situations and surrounding air temperatures. At the end of this work is mentioned brief summary of achieved results.

Klíčová slova

tepelný manekýn, měření, tepelný odpor, rukavice, ČSN EN 511

Keywords

thermal manikin, measurement, heat resistance, gloves, ČSN EN 511

PIDROVÁ, K. *Testování tepelných vlastností rukavic pomocí tepelného manekýna*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 69 s. Vedoucí Bc.Ing. Jan Fišer, Ph.D.

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Testování tepelných vlastností rukavic pomocí tepelného manekýna* vypracovala samostatně pod vedením Bc. Ing. Jana Fišera, Ph.D. a s použitím materiálů uvedených v seznamu literatury.

Bc. Kateřina Pidrová

Na tomto místě bych ráda poděkovala svému vedoucímu Ing. Janu Fišerovi, Ph.D za odborné vedení této práce a možnost podílet se na výzkumu ohledně rukavic, dále za cenné rady, připomínky a čas strávený přípravou měření a konzultacemi. Také bych zde ráda poděkovala zástupcům firmy Holík international, panu Pekařovi a paní Ponížilové za dobrou a příjemnou spolupráci a především za to, že umožnili vznik této diplomové práce.

Bc. Kateřina Pidrová

Obsah

1	Úvod	4
2	Vymezení cílů a limitů práce	5
3	Teoretický základ	6
3.1	Tepelný komfort	6
3.1.1	Princip termoregulace lidského těla	7
3.2	Přenos tepla	8
3.2.1	Vedení tepla	9
3.2.2	Konvekce	11
3.2.3	Záření	12
3.2.4	Tepelný odpor rukavic	13
3.3	Oděvní komfort	15
3.3.1	Funkční komfort	16
3.4	Používané materiály	17
3.4.1	Izolační materiály	18
3.4.2	Membrány	19
3.4.3	Povrchové materiály	19
3.5	Pracovní hypotéza	20
4	Metodika měření	21
4.1	Norma ČSN EN 511	21
4.1.1	Metoda zkoušení konvekčního chladu	21
4.1.2	Popis zkušebního zařízení	22
4.2	Popis dostupného měřicího zařízení	24
4.2.1	Klimatická komora	24
4.2.2	Tepelný manekýn Newton	25
4.2.3	Přesný teploměr TESTO	28
4.3	Návrh metodiky pro měření tepelného odporu rukavic	30
5	Měření	33
5.1	Měřené typy rukavic	33
5.2	Průběh samotného měření	38
5.3	Zpracování dat	38
5.3.1	Naměřená data	40
5.3.2	Nejistoty měření	41
5.3.3	Výsledné hodnoty	46
6	Ověření naměřených hodnot jinými páry rukavic	47
6.1	Přehled měřených vzorků	47
6.2	Průběh měření	49
6.3	Zpracování dat a naměřená data	49
6.4	Vyhodnocení opakovatelnosti	50
6.4.1	Vyhodnocení vzorku č. 1	51

6.4.2	Vyhodnocení vzorku č. 2	52
7	Vliv konstrukce rukavice na její tepelný odpor	54
7.1	Výsledky a vyhodnocení měření	56
8	Teoretický výpočet vhodnosti rukavic	59
9	Shrnutí výsledků	63
10	Závěr	64
11	Literatura	65
12	Seznam použitých zkratk a symbolů	68

1 Úvod

V zimním období je nutno naše tělo ve venkovním prostředí chránit před nepříznivými povětrnostními podmínkami, které způsobují především zvýšený odvod tepla z těla. Hlavně periferní části těla, jako jsou například končetiny a uši, jsou více citlivé na chlad a tím pádem jsou i nejvíce náchylné k omrzlinám. Z důvodu ochrany před chladem začaly především severské národy, jako jedny z prvních, používat rukavice. Jiné zdroje uvádí, že nejstarší rukavice byly nalezeny i v hrobu faraóna Tutanchamona, avšak jejich primární funkce zřejmě byla sloužit jako módní doplněk. O rukavicích lze dále nalézt zmínky i u některých antických autorů. Postupem času se z rukavic stal módní, bohatě zdobený doplněk, který byl používán a oblíben především ve vyšších vrstvách společnosti. Ve 20. století došlo k výrazné proměně v jejich užívání. Rukavice přestaly být pouze módním doplňkem, ale začalo se více dbát i na jejich jiné funkce: ochrana proti chladu, pracovní ochranné pomůcky, vybavení pro sport atd. [1] [2] .

V poslední době se vývoj rukavic rozdělil do jednotlivých skupin podle jejich použití. Každá z nich má specifické nároky a požadavky na konstrukci a parametry rukavic. Z mnoha možností specifického využití rukavic lze jmenovat například rukavice pro hasiče, lovce, řidiče, lékaře, pro různé pohybové aktivity, neméně důležité jsou i pracovní rukavice a podobně. U každé skupiny je důležité, aby v rukavicích mohl člověk vykonávat určitou činnost a aby se snížily na minimum nežádoucí vlivy použití rukavic jako je snížení pohyblivosti, tepelný či celkový diskomfort dlaní atd.

Nové materiály přináší také nové možnosti při konstrukci rukavic. Určit však optimální kombinaci materiálů s ohledem na finální cenu a funkčnost výrobku je dnes pro výrobce velmi obtížné. V současnosti se tak prakticky nelze obejít bez podrobnějšího testování, kterým lze ve vývojové fázi výroby určit, zda při dané kombinaci materiálů bude rukavice vyhovovat pro danou činnost a bude mít požadované parametry. Jinak se může stát, že špatná kombinace sebelepších a jinak kvalitních materiálů způsobí, že rukavice nebudou použitelné pro daný účel, popřípadě, že naopak budou vzhledem k výrobním nákladům neprodejně.

Požadavky na rukavice, jakožto ochranu proti chladu jsou specifikovány v normě ČSN EN 511, z níž tato práce vychází. Kompletním testováním tepelných vlastností rukavic se v ČR nezabývá žádné specializované pracoviště, ačkoliv existují akreditované zkušebny, které provádějí alespoň částečné zkoušky parametrů a vlastností rukavic (více podrobností lze najít na [3]). Výrobci tedy mají jen velmi omezené možnosti, kde si mohou nechat své výrobky otestovat.

Cílem této diplomové práce je především navrhnout metodiku na základě ČSN EN 511 pro měření tepelných vlastností rukavic a následně ji prakticky aplikovat na vybrané vzorky rukavic. Z těchto měření pak stanovit nejistoty a zabývat se otázkou opakovatelnosti měření. V neposlední řadě u vzorků, kde je to možné, proměřit vliv jejich konstrukce na výsledný tepelný odpor.

2 Vymezení cílů a limitů práce

Vymezení cílů práce

- Vytvoření a ověření metodiky pro stanovení tepelných vlastností rukavic. Základem pro metodiku bude postup dle normy ČSN EN 511 - Ochranné rukavice proti chladu.
- Určení tepelných odporů vybraných vzorků rukavic.
- Rozbor nejistot a opakovatelnosti měření.

Vymezení limitů práce

- Měření nebylo provedeno přesně podle podmínek normy ČSN EN 511, neboť udržování stanovených okolních podmínek by bylo velice energeticky náročné. Po dohodě se spolupracující firmou Holík int., byl tedy snížen požadavek na proudění vzduchu v měřeném prostoru a požadavek na teplotu o 20°C nižší než je teplota měřené ruky (dále specifikováno v textu).
- Počty měření byly limitovány především omezenými časovými možnostmi využití měřicího zařízení.
- Práce se zabývá pouze stanovením tepelných odporů dle metodiky "Ochranné rukavice proti konvektivnímu chladu".
- V práci a při měření nebyl uvažován přenos tepla pomocí vypařování potu, z důvodu nemožnosti měření této veličiny na dostupném vybavení.

3 Teoretický základ

3.1 Tepelný komfort

Tepelný komfort, jinak nazývaný také tepelná pohoda je definován jako pocit spokojenosti člověka s tepelným stavem prostředí, či tepelně vlhkostním mikroklimatem. [4] Další variantou, jak lze definovat tepelný komfort je, že je to stav mysli vyjadřující spokojenost s tepelným stavem okolního prostředí. [5]

Faktory ovlivňující tepelnou pohodu jsou[6]:

- teplota vzduchu,
- teplota ostatních povrchů (střední radiační teplota),
- vlhkost vzduchu,
- rychlost proudění vzduchu,
- oděv (především jeho tepelný odpor),
- činnost člověka.

Z uvedených faktorů ale ve venkovním prostředí nelze teplotu, vlhkost ani proudění vzduchu libovolně upravovat, jako je tomu ve vnitřních prostorech. Proto je nutné se zaměřit na jiné faktory, a to především na tepelný odpor oděvu a také na činnost, která je v daném prostředí prováděna a jí oděv přizpůsobit. Tyto dva faktory jsou mezi sebou velmi úzce spjaté. Obecně lze říci, že čím je aktivita fyzicky náročnější, tím více metabolického tepla lidské tělo produkuje a tím je potřebný tepelný odpor oděvu nižší. Dále je zde důležité zdůraznit, že se nejedná o nárazové nebo chvilkové zatížení organismu, ale o aktivity kontinuální (odhadem trvající hodinu a déle). [7]

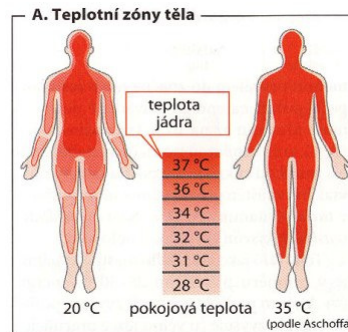
Základním předpokladem dosažení tepelné pohody prostředí je rovnováha mezi tepelným tokem produkovaným lidským organismem, a tepelným tokem odváděným do okolního prostředí, za podmínky, že lidské tělo pro dosažení této rovnováhy nevyužívá aktivní termoregulační mechanismy jako jsou mokré pocení, vasodilatace, vasokonstrikce či stimulaci svalů. [4]

Například při středně těžké práci v lese v letním období je dobré volit oděv s nízkým tepelným odporem, který umožní odvod produkovaného metabolického tepla do okolí, ale zároveň pracovníkovi poskytne dostatečnou ochranu proti případným poraněním. V létě nelze vyloučit aktivní regulační mechanismy z důvodu vysokých teplot ani u lehkých aktivit. V zimním období by měl být tepelný odpor oděvu relativně vysoký na rozdíl od oděvů určených pro lehké zimní aktivity, u kterých je potřeba větší vrstva izolace. Při porovnání oděvu na střední aktivitu s oděvem na těžké aktivity je zřejmé, že oděv bude mít vyšší tepelný odpor a bude působit teplejším dojmem. V případě příliš vysokého tepelného odporu bude docházet k mokrému pocení, pokud navíc člověk nepoužije funkční prádlo s nízkým odporem pro prostup vodní páry, bude v důsledku zvýšeného odvodu tepla vypařováním docházet k akumulaci potu v oděvu a to povede k nepříjemným pocitům chladu po snížení či ukončení dané aktivity. Stejně tak se nebude uživatel cítit komfortně, pokud bude odpor daného oděvu příliš nízký, protože odvod tepla daným oděvem do okolí bude vyšší, než jaké je člověk schopný při dané činnosti vyprodukovat.

3.1.1 Princip termoregulace lidského těla

Jak již bylo zmíněno, lidské tělo produkuje metabolické teplo, což je tepelná energie, která se uvolňuje v lidském organismu při jeho látkových přeměnách souvisejících se získáváním energie z přijaté stravy. Toto teplo se z lidského těla přenáší do okolního prostředí. Jeho množství závisí na tělesné konstrukci člověka a také na jeho aktuální činnosti. Mechanismy přenosu tepla z lidského těla do okolí jsou podrobněji rozebrány v další podkapitole. [7]

Termoregulace lidského těla je řízena hypothalamem, který se snaží udržet stabilní teplotu lidského jádra na 37 °C. Odchyłka teploty tělesného jádra o 2 °C nepříznivě ovlivňuje tělesné funkce, odchyłka o více jak 6 °C je již pro člověka většinou smrtelná. Teplota ostatních částí těla se mění v závislosti na teplotě okolí. Tento jev je znázorněn na obrázku 3.1 při dvou různých okolních teplotách. Při podmínce tepelné pohody se průměrná teplota povrchu lidského těla pohybuje mezi 32 - 34 °C a je zřejmé, že mimo tuto oblast může tato teplota více či méně kolísat. V podmínkách, kdy organismus musí regulovat svou teplotu, dochází k termoregulaci. Termoregulaci lze rozdělit na vědomou a nevědomou. [4] [8]



Obrázek 3.1: Teplotní zóny při rozdílných okolních teplotách (převzato z [9])

Vědomou termoregulaci využívá člověk cíleně jako reakci na nějaký podnět, který sám vyhodnotí ještě před tím, než dojde k použití aktivní termoregulace. Příkladem této termoregulace je víceméně automatické oblečení svetrů při pocitu zimy, nebo naopak jeho svléknutí při pocitu přílišného tepla. Do této skupiny patří například změna právě prováděné činnosti, změna oblečení, změna teploty prostředí, ve kterém se nacházíme (je-li to možné) a také změna velikosti teplosměnného povrchu, který se účastní přenosu tepla (v zimě skrčením či schoulením se, v teplém prostředí naopak oddálením končetin od těla). [4]

Naopak nevědomou termoregulaci nelze žádným způsobem ovlivnit. Patří sem vazomotorická termoregulace, suché a mokré pocení, či stimulace svalů. [4]

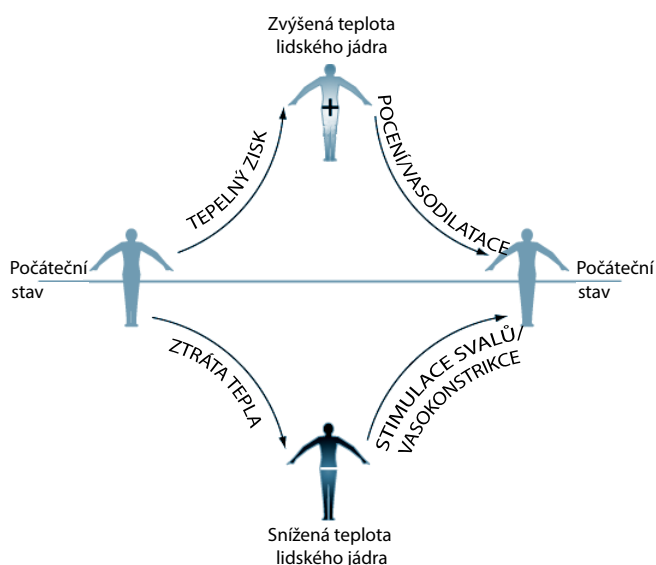
Vasomotorickou termoregulaci lze dále rozdělit na vasokonstrikci a vasodilataci. Při vasodilataci se zvětšují cévy a zvyšuje se tak průtok krve a teplota kůže. Pomocí vyšší teploty kůže se následně zvýší odvod tepla konvekcí a radiací. Tento regulační mechanismus tělo uplatňuje, když je velké teplo ještě před použitím mokrého pocení. Naopak při vasokonstrikci dochází k zúžení cév a tím k omezení průtoku krve pokožkou a periferními částmi těla jako jsou ruce a nohy. Dlouhodobým vystavením se chladným podmínkám v nedostatečném oděvu může vést k omrzlinám končetin v důsledku udržení základních životních funkcí. Z toho je patrné, jak je důležité používat rukavice a kvalitní obuv s přiměřeným tepelným odporem. [4] [10]

3.2 PŘENOS TEPLA

Přenos tepla pocením neboli vypařování je velmi důležitou a velmi často využívanou obranou organismu proti přehřátí. Dochází při něm k vypařování potu na pokožce, která se pomocí tohoto mechanismu ochlazuje. Suché pocení je prakticky nepozorovatelné a člověk v neutrálním prostředí suchým pocením odvádí do svého okolí přibližně čtvrtinu svého metabolického tepla. K mokrému pocení dochází především při vysoké fyzické zátěži a v horkých letních měsících. Na rozdíl od suchého pocení jej člověk vnímá poměrně intenzivně, protože určité množství potu ulpívá na pokožce. [11] [12]

Vasokonstrikce předchází stimulaci svalů. Při tomto termoregulačním zásahu se třesou velké svalové skupiny např. na stehnech a produkují tak teplo k udržení stabilní teploty jádra organismu. [10]

Všechny výše uvedené principy termoregulace lidského těla jsou znázorněny na obrázku 3.2, kde stav na levé straně znázorňuje tepelnou pohodu, stavy uprostřed tepelný diskomfort a následný zásah termoregulace pro navrácení těla co nejbližší počátečnímu stavu tepelné pohody na straně pravé.

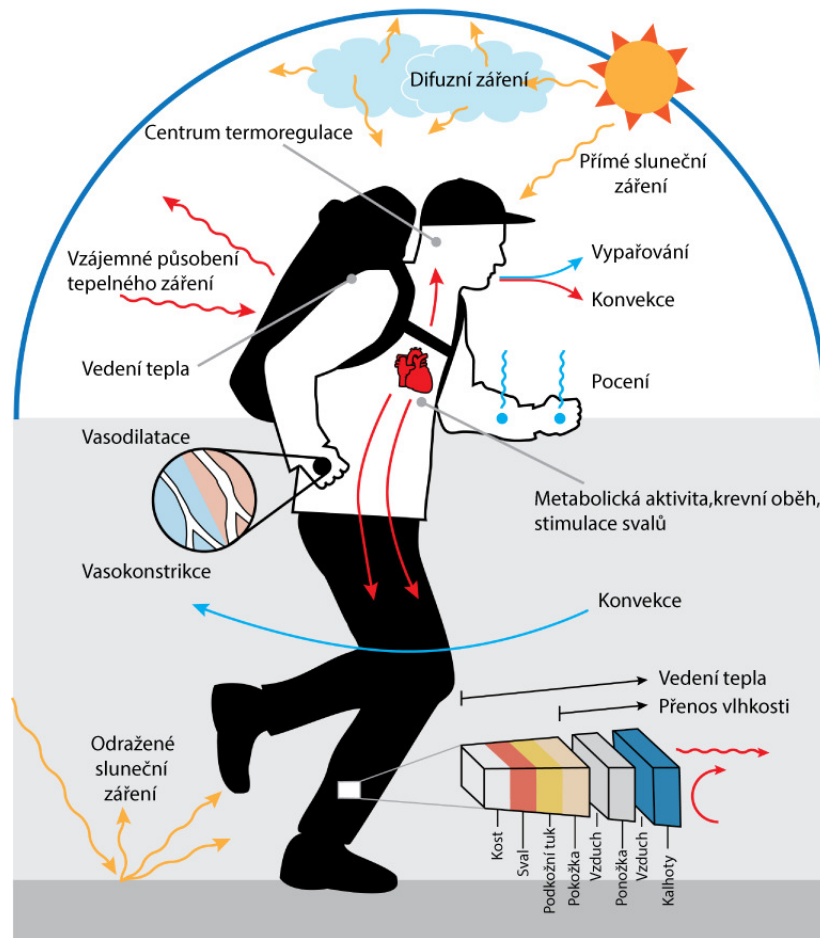


Obrázek 3.2: Princip termoregulace (převzato a přeloženo z [10])

3.2 Přenos tepla

U člověka dochází k přenosu tepla pomocí čtyř základních mechanismů, kterými jsou vedení tepla, konvekce, záření a vypařování potu. Dalším nezanedbatelným mechanismem při přenosu tepla z lidského těla je dýchání, ale tím se vzhledem k zaměření práce nebude dále zabývat. [4]

Celý proces přenosu tepla z lidského těla, včetně v předchozí kapitole uvedených způsobů termoregulace, je znázorněný na obrázku 3.3.



Obrázek 3.3: Znázornění jednotlivých mechanismů přenosu tepla z lidského těla (převzato a přeloženo z [13])

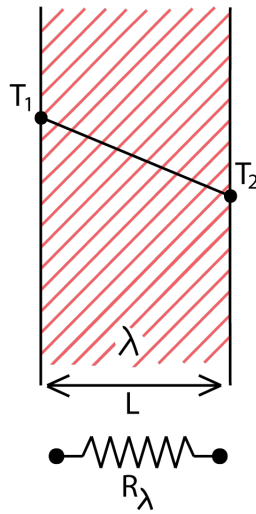
3.2.1 Vedení tepla

K vedení tepla dochází při kontaktu dvou povrchů. Obecně u lidského těla jsou tepelné ztráty vedením oproti ostatním mechanismům přenosu tepla relativně malé. Největšího procenta tepelných ztrát vedením tepla lze dosáhnout především při spánku či ležení na studeném povrchu, kdy je největší možná plocha lidského těla v kontaktu s povrchem. Nejčastěji dochází k vedení tepla především u noh při kontaktu s povrchem a dále samozřejmě nesmíme zapomenout, že je nedílnou součástí prostupu tepla přes oblečení v místech, kde je oblečení v těsném kontaktu s pokožkou.

U rukavic, které slouží jakožto ochrana proti chladu, je vedení tepla častým jevem při kontaktu s chladnými předměty. Schopnost rukavic chránit proti tomuto jevu se nazývá ochrana proti kontaktnímu chladu, jímž se tato práce bohužel nezabývá, ale je zřejmé, že v některých situacích může být mnohem důležitějším kritériem pro výběr rukavic k určité činnosti, než ochrana proti konvekčnímu chladu. Metodami měření tepelného odporu při kontaktním chladu se také zabývá norma ČSN EN 511.

3.2 PŘENOS TEPLA

Obrázek 3.4 znázorňuje rovinnou stěnu s různými teplotami na jejích jednotlivých stranách, díky kterým vzniká teplotní gradient, který umožňuje přenos tepla vedením. [14]



Obrázek 3.4: Schéma vedení tepla rovinnou plochou

Vedení tepla popisuje Fourierův zákon, který je definován takto:

Měrný tepelný tok \dot{q} přenášený vedením v nějaké látce je přímo úměrný velikosti teplotního gradientu a má opačné znaménko než tento gradient. [14]

Matematicky vyjádřeno

$$\dot{q} = -\lambda \frac{dT}{dx} \quad (3.1)$$

Znaménko $-$ je v tomto zákoně uvedeno proto, aby byl splněn 2. zákon termodynamiky. V případě jednorozměrného vedení tepla odpadá problém v určení směru proudění tepelného toku a proto lze Fourierův zákon pro rovinnou desku psát bez znaménka $-$. Následující vztah obsahuje veličiny znázorněné na obrázku 3.4. [14]

$$\dot{q} = \lambda \frac{\Delta T}{L} = \lambda \frac{T_1 - T_2}{L} \quad (3.2)$$

kde

\dot{q} je měrný tepelný tok stěnou [W/m^2],

λ je součinitel tepelné vodivosti [W/mK],

T_1 je teplota na povrchu jedné strany stěny [$^{\circ}\text{C}$],

T_2 je teplota na povrchu druhé strany stěny [$^{\circ}\text{C}$],

L je tloušťka stěny [m].

Pravou stranu předchozího vztahu lze upravit do tvaru zlomku tak, aby v čitateli zůstal jen rozdíl teplot:

$$\dot{q} = \frac{T_1 - T_2}{\frac{L}{\lambda}} \quad (3.3)$$

Člen $\frac{L}{\lambda}$ je měrný tepelný odpor dané vrstvy proti vedení tepla a bude dále v textu značen jako R_λ . Tento způsob odvození vztahu pro tepelný odpor je analogický s Ohmovým zákonem.

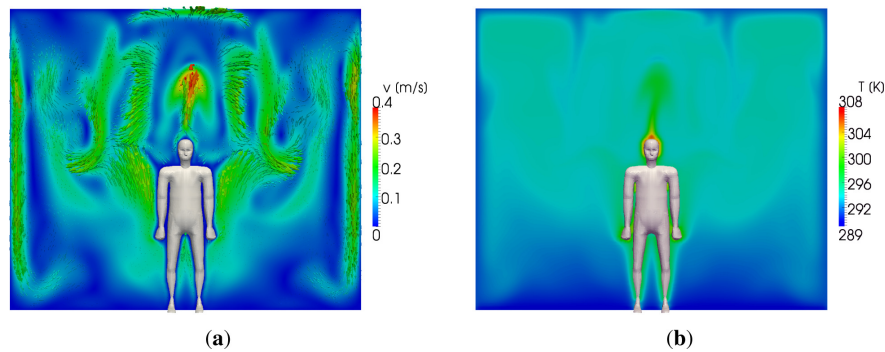
Takto lze jednoduše vyjádřit vztah pro n vrstev umístěných za sebou ve společném kontaktu a celý vztah zobecnit tím, že ve jmenovateli bude součet jednotlivých měrných tepelných odporů.[14]

$$\dot{q} = \frac{T_1 - T_2}{\sum_{i=1}^n R_{\lambda i}} \quad (3.4)$$

3.2.2 Konvekce

Konvekce společně s radiací jsou dominantními způsoby přenosu tepla z lidského těla. Konvekci rozlišujeme přirozenou a nucenou. Při přirozené konvekci dochází k proudění vzduchu vlivem rozdílných hustot vzduchu, které jsou důsledkem teplotního rozdílu. Rychlosti proudění vzduchu při přirozené konvekci jsou velmi nízké. Nucená konvekce je vyvolána prouděním vzduchu o vyšších rychlostech a k jejímu vyvození je potřeba například ventilátor nebo ve venkovním prostředí bývá způsobena větrem. [4] [14]

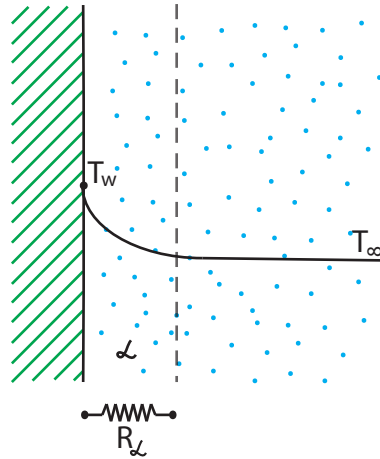
Pokud je tepelný odpor proti konvekci a radiaci měřen v klidném prostředí bez nucené konvekce, je ve výpočtu potřeba uvažovat i tepelnou mezní vrstvu, která se přirozeným prouděním vzduchu vytváří kolem lidského těla. Zatímco když se rychlost proudění vzduchu zvýší nad rychlost 0.5 - 0.6 m/s, tak dojde k tomu, že mezní vrstva kolem lidského těla zaniká, protože převáží jiné směry proudění vzduchu a mezní vrstva je jimi narušena. Simulace mezní vrstvy při přirozené konvekci společně se stoupavým proudem nad stojícím člověkem v ohraničeném prostoru je zobrazena na obrázku 3.5, který byl vytvořen CFD metodou. [6] [14]



Obrázek 3.5: Mezní vrstva u lidského těla a) rychlostní pole b) teplotní pole (převzato z [15])

Zjednodušeně je mezní vrstva znázorněna u rovinného povrchu na obrázku 3.6, ve kterém je také znázorněn průběh teploty v mezní vrstvě až ke konstantní teplotě okolí T_∞ .

3.2 PŘENOS TEPLA



Obrázek 3.6: Přenos tepla mezní vrstvou při konvekcí

Obecně pro konvekcí platí Newtonův ochlazovací zákon, který je zde rozepsán pro veličiny uvedené na obrázku 3.6.

$$\dot{q} = \alpha(T_w - T_\infty) \quad (3.5)$$

kde

\dot{q} je měrný tepelný tok konvekcí [W/m^2],

α je součinitel přestupu tepla [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$],

T_w je teplota ochlazovaného povrchu [$^\circ\text{C}$],

T_∞ je teplota okolního vzduchu (v dostatečné vzdálenosti) [$^\circ\text{C}$].

Když si Newtonův zákon opět vyjádříme stejným způsobem tak, aby na pravé straně byl v čitateli pouze rozdíl teplot, dostaneme vztah, v němž figuruje měrný tepelný odpor.

$$\dot{q} = \frac{T_w - T_\infty}{\frac{1}{\alpha}} = \frac{T_w - T_\infty}{R_\alpha} \quad (3.6)$$

Měrný tepelný odpor proti přenosu tepla konvekcí kolem ruky pak lze z předchozího vztahu vyjádřit takto:

$$R_\alpha = \frac{\Delta T}{\dot{q}} \quad (3.7)$$

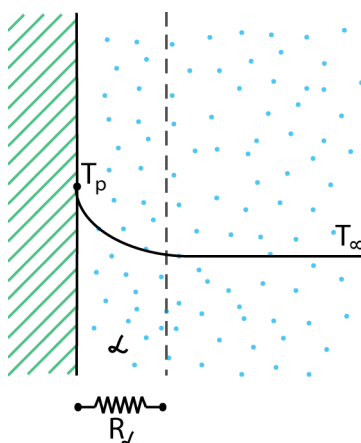
3.2.3 Záření

Záření je poslední a neméně důležitý způsob přenosu tepla, který nepotřebuje žádnou látku, pomocí níž by se teplo přenášelo. Záření neboli radiace má na ochlazování lidského těla téměř stejný podíl jako konvekcí. Je dána Stephan-Boltzmanovým zákonem, ale nebude zde dále rozveden, protože celkově ho lze teoreticky zahrnout do celkového tepelného odporu rukavic, ale jeho samostatné určení by bylo velmi obtížné a nebylo cílem této práce. Bylo by nutné například měřit teplotu okolních povrchů, teplotu povrchu rukavic a také znát jejich emisivitu. Více o měření jednotlivých způsobů přenosu tepla pomocí tepelného záření lze najít v [16]. [14]

3.2.4 Tepelný odpor rukavic

Z předchozího rozboru jednotlivých mechanismů přenosu tepla tedy plyne, že u rukavice bude docházet k prostupu tepla konstrukcí rukavice, tenkou vzduchovou vrstvou pod rukavicí a dále se bude tepelný tok přenášet pryč od rukavice konvekcí a radiací.

Pokud rukavice na ruce nasazená nebude, bude docházet přímo ke konvekcí společně s radiací, jak je znázorněno na obrázku 3.7. V tomto obrázku i dalších rovnicích značí T_p teplotu pokožky.

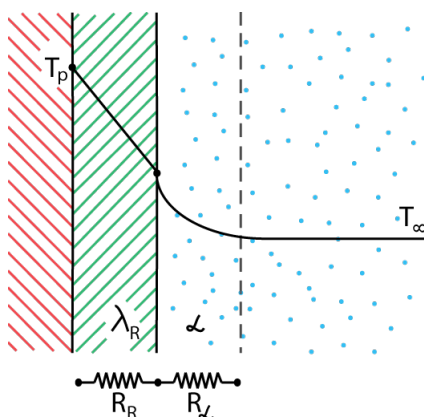


Obrázek 3.7: Přenos tepla mezní vrstvou při konvekcí

Kombinovaný tepelný tok konvekcí a radiací z neoblečené ruky tedy můžeme vyjádřit v následující rovnici 3.8. Pro přehlednost v dalším výpočtu bude tepelný tok z neoblečené ruky označen indexem n . Měrné tepelné odpory budou dále v textu nazývány pouze tepelné odpory.

$$\dot{q}_n = \frac{T_p - T_\infty}{R_\alpha} \quad (3.8)$$

Pokud vezmeme v úvahu fakt, že rukavice bude těsně ve všech místech přiléhat na ruku, potom bude mezi pokožkou a rukavicí docházet k vedení tepla. Z povrchu rukavice se pak teplo bude šířit dále do okolí pomocí konvekcí a radiace. Tuto variantu znázorňuje obrázek 3.8 a je popsána rovnicí 3.9. Pro větší přehlednost textu budou od této rovnice dále všechny tepelné toky týkající se oblečené ruky označeny indexem o .

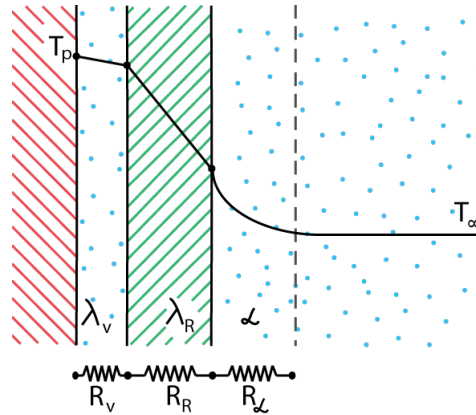


Obrázek 3.8: Vedení tepla přes rukavice

3.2 PŘENOS TEPLA

$$\dot{q}_o = \frac{T_p - T_\infty}{R_R + R_\alpha} \quad (3.9)$$

Předchozí případ je ale v praxi víceméně nedosažitelný. I kdyby byl oděv ušitý na míru pro určitého člověka, tak lze najít místa, ve kterých je pod oděvem tenká vrstvička vzduchu. Tato vrstvička ale není z hlediska tepelných vlastností na závadu, protože vzduch je dobrý izolant a zvyšuje tepelný odpor oděvu. Z hlediska celkového pohledu na tepelný odpor nejen rukavic, ale i celého oděvu je tato vrstvička jeho nezanedbatelnou součástí. Tento nejkompexnější případ je znázorněn na obrázku 3.9 a popsán rovnicí 3.10. [17]



Obrázek 3.9: Prostup tepla přes jednotlivé vrstvy oblečené ruky

$$\dot{q}_o = \frac{T_p - T_\infty}{R_v + R_R + R_\alpha} \quad (3.10)$$

kde

R_v [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$] je tepelný odpor zmiňované vzduchové vrstvičky, jejíž tepelná vodivost je λ_v .

Jak už bylo zmíněno výše, tenká vrstvička vzduchu je součástí v podstatě každého oblečení. V dnešní době jsou na tomto principu také vyvíjeny nové materiály. Tato vrstvička a její vliv ale bohužel nejsou pomocí našeho dostupného vybavení měřitelné, ovšem tím, že je součástí všech mezivrstev oděvů, se stává součástí celkového tepelného odporu oděvu. Pro výpočet tepelného odporu rukavic tak lze použít rovnici 3.9 a vzduchovou vrstvičku uvažovat jako součást materiálu rukavic. [17]

Při měření tepelného odporu oděvu se měří teplota povrchu, teplota okolí a tepelný tok potřebný na udržení požadované teploty povrchu. V rovnici 3.9, ze které bude výpočet vycházet, lze jmenovatel shrnout do jedné proměnné R_C , pomocí níž označíme celkový tepelný odpor všech vrstev. Z této hodnoty pak lze s použitím ostatních dříve uvedených vztahů dopočítat požadovaný tepelný odpor oděvu.

$$R_C = R_R + R_\alpha \quad (3.11)$$

kde v tepelném odporu oděvu R_R , je zahrnut tepelný odpor zmíněné vrstvičky vzduchu R_v .

Dosazením vztahu 3.11 do vztahu 3.9 jej pak můžeme psát v této podobě:

$$\dot{q}_o = \frac{T_p - T_\infty}{R_C} \quad (3.12)$$

Vyjádřením R_C ze vztahu 3.12 získáme vztah pro výpočet celkového tepelného odporu při přirozené konvekci.

$$R_C = \frac{T_p - T_\infty}{\dot{q}_o} \quad (3.13)$$

Ze vztahu 3.11 plyne, že k výpočtu tepelného odporu oděvu R_R potřebujeme znát i tepelný odpor proti konvekci a radiaci R_α bez oděvu. Ten si vyjádříme ze vztahu 3.8.

$$R_\alpha = \frac{T_p - T_\infty}{\dot{q}_n} \quad (3.14)$$

Vztah 3.11 upravíme tak, abychom na levé straně měli přímo požadovanou hodnotu tepelného odporu R_R .

$$R_R = R_C - R_\alpha \quad (3.15)$$

Dosazením R_C ze vztahu 3.13 a R_α ze vztahu 3.14 do vztahu 3.15 vyjádříme výsledný vztah pro výpočet tepelného odporu oděvu. Zde je nutné podotknout, že při praktickém měření nemusí být naměřené hodnoty teplot úplně identické tzn. mohou se od sebe mírně lišit. Z toho důvodu budou rovnou v této klíčové rovnici uvedeny indexy n pro neoblečenou a o pro oblečenou ruku i u teplot povrchu ruky T_p a teploty okolí T_∞ , aby nemohlo dojít ke špatné interpretaci tohoto vztahu.

$$R_R = \frac{T_{op} - T_{o\infty}}{\dot{q}_o} - \frac{T_{np} - T_{n\infty}}{\dot{q}_n} \quad (3.16)$$

Jak již bylo zmíněno výše, pokud by v komoře bylo nucené proudění vzduchu, tak by daný vztah neměl opodstatnění a bylo by vhodnější použít vztah 4.1 uvedený v normě.

3.3 Oděvní komfort

Oděvní komfort bývá většinou charakterizován jako souhrn všech vjemů spotřebitele při nošení oděvu. Zjednodušeně lze komfort definovat jako absenci znepokojujících a bolestivých vjemů. Komfort je vnímán všemi smysly s výjimkou chuti a hmat je z nich všech nejdůležitější. [8] [18].

Celá tato kapitola byla volně převzata z literatury [18].

Oděvní komfort má dvě hlavní složky:

- **Funkční komfort**

Funkční komfort lze dále dělit na fyziologický, sensorický a patofyziologický. Tato složka komfortu je podrobněji popsána v následující podkapitole.

- **Psychologický komfort**

Tato složka komfortu závisí na dané kulturní a sociální úrovni a zákazník pomocí ní vyjadřuje svou individualitu. Tvoří ji například styl, módnost, pohodlnost, barva a konstrukční řešení. Celkový oděvní komfort se nachází mezi dvěma hranicemi, kterými jsou fyzikální parametry dané textile a abstraktní představa daného člověka. Tato složka komfortu může být hodnocena pouze subjektivně, zatímco funkční složka komfortu může být hodnocena jak subjektivně, tak i objektivně při laboratorním měření požadovaných vlastností.

3.3 ODĚVNÍ KOMFORT

3.3.1 Funkční komfort

Fyziologický komfort

Z hlediska této práce je fyziologický komfort nejdůležitější. Jde o stav, kdy jsou fyziologické funkce lidského organismu v optimu a je subjektivně vnímán jako pohodlí neboli jinak řečeno jako pocit pohody.

Oděv tvoří kolem těla určité mikroklima, které ovlivňuje subjektivní pocity nositele. Mikroklima pod oděvem je závislé na tepelném stavu organismu, klimatických poměrech vnějšího prostředí a také na vlastnostech oděvu jako je například jeho střih, počet vrstev oděvu či fyzikálně chemické vlastnosti jednotlivých textilií.

Hlavními ukazateli mikroklimatu pod oděvem jsou:

- vlhkost vzduchu pod oděvem,
- teplota vzduchu pod oděvem,
- obsah oxidu uhličitého pod oděvem.

Relativní vlhkost vzduchu pod oděvem (ve vrstvě vzduchu mezi pokožkou a první vrstvou oděvu) se v podmínkách tepelné pohody pohybuje v rozmezí 35 - 60 %. Relativní vlhkost v této vrstvě může být i o něco nižší než vlhkost okolního vzduchu, především proto, že je zde vyšší teplota. Nejdůležitější je dynamika vlhkosti vzduchu pod oděvem, která ovlivňuje schopnost oděvu odvádět pot do okolí. Z hygienického hlediska je lépe vyhovující ten oděv, v jehož prostoru pod oděvem pomaleji narůstá vlhkost vzduchu. Pokud se v chladném prostředí zvyšuje vlhkost vzduchu pod oděvem, tak je zřejmé, že daný oděv má nepřiměřené tepelně izolační vlastnosti pro dané podmínky nebo nedostačující propustnost vodních par oděvem. V obou uvedených případech oděv se zvyšující se vlhkostí vzduchu pod oděvem zvlhne, čímž se následně zhorší jeho tepelně izolační vlastnosti.

Dalším z ukazatelů přiměřenosti oděvu je teplota vzduchu mezi povrchem těla a první oděvní vrstvou. Tato teplota je dána především fyzickou aktivitou člověka. Například pro osobu v klidu je optimální teplota pod oděvem v oblasti trupu 30 - 32 °C, zatímco pro osobu konající těžkou fyzickou prací je vyhovující pouze 15 °C. V chladných podmínkách pokles teploty vzduchu bezprostředně pod vrchním oděvem značí, že daný oděv má při daných podmínkách menší tepelný odpor, než oděv, u kterého k tomuto jevu nedochází v tak velké míře. Navíc při působení větru u oděvu s vyšší prodyšností dochází k ještě většímu poklesu teploty vzduchu pod oděvem. To je při nízké aktivitě nežádoucím jevem, protože by člověk pociťoval chlad, ale naopak při těžké fyzické práci je tento jev žádoucí, aby nedošlo k přehřátí organismu.

Do prostoru mezi tělem a oděvem se dostávají neustále tvořené produkty látkové přeměny, kam patří hlavně oxid uhličitý, který vzniká při kožním dýchání. Větráním dochází k odstraňování těchto zplodin. Intenzita větrání je závislá na prodyšnosti užitého oděvu. Při použití vícevrstvého oděvu s celkově nižší prodyšností, je pod oděvem větší obsah oxidu uhličitého než pod jednovrstvým oděvem. Údaje o přijatelném množství oxidu uhličitého pod oděvem se v literatuře liší, ale nejčastěji bývá uvedeno vnímání jeho obsahu pod oděvem vyšší než 8000 ppm nad koncentrací v okolním atmosférickém vzduchu jako hranice vyvolávající subjektivně nepříjemné pocity.

Jako hlavní fyziologicko-hygienické vlastnosti oděvu tedy označujeme:

- tepelně izolační vlastnosti,
- propustnost vodních par,
- prodyšnost.

Senzorický komfort

Tento typ komfortu je tvořen mechanickým a tepelným kontaktem mezi textilií a kůží. Sensorický komfort je dán především povrchovými a tepelnými vlastnostmi textilie, její splyvavostí, stlačitelností, konstrukcí či velikostí daného oděvu.

Senzorický komfort zahrnuje také pocity tepla či chladu, které vyvolá kontakt s danou textilií. Tento pocit je klíčový, když si zákazník zkouší oblečení před jeho zakoupením.

Patofyziologický komfort

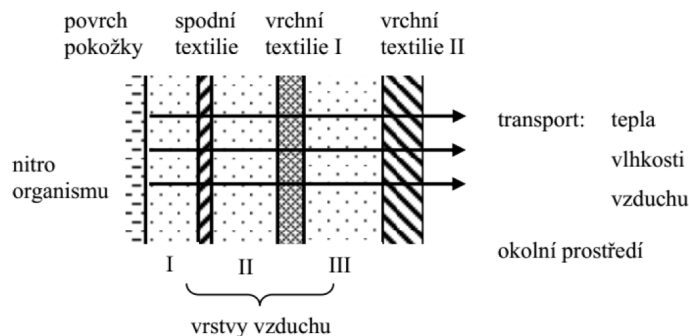
Patofyziologický diskomfort bývá způsoben především přítomností alergizujících látek, jako jsou například bakterie, plísně či chemické látky v obsažené v pracích prostředcích. Přítomnost těchto látek v textiliích může způsobit alergizující projevy pokožky a je tím pádem zcela nežádoucí.

3.4 Používané materiály

Obecně se doporučuje na zimní aktivity používat více vrstev oblečení. V dnešní době se navíc mnohé výrobky, jako např. bundy či rukavice, které jsou určeny především k tepelné ochraně organismu, skládají z více různých funkčních vrstev. U rukavic je v podstatě víceméně nemožné použít více jednotlivých typů rukavic a vrstvit je na sebe, především z toho důvodu, že by byla znemožněna pohyblivost prstů a rukavice by bránily svým uživatelům v různých činnostech. Znázornění obecného trojvrstvého oděvu společně s izolačními vzduchovými vrstvami je na obrázku 3.10. Z něj je také patrné, že tepelný odpor oděvu nezáleží jen na izolačních schopnostech jednotlivých textilních vrstev, ale pokud chceme znát celkový tepelný odpor oděvu, jsou důležitým izolačním prvkem i vrstvy vzduchu mezi textiliemi. To může být také důležitým faktorem i při nošení rukavic, zde by byl například rozdíl tepelného odporu v místě, kde se rukavice překrývá s bundou či kabátem. [8]

Klasický třívrstvý oděv je znám již řadu let. Před nástupem funkčních materiálů byl nejčastěji používán ve složení prvních dvou vrstev z bavlny a třetí vrstva byla ochranná a nepromokavá. Toto vrstvení nebylo z hlediska oděvního komfortu ideální, protože vrchní vrstva nepropouštěla vodní páry, tudíž vodní pára vzniklá pocením nemohla být odvedena z oděvu pryč a člověk se brzy cítil v oděvu diskomfortně. Obecně by měla první vrstva sloužit především k odvodu potu od těla do dalších vrstev. Druhá vrstva slouží hlavně k tepelné izolaci, někdy může obsahovat i membránu a nahradit tak třetí vrstvu, jejíž funkcí je hlavně tvořit bariéru mezi lidským tělem a okolím. U ní je důležitá především voděodolnost a schopnost propouštět vodní páry vznikající na povrchu pokožky do okolního prostředí. [19]

3.4 POUŽÍVANÉ MATERIÁLY



Obrázek 3.10: Vrstvení oděvů (převzato z [8])

Základem pro ochranu před chladem je tedy především druhá izolační vrstva, díky které nedochází k nepřiměřeně velkým tepelným ztrátám. Dalším velmi využívaným prvkem ve sportovních oděvech je membrána. Membránu by měla obsahovat třetí vrstva oblečení. Cílem membrán je propustit vlhkost vznikající pocením z oblečení pryč a zároveň dovnitř k člověku nepropustit vodu z vnějšího okolí. Pokud by byl použitý oděv s vysokou izolační vrstvou bez vrstvy, která by umožňovala odvod vlhkosti, tak by v něm člověku bylo za chvíli velmi teplo a začal by se potit. Vodní pára by se kumulovala pod oděvem a následně by v oděvu začala i kondenzovat. Pro člověka by se tak oděv stal velmi nepříjemným, protože by jej po určité době začal ochlazovat a pociťoval by chlad.

Dále nesmíme opomenout materiály, které jsou použity na povrchu jednotlivých rukavic jednak jako podšívka, jednak jako svrchní designové materiály.

Jednotlivé vrstvy jsou zde dále podrobněji rozebrány a jsou u nich uvedeny příklady z materiálů, které byly použity pro ušití vzorků, na nichž bylo provedeno měření tepelného odporu.

3.4.1 Izolační materiály

Jak již bylo zmíněno výše, izolační materiály tvoří velkou část tepelného odporu oděvu. Tepelně izolačním materiálem bývá obecně nazýván materiál s nízkou tepelnou vodivostí. Například ve stavebnictví lze považovat za izolační materiál ten, který má hodnotu součinitele tepelné vodivosti λ menší než 0,06 W/mK (izolační materiály před rokem 2003) v dnešní době již méně než 0,05 W/mK. [20]

U izolačních materiálů je důležitou vlastností také to, kolik pojmu vzduchu, protože ten je znám jako dobrý izolant. Součinitel tepelné vodivosti vzduchu roste společně s teplotou. Při $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ je jeho hodnota 0,0226 W/mK a při $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ je jeho hodnota mírně vyšší 0,0257 W/mK. [20]

U dnes běžně průmyslově vyráběných rukavic jsou jako základní izolační materiály použity syntetické materiály. Ty jsou vyráběny z různých materiálů rozdílnými technologickými procesy a jejich vlákna mívají různé průřezy. V zásadě se snaží napodobit přírodní vlákna a mnohdy jsou jejich vlastnosti i lepší než u přírodních vláken. Z přírodních izolačních materiálů má dobré izolační vlastnosti například peří, to ale není do rukavic úplně vhodné, vzhledem k tomu, že rukavice jsou tvarově poměrně složité a izolační vrstva by neměla být ani příliš objemná, aby nebyla omezena pohyblivost jednotlivých prstů. [8] [18]

Jedním izolačním materiálem jsou polyesterová vlákna dále označovaná jako PES. Tato skupina vláken je velmi rozmanitá. U těchto vláken dochází k tepelné izolaci pře-

devším díky vzduchu obsaženému ve struktuře mezi jednotlivými vlákny. Dále jsou zde také důležité vlastnosti, jako je odolnost materiálu proti stlačování, kterým by se vzduch uložený mezi vlákny vytlačil, čímž by se snížila celková izolační schopnost materiálu a dále je také důležitá schopnost co nejméně absorbovat vodu, protože voda naopak zvětšuje tepelnou vodivost materiálu. Z těchto vláken se vyrábí nejen izolační výplně, ale také tkaniny, které se používají také jako svrchní materiály. PES bývá dále hojně využíván v laminátech společně s membránou v materiálech, pro které se dnes používá název Soft-Shell. [18] [21]

Dalším jmenovaným izolačním materiálem je Primaloft, což jsou speciální technologií vyrobená polyesterová dutá vlákna, která velmi dobře izolují díky vzduchovým kapsám mezi vlákny. Hlavní výhody tohoto materiálu jsou, že neabsorbuje vodu, je prodyšný a celkově se jedná o lehký materiál. [21]

3.4.2 Membrány

Základním účelem membrány je odvést pot od těla a zároveň nepropustit dovnitř oděvu vodu. Membrány lze rozdělit do dvou základních skupin:

- mikroporézní membrány,
- hydrofilní membrány.

V mikroporézních membránách se nachází velké množství mikropórů o velikosti cca 0.2 μm v počtu více než 1.3 miliardy na cm^2 . Tato velikost pórů bez problémů propustí molekuly vodní páry (tedy lidský pot) a naopak kapky vody nepropustí, protože svou velikostí výrazně převyšují velikost pórů. Díky této vlastnosti je povrch odolný venkovní vlhkosti a zároveň odvádí vlhkost od lidského těla. Nejznámějším zástupcem této skupiny membrán je výrobce GORE-TEX se svými PTFE membránami. [22]

U hydrofilních membrán je přenosu vodních par dosaženo pomocí fyzikálních procesů, jako je adsorbce, difuze a desorpce. Výhodou této membrány je, že neobsahuje póry a tudíž nemůže dojít k jejímu zanesení. [22]

Jelikož jsou membrány velmi tenké fólie s tloušťkou kolem 0.2 mm nelze je používat samostatně a je nutné je chránit dalšími vrstvami. Obecně můžou být membrány zakomponovány do oděvu ve dvouvrstvém nebo třívrstvém laminátu. Laminát je výsledkem laminování, což je proces, při kterém se pomocí pojiva, tlaku a tepla membrána spojí se základní textilií. [18]

Dále mohou být funkční textilie zcela bez membrány pouze povrstvené mikroporézní vrstvou, která zajišťuje stejnou funkci jako membrána. [18] [22]

Firma Holík international má svůj vlastní patentovaný stroj na testování integrity membrán a všechny rukavice s membránami jsou na něm otestovány předtím, než opustí výrobu. [21]

3.4.3 Povrchové materiály

Povrchové materiály jsou prakticky nejdůležitější součástí rukavicového sendviče. Z obou stran jej chrání proti vnějším vlivům a brání jeho poškození. Vnitřní podšívka je ve styku s rukou, proto se u ní dbá také na to, aby byla příjemná na dotek a nebudila v člověku nepříjemné pocity. Naopak u vnějšího povrchu rukavice je důležité, aby byl odolný vůči

3.5 PRACOVNÍ HYPOTÉZA

vnějšímu opotřebení rukavice a to především v místech, kde je nejvíce namáhána. Provedení vnějšího povrchu tedy záleží na tom, k jakému účelu a do jakého prostředí je rukavice určena. Tyto materiály mají také díky svým různým vlastnostem nemalý vliv na celkový tepelný odpor rukavic a jejich správná volba je stejně důležitá jako u ostatních materiálů.

Jako kvalitní povrchový materiál se používají různé druhy kůží. Jmenovitě například teletina, která má jemnou strukturu vlákna, je měkká na omak a dále kozina, která se vyznačuje hrubší lícovou kresbou, velkou pevností a odolností proti oděru. Všechny použité kůže byly upraveny hydrofobní úpravou, což znamená, že jsou celkově odolnější proti vodě, než kdyby byly použity bez této úpravy. [21]

Dalším přírodním materiálem používaným při výrobě rukavic je Merino vlna, která pochází z horských ovcí. Oproti běžné vlně je velmi jemná, nekouše a má lepší izolační vlastnosti než jakékoliv funkční duté vlákno. Výhodou této vlny je, že je vhodná i pro alergiky a díky tomu, že obsahuje keratinový základ také neabsorbuje tělesné pachy. [21]

Zástupci syntetických materiálů, které se používají převážně jako podšívky, jsou Microfleece, Thermolite a Thermocool. Microfleece je prodyšný materiál příjemný na omak, který je schopen odvádět vlhkost a má i výborné tepelné vlastnosti. Vlákno Thermolite je lehké duté vlákno, které pomocí vzduchu uvnitř vlákna zlepšuje své termoizolační vlastnosti. Tyto vlákna rychle odvádí vlhkost od pokožky, přičemž vlákno má i vysokou životnost. Technologie Thermocool je speciální kombinací vláken Thermolite a Coolmax. Vlákno Coolmax velmi rychle odvádí vlhkost od pokožky, aniž by ji absorbovalo a tím ochlazuje organismus při vysokém zatížení a chrání uživatele před výkyvy teplot. Tato technologie využívá funkčních vlastností obou vláken v jednom materiálu. [21]

Jako poslední jsou zde uvedeny speciální materiály, které vylepšují určité vlastnosti rukavic. Patří sem Fresch Ag a X-Static. V obou těchto technologiích jde o aplikaci iontů stříbra do vláken, které zabraňuje množení bakterií, a tyto materiály jsou pak permanentně antibakteriální. [21]

3.5 Pracovní hypotéza

Před započítáním návrhu metodiky měření a následně i měření samotného byla stanovena pracovní hypotéza, která obsahuje jednotlivé body, které budou samotným měřením potvrzeny, nebo vyvráceny.

1. Měření tepelných odporů rukavic je možné provádět pomocí tepelného manekýna Newtona a klimatické komory VUT.
2. Měřením lze dosáhnout nejistoty do $\pm 10\%$ z průměrné hodnoty tepelného odporu daného modelu rukavice.
3. Měření lze provádět opakovaně (lze zajistit opakovatelnost) s nejistotou dle bodu 2.
4. Tepelný odpor daného modelu rukavice je závislý především na její konstrukci, použitých materiálech a nastavení rukavice (utáhnutí řemínek atd.).

4 Metodika měření

Tato kapitola je věnována rešerši z normy ČSN EN 511, popisu dostupného měřícího zařízení a především podrobnému návrhu metodiky pro měření rukavic.

4.1 Norma ČSN EN 511

Zdrojem celé této podkapitoly, která je věnována Normě ČSN EN 511 – Ochranné rukavice proti chladu, je již zmíněná norma [23] a nebude v textu dále citována.

Norma ČSN EN 511 je českou verzí normy EN 511:2006 a nahrazuje normu stejného označení, která byla vydána v roce 1996.

Norma specifikuje požadavky a metody zkoušení pro rukavice chránící proti chladu sdílenému konvekcí a chladu sdílenému vedením (nebo jinak nazýváno proti kontaktnímu chladu) až do $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Specifické hodnoty různých tříd provedení jsou rozlišeny speciálními požadavky pro každou třídu rizika nebo speciální oblasti použití. Zkoušky výrobku udávají pouze třídy provedení, ne stupeň ochrany před chladem.

Všeobecným požadavkem na zkoušené rukavice jsou všechny aplikovatelné požadavky ČSN EN 420. Dále jsou v normě specifikovány požadavky na mechanické vlastnosti, chování při ohybu, propustnost vody a dále také popis zkoušení flexibility rukavic při extrémním chladu (platí pro rukavice určené k ochraně při teplotách pod $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$). Těmito zkouškami se tato práce dále nezabývá.

4.1.1 Metoda zkoušení konvekčního chladu

Tepelná izolace rukavice se stanoví měřením příkonu potřebného k udržení konstantního teplotního gradientu mezi povrchem vyhřívaného modelu ruky (skutečné velikosti) a okolním prostředím.

Návrh a konstrukce ruky musí zajišťovat stejnou konstantní teplotu na celém povrchu ruky (maximální odchylka od střední teploty ruky nesmí překročit $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Rukavice musí být před zkoušením uloženy ve zkušební prostředí, které má zkušební teplotu nejméně 24 hodin.

Přívod tepla pro ruku musí být dostačující k tomu, aby udržel průměrnou teplotu ruky v každé oblasti v rozsahu $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ při teplotě okolí, která je nejméně o $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ nižší.

Zkušební zařízení se skládá z:

- modelu ruky,
- klimatizační komory,
- měřícího zařízení.

Detailní popis zkušebního zařízení je specifikován v příloze A v normě ČSN EN 511 a stručně je obsažen v následující kapitole.

Zkušební vzorek musí být velikosti 9 (viz EN 420).

Postup měření

Model ruky se zkoušenou rukavicí se umístí vertikálně prsty dolů do zkušebního prostoru v klimatizační komoře.

Teplota okolí se nastaví dostatečně nízko, aby vyhovovala požadavkům přílohy A. Rychlost proudění vzduchu je udržována na (4 ± 0.5) m/s a relativní vlhkost vzduchu na (50 ± 5) %. Mohou být použity alternativní podmínky, pokud je prokázán vzájemný vztah mezi získanými výsledky.

Jakmile teplota ruky a příkon dosáhnou ustáleného stavu, provádějí se po dobu 10 minut měření střední hodnoty.

Výsledná tepelná izolace je vypočítána pomocí vztahu:

$$I_{TR} = \frac{T_{HAND} - T_A}{Q_{HAND}}, \quad (4.1)$$

kde

I_{TR} je odolnost proti suché tepelné ztrátě ruky, ve které je obsažena odolnost poskytovaná oblečenou rukou a vzduchovou vrstvou kolem oblečeného modelu ruky

T_{HAND} je střední teplota povrchu měřené oblasti ruky ve °C

T_A je střední teplota vzduchu v klimatizační komoře ve °C

Q_{HAND} je změřené množství energie dodané do měřené oblasti ruky během ustáleného stavu ve W/m².

Hodnoty tepelné izolace

Při zkoušení podle výše uvedeného postupu musí rukavice s tepelně izolačními schopnostmi splňovat hodnoty uvedené v následující tabulce.

Tabulka 4.1: Rozdělení tříd tepelné izolace rukavic

Třída provedení	Tepelná izolace I_{TR} m^2K/W
1	$0.10 \leq I_{TR} < 0.15$
2	$0.15 \leq I_{TR} < 0.22$
3	$0.22 \leq I_{TR} < 0.30$
4	$0.30 \leq I_{TR}$

Pro třídy provedení 2 až 4 musí výrobek dosáhnout při zkoušce oděru a při odolnosti proti dalšímu trhání podle EN 388 alespoň třídu provedení 2, jinak smí být pro konvekční chlad uváděna maximálně třída provedení 1.

4.1.2 Popis zkušebního zařízení

V podstatě může být tepelná izolace stanovena jakýmkoliv zařízením, kterým lze měřit a regulovat teplotu povrchu modelu ruky a tepelnou ztrátu modelu ruky.

Výběr snímačů teploty a topných článků, jejich aplikace a zapojení do modelu ruky není rozhodující, pokud technické parametry přístroje vyhovují dále specifikovaným požadavkům.

Model ruky

Model ruky je vyhříván tak, aby poskytoval rovnoměrnou teplotu povrchu obdobně jako lidská ruka.

Ruka (dlaň, hřbet a prsty) představuje jednu měřenou oblast. Ruka je oddělená od předloktí ochrannou oblastí, která je vyhřívána stejně jako ruka. Model ruky je odlit ve formě, zhotovené podle standardního porcelánového modelu ruky používaného pro výrobu rukavic. Prsty jsou ohnuté, palec v poloze proti prstům.

Ruka je zhotovena z pevného plastu. Může být vyrobena také z jiného materiálu, např. mědi nebo hliníku. Předloktí slouží pro ustavení ruky při umístění v klimatizační komoře.

Napájecí systém

Povrch modelu ruky je pokryt hustě navinutými odporovými dráty. Vrstva drátů je pokryta plastem o tloušťce přibližně 0.2 mm.

Napájení včetně topných článků musí být dostačující k tomu, aby umožnilo udržovat stabilní proudění tepla modelem ruky až do 200 W/m².

Energie přiváděná do modelu musí být měřena tak, aby byla po celou dobu zkoušky udávána její přesná střední hodnota. Přesnost měření energie během zkoušky musí být v rozmezí 2 % střední hodnoty dodané energie.

Model ruky je vyhříván stejnosměrným zdrojem proudu o nízkém napětí. Zdroj energie musí být stabilizován. Kolísání napětí nesmí přesahovat ± 1 %.

Povrchová teplota

Distribuce tepla na povrchu modelu ruky musí být rovnoměrná bez studených nebo horkých míst. Doporučená hodnota pro střední teplotu povrchu modelu ruky je v rozmezí od 30 °C do 35 °C. Místní odchylky od regulované střední teploty povrchu modelu ruky nesmí překročit ± 1 °C. Rovnoměrnost rozložení teplot musí být opakovaně kontrolována infračerveným zobrazovacím systémem nebo ekvivalentní metodou.

Snímače teploty musí být uloženy v povrchové vrstvě tak, aby nepřekážely navlečení zkoušené rukavice.

Teplota povrchu modelu se měří pomocí snímačů z odporových drátů. Snímače jsou upevněny k povrchu tak, aby umožňovaly reprezentativní měření střední teploty povrchu modelu ruky zahrnující všechny významné oblasti.

Klimatizační komora

Model ruky musí být umístěn v komoře, která může zajistit stejnoměrné klimatické podmínky. Prostorové a časové odchylky teplot musí být v toleranci ± 1 °C a relativní vlhkost v toleranci ± 5 %.

Střední teplota sálání se nesmí lišit od střední teploty vzduchu o více než 0.5 °C. Střední rychlost proudění vzduchu ve zkušební prostorou musí být udržována v rozmezí (4 ± 0.5) m/s. Intenzita turbulence musí být menší než 30 % (jedna standardní odchylka střední rychlosti proudění vzduchu).

4.2 Popis dostupného měřicího zařízení

V této kapitole je podrobně popsáno dostupné měřicí zařízení FSI VUT, které bylo použito pro měření podle navržené metodiky pro měření tepelného odporu rukavic podle výše zmíněné normy. Laboratoř tepelného komfortu na Fakultě strojního inženýrství je vybavena klimatickou komorou, tepelným manekýnem Newtonem, mobilním systémem pro měření prostředí v automobilu a dále i maketou kabiny malého dopravního letadla a jsou zde vyvíjeny i různé softwarové modely. [24]

4.2.1 Klimatická komora

Klimatická komora slouží především k simulování různých klimatických podmínek a na VUT se využívá k testování dopravních prostředků, chladicích zařízení, solárních systémů, tepelných čerpadel a také k testování tepelného komfortu společně s tepelným manekýnem. Rozměry komory jsou 5 x 8.85 x 3.8 m a lze do ní umístit i osobní automobil jak je patrné z obrázku 4.1. [25]



Obrázek 4.1: Klimatická komora na FSI

Klimatická komora na FSI, jejímž výrobcem je firma Angelantoni Industrie S.P.A., je v provozu od roku 2013. V klimatické komoře je možné nastavit různé klimatické podmínky pomocí teploty a vlhkosti vzduchu, je zde k dispozici i simulátor slunečního záření. V komoře nelze nastavit teplotu stěn a rychlost proudění vzduchu. Nastavení teploty vzduchu je zde možné zajistit s přesností ± 1 °C [26].

Technické parametry měřicího zařízení [25]:

- teplotní rozsah (se solární simulací) $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$,
- teplotní rozsah (bez solární simulace) $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$,
- rychlost teplotní změny (IEC 60068-35-5) $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$,
- vlhkostní rozsah (se solární simulací) 30 - 60 % RH,
- vlhkostní rozsah (bez solární simulace) 30 - 95 % RH,
- stabilita udržování vlhkosti $\pm 5\text{ }%$ RH,
- rosný bod $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $49\text{ }^{\circ}\text{C}$,
- solární simulace 10 kW nebo 1000 W/m^2 ,
- výměna vzduchu pro vyvětrání $3000\text{ m}^3/\text{h}$,
- výměna vzduchu při provozu $300\text{ m}^3/\text{h}$,
- vnitřní objem komory 152 m^3 .

4.2.2 Tepelný manekýn Newton

Dalším vybavením potřebným k měření tepelného komfortu je tepelný manekýn od společnosti Measurements Technology Northwest. Jeho součástí je i řídicí software s názvem ThermDAC8, pomocí kterého lze u manekýna nastavit jednotlivé požadované parametry a zároveň zaznamenávat naměřená data, jejichž grafickou interpretaci je možné sledovat i přímo v průběhu měření. [27]

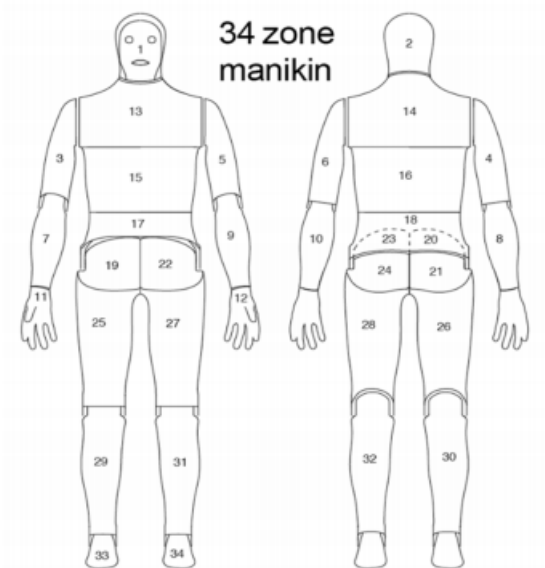
Manekýn vyfotografovaný na obrázku 4.2 má tvar průměrné lidské postavy a používá se jak k hodnocení tepelného komfortu osob ve vnitřním i venkovním prostředí, tak k hodnocení tepelně izolačních vlastností oděvů. Manekýn může být regulován na konstantní povrchovou teplotu, nebo na konstantní tepelný tok proudící skrz jeho povrch. [28]



Obrázek 4.2: Tepelný manekýn Newton se všemi dostupnými komponenty

4.2 POPIS DOSTUPNÉHO MĚŘICÍHO ZAŘÍZENÍ

Dále manekýn disponuje 34 nezávisle vyhřívanými a řízenými zónami, které simulují produkci metabolického tepla a jeho odvod do okolního prostředí. Přehled jednotlivých zón je znázorněn na obr. 4.3.



Obrázek 4.3: Rozdělení zón - pohled na manekýna zepředu a zezadu (převzato z [27])

Technické parametry měřicího zařízení [28]:

- měření v rozsahu okolních teplot -20 °C až $+50\text{ °C}$,
- 34 nezávisle regulovatelných a měřitelných zón,
- přesnost měření teploty $\pm 0.1\text{ °C}$,
- 2x čidlo teploty vzduchu,
- 1x čidlo relativní vlhkosti,
- 1x čidlo pro měření rychlosti vzduchu,
- dýchací mechanismus,
- filtrační zařízení pro monitoring vdechovaných částic.

Při měření bylo použito čidlo pro měření relativní vlhkosti vzduchu, obě čidla na měření teploty vzduchu a čidlo pro měření rychlosti vzduchu. V tabulce 4.2 na následující straně je popis zón, pomocí kterých bylo provedeno měření společně s jejich plochou.

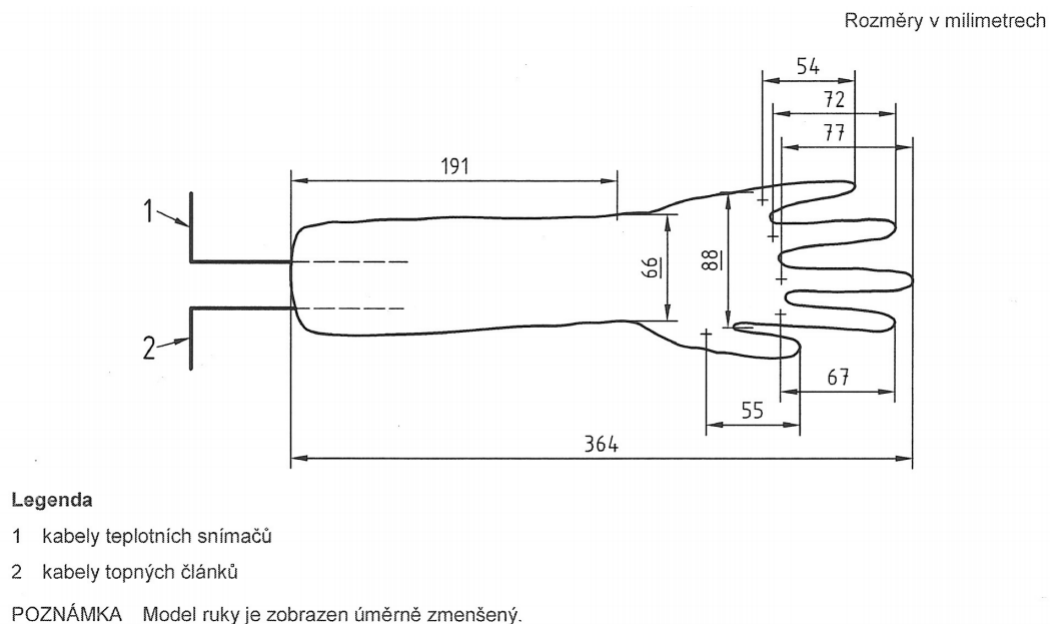
Tabulka 4.2: Popis zón manekýna s velikostí jednotlivých ploch [27]

číslo zóny	popis zóny	plocha [m ²]
7	pravé předloktí přední část	0.0384
8	pravé předloktí zadní část	0.0264
9	levé předloktí přední část	0.0384
10	levé předloktí zadní část	0.0264
11	pravá dlaň s prsty	0.0461
12	levá dlaň s prsty	0.0461

Při měření tepelného odporu rukavic byla u výše zmíněných zón použita regulace na konstantní povrchovou teplotu 34 °C, tento fakt je podrobněji popsán v návrhu metodiky.

Detailní popis ruky manekýna

V normě ČSN EN 511 je uveden detailní popis rozměrů měřicí ruky. Obrázek z normy je na obrázku 4.4.

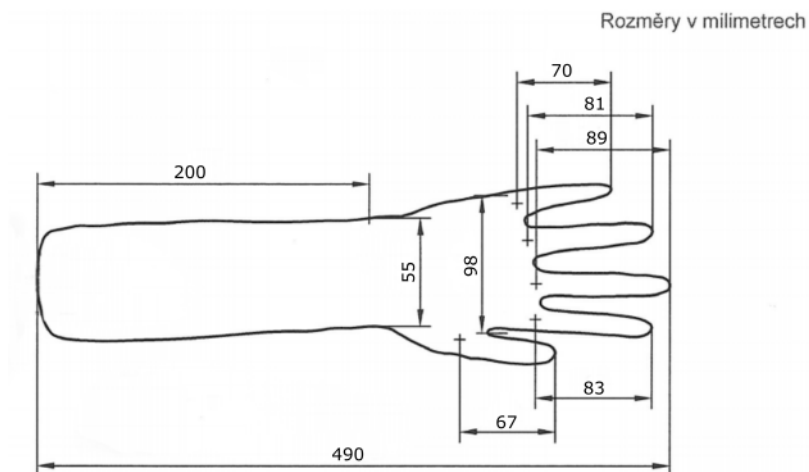


Obrázek 4.4: Velikost měřicí ruky dle normy [23]

Rozměry ruky manekýna Newtona jsou na obrázku 4.5 a na první pohled je patrné, že ruka je větší velikosti, než měřicí ruka popisovaná v normě ČSN EN 511. Ovšem po změření velikosti ruky manekýna podle normy ČSN EN 420 je zřejmé, že ruka manekýna je velikosti 9, což je i velikost vyžadovaná normou ČSN EN 511. Tato neshoda naznačuje, že je v normě ČSN EN 511 pravděpodobně uveden chybný obrázek, protože ruka uvedená na obrázku 4.4 odpovídá velikosti 7 dle ČSN EN 420. [29] Všechny zkoušené vzorky rukavic byly velikosti 9, pouze nejméně izolující vzorek byl měřen ve velikosti 10, protože velikost 9 by se na ruku manekýna při měření velmi špatně oblékala.

Na následujícím obrázku je vyfocen detail ruky manekýna pro lepší představu jednotlivých naměřených rozměrů.

4.2 POPIS DOSTUPNÉHO MĚŘICÍHO ZAŘÍZENÍ



Obrázek 4.5: Rozměry Newtonovy ruky - upravený obrázek 4.4 podle naměřených rozměrů



Obrázek 4.6: Detail ruky manekýna Newtona

4.2.3 Přesný teploměr TESTO

Přesný teploměr Testo 735 byl použit pro porovnání a ověření teplot v klimatické komoře. Hlavním důvodem jeho použití byla především potřeba porovnání s čidly okolní teploty, která byla použita společně s tepelným manekýnem Newtonem, čímž se ověřilo rovnoměrné rozložení teplot v komoře.

Při měření byla použita verze přístroje TESTO 735-2, která má paměť pro 10 000 naměřených hodnot a je vybavena i PC softwarem. Přístroj má jeden vstup na přesnou sondu PT100 a další dva vstupy pro rychlou termočlávkovou sondu. S přístrojem lze propojit i několik bezdrátových teplotních sond. [30]



Obrázek 4.7: Testo 735 /převzato z [31])

Technické parametry měřicího přístroje [30]:

- provozní teplota -20 °C až $+50\text{ °C}$,
- shoda s normou EN 13485,
- třída krytí IP65,
- rozměry 220 x 74 x 46 mm,
- přesnost se senzorem Pt100 $\pm 0.2\text{ °C}$,
- rozlišení se senzorem Pt100 0.05 °C .

Společně s přístrojem testo 735-2 je možné použít různé typy sond na měření teploty okolního vzduchu, povrchů či potravin. Při měření tepelného odporu rukavic byla použita přesná, robustní sonda okolního vzduchu Pt100 znázorněná na obrázku 4.8, která je k přístroji připojena pevným rovným kabelem. [30]



Obrázek 4.8: Přesná sonda Pt100 (převzato z [31])

Technické parametry měřicí sondy [30]:

- měření v rozsahu teplot -50 °C až $+400\text{ °C}$,
- přesnost ve třídě A od -50 °C do $+300\text{ °C}$,
- přesnost ve třídě B od -200 °C do -50 °C a od 300 °C do 600 °C ,
- doba odezvy 70 s,
- délka trubice sondy 114 mm,
- průměr sondy 5 mm,
- délka špičky sondy 50 mm,
- průměr špičky sondy 4 mm.

4.3 Návrh metodiky pro měření tepelného odporu rukavic

Z normy ČSN EN 511 a z dostupného měřicího zařízení byla navržena následující metodika pro měření tepelného odporu rukavic. Po domluvě s firmou Holík international nebyly důsledně aplikovány všechny požadavky normy z důvodů snížení finanční nákladnosti měření. Jednalo se především o teplotu a proudění okolního vzduchu. Teplota manekýna byla zvolena 34 °C a teplota vzduchu v komoře byla stanovena na 20 °C ± 1 °C. Zde není splněn požadavek normy na to, aby teplota okolního vzduchu byla alespoň o 20 °C nižší než je teplota ruky, ale je nižší pouze o 14 °C. Proudění vzduchu v klimatizační komoře bylo vypnuto, tím pádem zde nebylo možné dosáhnout normou požadovaného proudění vzduchu 4 m/s. Vlhkost vzduchu v klimatické komoře také nebyla nijak zásadně upravována, ale byla ponechána stejná jako u okolního vzduchu.

Rozmístění a nastavení měřicího zařízení

Manekýn byl umístěn do středu klimatizační komory, ve stojící poloze se zapaženými rukama, které byly dále v loktech ohnuté směrem k zemi, aby bylo docíleno polohy rukou podle normy a zároveň mohl kolem nich volně proudit vzduch a měření nebylo ovlivněno tělem manekýna. Tato skutečnost je patrná z obrázku 4.9.



Obrázek 4.9: Pohled na manekýna ze strany

Vně obou rukou byly umístěny čidla snímající teplotu okolního prostředí, která znamenávala okolní teplotu do jednoho souboru společně s daty z manekýna. Společně s čidlem okolní teploty byla na stojanu u pravé ruky umístěna i vlhkostní sonda. Uprostřed mezi ruce byl umístěn senzor přesného teploměru Testo 735. Pohled na popsanou situaci

ze zadní strany společně se sběrníci dat je na obrázku 4.10, detailní pohled na rozmístění jednotlivých čidel je zaznamenán na obrázku 4.11.



Obrázek 4.10: Pohled na měřicí zařízení zezadu



Obrázek 4.11: Detailní pohled na umístění čidel

- a) čidlo okolního vzduchu u levé ruky
- b) sensor Pt100 - Testo 735
- c) čidlo okolního vzduchu u pravé ruky společně s vlhkoměrem

Vzdálenost jednotlivých čidel od hřbetů rukou byla 15 cm a spodní část prstů končila ve výšce 80 - 81 cm nad podlahou.

Úkony před měřením

Nejdříve byla klimatizační komora vystabilizována na 20 °C a byly do ní umístěny měřené vzorky rukavic, aby byly nejméně 24 hodin umístěny v prostředí se stejnou teplotou a vlhkostí okolního vzduchu jako při měření. Dále byla po danou dobu komora udržována na 20 °C.

Úkony při měření

Na začátku měření byly levá a pravá ruka společně s pravým a levým předloktím (zóny 7, 8, 9, 10, 11 a 12) zapnuty a nastaveny na teplotu 34 °C. Po dřívějších zkušenostech z měření s tepelným manekýnem v laboratoři tepelného komfortu, byly výše uvedené zóny nahřívány po dobu 2 hodin, aby byl manekýn řádně prohřátý a nevznikaly v něm parazitické tepelné toky do jeho vnitřních dutin. Tyto toky by mohly zkreslovat měření a tím by znemožnily jeho opakovatelnost. Po vyhodnocení dat, viz následující kapitola, by bylo možné tuto dobu i zkrátit, ale takto bylo zajištěno, že měření nebude tímto negativním jevem ovlivněno.

Po 2 hodinách nahřívání rukou manekýna na ně byl nasazen jeden pár rukavic (jejich přehled je v kapitole měření). Ruce se dále bez přerušení vyhřívaly i s rukavicemi na teplotu 34 °C a měřily tepelný tok generovaný manekýnem po dobu dalších 2 hodin.

V průběhu celého měření bylo v klimatické komoře zhasnuto osvětlení, především z důvodu aby neovlivňovalo měření zvyšováním teploty vzduchu. Fotografie pořízené s rozsvícenými světly byly pořízeny po ukončení měření nebo delší dobu před jeho zahájením.

Úkony po měření

Ihned po skončení čtyřhodinového bloku měření jednoho páru rukavic byly rukavice z manekýna vysvléknuty a opět uloženy v klimatické komoře. Mezi dvěma měřeními bylo nutné dodržet časový rozdíl alespoň 4 hodin, aby bylo zajištěno řádné vychladnutí tepelného manekýna na teplotu okolí a měření provedená v jednom dni tak na sobě byla nezávislá. Dalším důvodem byla také časová rezerva pro případ potřeby úpravy teploty vzduchu v klimatizační komoře, protože při měření nemohla být spuštěna, aby zde nevznikalo nucené proudění vzduchu, které by bylo pro tuto naši metodiku nevhodné.

5 Měření

5.1 Měřené typy rukavic

Od firmy Holík international jsme měli k dispozici těchto následujících 5 vzorků rukavic. Vzorek č. 1:

Tabulka 5.1: Složení vzorku č. 1

Hřbet rukavice		Dlaň rukavice	
třívrstvý laminovaný materiál	Polyamid v kombinaci s vlnou	Kůže teletina s hydrofobní úpravou podšívka	thermocool™
	Membrána		Merino
	Mikrofleece		Fresch Ag



Obrázek 5.1: Vzorek č. 1 pohled na hřbety rukavic



Obrázek 5.2: Vzorek č. 1 pohled na dlaně rukavic

5.1 MĚŘENÉ TYPY RUKAVIC

Vzorek č. 2:

Tabulka 5.2: Složení vzorku č. 2

Hřbet rukavice	Dlaň rukavice
100% PES	kůže kozina
zateplení Primaloft	zateplení Primaloft
Membrána PU	Membrána PU
podšívka PES Thermolite®	podšívka PES Thermolite®
X-Static®	X-Static®



Obrázek 5.3: Vzorek č. 2 pohled na hřbety rukavic



Obrázek 5.4: Vzorek č. 2 pohled na dlaně rukavic

Vzorek č. 3:

Tabulka 5.3: Složení vzorku č. 3

Hřbet rukavice	Dlaň rukavice
100% PES	kůže kozina s hydrofobní úpravou
zateplení 100% PES	zateplení 100% PES
Membrána PU	Membrána PU
podšívka Mikrofleece 100% PES	podšívka Mikrofleece 100% PES



Obrázek 5.5: Vzorek č. 3 pohled na hřbety rukavic



Obrázek 5.6: Vzorek č. 3 pohled na dlaně rukavic

5.1 MĚŘENÉ TYPY RUKAVIC

Vzorek č. 4:

Tabulka 5.4: Složení vzorku č. 4

Hřbet rukavice	Dlaň rukavice
100% PES	kůže kozina
zateplení Primaloft	zateplení Primaloft
Membrána PU	Membrána PU
podšívka PES Thermolite®	podšívka PES Thermolite®
X-Static®	X-Static®



Obrázek 5.7: Vzorek č. 4 pohled na hřbety rukavic



Obrázek 5.8: Vzorek č. 4 pohled na dlaně rukavic

Vzorek č. 5:

Tabulka 5.5: Složení vzorku č. 5

Hřbet rukavice		Dlaň rukavice
softshell	100% PES	kůže hovězina
	Membrána	laminovaný molitan
	Mikrofleece	zateplení Primaloft®
zateplení Primaloft®		podšívka Mikrofleece 100% PES
podšívka Mikrofleece 100% PES		



Obrázek 5.9: Vzorek č. 5 pohled na hřbety rukavic



Obrázek 5.10: Vzorek č. 5 pohled na dlaně rukavic

5.2 Průběh samotného měření

Měření probíhalo podle výše navržené metodiky v období od 28.5 do 26.6 2015 na vzorcích č. 1 až 5, ušitých přímo za účelem tohoto měření. Rukavice byly měřeny po párech jednotlivých vzorků. Celkově měření trvalo v uvedeném termínu 8 dní, s tím, že byly provedeny dvě měření v jednom dni.

První měření probíhalo cca od 6:00 do 10:00, kdy byl manekýn 2 hodiny vyhříván na požadovanou teplotu a poté mu byl nasazen jeden pár rukavic. Druhé měření probíhalo ve stejný den odpoledne od 14:00 do 18:00 stejným způsobem. Čas na vychladnutí měřicího zařízení odpovídá 4 hodinám navrhovaným v metodice. Na obrázku 5.11 je vyfocen vzorek č. 5 oblečený na rukách manekýna.



Obrázek 5.11: Vzorek č. 5 oblečený na manekýnovi

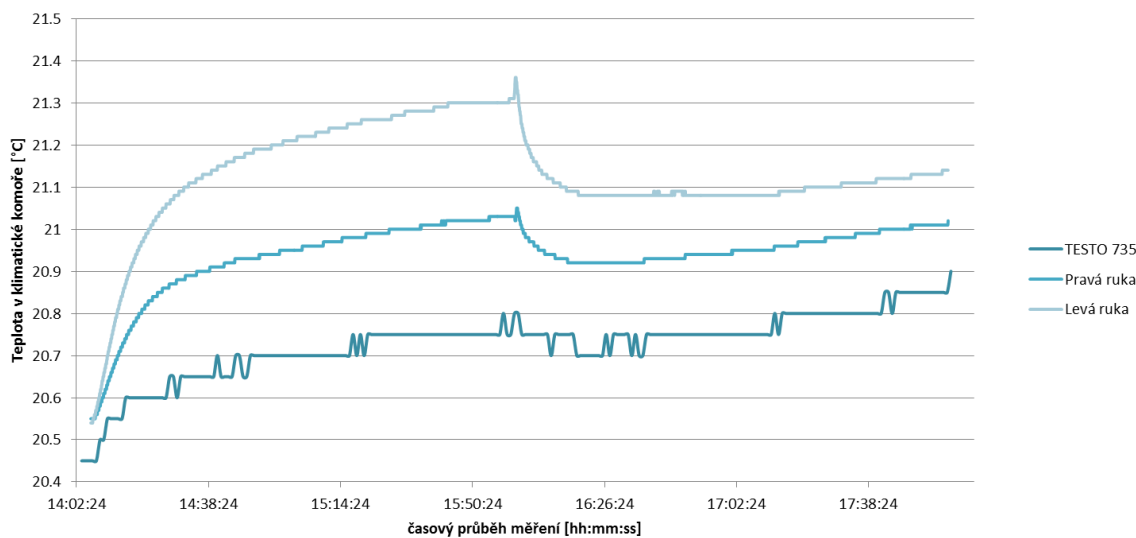
Vzhledem k časové vytíženosti klimatické komory bylo možné proměřit jednotlivé vzorky pouze 3x, proběhlo tedy 6 nezávislých měření pro jeden vzorek rukavice, protože jsme měli k dispozici vždy jeden pár od jednoho vzorku, jak je vidět na fotodokumentaci z měření v předchozí kapitole.

5.3 Zpracování dat

Hodnoty, které byly naměřeny tepelným manekýnem v průběhu jednoho měření, se zaznamenávaly do počítače jednou za 5 sekund, to znamená o frekvenci 0.2 Hz. Je tedy zřejmé, že při délce měření přes 4 hodiny, přesahoval počet naměřených záznamů z jednoho měření počet přes 2880 datových řádků. Z tohoto důvodu se v naměřených datech vybraly reprezentativní desetiminutové intervaly, ve kterých byly spočteny hodnoty odporu proti konvekci a radiaci u neoblečené ruky R_{α} podle vzorce 3.14 a celkového odporu rukavic R_c ze vztahu 3.13. Pro odpor proti konvekci u ruky bez rukavic to byl časový interval 1:50 - 2:00 od zahájení experimentu a pro celkový odpor i s rukavicemi byl časový interval 1:30 - 1:40 od nasazení rukavic, kdy byl již průběh teplot a tepelných toků ustálený. Z těchto 120 hodnot se spočítal průměr, což byla výsledná hodnota jak R_{α} tak R_c pro jedno měření. Odečtením výsledné hodnoty R_{α} od R_c (viz vztah 3.15) byla získána hodnota tepelného odporu rukavic R_R . Převrácením této hodnoty lze dále získat koeficient prostupu tepla rukavicí.

Dále byly zaznamenávány teploty okolního vzduchu pomocí přístroje TESTO 735 s přesnou sondou Pt100 umístěnou uprostřed mezi dlaněmi. Tyto hodnoty byly zapisovány jednou za minutu, což odpovídá frekvenci 0.02 Hz. Před vyhodnocováním dat se musely nejprve porovnat teploty okolí naměřené TESTEM 735 a sondami umístěnými u rukou manekýna. Tyto hodnoty se porovnávaly vynesemím do grafu se společnou časovou osou x , která umožňuje synchronizovat jednotlivá měření z více přístrojů s různou frekvencí zaznamenávání dat podle času. Pokud by se naměřené hodnoty lišily o více jak $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ znamenalo by to, že teploty v měřené části klimatické komory nebyly ustálené, nebo některý z přístrojů neměří tak jak má, případně že se v prostoru klimatické komory nachází nežádoucí zdroj tepla či chladu.

Na obrázku 5.12 je ukázka jednoho takového porovnání z 3. měření vzorku č. 3. Časová osa ukazuje, že šlo o odpolední měření. V časovém úseku od 14:00 do cca 14:45 lze pozorovat ustalování teplot v okolí manekýna, dále se teploty liší již pouze v desetínách $^{\circ}\text{C}$. V grafu je také zřetelný okamžik v čase po 16:00, kdy byly manekýnovi nasazovány rukavice. Je zřejmé, že v tomto okamžiku se měřené teploty mohou lišit i o více jak $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, protože čidla od manekýna byla umístěna blíže rukavicím než TESTO 735 (viz návrh metodiky). Dalším faktorem je možný výskyt vyšší teploty v důsledku nasazování rukavic a pohybu obsluhy. Na obrázku je hezky vidět, že naměřené teploty se v časovém intervalu celého měření liší v rámci desetín $^{\circ}\text{C}$. Rozdílné průběhy čidel u pravé a levé ruky od hodnot naměřených TESTEM 735 jsou způsobené frekvencí zaznamenávání teplot. Tím, že TESTO 735 zaznamenalo jednu hodnotu za dobu, kdy tyto dvě čidla zaznamenaly 12 hodnot, je způsoben jeho místy skokový průběh. Rozsah osy y je záměrně volen v rozmezí teplot od 20.4 do $21.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, aby bylo možné zobrazit rozdíly jednotlivých průběhů teplot.



Obrázek 5.12: Graf průběhu teplot u 3. měření vzorku č. 3

Tímto způsobem bylo získáno 6 nezávislých hodnot tepelného odporu pro všechny vzorky rukavic, 3 z pravé ruky a 3 z levé ruky. Ty bylo nutné dále zpracovat tak, aby byla získána jedna reprezentativní výsledná hodnota tepelného odporu pro jednotlivé vzorky. Výsledná hodnota je aritmetickým průměrem z těchto šesti hodnot. Aby měly výsledky tohoto měření patřičnou vypovídající hodnotu, byly dále spočítány nejistoty měření.

5.3 ZPRACOVÁNÍ DAT

5.3.1 Naměřená data

V tabulkách pro jednotlivé vzorky jsou uvedeny hodnoty ze tří měření, které jsou rozdělené pro hodnoty pro pravou a pro levou ruku. V prvním řádku tabulky jsou uvedené průměrné teploty za celé měření, naměřené čidly, které byly umístěny u pravé a levé ruky. Na druhém řádku je stejně jako na předchozím řádku uvedena průměrná vlhkost v klimatické komoře za celé měření. Vlhkost se v průběhu měření měnila minimálně, v rámci desetin procent. Na dalších řádcích jsou zapsány hodnoty tepelných odporů bez rukavic a celkových tepelných odporů. V pátém řádku tabulky jsou vypočtené tepelné odpory rukavic pro jednotlivá měření a v posledním řádku tabulky je uveden jejich průměr.

Tabulka 5.6: Naměřená data pro vzorek č. 1

VZOREK Č. 1	1. měření		2. měření		3. měření	
	pravá ruka	levá ruka	pravá ruka	levá ruka	pravá ruka	levá ruka
Teplota v klimatické komoře [°C]	19.8	19.8	20.1	20.1	19.9	19.9
Vlhkost v klimatické komoře [%]	36		35		36	
Tepelný odpor konvekce [m ² K/W]	0.1092	0.1052	0.1095	0.1060	0.1095	0.1055
Celkový tepelný odpor [m ² K/W]	0.2024	0.1940	0.2030	0.1975	0.2006	0.1982
Tepelný odpor rukavic [m ² K/W]	0.0932	0.0888	0.0935	0.0915	0.0911	0.0927
Průměrný tepelný odpor rukavic	0.0918 m ² K/W					

Tabulka 5.7: Naměřená data pro vzorek č. 2

VZOREK Č. 2	1. měření		2. měření		3. měření	
	pravá ruka	levá ruka	pravá ruka	levá ruka	pravá ruka	levá ruka
Teplota v klimatické komoře [°C]	20.2	20.0	20.9	20.8	20.6	20.5
Vlhkost v klimatické komoře [%]	54		51		58	
Tepelný odpor konvekce [m ² K/W]	0.1071	0.1053	0.1084	0.1054	0.1089	0.1051
Celkový tepelný odpor [m ² K/W]	0.3116	0.3053	0.3064	0.3027	0.3150	0.3054
Tepelný odpor rukavic [m ² K/W]	0.2044	0.2000	0.1980	0.1973	0.2061	0.2003
Průměrný tepelný odpor rukavic	0.2010 m ² K/W					

Tabulka 5.8: Naměřená data pro vzorek č. 3

VZOREK Č. 3	1. měření		2. měření		3. měření	
	pravá ruka	levá ruka	pravá ruka	levá ruka	pravá ruka	levá ruka
Teplota v klimatické komoře [°C]	20.2	20.2	20.7	20.4	21.1	20.9
Vlhkost v klimatické komoře [%]	42		41		44	
Tepelný odpor konvekce [m ² K/W]	0.1104	0.1061	0.1080	0.1065	0.1087	0.1065
Celkový tepelný odpor [m ² K/W]	0.3326	0.3218	0.3241	0.3283	0.3221	0.3184
Tepelný odpor rukavic [m ² K/W]	0.2222	0.2157	0.2161	0.2218	0.2134	0.2119
Průměrný tepelný odpor rukavic	0.2169 m ² K/W					

Tabulka 5.9: Naměřená data pro vzorek č. 4

VZOREK Č. 4	1. měření		2. měření		3. měření	
	pravá ruka	levá ruka	pravá ruka	levá ruka	pravá ruka	levá ruka
Teplota v klimatické komoře [°C]	21.1	20.9	19.7	19.6	20.5	20.4
Vlhkost v klimatické komoře [%]	55		44		49	
Tepelný odpor konvekce [m ² K/W]	0.1081	0.1043	0.1067	0.1037	0.1075	0.1053
Celkový tepelný odpor [m ² K/W]	0.3849	0.3932	0.3997	0.4018	0.4034	0.3947
Tepelný odpor rukavic [m ² K/W]	0.2768	0.2890	0.2929	0.2981	0.2960	0.2894
Průměrný tepelný odpor rukavic	0.2904 m ² K/W					

Tabulka 5.10: Naměřená data pro vzorek č. 5

VZOREK Č. 5	1. měření		2. měření		3. měření	
	pravá ruka	levá ruka	pravá ruka	levá ruka	pravá ruka	levá ruka
Teplota v klimatické komoře [°C]	20.3	20.2	20.8	20.6	20.1	19.8
Vlhkost v klimatické komoře [%]	44		46		52	
Tepelný odpor konvekce [m ² K/W]	0.1074	0.1036	0.1078	0.1059	0.1073	0.1052
Celkový tepelný odpor [m ² K/W]	0.4175	0.4225	0.4146	0.4221	0.4176	0.4249
Tepelný odpor rukavic [m ² K/W]	0.3101	0.3189	0.3068	0.3162	0.3104	0.3198
Průměrný tepelný odpor rukavic	0.3137 m ² K/W					

5.3.2 Nejistoty měření

Hodnoty naměřených dat nám samy o sobě udávají číselnou hodnotu měřené veličiny, pokud nás ale zajímá, jak moc může být hodnota odlišná od reálné hodnoty, či jak přesně naše měření probíhalo, je nutné se dále zabývat nejistotami měření.

Obecně lze nejistoty měření získat dvěma metodami [32]:

- statistickým zpracováním naměřených dat neboli nejistoty typu A,
- jinak než pomocí statistiky obecně označováno jako nejistoty typu B.

Z těchto dvou základních metod lze pak dále určit standardní kombinovanou nejistotu, což je výsledná nejistota daného měření. Standardní kombinovaná nejistota měření pokrývá interval, ve kterém je 68 % jistota, že v něm leží přesná hodnota měřené veličiny. Tento interval nejistot lze dále rozšířit na 95 % nebo 99 % interval spolehlivosti takzvané rozšířením na 2 nebo 3 σ interval. Tato nejistota se pak nazývá rozšířená nejistota. Cílem v této práci bude výpočet nejistot provedeného měření tepelného odporu rukavic s 95 % spolehlivostí. [32]

5.3 ZPRACOVÁNÍ DAT

Nejistoty typu A

Pro výpočet nejistot typu A se pro aritmetický průměr z naměřených hodnot používá vztah [33] [32]

$$u_A = \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (5.1)$$

kde

s je výběrová směrodatná odchylka z opakovaných naměřených hodnot,
 n je počet opakování měření.

Dále se vztah rozšiřuje pomocí bezpečnostního faktoru k_{UA} pro počet měření menší než 10, což je případ našeho měření. V následujícím vztahu je navíc rozepsán výpočet výběrové směrodatné odchylky. [33]

$$u_A = k_{UA} \frac{s}{\sqrt{n}} = k_{UA} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} \quad (5.2)$$

v tomto vzorci znamená

x_i jednotlivou naměřenou hodnotu, v našem případě tepelný odpor pro jednotlivá měření,
 \bar{x} je střední hodnota z dat zahrnutých do výpočtu - v našem případě průměrná hodnota tepelného odporu,

a n je počet opakování měření.

V [33] je uveden bezpečnostní korekční faktor pro 6 opakování měření $k_{UA} = 1.3$ a tato hodnota je použita ve výpočtu.

Nejistoty typu B

Nejistoty typu B jinak také nazývané systematické chyby je nutné pro nepřímou měřenou veličinu počítat pomocí následujícího vztahu [34]

$$u_B = \sqrt{\sum_{i=1}^n u_{Bi}^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f(x_1 \dots x_n)}{\partial x_i} u_{x_i} \right)^2} \quad (5.3)$$

kde

u_{Bi} jsou jednotlivé nejistoty měřených veličin,

f je funkce veličin x_1 až x_n , pomocí níž byla spočítána výsledná hodnota požadované veličiny,

x_i je i -tá proměnná vystupující ve funkci f ,

u_{x_i} je nejistota měření dané proměnné veličiny x_i ,

n je počet proměnných veličin funkce f .

Do tohoto vztahu byl pro výpočet nejistot dosazen za funkci f tepelný odpor oděvu R_R , který je podle vztahu 3.16 funkcí 6 proměnných. Vztah 3.16 je tedy nutné pro výpočet nejistot typu B derivovat podle všech 6 proměnných, které byly měřené a mohou ovlivnit nejistotu měření. Obecný vztah pro výpočet nejistot typu B vypadá následovně:

$$u_B = \sqrt{\left(\frac{\partial R_R}{\partial T_{op}} u_{T_{op}}\right)^2 + \left(\frac{\partial R_R}{\partial T_{o\infty}} u_{T_{o\infty}}\right)^2 + \left(\frac{\partial R_R}{\partial \dot{q}_o} u_{\dot{q}_o}\right)^2 + \left(\frac{\partial R_R}{\partial T_{np}} u_{T_{np}}\right)^2 + \left(\frac{\partial R_R}{\partial T_{n\infty}} u_{T_{n\infty}}\right)^2 + \left(\frac{\partial R_R}{\partial \dot{q}_n} u_{\dot{q}_n}\right)^2} \quad (5.4)$$

Po dosazení rovnice 3.16 za R_R a spočtení parciálních derivací dostaneme výsledný vztah pro výpočet nejistot typu B:

$$u_B = \sqrt{\left(-\frac{1}{\dot{q}_o} u_{T_{op}}\right)^2 + \left(\frac{1}{\dot{q}_o} u_{T_{o\infty}}\right)^2 + \left(-\frac{T_{op} - T_{o\infty}}{\dot{q}_o^2} u_{\dot{q}_o}\right)^2 + \left(-\frac{1}{\dot{q}_n} u_{T_{np}}\right)^2 + \left(\frac{1}{\dot{q}_n} u_{T_{n\infty}}\right)^2 + \left(\frac{T_{np} - T_{n\infty}}{\dot{q}_n^2} u_{\dot{q}_n}\right)^2} \quad (5.5)$$

Předchozí vztah lze pro výpočet zjednodušit tak, že jej rozdělíme na vztah pro výpočet nejistoty při měření oblečené ruky u_{Bo} a neoblečené ruky u_{Bn} .

$$u_{Bo} = \sqrt{\left(-\frac{1}{\dot{q}_o} u_{T_{op}}\right)^2 + \left(\frac{1}{\dot{q}_o} u_{T_{o\infty}}\right)^2 + \left(-\frac{T_{op} - T_{o\infty}}{\dot{q}_o^2} u_{\dot{q}_o}\right)^2} \quad (5.6)$$

$$u_{Bn} = \sqrt{\left(-\frac{1}{\dot{q}_n} u_{T_{np}}\right)^2 + \left(\frac{1}{\dot{q}_n} u_{T_{n\infty}}\right)^2 + \left(\frac{T_{np} - T_{n\infty}}{\dot{q}_n^2} u_{\dot{q}_n}\right)^2} \quad (5.7)$$

Výsledná nejistota tepelného odporu rukavic je pak součtem jejich čtverců.

$$u_B = \sqrt{u_{Bo}^2 + u_{Bn}^2} \quad (5.8)$$

Vztahy 5.5 a 5.8 se rovnají. Výpočet pomocí vztahů 5.6, 5.7 a 5.8 je přehlednější a lépe vystihuje postup výpočtu, než jeden vztah 5.5.

Ve vztazích 5.6 a 5.7 je nutné spočítat hodnoty T_p , T_∞ a q s rozlišením pro měření oblečené (index o) a neoblečené ruky (index n). Tyto hodnoty byly spočítány ze surových naměřených dat v podstatě stejným způsobem jako tepelné odpory. Z totožných 10 minutových intervalů při jednotlivých měřeních byly spočtené průměrné hodnoty těchto veličin a z těchto 6 hodnot (pro každé měření jedna pro jednu veličinu) byla spočítána jedna průměrná hodnota a ta je následně dosazována do těchto vzorců.

Nejistoty měřených veličin pomocí použitého zařízení byly převzaty z článku [16]. U nejistot pro výpočet teplot u_{T_p} a u_{T_∞} je známa nejistota tohoto měření ± 0.05 °C pro 68 % interval, u nejistoty měření tepelného toku u_q je tato veličina rovna ± 0.5 % z naměřené hodnoty pro stejný konfidenční interval.

5.3 ZPRACOVÁNÍ DAT

Nejistoty typu C

Kombinovaná nejistota je součtem čtverců nejistot typu A a nejistot typu B neboli matematicky zapsáno [32] [33]:

$$u_C = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} \quad (5.9)$$

Výslednou nejistotu pak obdržíme rozšířením nejistoty na 2σ interval. Za předpokladu, že data mají normální rozdělení bude koeficient k_r nabývat hodnoty 2. [35]

$$U_C = k_r \cdot u_C = 2u_C = 2\sqrt{u_A^2 + u_B^2} \quad (5.10)$$

Celý výpočet nejistot je zde pro větší názornost ukázán na následujícím příkladu.

Příklad výpočtu nejistot

Pro ukázkou výpočtu nejistot byl zvolen vzorek č. 1. Před samotným výpočtem bylo potřeba určit hodnoty jednotlivých teplot a tepelných toků ze stejných časových úseků jako byly počítány tepelné odpory. Hodnoty těchto veličin jsou uvedeny v tabulce 5.11.

Tabulka 5.11: Hodnoty potřebné k výpočtu nejistot vzorku č. 1

	1. měření		2. měření		3. měření		průměrné hodnoty
	pravá ruka	levá ruka	pravá ruka	levá ruka	pravá ruka	levá ruka	
q_n [W/m ²]	129.398	134.236	126.293	130.229	128.627	133.221	130.334
q_o [W/m ²]	69.863	72.925	68.088	69.896	70.098	70.960	70.305
T_{np} [°C]	34.0	34.0	34.0	34.0	34.0	34.0	34.0
T_{op} [°C]	34.0	34.0	34.0	34.0	34.0	34.0	34.0
$T_{n\infty}$ [°C]	19.9	19.9	20.2	20.2	19.9	20.0	20.0
$T_{o\infty}$ [°C]	19.9	19.9	20.2	20.2	19.9	19.9	20.0

Výpočet u_A

K výpočtu nejistot typu A potřebujeme znát pouze výběrovou směrodatnou odchylku, počet měření a bezpečnostní faktor. Výběrová směrodatná odchylka byla spočítána pomocí funkce SMODCH.VÝBĚR.S v softwaru Excel a její hodnota je $s = 0.0018$. Počet měření již byl zmíněn v textu několikrát, tedy $n = 6$ a bezpečnostní faktor $k_{UA} = 1.3$.

$$u_A = k_{UA} \frac{s}{\sqrt{n}} = 1.3 \frac{0.0018}{\sqrt{6}} = 0.0009 \quad (5.11)$$

Výpočet u_B

Pro výpočet nejistoty B si nejdříve spočteme nejistotu měření oblečené ruky tepelného manekýna, dosazením do vzorce 5.6. Pro tento výpočet dosadíme spočítané hodnoty z tabulky 5.11. Za nejistoty pro výpočet teplot dosazujeme hodnotu 0.05 a nejistotu tepelného toku spočteme jako $0.005 * 70.305$, což se rovná 0.352.

$$u_{Bo} = \sqrt{\left(-\frac{1}{70.305} \cdot 0.05\right)^2 + \left(\frac{1}{70.305} \cdot 0.05\right)^2 + \left(-\frac{34.0 - 20.0}{70.305^2} \cdot 0.352\right)^2} = 0.0014 \quad (5.12)$$

Stejným způsobem spočítáme i nejistotu měření neoblečené ruky manekýna dosazením do vzorce 5.7. Také do tohoto vzorce dosadíme potřebné hodnoty z tabulky 5.11, pro nejistoty teplot dosadíme hodnotu 0.05 a za nejistotu tepelného toku dosadíme $0.005 \cdot 130.334 = 0.652$.

$$u_{Bn} = \sqrt{\left(-\frac{1}{130.334}0.05\right)^2 + \left(\frac{1}{130.334}0.05\right)^2 + \left(\frac{34.0 - 20.0}{130.334^2}0.652\right)^2} = 0.0008 \quad (5.13)$$

Nyní z těchto dvou nejistot vypočítáme celkovou nejistotu typu B pomocí vzorce 5.8.

$$u_B = \sqrt{u_{Bo}^2 + u_{Bn}^2} = \sqrt{0.0014^2 + 0.0008^2} = 0.0016 \quad (5.14)$$

Výpočet u_C

Výsledná kombinovaná nejistota, jinak nazývána nejistota typu C je pro vzorek č.1 rovna:

$$u_C = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} = \sqrt{0.0009^2 + 0.0016^2} = 0.0019 \quad (5.15)$$

Na závěr výpočtu tuto kombinovanou nejistotu rozšíříme na 2σ interval

$$U_C = 2u_C = 2 \cdot 0.0019 = 0.0037. \quad (5.16)$$

Konečný výsledek pro vzorek č. 1 lze zapsat ve tvaru $0.0918 \pm 0.0037 \text{ m}^2\text{K/W}$. Podíl této nejistoty z celkové naměřené hodnoty jsou 4.05 %.

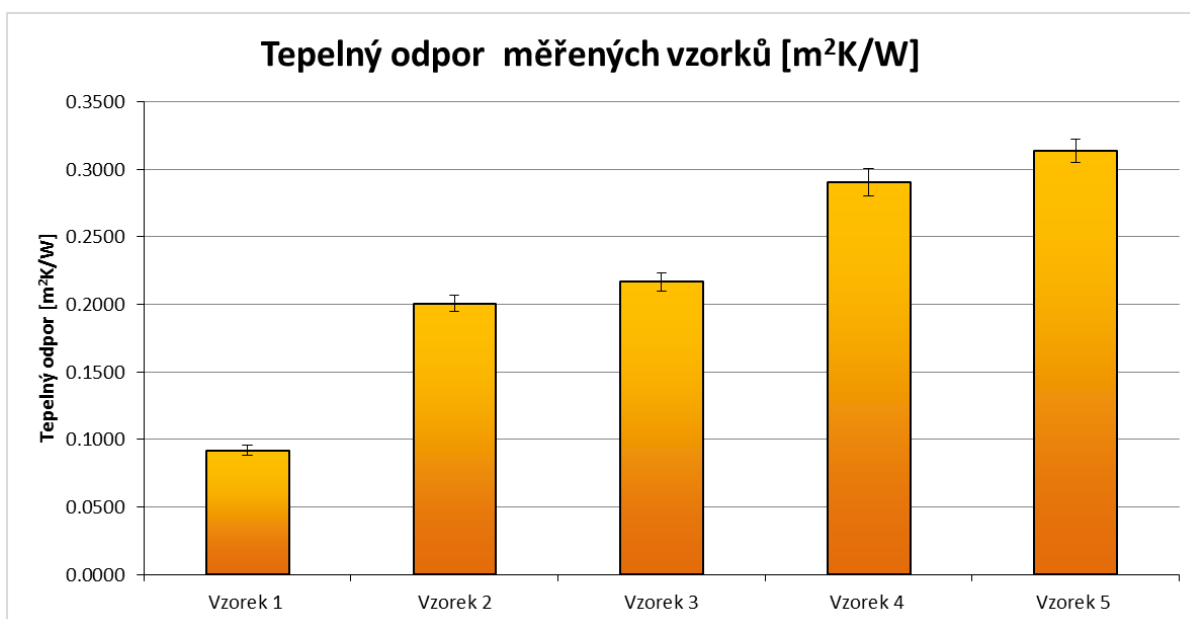
5.3 ZPRACOVÁNÍ DAT

5.3.3 Výsledné hodnoty

V této kapitole jsou uvedeny v tabulce i v grafu souhrnné výsledky z tohoto prvního měření včetně jejich nejistot.

Tabulka 5.12: Přehled naměřených výsledků

Název	Tepelný odpor [m ² K/W]	Nejistota [m ² K/W]	Nejistota v %
Vzorek č. 1	0.0918	± 0.0037	4.05
Vzorek č. 2	0.2010	± 0.0060	3.00
Vzorek č. 3	0.2169	± 0.0067	3.10
Vzorek č. 4	0.2904	± 0.0100	3.43
Vzorek č. 5	0.3137	± 0.0084	2.68



Obrázek 5.13: Graf tepelných odporů s nejistotami

6 Ověření naměřených hodnot jinými páry rukavic

Měřením tepelného odporu u 5 vzorků v předcházející kapitole byla ověřena funkčnost navržené metodiky a především také to, že s ní lze dosáhnout výsledků s nejistotami menšími než 10 %. Dalším bodem naší pracovní hypotézy bylo zjistit, jestli lze tato měření provádět opakovaně, tedy že lze zajistit opakovatelnost měření s dosažením stejné nejistoty. Jinými slovy když bude znovu provedeno měření tepelného odporu jednoho z dříve měřených vzorků rukavic, tak by měla naměřená hodnota ležet v intervalu nejistot z původního měření.

Pokud by nově naměřená hodnota v tomto intervalu neležela, znamenalo by to, že navržená metodika je pro takováto měření nevhodná, nelze s ní dosáhnout požadované míry nejistot a zajistit tak opakovatelnost měření.

6.1 Přehled měřených vzorků

Od spolupracující firmy Holík international jsme měli k dispozici nové vzorky rukavic, které byly v prvním měření označeny čísly 2 a 3. Pro větší přehlednost budou tyto dva původní vzorky v dalším textu označeny TEST I - vzorek č. 2 a TEST I - vzorek č. 3 a dva nové vzorky označeny TEST II - vzorek č. 1 a TEST II - vzorek č. 2. Tyto vzorky byly ve firmě ušity o zhruba půl roku později, než vzorky pro TEST I. V tomto měření byly měřeny pouze tyto dva vzorky.

TEST II - vzorek č. 1

Složení vzorku č. 1 při TESTu II odpovídalo původně měřenému vzorku TEST I - vzorek č. 2, jehož složení popisuje tabulka 5.2. Na následujících dvou obrázcích jsou fotografie tohoto vzorku jak ze strany hřbetu, tak ze strany dlaně.



Obrázek 6.1: TEST II. - Vzorek č. 1 pohled na hřbety rukavic

6.1 PŘEHLED MĚŘENÝCH VZORKŮ



Obrázek 6.2: TEST II. - Vzorek č. 1 pohled na dlaně rukavic

TEST II - vzorek č. 2

Taktéž složení vzorku č. 2 při TESTu II odpovídalo původně měřenému vzorku TEST I - vzorek č. 3, jeho složení je identické a je popsáno v tabulce 5.3. Na následujících obrázcích jsou také fotografie rukavic ze strany dlaní i hřbetu.



Obrázek 6.3: TEST II. - vzorek č. 2 pohled na hřbety rukavic



Obrázek 6.4: TEST II. - vzorek č. 2 pohled na dlaně rukavic

6.2 Průběh měření

Měření probíhalo podle metodiky navržené v kapitole 4.3 koncem roku 2015. Každý z těchto dvou párů vzorků byl za účelem tohoto měření proměřen pouze jednou.

Měření tedy bylo možné provést v jednom dni. Ráno od 6:00 - 10:00 byl měřen vzorek č. 1 a odpoledne od 14:00 do 18:00 byl měřen vzorek č. 2. Stejně jako u předchozího měření TEST I jsme měli k dispozici pár od každého vzorku a jedním měřením byly získány dvě výsledné hodnoty pro každý vzorek.

Jediný rozdíl mezi TESTem I a TESTem II byl ten, že toto měření probíhalo v zimním období na rozdíl od TESTu I, který probíhal v letním období. V navrhované metodice se v klimatické komoře neupravuje vlhkost vzduchu, a z toho plyne hlavní rozdíl, že měření probíhalo při podstatně nižší vlhkosti vzduchu.

6.3 Zpracování dat a naměřená data

Naměřená data byla zpracována stejně jako ta z TESTu I s těmi rozdíly, že nebyly počítány nejistoty měření, výsledný tepelný odpor rukavic byl průměrem pouze dvou naměřených hodnot a pro lepší porovnání naměřených hodnot byly spočítány i průměrné hodnoty tepelného odporu proti konvekci a celkového tepelného odporu. Výsledky z měření jsou uspořádány do tabulek, z nichž každá obsahuje hodnoty z měření jednoho vzorku.

Tabulka 6.1: Naměřená data pro TEST II - vzorek č. 1 variantu c)

TEST II - VZOREK Č. 1	pravá ruka	levá ruka	průměrné hodnoty
Teplota v klimatické komoře [°C]	21.2	21.2	-
Vlhkost v klimatické komoře [%]	25		-
Tepelný odpor konvekce [m ² K/W]	0.1118	0.1066	0.1092
Celkový tepelný odpor [m ² K/W]	0.3115	0.2989	0.3052
Tepelný odpor rukavic [m ² K/W]	0.1998	0.1923	0.1961

Tabulka 6.2: Naměřená data pro TEST II - vzorek č. 2

TEST II - VZOREK Č. 2	pravá ruka	levá ruka	průměrné hodnoty
Teplota v klimatické komoře [°C]	20.9	20.9	-
Vlhkost v klimatické komoře [%]	25		-
Tepelný odpor konvekce [m ² K/W]	0.1089	0.1055	0.1072
Celkový tepelný odpor [m ² K/W]	0.3273	0.3155	0.3214
Tepelný odpor rukavic [m ² K/W]	0.2184	0.2100	0.2142

6.4 Vyhodnocení opakovatelnosti

Pro lepší porovnání nově naměřených hodnot při TESTu II s referenčními hodnotami z měření TEST I byly u vzorků z měření TEST I spočteny navíc nejistoty měření jednotlivých celkových tepelných odporů i tepelného odporu proti konvekci. Výpočet těchto nejistot byl jednoduchý především díky tomu, že byl výpočet nejistot typu B tepelného odporu rukavic označovaný jako R_R rozdělen na výpočet pro oblečenou a neoblečenou ruku, nyní se tyto mezivýsledky mohly využít k tomuto výpočtu. Nejistoty typu A byly spočítány analogicky.

Pro vzorky č. 2 a 3 z TESTu I bylo nutné nejdříve vypočítat průměrné hodnoty z naměřených tepelných odporů proti konvekci a celkového tepelného odporu. Pro výpočet nejistot typu A pro tyto dvě hodnoty byl použit vztah 5.2 s tím rozdílem, že za hodnoty x_i byly dosazovány vypočtené tepelné odpory proti konvekci a celkové tepelné odpory a za hodnotu \bar{x} jejich průměrná hodnota. Pro výpočet nejistot typu B byl pro tepelný odpor proti konvekci použit vztah 5.7 a pro celkový tepelný odpor vztah 5.6. Jednotlivé kombinované nejistoty byly spočteny dle vztahu 5.9 a následně stejně jako u tepelných odporů rukavic byly rozšířeny na 2σ interval. Výsledky tohoto výpočtu včetně nejistot tepelného odporu rukavic jsou uvedeny v následujících tabulkách pro jednotlivé vzorky.

Tabulka 6.3: Přehled průměrných hodnot tepelných odporů pro TEST I - vzorek č. 2 s nejistotami

TEST I - Vzorek č. 2	Tepelný odpor [m^2K/W]	Nejistota [m^2K/W]	Nejistota v %
Odpor proti konvekci	0.1067	± 0.0024	2.23
Celkový tepelný odpor	0.3077	± 0.0066	2.15
Tepelný odpor rukavic	0.2010	± 0.0060	3.00

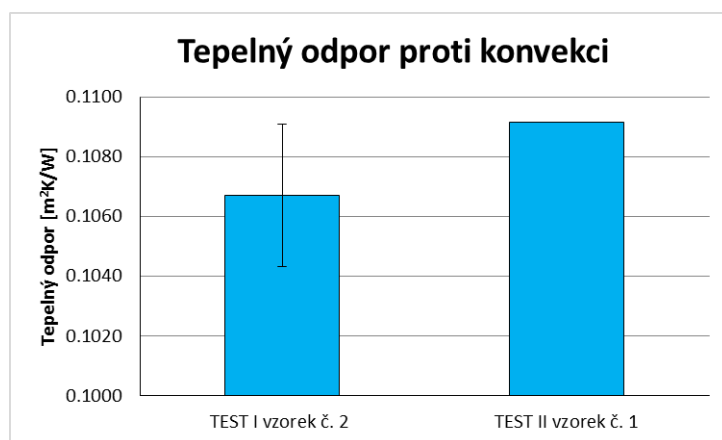
Tabulka 6.4: Přehled průměrných hodnot tepelných odporů pro TEST I - vzorek č. 3 s nejistotami

TEST I - Vzorek č. 3	Tepelný odpor [m^2K/W]	Nejistota [m^2K/W]	Nejistota v %
Odpor proti konvekci	0.1077	± 0.0024	2.19
Celkový tepelný odpor	0.3245	± 0.0072	2.21
Tepelný odpor rukavic	0.2169	± 0.0067	3.10

6.4.1 Vyhodnocení vzorku č. 1

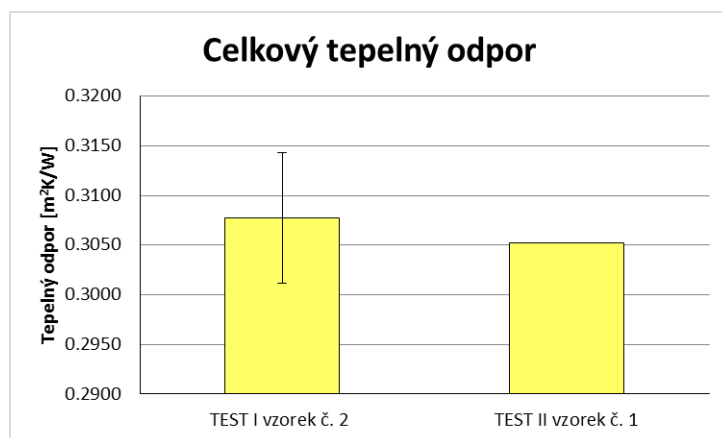
Porovnáním hodnot v tabulkách 6.1 a 6.3 lze říct, že hodnoty z nově ušitých a měřených vzorků č. 1 při TESTu II odpovídají hodnotám naměřeným pro vzorek č. 2 v TESTu I. Pro větší přehlednost byly hodnoty vyneseny do jednotlivých grafů pro tepelné odpory i s nejistotami z měření TEST I.

Na obrázku 6.5 vidíme, že střední hodnota tepelného odporu proti konvekci je těsně na horní hranici intervalu pro nejistoty z TESTu I. Z důvodu porovnání nemá osa s tepelnými odpory počátek v hodnotě $0 \text{ m}^2\text{K/W}$, ale až v hodnotě $0.1010 \text{ m}^2\text{K/W}$. Pokud by byl na ose celý rozsah tepelného odporu od nulové hodnoty tepelného odporu, tak by chybová úsečka v grafu byla tak malá, že by porovnání bylo víceméně nemožné.



Obrázek 6.5: Porovnání tepelných odporů při konvekci

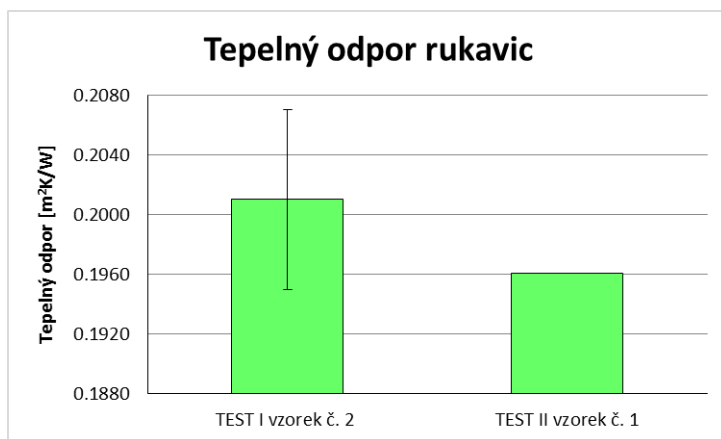
Při porovnání celkových tepelných odporů vzorku č. 1 z TESTu II a vzorku č. 2 z TESTu I je jisté, že tato hodnota leží v intervalu nejistot z TESTu I. Graf těchto dvou hodnot společně s chybovou úsečkou znázorňující nejistoty měření je na obrázku 6.6. Osa s tepelnými odpory má v tomto grafu rozsah od $0.290 \text{ m}^2\text{K/W}$ do $0.320 \text{ m}^2\text{K/W}$.



Obrázek 6.6: Porovnání celkových tepelných odporů

6.4 VYHODNOCENÍ OPAKOVATELNOSTI

Nejdůležitějším grafem této kapitoly je ten na obrázku 6.7 s výslednými tepelnými odpory rukavic. Porovnáním sloupců z TESTu I a TESTu II lze říct, že měření tepelného odporu rukavic pro vzorek č. 1 v TESTu II je opakovatelné s poměrně dobrou přesností. Počátek tohoto grafu opět není v hodnotě $0 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$, ale v hodnotě $0.1880 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$.



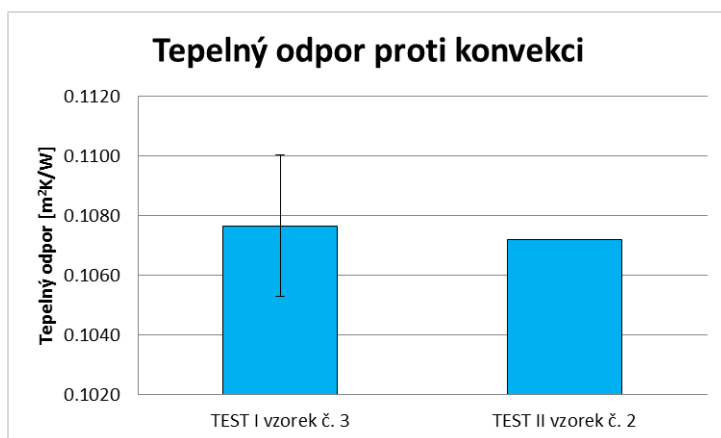
Obrázek 6.7: Porovnání výsledných tepelných odporů rukavic

Závěrem lze konstatovat fakt, že pro měřený vzorek č. 1 v TESTu II je zajištěna dobrá opakovatelnost i za poměrně velké změny vlhkosti v klimatické komoře. Dalším zajímavým faktem je to, že i když naměřená hodnota tepelného odporu proti konvekci leží téměř na horní hranici intervalu nejistot, tak výsledná hodnota tepelného odporu rukavic leží ve spodní části rozpětí nejistot měření z TESTu I.

6.4.2 Vyhodnocení vzorku č. 2

Stejně jako u vzorku č. 1 z TESTu II by bylo možné porovnat hodnoty pouze pomocí tabulek 6.2 a 6.4. Aby bylo porovnání jednodušší a nemusely se přepočítávat intervaly nejistot, byly naměřené hodnoty vzorku č. 2 při TESTu II také vyneseny do jednotlivých grafů k porovnání s výsledky z TESTu I.

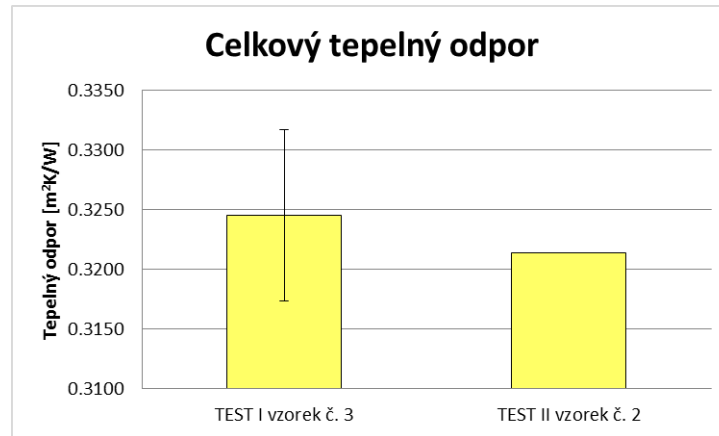
Z grafu na obrázku 6.8 je patrné, že tepelné odpory proti konvekci byly při TESTu II pro vzorek č. 2 téměř identické se vzorkem č. 3 z TESTu I. V tomto porovnání opět nezačíná osa hodnotou $0 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$, ale hodnotou $0.1020 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$.



Obrázek 6.8: Porovnání tepelných odporů proti konvekci

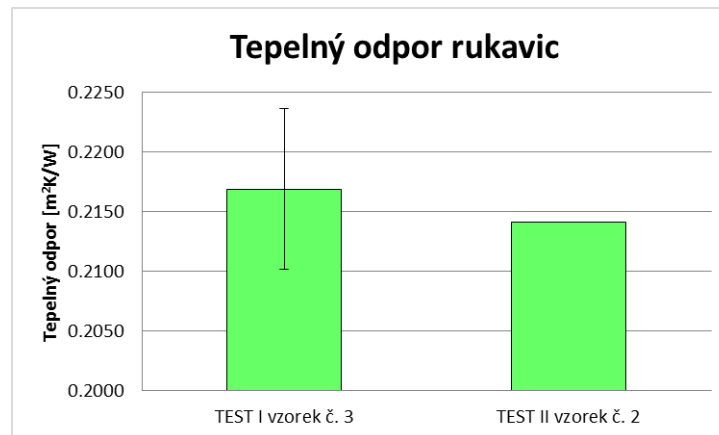
6 OVĚŘENÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT JINÝMI PÁRY RUKAVIC

Také celkové tepelné odpory vzorku č. 2 TESTu II leží blízko střední hodnotě naměřené při TESTu I. V grafu znázorňujícím celkové tepelné odpory na obrázku 6.9 začíná svislá osa hodnotou 0.31 m²K/W.



Obrázek 6.9: Porovnání celkových tepelných odporů

Předchozí hodnoty tepelných odporů pro TEST II vzorek č. 2 ležely v dostatečné vzdálenosti od krajních mezí nejistot měření. Z tohoto důvodu by neměl být problém ani s hodnotou tepelného odporu rukavic, která je jejich rozdílem. Graf na obrázku 6.10 tento předpoklad potvrzuje. Svislá osa tohoto grafu s hodnotami tepelného odporu rukavic má počátek v hodnotě 0.2 m²K/W.



Obrázek 6.10: Porovnání výsledných tepelných odporů rukavic

Výsledky této kapitoly jsou velmi důležité jednak pro ověření opakovatelnosti navržené metodiky měření tepelného odporu a jednak také pro spolupracující firmu Holík international. Toto ověřovací měření mohlo být měřeno se stejnými vzorky stejně jako první měření, k ověření metodiky by to bylo dostatečné. Tím, že jsme měli k dispozici další páry rukavic od stejných vzorků, které navíc byly ušité úplně v jiné výrobní šarži, bylo ověřeno také to, že kvalita provedení testovaných výrobků firmy Holík international je velmi vysoká a rozptyl tepelně technických parametrů mezi šaržemi je minimální.

7 Vliv konstrukce rukavice na její tepelný odpor

Po měření opakovatelnosti byly dále u vzorku č. 1 (původně vzorku č. 2 při TESTu I) zkoumány tepelné odpory při různém upevnění rukavice na manekýnovi. Toto měření bude nadále označováno jako TEST II, neboť využívá i hodnot naměřených při měření opakovatelnosti metodiky. Fotografie a složení rukavic jsou na obrázcích 6.1 a 6.2 a jejich složení je uvedeno v tabulce 5.2.

Nejdříve byly stanoveny tři možné typy upevnění rukavice na ruku manekýna

- a) Rukavice je na ruce volně nasazená,
- b) Rukavice je na ruce jemně dotažená,
- c) Rukavice je utažená těsně kolem ruky.

Všechny tyto tři případy byly při měření fotograficky zdokumentovány. Na obrázku 7.1 je fotografie pořízená při volném nasazení rukavice na ruku, na obrázku 7.2 je rukavice na ruce jemně dotažená a na posledním obrázku 7.3 je rukavice na ruce těsně utažená.



Obrázek 7.1: Volně nasazené rukavice TEST II - vzorek č. 1

Při TESTu I s identickým vzorkem č. 2 i při ověřování navržené metodiky vzorkem č. 1 v TESTu II byl tento typ rukavice měřen těsně utažený kolem ruky. Proto byl v tomto testu využit i výsledek z měření při ověřování metodiky a byly proměřeny pouze případy a) s volnou rukavicí a b) s rukavicí jemně dotaženou. Toto měření bylo také možné provést v jednom dni. V ranním čase měření od 6:00 do 10:00 byl proměřen případ s rukavicemi volně na ruku manekýna a v odpoledním čase měření od 14:00 do 18:00 byl měřen druhý případ s jejich jemným utažením.

Tím, že měření bylo provedeno následující den po měření na ověření metodiky a tedy v zimním období byla v klimatické komoře vlhkost také poměrně nízká.

7 VLIV KONSTRUKCE RUKAVICE NA JEJÍ TEPELNÝ ODPOR



Obrázek 7.2: Jemně utažené rukavice TEST II - vzorek č. 1



Obrázek 7.3: Rukavice TEST II - vzorek č. 1 utažené těsně kolem ruky

7.1 Výsledky a vyhodnocení měření

Výsledky měření jednotlivých konfigurací jsou uspořádány do tabulek pro jednotlivá měření daného upevnění. Naměřené hodnoty vzorku s těsně utaženou rukavicí kolem manekýnovy ruky jsou uvedeny v předchozí kapitole v tabulce 6.1.

Výsledky měření pro volnou rukavicí jsou v tabulce 7.1 společně s průměrnými hodnotami.

Tabulka 7.1: Naměřená data pro TEST II - vzorek č. 1 variantu a)

TEST II - VZOREK Č. 1 a)	pravá ruka	levá ruka	průměrné hodnoty
Teplota v klimatické komoře [°C]	21.4	21.5	-
Vlhkost v klimatické komoře [%]	24		-
Tepelný odpor konvekce [m ² K/W]	0.1036	0.1037	0.1037
Celkový tepelný odpor [m ² K/W]	0.3255	0.3170	0.3212
Tepelný odpor rukavic [m ² K/W]	0.2219	0.2133	0.2176

Zbývající naměřené hodnoty společně s průměrnými hodnotami pro jemně utažené rukavice kolem ruky jsou uspořádány v tabulce 7.2.

Tabulka 7.2: Naměřená data pro TEST II - vzorek č. 1 variantu b)

TEST II - VZOREK Č. 1 b)	pravá ruka	levá ruka	průměrné hodnoty
Teplota v klimatické komoře [°C]	20.6	20.6	-
Vlhkost v klimatické komoře [%]	24		-
Tepelný odpor konvekce [m ² K/W]	0.1069	0.1057	0.1063
Celkový tepelný odpor [m ² K/W]	0.3221	0.3174	0.3198
Tepelný odpor rukavic [m ² K/W]	0.2152	0.2117	0.2134

Z těchto tří naměřených variant byly spočítány průměrné hodnoty pro všech 6 naměřených hodnot pro tepelný odpor proti konvekci, celkový tepelný odpor a nejdůležitější tepelný odpor rukavic. Následně analogickým postupem výpočtu nejistot podrobně rozebraným v kapitole 5 byly vypočítány nejistoty tohoto měření a jeho výsledky jsou uvedeny v následující tabulce společně se středními hodnotami, ke kterým se vztahují.

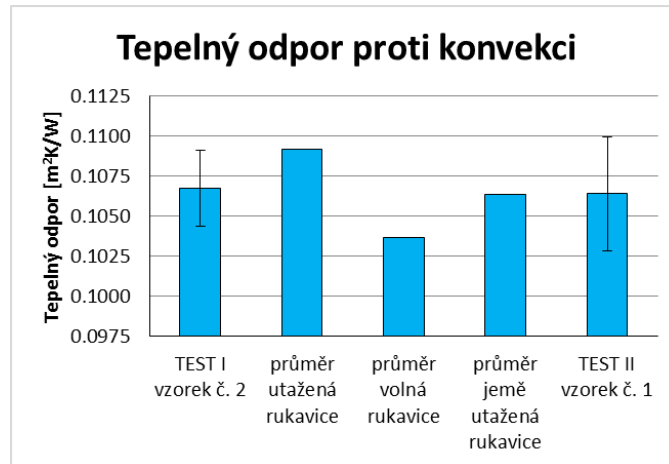
Tabulka 7.3: Přehled průměrných hodnot tepelných odporů pro vzorek č. 1 v různé konfiguraci společně s jejich nejistotami

Vzorek č. 1	Tepelný odpor [m ² K/W]	Nejistota [m ² K/W]	Nejistota v %
Odpor proti konvekci	0.1064	± 0.0035	3.33
Celkový tepelný odpor	0.3154	± 0.0110	3.49
Tepelný odpor rukavic	0.2090	± 0.0126	6.01

Pro větší přehlednost byly tyto hodnoty vyneseny do grafů, v nichž jsou uvedeny pouze se střední hodnoty z každého měření.

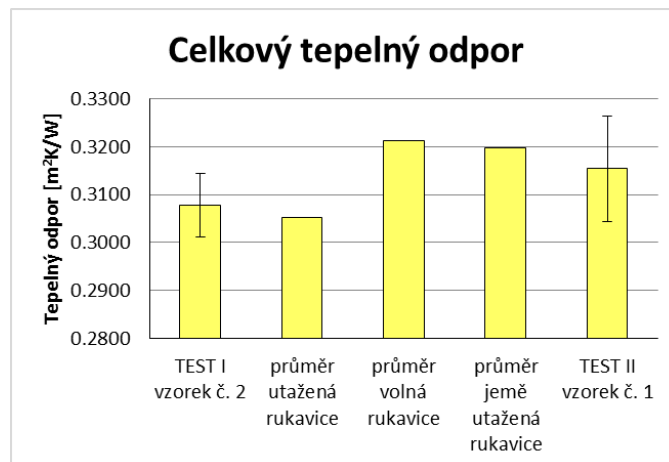
7 VLIV KONSTRUKCE RUKAVICE NA JEJÍ TEPELNÝ ODPOR

Na obrázku 7.4 jsou znázorněny průměrné hodnoty tepelného odporu proti konvekci v jednom grafu. První sloupec odpovídá hodnotě naměřené pro vzorek č. 2 z TESTu I společně s jeho nejistotou. Poslední sloupec je průměrem z 6 naměřených hodnot pro jednotlivá upevnění dané rukavice v TESTu II a sloupce mezi nimi znázorňují průměrné naměřené hodnoty při jednotlivých měřeních. Větší nejistota na posledním sloupci je způsobena především díky naměření odlehlejších hodnot při utažení i volné rukavici. Průměrná hodnota posledního sloupce ale stále spadá do intervalu nejistot naměřených při TESTu I.



Obrázek 7.4: Porovnání průměrných hodnot tepelných odporů proti konvekci z TESTu I a TESTu II

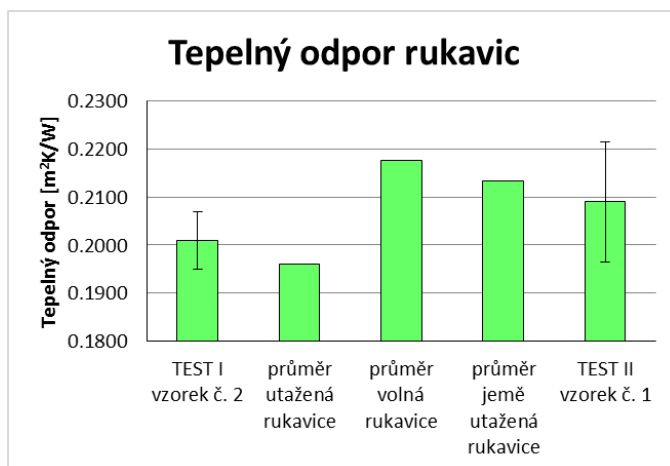
V grafu s průměrnými hodnotami celkového tepelného odporu na obrázku 7.5 je porovnání hodnot naměřených při TESTU II společně s průměrnou hodnotou z TESTU I, jakožto referenční hodnotou. U nejistot lze vidět jejich zvětšení o více jak jedno procento naměřené hodnoty při různých konfiguracích jednoho typu rukavice oproti striktnímu dodržování jednoho způsobu upevnění.



Obrázek 7.5: Porovnání průměrných hodnot celkových tepelných odporů z TESTu I a TESTu II

7.1 VÝSLEDKY A VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ

Graf s průměrnými tepelnými odpory na obrázku 7.6 potvrzuje předchozí tvrzení. Hodnoty naměřených tepelných odporů jsou poměrně hodně rozdílné a nejistota měření činí přes 6 % z průměrné hodnoty, což je dvojnásobná velikost nejistoty oproti původnímu měření se stejným nastavením rukavice.



Obrázek 7.6: Porovnání průměrných hodnot tepelných odporů rukavic z TESTu I a TESTu II

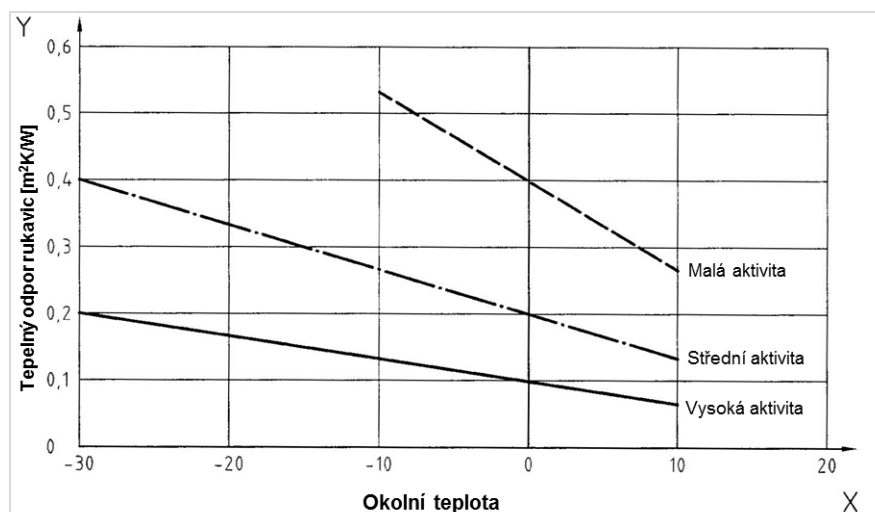
Z tohoto měření plyne velmi důležitý závěr, že u rukavic, které mají pohyblivé části není jedno, jakým způsobem se upevní na manekýna, protože tím se neúměrně zvětšuje nejistota měření (téměř dvojnásobně oproti původní hodnotě) i průměrná hodnota tepelného odporu a měření celkově je pak irelevantní.

U těchto typů rukavic je tedy nutné při opakovaných měřeních dodržet stále stejnou konfiguraci při všech měřeních.

8 Teoretický výpočet vhodnosti rukavic

Neméně důležitou a zajímavou věcí je to, co jsme schopni s rukavicemi s určitou hodnotou tepelného odporu za daných podmínek provozovat za činnosti. V normě ČSN EN 511 [23] je v příloze B uveden graf, jehož zdrojem je již v textu uvedená práce R. F. Goldmana, pomocí kterého lze určit, na jaké činnosti jsou vhodné rukavice s určitým tepelným odporem a také především to, jaká je při dané činnosti optimální teplota pro použití těchto rukavic. Zde je důležité předem upozornit, že celá tato kapitola obsahuje pouze teoreticky dosažené hodnoty, které zatím nebyly ověřeny v praxi, a také měření dle navržené metodiky bylo mírně odlišné od postupu měření uvedeného v dané normě, takže nelze posoudit, jestli jsou tyto výsledky relevantní či nikoliv jinak než otestováním daných vzorků rukavic pomocí dobrovolníků nebo porovnáním s měřením přesně dle normy.

Graf z normy je uveden na obrázku 8.1 a pro potřeby práce byl upraven přidáním popisů os a přímkou určujících jednotlivé aktivity. Jak je z grafu patrné, jsou v něm znázorněny tři typy aktivit, které jsou podrobněji rozebrány pod obrázkem.



Obrázek 8.1: Graf pro určení teplot a typů aktivit pro jednotlivé vzorky rukavic

Činnosti označené jako malá aktivita lze popsat především prací v sedě např. přebírání věcí u stolu, řízení otevřených dopravních prostředků nebo sezení na posedu.

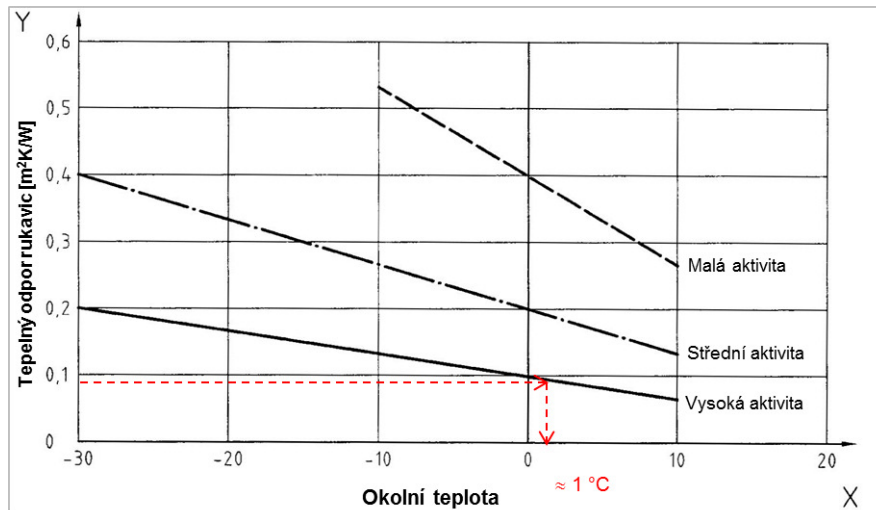
Jako střední aktivity by bylo možné označit např. práci ve stoje spojenou s občasou chůzí či ohýbáním se nebo velmi pomalou plynulou chůzí odpovídající rychlosti cca 3.5 km/h.

Za vysokou aktivitu je možné považovat například přenášení těžkých břemen či velmi rychlou ostrou chůzi o rychlosti zhruba 6.5 km/h a více.

Graf na obrázku 8.1 platí pro rychlosti proudění okolního vzduchu do 0.5 m/s, což odpovídá relativně klidnému prostředí bez větrných poryvů a také především pro ustálený stav člověka při dané činnosti. Ustálený stav znamená, že člověk pobývá v daném prostředí po dobu několika hodin a vykonává stále stejnou fyzickou aktivitu odpovídající výše uvedeným. Výsledné hodnoty uvedené v grafu určují za těchto podmínek komfortní stav rukou tzn. že více, než 85 % lidí by při daných podmínkách hodnotilo tepelný pocit na

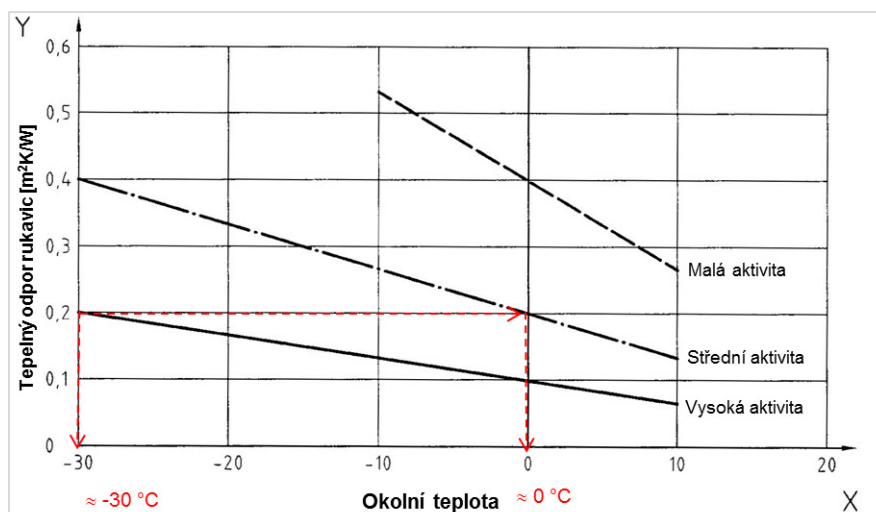
rukou jako komfortní. Na krátkodobé činnosti odpovídající jiné kategorii aktivit jako je například příchod na místo výkonu, nebo přestávka na jídlo nelze brát zřetel.

V grafu uvedeném na obrázku 8.2 je zakreslena přímkou s hodnotou tepelného odporu 0.09 m²K/W, což odpovídá naměřené hodnotě pro vzorek č. 1. Z grafu je patrné, že rukavici by mělo být možné použít pro vysoké aktivity jako např. nošení břemen v lese při teplotě okolního vzduchu kolem 1 °C. Na střední a malé (lehké) aktivity má vzorek č. 1 příliš nízký tepelný odpor a uživatel by při jejich oblečení na tyto aktivity pociťoval na ruce chlad.



Obrázek 8.2: Graf pro určení použitelnosti vzorku č. 1

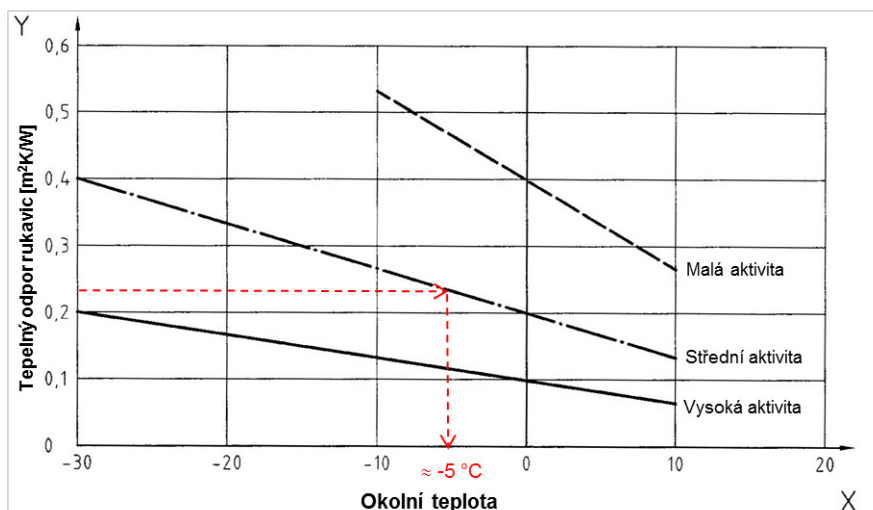
Vzorek č. 2 s tepelným odporem 0.20 m²K/W, jehož hodnota byla zakreslena do grafu na obrázku 8.3 by mělo být možné použít při vysoké aktivitě v prostředí s okolní teplotou až kolem -30 °C a při střední aktivitě v prostředí s teplotou kolem 0 °C. Pro malé aktivity je vzorek též málo izolující.



Obrázek 8.3: Graf pro určení použitelnosti vzorku č. 2

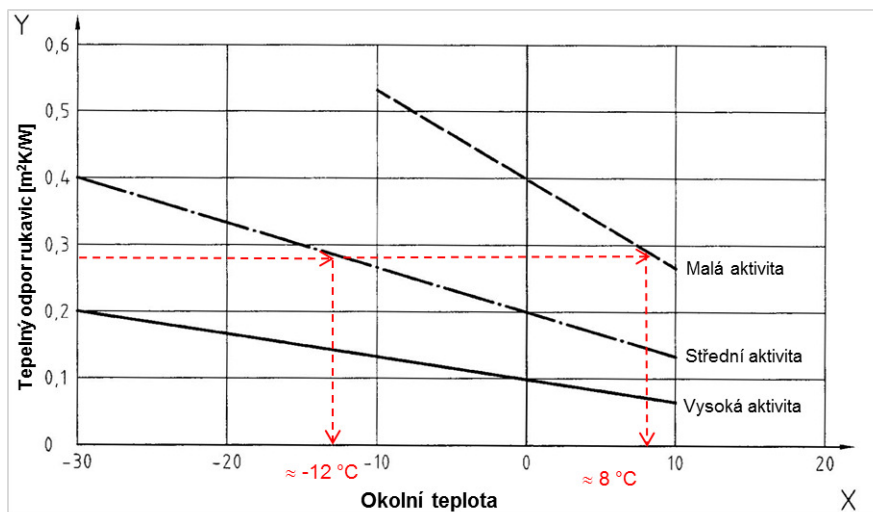
8 TEORETICKÝ VÝPOČET VHODNOSTI RUKAVIC

Hodnota tepelného odporu $0.22 \text{ m}^2\text{K/W}$ odpovídající vzorku č. 3 je vynesena do grafu na obrázku 8.4. Tento vzorek je již pro použití při vysokých aktivitách příliš izolující a měl by být použitelný především pro střední aktivity při teplotě vzduchu kolem $-5 \text{ }^\circ\text{C}$. I tento vzorek by neměl být vhodný na malé aktivity díky nedostatečné izolaci.



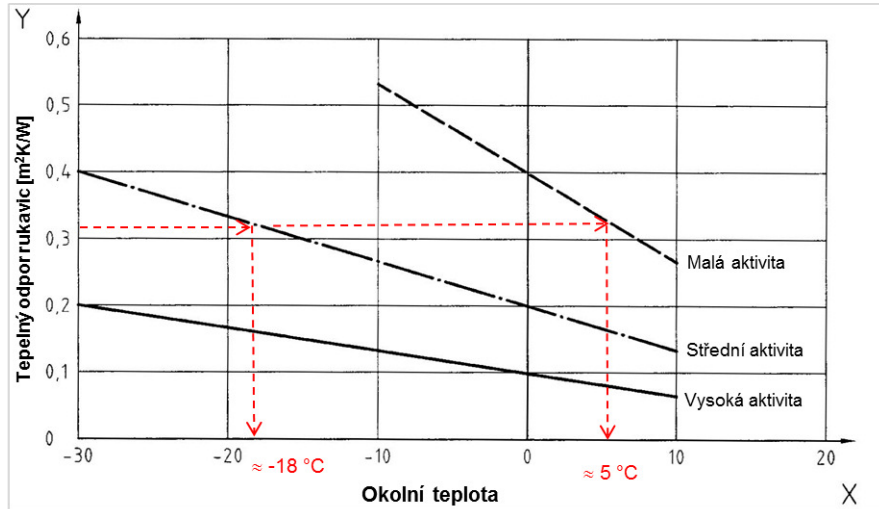
Obrázek 8.4: Graf pro určení použitelnosti vzorku č. 3

Tepelný odpor o hodnotě $0.29 \text{ m}^2\text{K/W}$, který byl naměřen u vzorku č. 4, znázorňuje červená příčka na obrázku 8.5. Vzorek č. 4 je použitelný při středních aktivitách při teplotách kolem $-12 \text{ }^\circ\text{C}$ a svému účelu by měl dobře posloužit i při malých aktivitách při teplotách kolem $8 \text{ }^\circ\text{C}$. Stejně jako vzorek č. 3 je na vysoké aktivity nevhodný neboť hodnota jeho tepelného odporu příliš vysoká.



Obrázek 8.5: Graf pro určení použitelnosti vzorku č. 4

Nejvíce izolující vzorek č. 5 s tepelným odporem $0.31 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$ by měl být vhodný pro střední aktivity kolem $-18 \text{ }^\circ\text{C}$ a také pro malé aktivity při teplotách kolem $5 \text{ }^\circ\text{C}$. Hodnota jeho tepelného odporu je zakreslena v grafu na obrázku 8.6. Společně se vzorkem č. 3 a 4 by neměl být používán na vysoké aktivity díky své vysoké izolační schopnosti.



Obrázek 8.6: Graf pro určení použitelnosti vzorku č. 5

Je zřejmé, že celé toto hodnocení pocitu tepelného komfortu zejména ve venkovním prostředí je velmi individuální a závisí na tělesné konstrukci člověka a především také na tom, jak je člověk oblečený na ostatních částech těla, což má za následek použití různých termoregulačních zásahů - více viz kapitola 3. Dále interpretace jednotlivých aktivit je také poměrně subjektivní záležitostí a nabízí se zde i možnost doplnění grafu o přímky, jež by charakterizovaly další možné aktivity např. středně vysoká aktivita a jiné.

9 Shrnutí výsledků

V práci byla provedena dvě měření, která byla pro odlišení již v 6. kapitole pojmenována jako TEST I a TEST II.

Měření s názvem TEST I bylo určeno primárně k ověření navrhované metodiky s tím, že pokud by se v průběhu měření či ve vyhodnocování dat objevily nějaké nesrovnalosti, byla by metodika ještě dále upravena tak, aby k takovým situacím nedocházelo. Při měření se však žádné takové problémy neobjevily a tudíž nebylo nutné metodiku upravovat. Při tomto měření bylo měřeno 5 párů vzorků ve třech měřeních. Celkem tedy bylo naměřeno 6 hodnot tepelného odporu pro jeden vzorek, z nichž byla použita jejich průměrná hodnota jako výsledná. K této hodnotě byla následně vztažena i vypočtená nejistota měření.

Naměřené výsledky uvedené v tabulce 5.12 odpovídají předpokládanému uspořádání vzorků od nejméně po nejvíce izolující. Pokud by rukavice prošly dalšími normovanými zkouškami při oděru a při odolnosti proti trhání bylo by možné vzorky č. 2 a 3 zařadit do 2 třídy provedení, vzorek č. 4 do 3 třídy provedení a vzorek č. 5 do 4 třídy provedení ochrany proti konvekčnímu chladu. Pokud by tyto zkoušky nesplnily, bylo by možné u nich uvádět pouze třídu provedení 1. Vzorek č. 1 nesplňuje podmínky žádné z uvedených tříd ochrany proti konvekčnímu chladu. Zde je nutno zdůraznit, že měření neprobíhalo přesně dle normy ČSN EN 511, ale metodika byla mírně modifikována. Zde by bylo také zajímavé porovnání výsledků dosažených pomocí navržené metodiky s postupem měření uvedeným v normě.

Dalším cílem u navržené metodiky bylo měřením dosáhnout nejistoty maximálně 10 % z výsledné naměřené hodnoty. I toto bylo splněno. Nejvyšší nejistota v procentech je u vzorku č. 1 a má hodnotu 4.05 % a naopak nejnižší nejistota o hodnotě 2.68 % byla vypočtena pro vzorek č. 5. Nejvyšší absolutní hodnota nejistoty je u vzorku č. 4 s hodnotou $\pm 0.01 \text{ m}^2\text{K/W}$. I když je tato hodnota vyšší než u ostatních vzorků, tak procentuálně nedosahuje na nejvyšší hodnotu. Ta je u prvního vzorku způsobena především tím, že naměřená hodnota tepelného odporu rukavic je podstatně nižší než u ostatních vzorků, tudíž u ní i nejmenší nejistota způsobila to, že je u procentuálně nejvyšší.

Následující druhé měření nazvané TEST II sloužilo k ověření opakovatelnosti výše vzpomínané metodiky. K dispozici pro toto měření byly dva nové vzorky odpovídající vzorkům č. 2 a 3 z TESTU I. Při tomto testu bylo provedeno pouze jedno měření pro každý pár od jednoho vzorku, což znamená, že byly naměřeny dvě hodnoty tepelného odporu rukavic a výsledná hodnota, která se porovnávala, byla jejich opět jejich průměrem. Měření provedeným podle stejné metodiky bylo ověřeno, že hodnoty naměřené v tomto testu spadají do intervalů průměrných hodnot s nejistotami naměřenými v TESTU I a metodika je tedy bez nějakých závažnějších problémů opakovatelná.

Další součástí TESTU II bylo detailnější proměření vzorku č. 1 ve třech způsobech upevnění rukavice na ruku manekýna pomocí pásku, který je součástí konstrukce rukavice. V tomto měření bylo zjištěno, že utažení tohoto pásku má poměrně velký vliv na výslednou hodnotu tepelného odporu rukavic a je tedy nutné tomuto jevu u měření těchto rukavic věnovat náležitou pozornost a pro dobrou opakovatelnost měření jej utahovat vždy stejně. Průměrná hodnota z těchto tří měření byla vyšší než při měření v TESTU I se stále stejnou konfigurací. Hlavní rozdíl ale činí nejistota měření při těchto třech konfiguracích, která přesáhla 6 %, což už je dvojnásobně vyšší hodnota než při měření se stejnou konfigurací v TESTU I. Z tohoto důvodu se velmi nedoporučuje měnit nastavení rukavice v jednotlivých měřeních.

10 Závěr

Cílem diplomové práce bylo navržení vhodné metodiky pro měření tepelných vlastností rukavic pomocí tepelného manekýna a její následné ověření na vybraných vzorcích rukavic. Dalším cílem práce bylo provedení rozboru nejistot a opakovatelnosti tohoto měření.

V první části práce byla provedena poměrně rozsáhlá rešerše zdrojů zahrnující tepelný komfort a základní termoregulační mechanismy lidského těla, základy přenosu tepla, které byly využity při výpočtu tepelného odporu rukavic z naměřených hodnot, základy oděvního komfortu a také stručnou rešerši materiálů používaných v současné době při šití rukavic.

Nejdůležitější částí rešerše bylo samotné nastudování normy ČSN EN 511, na základě které byla pak vytvořena metodika pro měření rukavic, která zahrnovala i požadavky firmy Holík international, díky které mohla být realizována následující část práce zabývající se samotným měřením.

Podle navržené metodiky pak bylo provedeno měření na pěti různých vzorcích rukavic a k naměřeným výsledkům byly spočítány nejistoty měření, jejichž maximální hodnota byla 4.05 % z naměřené hodnoty, čímž byl splněn jeden z předpokladů pracovní hypotézy, kde bylo stanoveno 10 % z naměřené hodnoty jako maximální přípustná nejistota měření. V kapitole zabývající se nejistotami je také uveden názorný příklad jejich výpočtu na jednom konkrétním vzorku. Bohužel vytížení měřicího zařízení nám umožnilo pouze počet opakování měření menší než 10, což obecně není moc doporučováno především kvůli výpočtu nejistot měření.

Dalším důležitým bodem práce bylo ověření opakovatelnosti měření podle stanovené metodiky, které bylo provedeno na dvou nově ušitých vzorcích identických s těmi z prvního testu. Tímto druhým testem bylo zjištěno, že navržená metodika je poměrně dobře opakovatelná a také to, že výrobky firmy Holík international jsou velmi kvalitní a se stejnými tepelně technickými vlastnostmi v různých výrobních šaržích.

Předposlední kapitola se zabývá možností různého upevnění rukavic na ruce manekýna a bylo v ní ověřeno, že u rukavic, které tuto možnost nabízejí, neboli mají pohyblivou upevňovací přezku, výsledek měření velmi záleží na tom, jak moc je či není pásek na ruce utažen. Pokud by při měření nebylo dodrženo stále stejné upevnění, projevilo by se to na vzrůstu střední hodnoty tepelného odporu a také na zhruba dvojnásobném nárůstu nejistot měření. Je tedy zřejmé, že tento jev není při měření žádoucí.

V poslední kapitole je teoreticky na základě grafu uvedeném v normě ČSN EN 511 určena teplota venkovního prostředí pro použití měřených vzorků rukavic při předem jasně stanovených činnostech.

Na konci práce je obsaženo také stručné shrnutí výsledků, jichž bylo dosaženo při jejím vypracování.

Závěrem lze říci, že tato tematika nabízí mnoho dalších možností ke zkoumání a jejich praktickému ověřování měření. Na tuto práci lze volně navázat například vícečetným opakováním měření dle metodiky uvedené v této práci, porovnáním měření v této práci s tím, které je provedeno striktně podle normy ČSN EN 511, ověřováním vhodnosti vybraných rukavic v reálném prostředí s dobrovolníky či zkoumáním vlivu ostatního oblečení jako jsou bundy a kabáty na tepelný odpor rukavic.

11 Literatura

- [1] The History of Gloves. In: *Go planet gloves* [online]. 2011 [cit. 2016-03-12]. Dostupné z: <http://www.goleathergloves.com/history-of-gloves.htm>
- [2] Glove. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-. [cit. 2016-01-21] Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Glove>
- [3] Český institut pro akreditaci, o.p.s. [online]. [cit. 2016-02-11]. Dostupné z: <http://www.cia.cz>
- [4] JANOTKOVÁ, Eva. *Technika prostředí: 1. část* [online]. 2014 [cit. 2016-02-19]. Dostupné z: <http://studyenergyweb.fme.vutbr.cz/file/538>
- [5] ANSI/ASHRAE STANDARD 55-2013. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta: ASHRAE, 2013.
- [6] HÅKAN O. NILSSON. *Comfort climate evaluation with thermal manikin methods and computer simulation models*. Stockholm: 2004. ISBN 91-704-5703-4. PhD thesis. University od Gävle.
- [7] GOLDMAN, Ralph F. Heat stress in industrial protective encapsulating garments. *Protecting personnel at hazardous waste sites*. 3rd ed. Boston: Butterworth-Heinemann, c2000, 295 - 355. ISBN 0750670495.
- [8] HES, Luboš a Petr SLUKA. *Úvod do komfortu textilií*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2005. ISBN 80-7083-926-0.
- [9] BERNACIKOVÁ, Martina. Fyziologie a patofyziologie člověka v extrémních podmínkách. In: *Slide Player* [online]. 2010 [cit. 2016-03-20]. Dostupné z: <http://slideplayer.cz/slide/5652843/>
- [10] Chapter 42 - Heat and Cold. *Workplace Health and Safety Information: Encyclopaedia of Occupational Health and Safety* [online]. [cit. 2016-03-20]. Dostupné z: <http://www.ilocis.org/documents/chpt42e.htm>
- [11] FOJTLÍN, Miloš. *Stanovení součinitelů přenosu tepla radiací a konvekcí z povrchu tepelného manekýna*. Brno, 2014. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Bc. Ing. Jan Fišer, Ph.D.
- [12] POKORNÝ, Jan. *Svázání fyziologického modelu s modelem tepelného komfortu*. Brno, 2012. Doktorská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Prof. Ing. Miroslav Jícha, CSc.
- [13] OUR PRODUCTS: Human Thermal Module. *ThermoAnalytics* [online]. [cit. 2016-03-20]. Dostupné z: <http://www.thermoanalytics.com/products/human-thermal>
- [14] JÍCHA, Miroslav. *Přenos tepla a látky*. Vyd. 2. Brno: CERM, 2001. Učební texty vysokých škol (Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství). ISBN 8021420294.

LITERATURA

- [15] FRISCH, Jérôme, Ralf-Peter MUNDANI, Ernst RANK a Christoph VAN TREECK. Engineering-Based Thermal CFD Simulations on Massive Parallel Systems. In: *Computation*. 2015, **3**(2), s. 235-261. DOI: 10.3390/computation3020235. ISSN 2079-3197. Dostupné také z: <http://www.mdpi.com/2079-3197/3/2/235/>
- [16] FOJTLÍN, Miloš, Jan FIŠER a Miroslav JÍCHA. Determination of convective and radiative heat transfer coefficients using 34-zones thermal manikin: Uncertainty and reproducibility evaluation. *Experimental Thermal and Fluid Science*. 2016, **77**, 257-264. DOI: 10.1016/j.expthermflusci.2016.04.015. ISSN 08941777. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0894177716300917>
- [17] GOLDMAN, Ralph F., JINTU FAN (ed.). *Thermal manikins and modelling: Thermal Manikins, Their Origins and Role*. Hong Kong: The Hong Kong Polytechnic University, 2006. ISBN 962-367-534-8.
- [18] RŮŽIČKOVÁ, Dagmar. *Oděvní materiály*. Liberec: Technická univerzita, 2003. ISBN 80-708-3682-2.
- [19] HAVELKA, Antonín a Zdenek KŮS, JINTU FAN. (ed.). *Thermal manikins and modelling: The Physiological Properties of Smart Textiles and Moisture Transport through Clothing Fabrics*. Hong Kong: The Hong Kong Polytechnic University, 2006. ISBN 96-236-7534-8.
- [20] *TZB-info: stavebnictví, úspory energií, technická zařízení budov* [online]. [cit. 2016-04-18]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz>
- [21] *Holík Hunting: Hand made quality gloves*. Zlín, 2013.
- [22] SHISHOO, Roshan. Recent developments in materials for use in protective clothing. *International Journal of Clothing Science and Technology*. 2002, **14**(3/4), 201-215. DOI: 10.1108/09556220210437167. ISSN 0955-6222. Dostupné také z: <http://www.emeraldinsight.com/doi/abs/10.1108/09556220210437167>
- [23] ČSN EN 511. *Ochranné rukavice proti chladu*. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [24] FIŠER, Jan a Jan POKORNÝ. Laboratoř tepelného komfortu. In: *Energetické fórum* [online]. [cit. 2016-02-27]. Dostupné z: <http://www.energetickeforum.cz/fsi-vut-v-brne/laboratore/laborator-tepelneho-komfortu>
- [25] ŠTĚTINA, Josef. Klimatická komora. In: *Energetické fórum* [online]. [cit. 2016-02-27]. Dostupné z: <http://www.energetickeforum.cz/fsi-vut-v-brne/laboratore/klimaticka-komora>
- [26] Manuály klimatická komora.
- [27] *Manuál tepelný manekýn Newton*. Measurements Technology Northwest, 2010.
- [28] FIŠER, Jan. Tepelný manekýn Newton. In: *Energetické fórum* [online]. [cit. 2016-02-29]. Dostupné z: <http://www.energetickeforum.cz/fsi-vut-v-brne/pristrojove-vybaveni/tepelny-mankyn-newton>

- [29] Osobní konzultace s Ing. Petrem Nasadilem, kontaktní adresa: Textilní zkušební ústav, s.p. Václavská 6 Brno e-mail: nasadil@tzu.cz
- [30] *3- kanálový teploměr: Testo 735*. Praha: Testo.
- [31] *Testo* [online]. [cit. 2016-04-23]. Dostupné z: <https://www.testo.cz/>
- [32] VDOLEČEK, František. Nejistoty v měření I.: vyjadřování nejistot. *AUTOMA: odborný časopis pro automatizační techniku* [online]. **2001**(7-8), 50 - 54 [cit. 2016-05-07]. Dostupné také z: <http://www.automa.cz>
- [33] NĚMEČEK, Pavel. *Nejistoty měření*. Praha: Česká společnost pro jakost, 2008. Kvalita, quality, Qualität. ISBN 9788002020899.
- [34] VDOLEČEK, František. Nejistoty v měření III.: nejistoty nepřímých měření. *AUTOMA: odborný časopis pro automatizační techniku* [online]. **2001**(12), 28 - 33 [cit. 2016-05-07]. Dostupné také z: <http://www.automa.cz>
- [35] VDOLEČEK, František. Nejistoty v měření II.: nejistoty přímých měření. *AUTOMA: odborný časopis pro automatizační techniku* [online]. **2001**(10), 52 - 56 [cit. 2016-05-07]. Dostupné také z: <http://www.automa.cz>

12 Seznam použitých zkratk a symbolů

Seznam použitých zkratk

CFD	Computer Fluid Dynamics
ppm	particles per milion
PES	polyester
PTFE	polytetrafluorethen
VUT	Vysoké Učení Technické
FSI	Fakulta strojního inženýrství
RH	relative humidity - relativní vlhkost
PC	personal computer - stolní počítač
PU	polyuretan

Seznam použitých symbolů

\dot{q}	měrný tepelný tok
T	teplota
λ	součinitel tepelné vodivosti
L	tloušťka stěny při vedení tepla
ΔT	teplotní diference
R_λ	měrný tepelný odpor proti vedení tepla
T_∞	teplota vzduchu v dostatečné vzdálenosti od sledovaného předmětu
α	součinitel přestupu tepla
T_w	teplota stěny
R_α	měrný tepelný odpor proti konvekci
R_R	měrný tepelný odpor rukavic
R_C	celkový naměřený tepelný odpor
T_p	teplota pokožky
\dot{q}_n	měrný tepelný tok pro neoblečenou ruku
\dot{q}_o	měrný tepelný tok pro oblečenou ruku

12 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

T_{op}	teplota povrchu oblečené ruky
$T_{o\infty}$	teplota vzduchu při měření oblečené ruky
T_{np}	teplota povrchu neoblečené ruky
$T_{n\infty}$	teplota vzduchu při měření neoblečené ruky
I_{TR}	odolnost proti suché tepelné ztrátě ruky (ČSN EN 511)
T_{HAND}	střední teplota povrchu ruky
T_A	střední teplota vzduchu v klimatizační komoře
Q_{HAND}	množství dodané energie během měření
u_A	nejistoty typu A
s	výběrová směrodatná odchylka
n	počet opakování měření
x_i	hodnota i-té naměřené veličiny
\bar{x}	aritmetický průměr z počtu i naměřených veličin y
k_{UA}	bezpečnostní korekční faktor
u_B	nejistoty typu B
$f(x_1 \dots x_n)$	funkce veličin x_1 až x_n
$\frac{\partial f(x_1 \dots x_n)}{\partial x_i}$	parciální derivace funkce f podle veličiny x_i
u_{x_i}	nejistota měření pro veličinu x_i
$u_{T_{op}}$	nejistota měření teploty povrchu ruky při měření oblečené ruky
$u_{T_{o\infty}}$	nejistota měření teploty okolí při měření oblečené ruky
$u_{\dot{q}_o}$	nejistota měření tepelného toku při měření oblečené ruky
$u_{T_{np}}$	nejistota měření teploty povrchu ruky při měření neoblečené ruky
$u_{T_{n\infty}}$	nejistota měření teploty okolí při měření neoblečené ruky
$u_{\dot{q}_n}$	nejistota měření tepelného toku při měření neoblečené ruky
u_{Bo}	nejistoty typu B pro měření oblečené ruky
u_{Bn}	nejistoty typu B pro měření neoblečené ruky
u_C	nejistota typu C (kombinovaná)
U_C	rozšířená nejistota typu C
k_R	koefficient rozšíření pro určité rozdělení