



Hodnocení fyziologických vlastností první vrstvy oděvu

Disertační práce

Studijní program: P3106 – Textilní inženýrství
Studijní obor: 3106V008 – Textilní technika
Autor práce: **Ing. Ladislav Nagy**
Vedoucí práce: doc. Ing. Antonín Havelka, CSc.





Evaluation of the physiological properties of the first layer of a garment

Dissertation

Study programme: P3106 – Textile Engineering

Study branch: 3106V008 – Textile technics

Author: **Ing. Ladislav Nagy**

Supervisor: doc. Ing. Antonín Havelka, CSc.



Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou disertační práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé disertační práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li disertační práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Disertační práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé disertační práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum:

Podpis:

Poděkování

Na tomto místě bych chtěl poděkovat všem, kteří mi byli oporou a inspirací pro dokončení této práce. Děkuji především svému současnému školiteli doc. Ing. Antonínu Havelkovi, CSc. a také bývalému školiteli prof. Dr. Ing. Zdeňkovi Kúsovi za vytvoření podmínek k úspěšnému dokončení práce. Dále bych chtěl za podporu poděkovat i všem svým spolupracovníkům na katedře oděvnictví.

Anotace

Moderní sendvičové struktury oděvního systému musí zabezpečovat co nejlepší fyziologický komfort uživatele při velmi odlišných podmínkách jejich použití a fyzické námahy. Základem funkčnosti této struktury oděvu je její první vrstva, která odvádí pot a páru z povrchu pokožky do dalších vrstev a proto se tato práce primárně soustředí na tuto vrstvu oděvu. Tato vrstva je v přímém kontaktu s pokožkou a proto se hodnocení zaměřuje nejen na její termo-fyziologické vlastnosti z hlediska její konstrukce a materiálového složení, ale také na hodnocení sensorického omaku textilie. Dále je rozpracovaná metodika pro subjektivní hodnocení oděvů. Protože je celkové komplexní hodnocení oděvního komfortu oděvů poměrně složité, je na základě objektivně měřených užitných vlastností navržen výpočet indexu komfortu oděvu. Vhodnou volbou koeficientů významnosti ve výpočtu můžeme tak efektivně směřovat oděv pro jednotlivé skupiny uživatelů.

Klíčová slova

oděvní komfort, první vrstva oděvu, objektivní hodnocení termofyziologických vlastností oděvů, subjektivní hodnocení komfortu

Annotation

Modern sandwich structure of a clothing system must provide the best possible physiological comfort of the user in very different conditions of use and levels of physical exertion. The functional basis of this garment structure is the first layer which removes perspiration and vapour from the skin surface into next layers and therefore this function is primarily focused on this layer of garment. As this layer is in direct contact with the skin the evaluation does not focus only on its thermo-physiological properties in terms of its structure and composition, but also on of sensory perception of the fabric. A methodology for subjective evaluation clothing is elaborated next. As a comprehensive evaluation of clothing comfort is rather complex an index of comfort clothing was designed. We can efficiently create apparel for different groups of users with the use of suitable significance coefficients.

Keywords

Clothing comfort, First layer of clothing, Objective evaluation of thermophysiological clothing properties, Subjective evaluation of comfort

Obsah

Předmět a cíle disertační práce.....	9
Motivace disertační práce	10
Úvod do problematiky.....	11
1 Oděv a komfort.....	12
1.1 Vliv tepelného komfortu na fyziologický stav nositele.....	13
1.2 Termoregulace.....	14
1.2.1 Fyziologie kůže.....	15
1.2.2 Tepelné hospodaření lidského těla	15
1.3 Rozdíly v produkci potu na různých částech těla	20
1.4 Fyziologické změny při zátěži organismu	22
2 Transportní procesy u oděvů.....	25
2.1.1 Propustnost vodních par	25
2.1.2 Změny fáze vlhkosti	27
2.1.3 Difuze vlhkosti do vlákna	28
2.1.4 Tepelná jímavost textilií	28
2.1.5 Kapilární odvod potu	28
2.2 Vliv základních parametrů textilie na tepelně-izolační vlastnosti	29
2.2.1 Obecné vlastnosti textilních vláken.....	32
3 Možnosti hodnocení fyziologického komfortu.....	33
3.1 Hodnocení komfortu uživatelem.....	33
3.1.1 Subjektivní vnímání pocitu oděvního diskomfortu probandem.....	34
3.2 Objektivní možnosti hodnocení oděvního komfortu	35
3.3 Význam materiálového složení na oděvní komfort.....	36
3.4 Užitečná hodnota textilií.....	38
3.4.1 Transformace určujících vlastností.....	38
3.4.2 Stanovení koeficientu významnosti.....	39
3.4.3 Specifikace parametrů plošných textilií podle konečného užití.....	40
3.4.4 Specifikace parametrů pro plošné textilie v kategorii prádlovky normální.	40
3.4.5 Závěr - specifikace užitečných vlastností	41
4 Experimentální měření.....	42
4.1 Charakteristika použitého souboru trik.....	42
4.2 Subjektivní hodnocení pocitu diskomfortu probandem	45
4.2.1 Analýza a vyhodnocení dotazníkového šetření	49
4.2.2 Souhrn a diskuse k subjektivnímu hodnocení oděvního komfortu	50
4.2.3 Závěr – subjektivní hodnocení oděvního komfortu probandem.....	50
4.3 Objektivní hodnocení sensorického omaku pletenin	51
4.3.1 Podmínky měření vysoce tažných pletenin v systému KES	53
4.3.2 Objektivní hodnocení omaku zátažných pletenin na KES.....	55
4.3.3 Závěr - objektivní hodnocení omaku	56
4.4 Laboratorní testování fyziologického komfortu	56

4.4.1	Tělesné dispozice probanda	57
4.4.2	Postup a příprava měření před testem	58
4.5	Vyhodnocení objektivně měřených hodnot teploty a vlhkosti oděvního mikroklimatu	61
4.5.1	Vyhodnocení a analýza grafu teploty a vlhkosti v mezivrstvě oděvu.....	61
4.5.2	Výpočet a stanovení tepelné zátěže organismu podle WBGT.....	63
4.5.3	Shrnutí výsledků objektivního vyhodnocení oděvního komfortu trik.....	64
4.5.4	Souhrnné vyhodnocení objektivního měření při zátěžových testech	66
4.5.5	Závěr - vyhodnocení objektivního měření při zátěžových testech.....	66
4.6	Materiálové hodnocení vybraného souboru trik	66
4.6.1	Závěr - materiálové hodnocení podle indexu I_{mt}	69
4.7	Analýza a vyhodnocení údajů z objektivního měření	69
4.8	Návrh a výpočet indexu komfortu.....	75
4.8.1	Celkové hodnocení oděvního komfortu	75
4.8.2	Vyhodnocení výsledků podle indexu komfortu.....	76
5	Simulace přestupu tepla přes první vrstvu oděvu.	77
5.1	Souhrn a diskuse výsledků simulace přestupu tepla.....	83
5.2	Závěr - simulace přestupu tepla	84
6	Srovnání subjektivního a objektivního hodnocení oděvního komfortu	85
7	Souhrn dosažených výsledků z experimentální části.....	89
7.1	Závěrečné shrnutí výsledků z experimentální části.....	92
8	Závěr.....	94
	Reference.....	96

Přílohy

Příloha 1 - Diagramy subjektivního hodnocení pocitu diskomfortu

Příloha 2 - Vzor protokolu o průběhu testu

Příloha 3 - Laboratorní hodnocení oděvního komfortu

Příloha 4 - Vzorník použitých textilních vzorků

Příloha 5 - Specializované měření a hodnocení vybraných vzorků

Seznam použitých veličin a zkratk

1	[gf/cm]	anglosaská jednotka gram-force na centimetr - 1 gf/cm = 0,98 N/m
1	[W]	odvozená jednotka výkonu 1 Watt = 1 J.s ⁻¹ = 1 N.m.s ⁻¹ = 1 kg.m ² .s ⁻³
ANT+	[-]	proprietární bezdrátová technologie
b	[W.m ⁻² .s ^½ .K ⁻¹]	tepelná jímavost textilie
BMI	[-]	index tělesné hmotnosti
c _p	[J.kg ⁻¹ .K ⁻¹]	měrná tepelná kapacita
I _{com}	[-]	index komfortu oděvu
I _{mt}	[-]	index propustnosti vodních par
KES	[-]	Kawabata systém
k _x	[-]	volitelný parametr váhy pro výpočet indexu komfortu oděvu
O _p	[-]	objemová porozita
Porexil Thermocool	[-]	obchodní značka vlákna, modifikované čtyř kanálové PL a duté PL vlákno 50/50, původem od firmy Advansa, DE
Porexil Warm-light	[-]	obchodní značka vlákna, dvojkomponentní jádrové vlákno PP/PL
Q	[J.s ⁻¹]	teplo
R _{ct}	[K.m ² .W ⁻¹]	součinitel tepelné odolnosti
R _{et}	[Pa.m ² .W ⁻¹]	součinitel odolnosti vůči vodním parám
Tencel®	[-]	obchodní značka vlákna Lyocel, regenerované celulózoové vlákno vyráběné firmou Lenzing AG, Rakousko
THV	[-]	Total Hand Value – bezrozměrná hodnota senzorického omaku textilie hodnoceného systémem KAWABATA
v _p	[%]	vlhkostní přiřážka vláken
WBGT	[-]	teplota mokrého kulového teploměru
λ _a	[J/kg]	evaporační teplo vody
λ	[W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	součinitel tepelné vodivosti
μ	[-]	zaplnění textilie
ρ	[kg.m ⁻³]	měrná hmotnost látky

Předmět a cíle disertační práce

Předmětem disertační práce je hodnocení fyziologického komfortu a termofyziologických vlastností první vrstvy oděvu. Hodnocení se zaměřuje zejména na různé způsoby objektivního a subjektivního hodnocení komfortu oděvů vhodné zejména pro měření oděvního komfortu při zvýšené fyzické aktivitě uživatele. Disertační práce si klade za cíl otestovat vybrané vzorky běžných a speciálních funkčních pletenin. Vybrané testovací metody a nastavení podmínek testu, jsou proto voleny za účelem co nejvíce přiblížit testování oděvu jeho použití v reálných podmínkách. Součástí práce je také simulace zátěže probanda a následné hodnocení subjektivního pocitu diskomfortu probanda za podmínek středně náročné fyzické aktivity.

Cílem disertační práce je testování a hodnocení oděvního komfortu, které je rozděleno do dvou hlavních fází:

1. Hodnocení oděvního komfortu na přístrojích – objektivní testování vybraných termofyziologických vlastností textilií na přístrojích.

Hodnocení vybraných termofyziologických a materiálových vlastností oděvů.

- Tepelná odolnost a odolnost vůči vodním parám.
- Prodyšnost vzduchu.
- Objemová porozita.
- Hodnocení senzorického omaku textilie.
- Prostup tepla přes první vrstvu oděvu.

2. Testování – simulace zátěže probanda.
 - a. Objektivní měření časového průběhu vývoje změny teploty a vlhkosti mikroklimatu v systému pokožka – oděv za definované fyzické aktivity probanda.
 - b. Subjektivní hodnocení pocitu komfortu probanda v průběhu simulované fyzické aktivity, realizované na základě dotazníkového systému.

Předpokladem pro dosažení optimálního komfortu uživatele jsou dobré materiálové výsledky termofyziologických vlastností textilií z objektivního měření na přístrojích. Takto naměřené objektivní materiálové výsledky je nutné ověřit s pomocí probandů při definované zátěži a definovaných okolních podmínkách. Protože jen samotná simulace zátěže a hodnocení komfortu oděvů na probandech představuje obtížný úkol, bude v této práci ověřování provedeno informativně na jednom probandovi.

Časový průběh vývoje změny teploty a vlhkosti z měření mikroklimatu při simulaci zátěže probanda budou podkladem pro hodnocení pomocí standardního tepelného indexu WBGT, který umožňuje objektivně hodnotit riziko přehřátí organismu. Samotné subjektivní hodnocení oděvního komfortu je důležitou součástí celkového hodnocení, protože nám umožňuje sledovat vývoj pocitu diskomfortu u probanda. Proband na základě navrženého dotazníku přímo hodnotí:

- A) Tepelné pocity.
- B) Vlhkostní pocity.
- C) Senzorické pocity.
- D) Celkové pohodlí při nošení oděvu.



Na základě provedené simulace zátěže probanda a společně s přímo měřenými materiálovými hodnotami textilií je dalším cílem této práce vybrat nejvhodnější užité vlastnosti pro vytvoření komplexního hodnocení oděvního komfortu. Výsledný index komfortu by pak měl více, či méně reflektovat zjištěné subjektivní hodnocení probandem. Dalším z výstupů této práce bude informativní srovnání objektivně měřených materiálových vlastností textilií z hodnocení na přístrojích, hodnocení rizika přehřátí organismu probanda z objektivního měření teploty a vlhkosti mikroklimatu a subjektivního hodnocení oděvního komfortu probandem.

Motivace disertační práce

Základním cílem této práce je výzkum a vývoj metodiky pro objektivní hodnocení fyziologického komfortu první vrstvy oděvu při dlouhodobé fyzické aktivitě uživatele v prostředí bez snadné možnosti její výměny za jinou. Její realizace přispěje ke zkvalitnění komplexního hodnocení oděvního komfortu a lepším výběrem vhodných textilních materiálů i zkvalitnění života a ochraně člověka při rizikových činnostech či profesích.

Za tímto účelem se v rámci řešení této disertační práce realizují experimentální měření a testování klasických přírodních, ale i nových typů „Smart“ přízí. Aplikační výzkum je primárně zaměřen na první vrstvu oděvu, protože tato vrstva může být jako jediná vrstva oděvu, ale může působit také v kombinaci dalších vrstev v sendvičové struktuře oděvů. Tato vrstva je v přímém kontaktu s lidskou pokožkou, a proto je této vrstvě věnovaná veškerá pozornost.

Úvod do problematiky

Současný stav fyziologického komfortu oděvů je ve světě předmětem pozornosti všech výrobců plošných textilií a oděvů, protože významně ovlivňuje psychiku a výkon nositele oděvů. Moderní oděvy umožňují téměř dokonalou ochranu těla při různých teplotních a povětrnostních podmínkách okolí, ale i při různém namáhání člověka, tj. při různé tvorbě vlhkosti a tepla.

Práce na zkoumání prostupu tepla a vlhkosti oděvem, vývoji simulačního modelu a celkové optimalizaci fyziologického komfortu u oděvů je v zahraničí dokumentována množstvím konferencí a publikací soustřeďujících se na toto téma - např. [1] [2] [3] [4] [5]. Z nich je patrná snaha o hledání cesty, jak tento problém vůbec uchopit. Zmíněné výzkumy vedly k poznání, že pohodlí je jedním z nejdůležitějších aspektů oblečení a výkonnosti uživatele. V literatuře lze nalézt celou řadu více, či méně obecných definic komfortu, ale uspokojivou definici komfortu je potřebné ještě upřesnit.

Komfort definovalo mnoho výzkumníků různými způsoby:

- Komfort oděvu je ovlivněn fyziologickou reakcí nositele.
- Komfort je regulace teploty těla.
- Komfort oděvu je absence nepříjemností a nepohodlí.
- Komfort je příjemný stav psychologické, fyziologické a fyzické harmonie mezi lidskou bytostí a životním prostředím. Všechny tři aspekty jsou stejně důležité, protože lidé se cítí nepříjemně, pokud některý z nich chybí.

Z výše uvedeného je patrné, že poznání charakteristik jakékoli konkrétní tkaniny, nebo oděvu, je nevyhnutelné pro určení důležitých vlastností textilií, které mají přímý vliv na komfort [1]. Dobré fyziologické vlastnosti oděvu jsou jednou z požadovaných vlastností na oděv a jsou důležité, protože významně ovlivňují psychiku a výkon uživatele. Účinek propustnosti vzduchu a vodních par textilie na proudění tepla a vody v systémech oděvů zkoumali Fukazawa a kol. experimentálními a teoretickými modely [2].

Termo-fyziologický komfort poskytovaný oděvem lze hodnotit buď pomocí přístrojů, které přesně charakterizují příslušný fyzikální děj, nebo lze přenos tepla a vlhkosti měřit za podmínek blízkých fyziologickému režimu lidského těla. Druhý postup v posledních letech převažuje, neboť umožňuje hodnotit termo-fyziologický komfort věrněji než metody první skupiny. Další možností jak přímo hodnotit komfort oděvů je testování pomocí přesně definované metodiky na probandech.

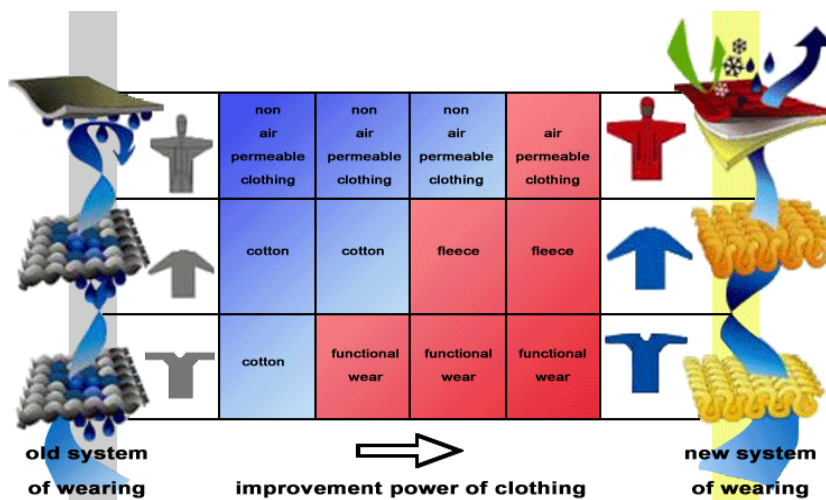
Výzkumné práce popsané v této zprávě se soustředí na hodnocení první vrstvy oděvu, která je zároveň vrchní vrstvou oblečení. Hodnocení je provedeno z různých hledisek subjektivního, sensorického a objektivního při definované zátěži probanda a za normovaných zkoušek na přístrojích. Zkoumaný základní soubor trik byl vybrán se zaměřením jak pro rekreační fitness sportovce, tak pro povolání, která neumožňují rychlou výměnu oděvu za jinou jak při nárazové zátěži tak při dlouhotrvající zátěži uživatele.

Rešeršní část

1 Oděv a komfort

Oděv je nedílnou součástí lidského života. Primární rolí oděvu je chránit tělo před nestálým okolním prostředím. Lidské tělo může být považováno za otevřený systém, který je vždy ve stavu fyzické, chemické a biologické interakce s okolím.

Pro dobrý fyziologický komfort je nezbytný odvod vlhkosti do okolí. Transport tepla závisí na okolní teplotě a fyzické aktivitě člověka. Moderní systém funkčního oblečení se skládá standardně ze tří vrstev, jak je uvedeno na Obr. 1.1. První vrstva se skládá ze spodního prádla, které musí splňovat podmínky na sensorický komfort a transport vlhkosti. Tato vrstva se většinou skládá ze syntetických vláken na bázi polypropylenu či tvarovaných polyesterových vláken. Bavlněná vlákna se příliš nepoužívají pro vysokou navlhavost, která způsobuje posléze nepříjemné ochlazení a špatné sensorické vlastnosti při dotyku s pokožkou. Druhou vrstvu oděvního materiálu je možné vytvořit jako tepelně-izolační, např. fleece. Tepelně-izolační vlastnosti závisí na množství uzavřeného suchého vzduchu. Třetí ochranná vrstva by měla umožnit transport vodních par (zejména mechanismem difuze) do okolí, ale zároveň nepropustnost vody ve formě kapaliny až do hydrostatického tlaku $\Delta p \sim 20$ m vodního sloupce. Třetí vrstva může být samostatná, nebo se slučuje s druhou vrstvou.



Obr. 1.1 Struktura oděvních vrstev [3]

Pro samotný princip transportu vodních par difuzí je rozhodující difuzní koeficient oděvních vrstev a rozdíl parciálních tlaků vodních par na různých stranách oděvní vrstvy. Difuzní koeficient je možné také hodnotit, případně měřit R_{et} (součinitel odolnosti vůči vodním parám - výparný odpor). Tepelně izolační vlastnosti materiálů jsou dány především tepelně-izolačními vlastnostmi uzavřeného vzduchu v materiálu.

Povrchové vlastnosti oděvů musí splňovat ještě další vlastnosti, které nejsou předmětem této práce, ale musí se k nim přihlížet. Jedná se o barevnost, lesk, omak, oděr, vodoodpudivost, možnosti snadné údržby atd. Vlastní konstrukce oděvu musí umožňovat snadný pohyb, musí být pohodlná z hlediska nošení, ale také musí umožňovat rychlé a jednoduché oblékání.

1.1 Vliv tepelného komfortu na fyziologický stav nositele

Oděv je ochranný systém, ve kterém dochází k prostupu tepla a vlhkosti. Prostup tepla a vlhkosti závisí na konstrukci, střihu, použitém materiálu a ostatních parametrech. Oděv pomáhá k termoregulaci organismu v takových případech, kdy tělo samo není schopno optimální autoregulace.

Komfort jako takový je poté možno definovat jako stav organismu, kdy jsou fyzikální funkce organismu v optimu a kdy okolí člověka včetně oděvu nevytváří žádné nepříjemné vjemy. Subjektivně je tento pocit brán jako pocit pohody. Komfort je vnímán lidskými smysly, vyjma chuti, v následujícím pořadí důležitosti: hmat, zrak, sluch, čich. Při diskomfortu je možné pociťovat nepříjemné vjemy jako pocity nadměrného tepla či chladu [6].

„Komfort lze jednoduše definovat jako absenci znepokojujících a bolestivých vjemů“ [6].

Komfort dělíme na psychologický, sensorický, termofyziologický a patofyziologický.

Psychologický komfort

Psychologický komfort dělíme dle různých hledisek:

- Klimatických, kam patří tepelně-klimatické podmínky, které jsou dány geograficky. Oděv vhodný pro dané podmínky se stává normou.
- Ekonomických, která zahrnují přírodní podmínky obživy, politický systém, úroveň technologie apod.
- Historických, která jsou dány tradicí v životním stylu a módě.
- Kulturních, kam patří zvyky, tradice, náboženství apod.
- Sociálních, která zahrnují věk, vzdělání, kvalifikaci, sociální třídu apod.
- Skupinových a individuálních, která zahrnují módní vlivy, styl, barvy a lesk, trendy apod.

Senzorický komfort

Senzorický komfort zahrnuje vjemy a pocity člověka při přímém styku pokožky a první vrstvy oděvu.

Senzorický komfort rozdělujeme na *komfort nošení* a na *omak*.

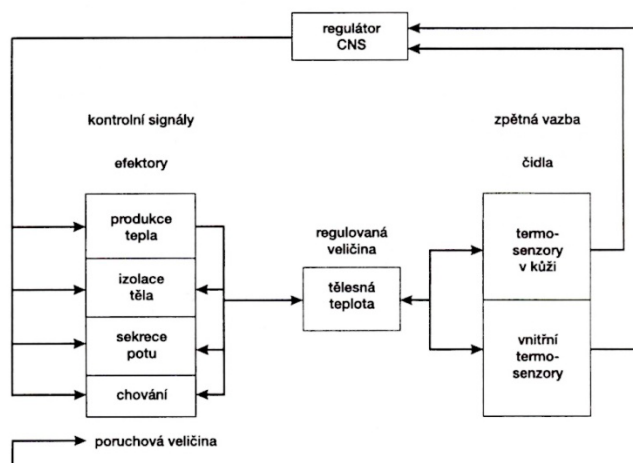
Komfort nošení: do této části zahrnujeme povrchovou strukturu použitých textilií, vybrané mechanické vlastnosti ovlivňující rozložení sil a tlaků v oděvním systému, schopnost textilií absorbovat a transportovat plynnou či kapalnou vlhkost s dopadem na své kontaktní vlastnosti.

Omak: veličina založená na vjemech prostřednictvím prstů a dlaně. Omak charakterizujeme povrchovým třením, stlačitelností, ohybovou a smykovou tuhostí, tepelně-kontaktním vjemem a roztažností [6].

Termofyziologický komfort

Vyjadřuje stav tepelné pohody. Je to tedy stav, ve kterém člověk vydrží pracovat neomezeně dlouho, stav fyziologické, psychologické a fyzikální harmonie.

Termofyziologický komfort nastává za těchto podmínek: teplota pokožky 33–35 °C, relativní vlhkost vzduchu 50 % +/- 10 %, rychlost proudění vzduchu 25 +/- 10 cm.s⁻¹, obsah CO₂ 0,07 %, nepřítomnost vody na pokožce.



Obr. 1.2 Blokový diagram termoregulace lidského těla [7]

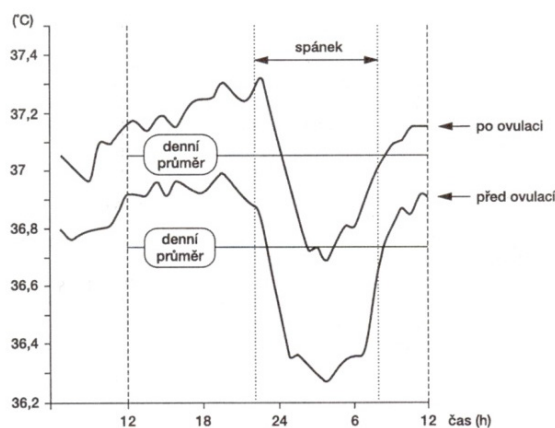
Termofyziologický komfort oděvů, resp. textilií, lze zjednodušeně charakterizovat pomocí dvou základních parametrů: tepelného a výparného odporu, jestliže použijeme způsob měření založený na tzv. „skin modelu“. Místo parametru *paropropustnost* můžeme použít parametr *výparný odpor*, který u měření simulujících reálné přenosové jevy při nošení oděvu přímo charakterizuje tepelné účinky vnímané pokožkou vznikající v důsledku odparu potu [6].

Patofyziologický komfort

Pocit komfortu při nošení oděvních textilií je ovlivněn také působením patofyziologicko-toxických vlivů. Jedná se o působení chemických substancí obsažených jak v materiálu, ze kterého je oděv vyroben tak mikroorganismů vyskytujících se na lidské pokožce [6].

1.2 Termoregulace

Termoregulací nazýváme schopnost organismu udržovat stálou tělesnou teplotu, přestože produkce tepla, jeho příjem a výdej nepřetržitě kolísají. Rozhodující význam v termoregulaci má kůže. Usměňuje a reguluje prostřednictvím speciálních neurovaskulárních mechanismů výměnu tepla mezi organismem a prostředím. Sama kůže s vrstvou podkožního tuku je důležitý tepelný izolátor, omezující tok tepla převážně na „kanály“ cévního systému, a tím umožňuje tepelnou regulaci změnami průsvitu cév. Hustota cévního zásobení kůže vysoce převyšuje její požadavky na dodávku kyslíku a živin a změny v průtoku krve kůží jsou aktivovány změnami teploty prostředí i vnitřní teploty těla [7].



Obr. 1.3 Denní změny tělesné teploty (upraveno podle Simona, 1995) [7]

1.2.1 Fyziologie kůže

Povrch člověka, kůže (cutis) je anatomicky a fyziologicky specializovaná hraniční vrstva. Představuje značně velkou styčnou plochu mezi tělem a prostředím a zároveň ochranu proti jeho nejrůznějším vlivům. U dospělého člověka měří povrch kůže 1,6-2 m², její tloušťka v závislosti na anatomické lokalizaci a na výživě je 1,5-4 mm. Obsahuje okolo 72 % vody. Kůže představuje největší receptivní povrch. Je sídlem obrovského počtu receptorů somato-senzorického systému, které umožňují nepřetržitou komunikaci se zevním prostředím (dotykové a tlakové receptory, termoreceptory atd.) [7].

Je zřetelné, že ztráty tepla radiací a kondukcí jsou determinovány diferencí teploty mezi povrchem těla a zevním prostředím, izolačními vlastnostmi těla a schopností vědomě tyto izolační vlastnosti ovlivnit. Kůže, podkoží a podkožní tuk jsou tepelným izolátorem těla. Tuk je důležitý izolační materiál, který vede teplo oproti ostatním tkáním pouze z jedné třetiny. Každý milimetr podkožního tuku dovoluje snášet chladnější atmosféru o 1-2 °C. Kůže je pod fyziologickou kontrolou prostřednictvím změn prokrvení, které jsou kontrolovány sympatikem [7].

1.2.2 Tepelné hospodaření lidského těla

Termoregulace je proces, který slučuje fyziologické pochody řízené centrálním nervovým systémem udržujícím tělesnou teplotu na optimální hodnotě, při které probíhají metabolické změny. Na tomto základě existují termoregulace dvojího druhu, chemická – tvorba tepla a fyzikální – výdej tepla [6].

Dalším důležitým způsobem přenosu tepla je odpařování vody z povrchu těla, ze sliznic dutiny ústní a z dýchacích cest – extraglandulární výdej vody. Odpařením 1 g vody ztrácí organismus 2,5 kJ. Jisté množství se odpařuje neustále – „perspiratio insensibilis“ (představuje cca 60 ml/den, což je kontinuální ztráta 1200 kJ/den). Toto odpařování neprobíhá za účelem teplotní regulace, ale souvisí s kontinuální difúzí vody přes kůži a povrch dýchacích cest nezávisle na tělesné teplotě. V okamžiku, kdy teplota prostředí je vyšší než teplota organismu, je jediným možným způsobem, jak se zbavit tepla, odpařování potu – evaporace (glandulární výdej vody). Jakýkoliv způsob znemožňující odpařování potu vede k přehřátí organismu. Důležitým faktorem ovlivňujícím pocení je relativní vlhkost vzduchu [7].

Normální tělesná teplota

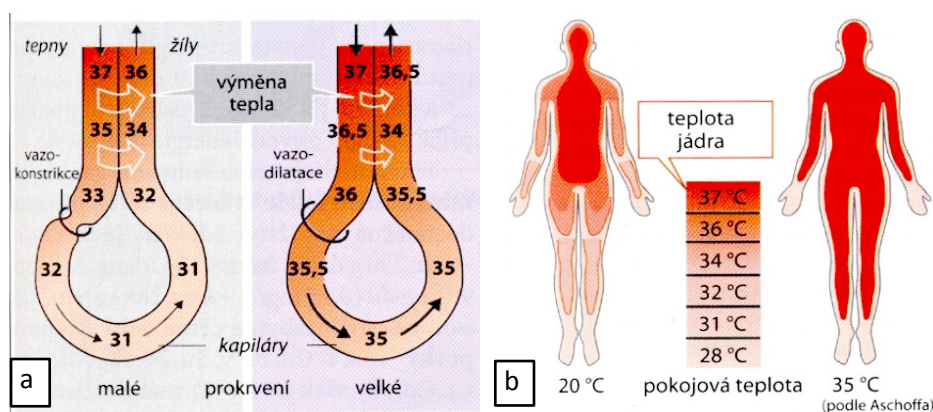
Podle změn teploty prostředí se vždy vytváří určitý teplotní spád mezi vnitřkem organismu, jeho povrchem a zevním prostředím. Rozeznáváme tedy teplotu tělesného jádra a teplotu povrchu těla. V důsledku nerovnoměrného rozložení teplotního gradientu v těle existují i za fyziologických podmínek rozdíly mezi současně měřenými teplotami na různých místech organismu. Teplota měřená pod jazykem je o 0,2-0,3 °C vyšší než v axile a teplota měřená v rektu o 0,5 °C vyšší než pod jazykem a odpovídá nejvíce vnitřní teplotě. U malých dětí není řízení teploty tak přesné a mohou mít i normální teplotu zvýšenou o 0,5 °C proti zdravým dospělým. Asi 2 % normální dospělé populace má trvale zvýšenou teplotu (konstituční hypertermie). U starých lidí se setkáváme naopak s teplotou subnormální, která může být přirozeným projevem sníženého metabolismu [7].

Chemická tepelná regulace

Chemická termoregulace představuje látkovou přeměnu, tedy intenzitu chemických reakcí a tedy i tvorbu tepla. Je zároveň závislá na fyzické zátěži organismu a na jeho činnosti. Největší množství produkovaného tepla je při namáhavé činnosti organismu. Svaly se zapojují při fyzické aktivitě, kdy v důsledku malé efektivity vytvoří až 90 % tepla.

Fyzikální tepelná regulace

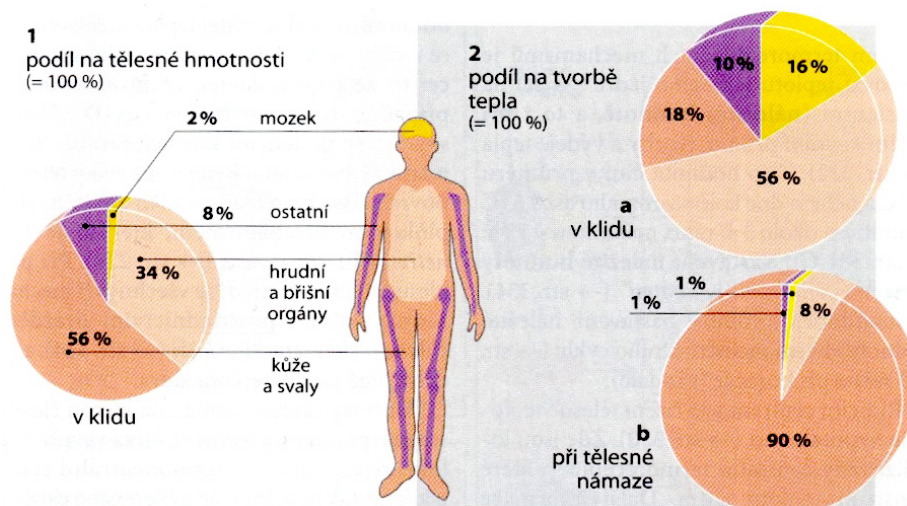
Fyzikální termoregulace zahrnuje podíly jednotlivých odvodů tepla z organismu, tedy tvorbu a výdej tepla. K fyzikální tepelné regulaci přispívá rozšiřování (vazodilatace) a zužování (vazokonstrikce) cév v pokožce viz Obr. 1.4 a. Čím více krve proudí kůží, tím více se lidský organismus ochlazuje. Při vazodilataci nastávající během pocitování tepla se přenos tepla do okolního prostředí zvyšuje, protože tepelná vodivost tkání organismu, teplota pokožky a tepelný spád vzrůstá a více se odpařuje voda. V důsledku vazodilatace se zvýší prokrvení kůže. Naopak při vazokonstrikci, nastávající během pocitování chladu, se přenos tepla do okolního prostředí zmenšuje, protože tepelná vodivost tkání organismu a tepelný spád se snižují. V důsledku vazokonstrikce se sníží prokrvení kůže [8] [9].



Obr. 1.4 a) Výměna tepla mezi tepnami a žilami, b) Teplotní zóny těla [8]

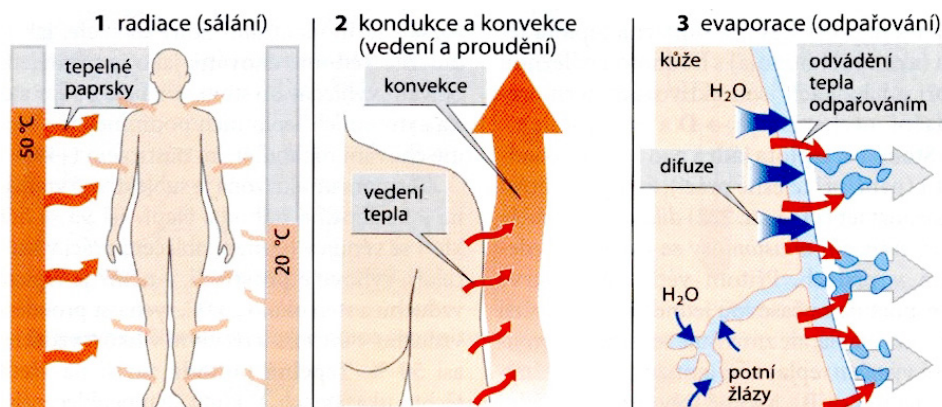
Důležitou roli ve vnitřním proudění tepla má protiproudový mechanismus, který zajišťuje v některých oblastech kůže lokální výměnu tepla tak, že teplo přechází z arterií přímo do přilehlých vén na základě tepelného gradientu mezi krví přicházející z periferií a vracející se z periferie. Arteriální krev se tak cestou k periferii postupně ochlazuje. Tento mechanismus směřuje k uchování tepla v organismu Obr. 1.4 b [7].

Přechod tepla mezi okolním prostředím a organismem (může probíhat oběma směry) závisí na tepelném spádu mezi okolím a povrchem těla. Fyzikální tepelná regulace obstarává zmenšení nebo zvětšení přestupu tepla do okolního prostředí. Teplo do okolního prostředí přechází, pokud je chladnější než povrch těla. Základním předpokladem pro přestup tepla je tedy teplotní gradient. Tzv. suchý výdej tepla se uskutečňuje vedením, prouděním a sáláním. Tzv. vlhký výdej tepla se děje odpařováním a dýcháním [8] [9].



Obr. 1.5 Relativní podíl jednotlivých orgánů na tělesné hmotnosti a na produkci tepla [8]

Toto se děje těmito možnými způsoby: kondukcí (vedením), radiací (zářením), konvekcí (prouděním), a to z povrchu těla a z vnitřní plochy plic (dýcháním), konvekčním odparem potu z povrchu těla a tělesné tekutiny z vnitřní plochy plic. Všechny mechanismy odvodu tepla z organismu se podílí na fyzikální termoregulaci a jejich suma se musí rovnat množství tepla, které vyrobí organismus metabolickými pochody. Velikosti jednotlivých objemů jsou závislé na činnosti organismu, jeho oblečení a vnějších klimatických podmínkách [7] [8].

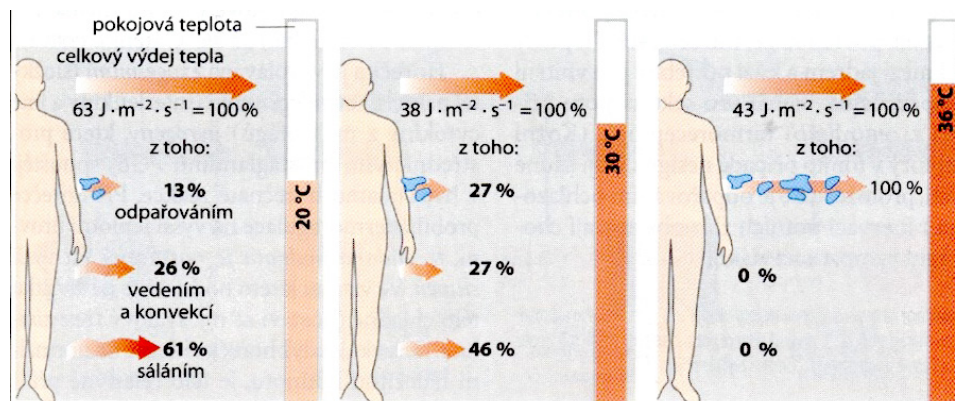


Obr. 1.6 Mechanizmy výdeje tepla [8]

Termoregulace organismu probíhá také pomocí ochlazování organismu odvodem vlhkosti, a to již zmiňovanou evaporací, ale i odvodem vlhkosti kapalné. U oblečeného člověka transport vlhkosti probíhá několika způsoby a to difuzí, kapilárně a sorpčně.

Množství potu neaklimatizovaného člověka může dosahovat až 700 ml za hodinu. Adaptovaný organismus reguluje tyto ztráty na 1,5-2 litry denně [7].

Procentuálně rozdělené způsoby sdílení tepla podle Silbernagla a kol. [8] jsou uvedeny na Obr. 1.7.



Obr. 1.7 Procentuální zastoupení způsobů sdílení tepla pro různé teploty okolí [8]

Radiace je proces kdy povrch těla nepřetržitě emituje teplo ve formě elektromagnetického vlnění (5-20 mm). Úroveň emise je dána teplotním gradientem mezi tělem a prostředím [7].

Kondukcce je přenos tepelné energie přímým kontaktem s předměty (včetně vzduchu), majících rozdílnou teplotu. Při vyrovnání teplot se ztrácí gradient a další vedení neprobíhá [7].

Konvekce je obecně pohyb molekul plynů nebo kapaliny z místa s určitou teplotou do místa o jiné teplotě. Tento proces je bezprostředně spojen s procesem kondukcce tak, že ohřátý vzduch (nebo voda) v těsné blízkosti těla je vyměňován za chladnější. Teplý vzduch je lehčí a stoupá samovolně, nebo může být vyměňován i vnější silou (vítr, ventilátor apod.). Při absenci konvekce by bylo vedení do vzduchu zanedbatelné [7].

Porovnání tepelných ztrát prouděním, sáláním a vypařováním je doloženo v následující tabulce viz Tab. 1 [10].

Tab. 1 Sdílení tepla z lidského organismu za normálních podmínek – tepelné ztráty [10]

Tepelné ztráty	Autor údajů							
	M. Rubner 1896		E. A. Dubois, I. D. Hardy 1938		A. A. Letavet, A. E. Matyševová 1941		N. K. Vitte 1941	
Q	[W]	[%]	[W]	[%]	[W]	[%]	[W]	[%]
Prouděním	40,3	32,4	12,7	14,2	13,3	15,3	43,2	33,1
Sáláním	57,0	45,9	53,1	59,1	48,4	55,6	57,2	43,8
Vypařováním	27,0	21,7	23,9	26,7	25,3	29,1	30,0	23,1
Celkem	124,5	100,0	89,8	100,0	87,2	100,0	130,4	100,0

Termoneutrální zóna

Termoneutrální zóna leží u většiny teplokrevných organismů v teplotách kolem 30 °C. Její rozmezí však může záviset na kvalitě izolační vrstvy organismu. V zóně termoneutrality se samovolně vytváří tepelný spád z nitra těla do prostředí. Tělní jádro vykazuje stálou vyšší teplotu, než je teplota okolí. Vzhledem k teplotnímu spádu se teplota tkání směrem k povrchu snižuje.



Výsledkem tohoto pochodu je ustálení teploty povrchu těla na úrovni teploty prostředí. Tím se teplotní rozdíl mezi tělem a prostředím sníží na minimum a tepelné ztráty se sníží tak, že jsou snadno kompenzovatelné produkcí tepla metabolismem těla v klidu.

S poklesem teploty okolí pod zónu termoneutrality tepelné ztráty těla stoupají. Je to dáno termodynamickými zákony, kdy teplo přechází po teplotním gradientu z míst s vyšší teplotou (organismus) do míst s teplotou nižší (okolní chladné prostředí). Vzniklé ztráty musí být u teplokrevných organismů kompenzovány aktivním zvýšením produkce tepla v těle. Velikost tepelných ztrát je za těchto podmínek závislá na velikosti teplotního gradientu, velikosti povrchu těla, ale i izolačních vlastnostech povrchu těla.

Zvyšování produkce tepla v chladu má však svoje hranice. Dosahuje svého dlouhodobě udržitelného maxima při tzv. spodním limitu přežití. Pod touto teplotou okolí již organismus nedokáže účinně udržovat stálou teplotu těla a začíná prochladat.

Reakce organismu na chlad

Člověk dává přednost jistému tepelnému komfortu a snaží se vyhnout chladovému stresu. Brání se mu především pomocí použití různých technologických opatření. Civilizovaný člověk je proto svou fyziologickou podstatou tepelně orientovaný organismus. Je však nutné si uvědomit, že jsou i jedinci či celé skupiny, které nemají přístup k technologickým a civilizačním opatřením zajišťujícím tepelný komfort, který my označujeme za dostačující/vyhovující.

Je prokázáno, že člověk je schopen, po určité době pobytu v odlišném prostředí, než na jaké je zvyklý, se přizpůsobit novým podmínkám a jeho organismus přestává vjemy vyhodnocovat jako nepříjemné. Toto přizpůsobení je však možné pouze v určitém rozsahu. Rozsah teplot, které jsou člověkem vnímány jako komfortní, je poměrně úzký [9].

Reakce organismu na teplo - riziko poškození organismu z práce v horku

(citováno z: Vybrané kapitoly z pracovního lékařství, skriptum Institutu postgrad. vzdělávání Praha, 2002 [11].)

Úpal (hyperpyrexie z horka)

Je způsoben selháním termoregulace v důsledku nadměrné tepelné zátěže a zhoršeným možností odvodu tepla odpařováním potu. Riziko zvyšuje namáhavá svalová práce a nedostatečná náhrada tekutin. Pocení je obvykle, ale ne vždy, sníženo a kůže je horká a obvykle suchá. Tepová frekvence většinou rychle vzrůstá až na 160 – 180 tepů/min a teplota těla na 40 – 41 °C. Úpal je vážný akutní stav a není-li rychle léčen, vede ke křečím a smrti nebo k trvalému poškození mozku. Vyšší věk, vyčerpanost nebo alkohol zhoršují prognózu. První pomoc spočívá ve snížení teploty těla zabalením do mokrého prostěradla či ponořením do studené vody.

Vyčerpání z horka

Příčinou je nadměrná ztráta tekutin a z toho plynoucí hypovolemický šok. Projeví se zvýšenou únavou, slabostí, úzkostí a profuzním pocením vedoucím až k oběhovému selhání s pomalým nitkovitým tepem. Krevní tlak je nízký nebo neměřitelný. Kůže je chladná, bledá a lepkavá. Porucha vědomí může přejít v bezvědomí.

Mírnou formou vyčerpání z horka je synkopa. Je vyvolána stáním v horkém prostředí a je způsobena nahromaděním krve v horkem rozšířených cévách dolních končetin. Teplota těla je obvykle subnormální a klinický obraz odpovídá běžné synkopě.

Křeče z tepla

Jsou způsobeny ztrátou sodíku a někdy i draslíku a hořčíku z důvodu nadměrné fyzické aktivity při vysokých teplotách vzduchu (nad 38 °C). Jsou časté u manuálně pracujících dělníků, vysokohorských turistů oblečených příliš proti chladu a osob nepřízpůsobených horkému suchému klimatu, kde je silné pocení takřka nezjistitelné v důsledku rychlého odpařování. Křeče vznikají, i když jsou ztráty tekutin hrazeny čistou vodou bez solí. Tělesná teplota nebývá zvýšená.

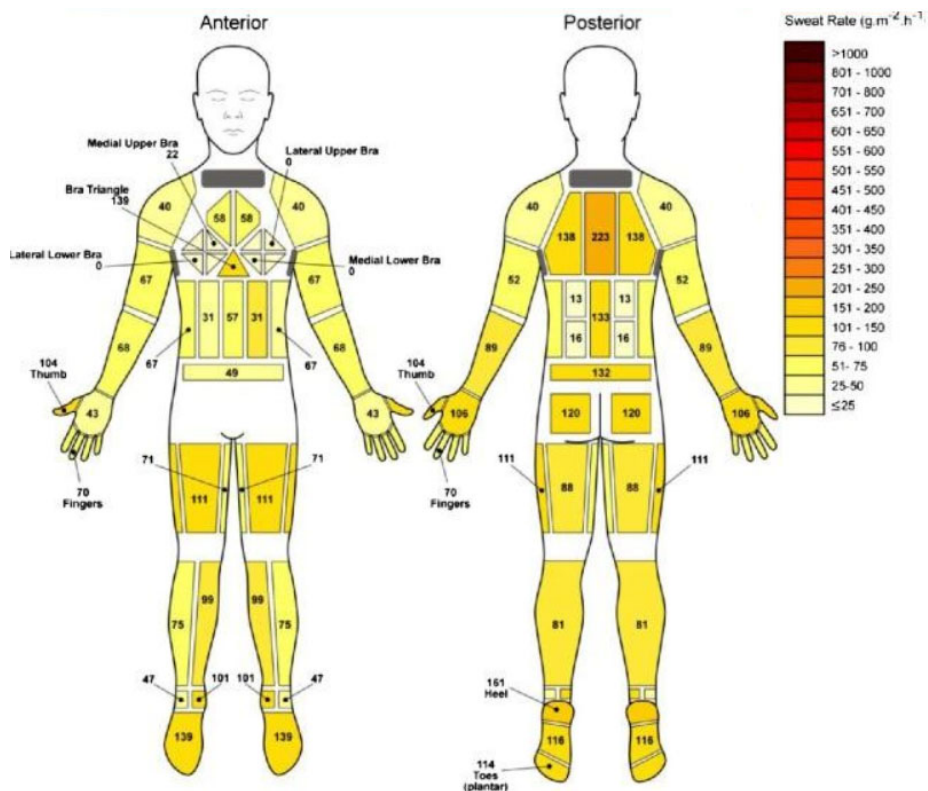
1.3 Rozdíly v produkci potu na různých částech těla

Normální situace při nošení oděvu jsou charakterizovány nepozorovatelným pocením, tj. nositel nepozná transport potu ve formě vodních par. Přesto je přes polopropustnou membránu kůže vypařeno nejméně 30 gramů vodní páry za hodinu. Součinitel tepelné odolnosti R_{ct} a součinitel R_{et} (součinitel odolnosti vůči vodním parám) vrstev textilií jsou zvláště důležité pro pocit komfortu oděvů při normálním nošení (podle ISO 11092 nebo EN 31092).

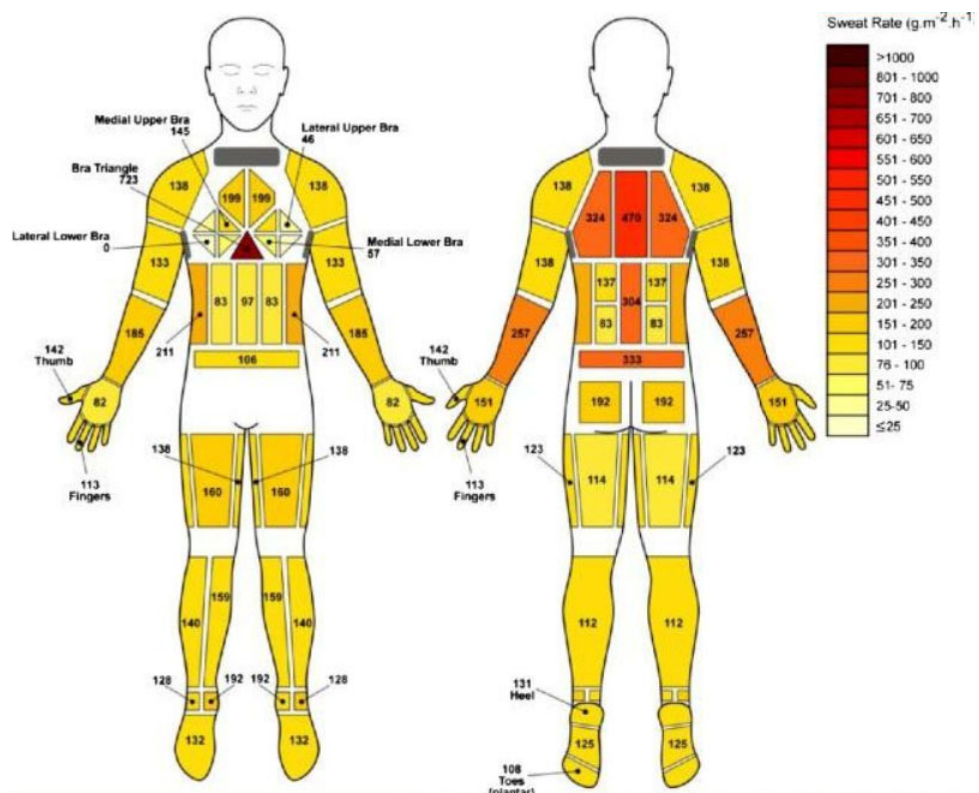
Pocení je způsobeno sekreční činností potních žláz, která nastává při teplotě kůže nad 29 °C. Pot se skládá z vody, chloridu sodného, močoviny, kyseliny mléčné, mastných kyselin a jiných látek. Každý člověk má přibližně 2,5 milionu potních žláz. Potní žlázy nejsou v kůži rozmístěny rovnoměrně. Nejvíce je jich umístěno v obličejí, na čele, v dlaních, na chodidlech, v podpaží a na přední ploše hrudníku [14].

Ve svém výzkumu se Havenith a Smith zabývají mapováním pocení na různých částech těla s porovnáním rozdílů mezi pocením u mužů a u žen. Produkce potu byla sledována při dvou intenzitách cvičení (I1 a I2) u třinácti žen v mírně teplých podmínkách (teplota vzduchu 25 °C, relativní vlhkost vzduchu 45 %, rychlost proudění vzduchu 2 m.s⁻¹). Produkce potu u žen byla srovnávána s produkcí potu u devíti mužů, sledovaných za stejných podmínek [12].

Bylo zjištěno, že při nižší intenzitě cvičení je pot u žen produkován nejvíce v horní části zad, na patách, v zadní části nohou a mezi prsy. Nejnižší hodnoty byly naměřeny v oblasti přes prsa a ve střední a dolní vnější části zad. Na Obr. 1.8 jsou tyto hodnoty graficky znázorněny. Při vyšší intenzitě cvičení Obr. 1.9 byla zjištěna nejvyšší produkce potu v oblasti centrální horní části zad, v dolní části zad a v oblasti trojúhelníku mezi prsy. Oblasti na prsou a dlaních vykazovaly nejnižší produkci potu při vyšší intenzitě cvičení.

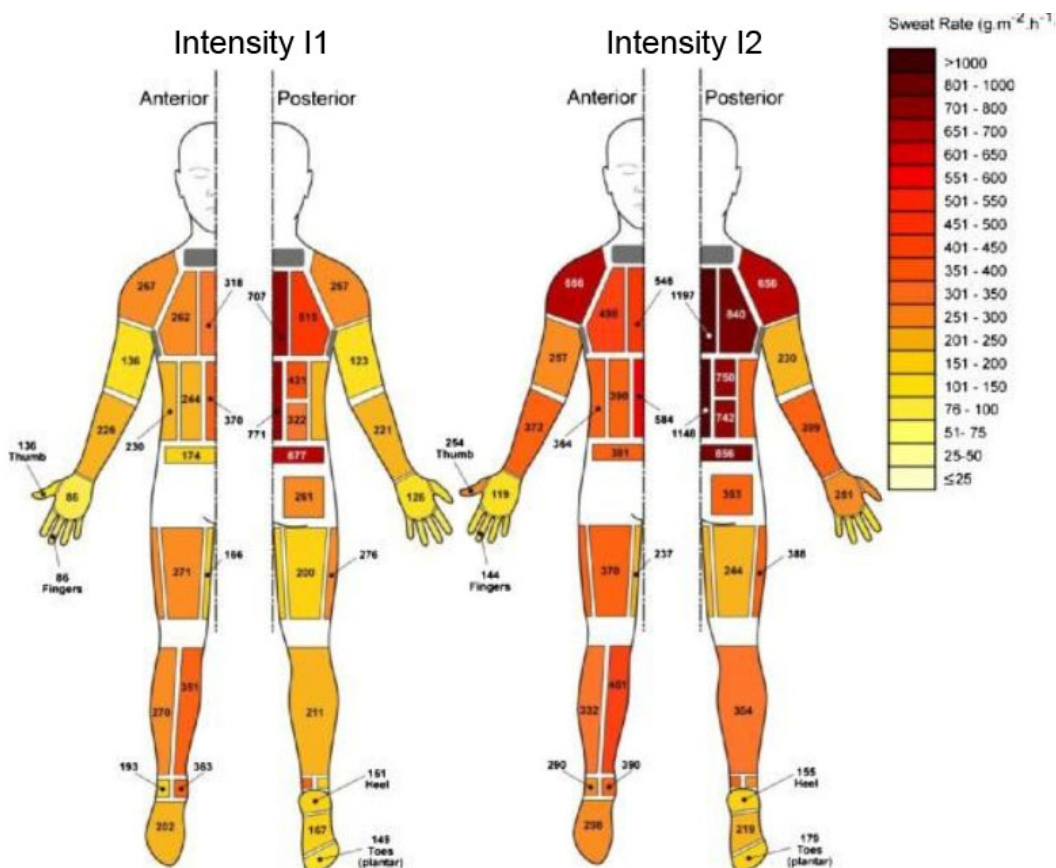


Obr. 1.8 Zóny produkce potu u žen při nižší intenzitě cvičení (pozn. $1000 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1} = 0,278 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) [12]



Obr. 1.9 Zóny produkce potu u žen při vyšší intenzitě cvičení [12]

U mužů byla pozorována výrazně vyšší celková produkce potu než u žen při obou intenzitách cvičení Obr. 1.10



Obr. 1.10 Zóny produkce potu u mužů při intenzitě cvičení I1 a I2 [12]

I přes některé rozdíly v distribuci potu vykazují ženy i muži nejvyšší produkci potu na centrální horní části zad a nejnižší produkci potu směrem ke končetinám. Nebyla pozorována žádná korelace mezi lokální kožní teplotou a produkcí potu.

1.4 Fyziologické změny při zátěži organismu

Naše tělo reaguje na určitou fyzickou zátěž změnami, které v organismu neustále probíhají. Vždy však záleží, jak je tělo trénované. Při větší trénovanosti našeho organismu jsou změny menší, než při menším zatěžování těla. Pokud je tělo pravidelně trénované, umí efektivněji reagovat na změnu zatížení. Nastavení optimální zátěže probanda je proto důležitou součástí experimentu, pro dosažení a udržení objektivních podmínek v průběhu testování [13].

Změny v organismu při zatížení:

- zvyšuje se krevní tlak a zrychluje se tepová frekvence
- ekonomické dýchání - prohloubení dechu, zlepšená pohyblivost bránice
- vyplavují se hormony nadledvin, adrenalin a noradrenalin – reakce organismu na zátěž
- tyto hormony zvyšují přeměnu živin a zajišťují nám dostatek energie do pracujících svalů
- rozšiřují se cévy, které zároveň odvádějí přebytečné teplo, a cvičenec se potí
- zvýší se aerobní výkon organismu
- posiluje se imunita



Optimální intenzita zatížení probanda

Při začínajícím pravidelném cvičení je nutné znát optimální rozpětí srdeční frekvence, ve které je vhodné se pohybovat tak, aby docházelo k pozitivním změnám v organismu. Tedy ke zvyšování tělesné kondice, případně k jejímu udržení. Stav úrovně kondice probanda se během doby může zlepšovat, ale i zhoršovat a to vzhledem k jeho zdravotnímu stavu, životním situacím, pravidelné sportovní aktivitě apod. Nejlépe to prokáže pravidelně měřená srdeční frekvence. Působení zátěže na organismus je individuální záležitostí každého probanda [13].

Obecně se doporučuje pro pohybové aktivity tato intenzita cvičení:

1. 50 – 60 % SF max. velmi lehká intenzita

Tzv. „pohyb pro zdraví“. Cílem cvičení je návrat ke zdravému životnímu stylu. Cvičení prováděná aerobně jsou v nízké intenzitě a nejedná se o zvyšování sportovní výkonnosti. Cvičení prováděná touto intenzitou mohou být prováděná až 60 minut a jsou vhodná pro cvičence, kteří delší dobu nesportovali [13].

2. 60 – 70 % SF max. lehká intenzita

Cvičení zlepšuje látkovou výměnu, proto napomáhá regulovat hmotnost. Touto intenzitou cvičení dochází k pozitivním změnám ve všech orgánech těla. Cvičení můžeme provádět se střední zátěží, cvičíme plynule. Cvičení jsou vhodná i pro obézní cvičence, protože energie se uvolňuje z tuků [13].

3. 70 – 80 % SF max. střední intenzita

Při cvičení v tomto pásmu se zlepšuje aerobní výkon a následně vytrvalost probanda. V tomto režimu dochází k optimálnímu zatěžování srdečního svalu. Cílem cvičení není redukce hmotnosti, ale vzhledem k energetickému krytí z glykogenu, dochází ke zvyšování aerobní kapacity organismu a jedná se tedy o rozvoj kondice a výkonnosti. Aerobní cvičení podporuje látkovou výměnu a aktivně působí na kardiovaskulární systém a tím zlepšuje tělesnou kondici [13].

4. 80 – 90 % SF max. vysoká intenzita

Cvičení vysokou intenzitou srdeční frekvence je pro aktivní sportovce. Při tréninku směřujícím ke sportovním výkonům se doporučuje používat sporttestery. Jedná se o trénink na anaerobní prahu, kdy je potřeba dbát na aktuální zdravotní stav cvičence [13].

Příklady výpočtů maximální srdeční frekvence:

1. Muži 220 – věk
2. Ženy 226 – věk

Určení tréninkového pásma:

Příklad výpočtu tréninkového pásma pro 31 letého cvičence.

$$220 - 31 (\text{věk}) = 189 \text{ tepů/min SF max}$$

$$189 \text{ tepů/min (SF max)} \cdot 0,7 (70\%) = 132 \text{ tepů/min.}$$

$$189 \text{ tepů/min (SF max)} \cdot 0,8 (80\%) = 151 \text{ tepů/min.}$$



Tréninkové pásmo pro tohoto 31 letého probanda je 132 až 151 tepů/min.

Při návrhu tréninkové jednotky probanda byly dodrženy tyto zásady:

- Minimální délka tréninkové jednotky 30–45 min. (Optimální délka tréninkové jednotky je 90 min, zahrnuje: 10 min. rozcvičení, 40 min. kondiční posilovací trénink, 30 min. aerobní trénink a 10 min závěrečné protažení)
- Počet tréninkových jednotek v týdnu 3–5
- Tréninkové zatížení v rozmezí 70 – 80 % SF max.

2 Transportní procesy u oděvů

Termofyziologický komfort souvisí s přenosem tepla a vlhkosti (plynné i kapalně) přes jednotlivé vrstvy oděvu. Základními parametry jsou tedy tepelný a výparný odpor. Proudění vodních par je jednou z klíčových fyzikálních vlastností dnešního funkčního oblečení, protože proudění vodních par v oděvu je zásadní pro tepelnou rovnováhu těla a pro pohodlí [15]. Cílem této kapitoly je popsat proudění vodních par v oděvním systému a jeho význam pro dosažení optimálního komfortu oděvu. Dále je stručně popsána teoretická studie výměny tepla a vlhkosti, kapalně vody s vodními parami, difuze vlhkosti do vlákna a proudění kapalně vody a par uvnitř pórů mezi vlákny ve struktuře textilie.

2.1.1 Propustnost vodních par

Propustnost vodních par daným materiálem hraje zcela zásadní roli při hodnocení fyziologického komfortu oděvních systémů při nošení nebo při určování charakteristik výkonnosti textilních materiálů používaných ve speciálních aplikacích a funkčních oděvech. Ke kondenzaci vodních par dochází, když je velikost vzduchového prostoru velmi malá – cca 2 mm. V takových případech má výparný odpor vodních par větší účinek na proudění tepla a páry než propustnost vzduchu. Textilie propouštějící páry mají relativně nižší velikost tepelného ochlazování při kondenzaci než textilie nepropouštějící páru. Jinými slovy taková textilie může udržet teplotu a množství absolutní koncentrace vodních par v mikroklimatu na nízkých hodnotách a tím i lepší fyziologické pocity vlhkosti a tepelného komfortu u osoby, která oděv nosí [16].

Účinek propustnosti vzduchu a vodních par textilie na proudění tepla a vody v systémech oděvů zkoumali Fukazawa a kol. [16] experimentálními a teoretickými modely. Numerická analýza ukazuje, že rychlost proudění tepla a vlhkosti v mikroklimatu má úzkou souvislost s propustností vzduchu u textilie. Rychlost tepelného toku v mikroklimatu pod oděvem nepropouštějícím vzduch je rychlejší než pod propustným oděvem. U částí oděvů bez propustnosti vzduchu a par je jediná dostupná cesta pro proudění vzduchu přes konstrukční otvory oděvu. To ukazuje, že propustnost systémů oděvů vůči vodním parám a jejich tepelná izolace jsou určeny nejen vlastnostmi textilie, ale také konstrukčním řešením oděvu, jako je design horních a spodních otvorů a velikost mikroklimatického vzduchového prostoru.

Wang a kol. [17] zkoumali vliv bariérových textilií na proudění tepla a vlhkosti přes systém oděvu. Propustnost vodních par – water-vapour permeability (WVP) pro vnější vrstvu byla odvozena od publikovaných experimentálních údajů a je považována za faktor ovlivňující koeficient proudění vody na vnější vrstvě k prostředí. Analýza provedená pomocí matematického modelu ukazuje proudění tepla a vlhkosti v porézních textiliích.

Li a kol. [18] provedli teoretické zkoumání spojeného mechanismu proudění tepla a difuze kapalně vlhkosti v porézních textiliích pomocí vytvořeného matematického modelu. V tomto modelu byla rovnice popisující chování difuze kapaliny začleněna do rovnic zachování energie proudění vodních par a kapalně vody. Tyto zahrnovaly difuzi par, evaporaci a sorpci vlhkosti vlákny. Z důvodu prozkoumání interakcí mezi prouděním tepla a prouděním vlhkosti byla provedena série výpočtů s proměnnými tloušťkami a porézností textilie. Experimenty byly prováděny z důvodu validace modelu pro textilie s různými stupni hygroskopicity a tloušťky. Předpovědi teplotních změn během přechodů vlhkosti byly porovnány s experimentálními měřeními a byla mezi nimi sledována dobrá shoda. Analýzy výsledků výpočtů a experimentů

ukázaly, že proces proudění tepla, který je ovlivněn tloušťkou a porézností tkaniny (obsahem vzduchu), má významný dopad na procesy transportu vlhkosti. Při zkoumání vlivu polopropustných funkčních membrán na rozdíl parciálních tlaků vodních par a na teplotu mezi dvěma vrstvami textilie bylo vidět, že membrány ovlivňovaly změny tlaku par a teploty na obou stranách membrány.

Kim [19] zjistil, že fyzikální charakteristiky membrán mají velký vliv na úroveň transportu související s komfortem včetně změn vnitřního tlaku vodních par a teploty. Složené bavlněné a polyesterové vrstvy ukazují, že membrána může negativně ovlivnit sorpci vlhkosti kompletu nejen tím, že bude blokovat vzduchové prostory pro difuzi vlhkosti, ale hlavně neefektivní ztrátou tepla z bavlněné vnitřní tkaniny pro pokračující sorpci vlhkosti. Pomocí systému z membrány a tkaniny tato studie zdůrazňuje provázanost a sorpce vlhkosti a efektů teplotní překážky při dynamickém proudění vlhkosti přes vrstvu oděvu. Hygroskopicita vlákná vrstvených textilií a fyzikální vlastnosti prodyšného bariérového filmu jsou při určování komfortu vícevrstevných funkčních oděvů za přechodných podmínek důležitější než samotná hygroskopicita membrány [20].

Pro měření parametrů proudění vodních par přes textilie se používá mnoho metod. Liší se však v efektivnosti a je těžké dát je do vzájemného vztahu. Fukuzawa a kol. [21] provedli sadu experimentů na přestup tepla a proudění vodních par přes textiliu při simulovaných výškách, tj. různých tlacích vodních par. Mezi zdrojem vodních par a okolím se objevuje značný rozdíl parciálních tlaků vodních par, takže ve vzorku dochází ke kondenzaci. Tím, že vzali v úvahu přenos tepla a přenos vodních par mezi vzorkem a okolím, odvodili nové analytické vyjádření pro rychlost kondenzace v textilních materiálech. Přestože množství kondenzace v textiliích dobře nekorelovalo s jednoduchými parametry jako je teplota nebo rozdíly parciálních tlaků vodních par, bylo dosaženo dobré shody mezi velikostí kondenzace měřené experimentálně a vypočtené.

Ren a Ruckman [22] vykonali řadu experimentů, aby zjistili, zda má kondenzace odehrávající se na vnitřním povrchu bariérových textilií nebo obsah vlhkosti v takové textilii větší efekt na rychlost proudění vodních par za použití dvou rozdílných typů bariérových textilií – porézní polyuretanové a hydrofilní vrstvené - za izotermických a neizotermických podmínek. Bylo zjištěno, že obsah vlhkosti a kondenzace mají účinky na propustnost vodních par v obou textiliích; vyšší obsah vlhkosti a větší množství kondenzace zvyšují propustnost vodních par. Rychlost propustnosti vodních par u polyuretanových vrstvených textilií byla vyšší za izotermických podmínek, zatímco rychlost proudění vodních par hydrofilních vrstvených textilií byla vyšší za neizotermických podmínek. Bylo zjištěno, že způsob, kterým obsah vlhkosti a kondenzace ovlivňují proudění vodních par, je rozdílný; účinek obsahu vlhkosti na proudění vodních par za izotermických i za neizotermických podmínek je větší než účinek kondenzace.

Rossi a kol. [23] analyzovali proudění vodních par a akumulaci vlhkosti ve vrstvách různých čtyřvrstevných kombinací při několika mírně studených teplot na potíci se paži, která simuluje termofyziologické chování paže člověka. Výsledek ukazuje, že propustnost textilních vrstev a rychlost kondenzace jsou silně závislé na vnějším klimatu a hydrofilicitě vnějších vrstev. Rozdíly v efektivním výparném odporu vodních par mezi vrstvami jsou malé při klimatu s teplotou 20 °C a relativní vlhkostí 65 %, ale se snižujícími vnějšími teplotami se zvětšují. Vytváření kondenzace je nejmenší u vrstvy s hydrofilní vrstvou na vnitřní straně. Hydrofilní vrstvy umístěné pod vnějším pláštěm obecně absorbují více vlhkosti než podobné hydrofobní vrstvy umístěné uvnitř sendvičové struktury.

Rychlost, při které jsou tyto prodyšné textilie schopny přenášet vodní páry, se nejčastěji měří za standardních podmínek pro testování textilií při 20 °C a 65 % relativní vlhkosti. Tyto testy jsou často užitečnější v předpovídání „výkonnosti“ textilie, jsou-li prováděny za 'skutečných' podmínek [24]. Proto Finn a kol. [24] studovali pracovní mechanismus přenosu vodních par přes textilie pro svrchní oděvy při čtyřech rozdílných teplotách okolí: 6, 10, 15 a 20 °C s relativní vlhkostí udržovanou konstantně na 65 %. Vliv teploty je značný a s klesající teplotou se snižuje přestup vlhkosti.

Byly provedeny také studie týkající se proudění vodních par a subjektivního sensorického vnímání člověka. Bartels a Umbach [25] zkoumali fyziologický dopad bariérových textilií na osoby, které nosí ochranný oděv. Zkoušky oděvu nošením testovanými subjekty v klimatické komoře zahrnují teploty okolí +20, 0 a -20 °C. Fyziologická funkce prodyšných materiálů byla porovnána s konstrukcemi nepropouštějícími vodní páry. Výsledky ukázaly, že konstrukce oděvů propouštějící vodní páry poskytuje lepší komfort při všech testovaných teplotách. Akumulace vlhkosti v obou prodyšných ochranných oděvech a celých systémech oděvů byla mnohem menší než v neprodyšných. Neexistuje žádná známka závislosti teploty odporu vodních par v hydrofilních membránových laminátech, ale výsledky ukazují, že zejména při teplotách okolí hluboko pod bodem mrazu takové paropropustné textilie zajišťují lepší ochranu před špatnými povětrnostními vlivy.

Fukazawa a kol. [26] vytvořili nový přístroj k měření odporů propustnosti vodních výparů textilií s a bez teplotních rozdílů zavedených na obou stranách vzorků. Odpor vůči vodním parám byl měřen pro kombinaci teploty a tlaku, které simulovaly snížení parciálních tlaků vodních par. Odpor vodních par byl malý, zatímco účinek tlaku byl významný, tj. odpor vůči vodním parám se snižoval se zvyšující se simulovanou nadmořskou výškou v důsledku zvýšení koeficientu difuze vodních par se zvyšujícím se parciálním tlakem vodních par. Objem kondenzace ve vzorku směřoval k nárůstu se zvyšujícím se tlakem vodním par. Kromě toho se odpor vůči vodním parám znatelně snižoval v důsledku zvýšené kondenzace ve vzorku. Tyto výsledky ukazují, že snížený odpor vůči vodním parám zvyšuje kondenzaci v oděvu a tak může způsobit další nepohodlí a ochlazení ve vysokých nadmořských výškách.

2.1.2 Změny fáze vlhkosti

Odpařování kapaliny pod jejím bodem varu se nazývá evaporace a dochází k ní při jakékoli teplotě, když je povrch kapaliny vystaven neomezenému prostoru. Na povrchu vody se v důsledku nepravidelného pohybu molekul vytváří mezní vrstva s teplotou rovnou teplotě povrchu vody. Jsou-li parciální tlaky vodních par mezní vrstvy vyšší než parciální tlaky vodních par okolního vzduchu kolem ní, pak je proudění molekul vodních par směřujících do mezní vrstvy menší než těch, které z ní vycházejí. Toto je mechanismus odpařování. Když se kapalná voda rozšiřuje do oblasti, kde je relativní vlhkost nižší než 100 %, dochází k odpařování; opačný proces je kondenzace. Rychlost výměny vlhka hmoty jednotkového objemu porézních textilií může být vyjádřena následovně:

$$Q_1 = \varepsilon_s h_{1 \leftrightarrow g} S_v (C_a^*(T) - C_a) \quad (2.1)$$

kde ε_s je objemová frakce plynu, $h_{1 \leftrightarrow g}$ je koeficient výměny mezi kapalnou vodou a plynem v m/s, S_v představuje specifický objem textilie v $1/m^3$, $C_a^*(T)$ je koncentrace nasycených vodních

par a je určena výhradně teplotou kapalné vody T v kg/m^3 a C_a je koncentrace vodních par v plynu v kg/m^3 . Latentní výměna energie může být vyjádřena jako:

$$L = \lambda_a(Q_1) \quad (2.2)$$

kde λ_a je evaporační teplo vody [J/kg].

2.1.3 Difuze vlhkosti do vlákna

Difúzi vlhkosti do vlákna poprvé navrhla řada autorů a může být vyjádřena jako Fickův zákon [27]:

$$\frac{\partial C_f}{\partial t} = \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \left(r D_f(w_c) \frac{\partial C_f}{\partial r} \right) \quad (2.3)$$

kde $D_f(w_c, t)$ je koeficient difuze. Je to funkce obsahu vody vláknech. C_f je koncentrace vlhkosti ve vláknech.

Mezní podmínka kolem vlákna je určena předpokladem, že koncentrace vlhkosti na povrchu vlákna je okamžitě v rovnováze s okolním vzduchem. A proto je koncentrace vlhkosti na povrchu vlákna určena relativní vlhkostí (RH) okolního vzduchu, tj.:

$$C_f(R_f) = f(RH, T) \quad (2.4)$$

kde f je nelineární funkce, která byla stanovena experimentem pro různá vlákna.

2.1.4 Tepelná jímavost textilií

Parametr tepelné jímavosti b [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{1/2} \cdot \text{K}^{-1}$] zavedený prof. Hesem charakterizuje tepelný omak a představuje množství tepla, které proteče při rozdílu teplot 1 K jednotkou plochy za jednotku času v důsledku akumulace tepla v jednotkovém objemu. Pro její výpočet platí rovnice (2.5) [6]:

$$b = \sqrt{\lambda \cdot \rho \cdot c_p} \quad (2.5)$$

Jako chladnější je pociťován ten materiál, který má větší tepelnou jímavost, tj. vyšší hodnoty tepelné jímavosti charakterizují chladnější pocit. Experimentálně bylo zjištěno, že praktické hodnoty tepelné jímavosti suchých textilií jsou v rozmezí 20-300. Nejteplejšího pocitu je dosaženo u materiálů a textilií vyrobených ze syntetických vláken PL, PP, naopak přírodní vlákna jako bavlna, len, viskóza vykazují nejchladnější omak. Který pocit je lepší závisí na osobních preferencích uživatele. Největší změnu tepelného omaku textilie způsobuje změna její vlhkosti, protože tepelná vodivost a tepelná kapacita vody je řádově vyšší než vzduchu pak tepelný omak vlhké textilie může přesahovat 1000 ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{1/2} \cdot \text{K}^{-1}$). Protože tepelná jímavost je převážně povrchovou vlastností, může být značně ovlivněna vhodnou povrchovou úpravou [6].

2.1.5 Kapilární odvod potu

Kapilární odvod potu spočívá v tom, že kapalný pot ulpívající na kůži je v přímém kontaktu s první textilní vrstvou a jejími kapilárními cestami vzlíná do její plochy všemi směry. Jedná se o tzv.

knotový efekt. Kapilární tlak ΔP , způsobující tok kapalné vlhkosti obecně od velkých pórů o efektivním poloměru R k malým pórům odpovídajícího poloměru r , je úměrný povrchovému napětí vody γ a funkci $\cos \phi$ kontaktního úhlu charakterizující smáčecí schopnosti této textilie podle rovnice (2.6) [6]:

$$\Delta P = 2\gamma[(p_r \cdot \cos \Theta_r / r) - (p_R \cdot \cos \Theta_R / R)] \quad (2.6)$$

- termín p představuje zvětšení vnitřního povrchu kapilárních kanálů.

Pro dosažení intenzivního odvodu vlhkosti, musí být struktura příze kompaktní a prostor mezi speciálně tvarovanými vlákny co nejmenší. Současně musí být adheze mezi kapalinou a vláknem dostatečně malá. Příkladem, kde adhezní síly převyšují síly kapilární jsou bavlněná a viskózní vlákna [6].

2.2 Vliv základních parametrů textilie na tepelně-izolační vlastnosti

Na tepelné vlastnosti textilií, tedy na tepelnou vodivost, tepelný odpor, teplotní vodivost, tepelnou jímavost a další parametry, má vliv celá řada vnitřních i vnějších vlivů. Mezi ně patří např. jemnost vláken, jejich hustota a parametry, vlhkost, druh vazby a také druh vláken. Dále jsou tepelné vlastnosti ovlivněny tloušťkou textilie, teplotou okolí, obsahem vzduchu v textilii, povrchovou úpravou materiálu, strukturou textilie, zaplněním, stlačitelností, prodyšností, technologií zpracování a dalšími faktory. Stručný popis jejich vlivu je uveden níže.

Přítomnost vzduchu v textilii

Textilie mohou mít velmi rozdílné tepelně-izolační vlastnosti. V tepelné vodivosti vláken nejsou příliš velké rozdíly, větší význam má samotná struktura textilie, zejména přítomnost vzduchu v textilii. Pokud je vzduch v textilii uzavřen a nemůže proudit, je velmi dobrým tepelným izolantem. Množství a rozdělení vzduchu v textilním materiálu je tedy hlavní podmínkou dobrých izolačních vlastností oděvu.

Jemnost vláken

Tepelně-izolační vlastnosti textilního materiálu jsou také ovlivňovány *jemností, délkou a zkadeřením* vláken. Použití jemných a zkadeřených vláken umožňuje získat velký počet uzavřených pórů naplněných *vzduchem*. Hodnota koeficientu tepelné vodivosti potom leží mezi vodivostí základního materiálu a vzduchu. Do jaké míry se přibližuje té které hranici, závisí na poměru vláknenného materiálu a vzduchu. Tepelná vodivost však závisí také na velikosti vzduchových komůrek. V drobných vzduchových komůrkách se teplo přenáší převážně *vedením*, zatímco ve větších k tomuto přenosu přistupuje i přenos *prouděním* [28].

Vliv struktury textilie a jejího stlačení

Použití jemných vláken sice zvyšuje objem vzduchu uzavřeného v mezivláknenném prostoru, ale na druhé straně textilie složená z jemných vláken je méně odolná proti stlačení. Stlačitelnost je z hlediska tepelně-izolačních vlastností nežádoucí vlastností. Použití hrubých vláken zase omezuje stlačitelnost, ale zvyšuje prodyšnost textilie, čímž umožňuje přenos tepla prouděním, což výrazně zhoršuje tepelně-izolační vlastnosti textilie. Z toho důvodu je vždy nutné zajistit optimální složení vláknenné směsi s ohledem na její izolační schopnost a stlačitelnost.

V této souvislosti je vhodné zmínit kožešiny. Ty, jak známo, mají velmi dobré tepelně-izolační vlastnosti. Za hlavního nositele těchto vlastností je považována *podšada*, tedy kratší, zkadeřená, velmi jemná a hustá vrstva chlupů. Na druhé straně *pesíky*, které se vyznačují značnou délkou, tloušťkou a menší hustotou, tvoří kostru mechanické pružnosti kožešiny a brání jejímu zplstění nebo slehnutí. Tím se také významně podílí na tepelné izolaci [29].

Vliv prostorové orientace vláken

Tepelný tok, který je paralelní s orientací převážné většiny vláken, způsobuje vyšší tepelnou vodivost textilie než tepelný tok na vlákna kolmý. Je to způsobeno tím, že při toku tepla souběžně s orientací vláken, tyto vytvoří souvislou vodivou vrstvu, zatímco při toku tepla kolmého k uložení vláken je tato vodivá vrstva přerušována vzduchovými mezerami. Stlačování textilie může ovlivnit prostorovou orientaci vláken v textili [29].

Vliv vlhkosti v textili

Voda je řádově lepším vodičem tepla než vzduch nebo textilní materiály. Přítomnost vody v textilním materiálu výrazně ovlivňuje tepelně-izolační vlastnosti textilie. V této souvislosti je tedy tepelná vodivost textilie ovlivněna:

a) Navlhavostí vláken

Navlhavost vláken textilie je jednou z vlastností ovlivňující celkové množství vody v textilním materiálu. Vlhkostní přírážka (v_p) dle ČSN 80 0009 je uvedena v Tab. 2 [30].

Tab. 2 Vlhkostní přírážky textilních vláken [30]

Vlákno	v_p [%]
bavlna	8.5
len	12
konopí	12
juta	13.75
vlna	15-18.25
přírodní hedvábí	11
viskóza	13
PA 6	6.25 stříž
PES	1.5 stříž
PAN	2

Přírodní vlákna jsou charakterizována větší navlhavostí než vlákna syntetická. Tepelně-izolační vlastnosti textilií z přírodních vláken tak budou více závislé na okolní vlhkosti. Významným faktorem může být i rychlost absorpce vlhkosti do vláken. Např. Iněné materiály absorbují vodu rychleji, zatímco bavlněné a vlněné pomaleji. Rychlé pohlcování vlhkosti materiálem je žádoucí pro vnitřní vrstvy oděvu, které tak pomáhají zachovávat příznivé mikroklima pod oděvem. Zvlhčení této vrstvy také vede ke zvýšení její tepelné vodivosti, což napomáhá snížení teploty pod oděvem a k ochlazení těla [6].



b) přítomností tekutiny v mezivlákněm prostoru

Kromě vlhkosti ve vláknech může být přítomná také voda, pot, eventuálně jiná tekutina v textilním materiálu ve formě kapiček v mezivlákněm prostoru. Množství tekutiny v mezivlákněm prostoru závisí na adhezi tekutiny k vlákněmu materiálu, objemu mezivlákněho prostoru a struktuře textilie. Čím hustší a tlustší bude textilie, tím bude vodu pomaleji nasávat, ale i vydávat.

c) absolutní vlhkostí vzduchu

Dalším aspektem ovlivňujícím navlhavost textilie je absolutní vlhkost vzduchu neboli množství vodní páry aktuálně přítomné ve vzduchu. S množstvím vodní páry ve vzduchu přímo souvisí teplota vzduchu, protože schopnost vzduchu přijímat vodní páru je závislá právě na jeho teplotě. Například při teplotě -15 °C pojme vzduch maximálně 1 g vodní páry na 1 kg suchého vzduchu (při 100 % relativní vlhkosti RH), zatímco při teplotě $+25\text{ °C}$ pojme až 20 g vodní páry na 1 kg suchého vzduchu (při 100 % RH) [28]. Tzn., že čím bude vyšší absolutní vlhkost vzduchu, tím více vodní páry může do textilie proniknout.

d) relativní vlhkosti vzduchu (RH)

Relativní vlhkost vzduchu neovlivňuje ani tak navlhavost textilie jako spíše její vysychání. Tady je asi nejdůležitější okamžik, kdy se RH blíží 100 %, pak již textilie není schopna vlhkost vydávat do okolí a tím schnout.

e) tvorbou potu

Tvorba potu je analogií absolutní vlhkosti okolního vzduchu, s tím rozdílem, že neovlivňuje textilii z vnější strany, ale ze strany vnitřní. Čím intenzivnější bude tvorba potu, tím větší bude vlhkost mikroklimatu, tzn. prostoru mezi oděvem a lidskou pokožkou. Množství vyloučeného potu u člověka závisí zejména na úrovni fyzické zátěže, klimatických podmínkách a vhodnosti oděvu v těchto podmínkách, problematika tvorby potu je podrobně rozebrána výše v Kap. 1.2 a Kap. 1.3.

Vliv prodyšnosti vzduchu

Prodyšnost vzduchu má na tepelně-izolační vlastnosti textilií významný vliv. Prodyšné materiály mají ve své struktuře velký objem vzduchu, který však může volně proudit. Tím se stávají izolační vlastnosti vzduchu zcela zanedbatelné, neboť tento vzduch přenáší teplo převážně prouděním. Prodyšná textilie má tedy špatné izolační vlastnosti. Navlhne-li taková textilie, měla by dále svoje izolační vlastnosti zhoršit. Ovšem s růstem vlhkosti se prodyšnost textilie snižuje. Snížení se vysvětluje zaplněním pórů vodou a nabobtnáním vláken, které tak brání průchodu vzduchu materiálem. Je tedy zřejmé, že dvě vlastnosti mající způsobit zhoršení tepelně-izolačních vlastností textilie tak vlastně působí částečně proti sobě. Záleží potom, která z těchto vlastností bude mít na výsledné izolační vlastnosti větší vliv.

Vliv zaplnění a objemové hmotnosti na tepelnou vodivost textilie

Zaplnění textilie μ [-] je obecně definováno jako poměr objemu nitě k celkovému objemu textilie, neboli podíl textilií na mezivlákněm prostoru. Zaplnění textilie leží v intervalu $\langle 0;1 \rangle$.

Objemová hmotnost textilie neboli hustota pro pórovité materiály, je poměr hmotnosti textilie k objemu textilie. Každá textilie, která je složená ze základního materiálu a mezivlákněných vzduchových prostor, má hodnotu tepelné vodivosti pohybující se v rozmezí tepelné vodivosti

vzduchu a pevného materiálu. Tato hodnota závisí na počtu, tvaru a velikosti vzduchových pórů a tím na uložení vláken v prostoru. Je tedy snadno ovlivnitelná parametry vláken a technologií zpracování. Použití krátkých, jemných a zkadeřených vláken vede k velkému počtu vzduchových komůrek, kde je vzduch v podstatě uzavřen. Proto se teplo přenáší pouze vedením a sáláním a hodnota tepelné vodivosti je nízká. V případě větších vzduchových komůrek je teplo přenášeno především prouděním, čímž je větší tepelný tok i tepelná vodivost. Souhrnem lze říci, že s rostoucí hodnotou zaplnění i objemové hmotnosti roste hodnota tepelné vodivosti. Důvodem je větší obsah procenta vláken než vzduchu. [29]

Vliv textilních vláken na tepelnou vodivost

Textilní vlákna mají rovněž vliv na tepelně-izolační vlastnosti oděvu. V následující tabulce viz Tab. 3 jsou uvedené součinitele tepelné vodivosti a měrná tepelná kapacita syntetických vláken.

Tab. 3 Tepelná vodivost textilních vláken pro amorfní polymery

Polymer	λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]	C_p 10^3 [$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]
PP	0.172	2.14
PVC	0.168	0.96
PL	0.218	1.13
Elastan	0.147	1.70

2.2.1 Obecné vlastnosti textilních vláken

Bavlna

Jedná se o přírodní rostlinné vlákno. Je dobře navlhavé, navlhavost při 65 % vlhkosti vzduchu je 7,5 %, ve vysoké vlhkosti vzduchu (RH 95 %) přijímá 25 % vody. Při navlhání bobtná. Uvolňuje jen malé množství sorpčního tepla. Omak je měkký, málo pružný. Může se vyvařovat a žehlit při vysokých teplotách (180 °C).

Vlna

Vlákno živočišného původu, dobře navlhavé, při normálních podmínkách přijímá 18 % vody a při vysoké vlhkosti vzduchu pojme 45 % vody. Při navlhání uvolňuje značné množství sorpčního tepla. Za vlhka a tepla plstí. Omak je teplý, měkký a pružný. Je nutno prát při 40 °C a žehlit při teplotách do 100 °C za vlhka.

Polyester

Vlákno syntetické. Má velmi malou navlhavost (jen asi 0,3 %). Navlhavost lze zvýšit úpravami a modifikovanými průřezy vláken. Nabíjí se elektrostatickým nábojem, což je nepříjemné z důvodu špinivosti. Má pružný omak. Praní se doporučuje při 60 °C, žehlení do 130 °C, ve směsích je možno teplotu žehlení zvýšit.

Polypropylén

Jedná se o vlákno syntetické. Je hydrofobní (nenavlhuje), ale zároveň oleofilní (váže oleje a tuky). Z toho důvodu váže také tukové složky potu, které se nesnadno odstraňují práním. Modifikovanými průřezy vláken lze využít kapilární efekt a zvýšit odvod vodních par a potu od těla. Má voskovitý omak. Praní se doporučuje při 40 °C, žehlení do 130 °C.

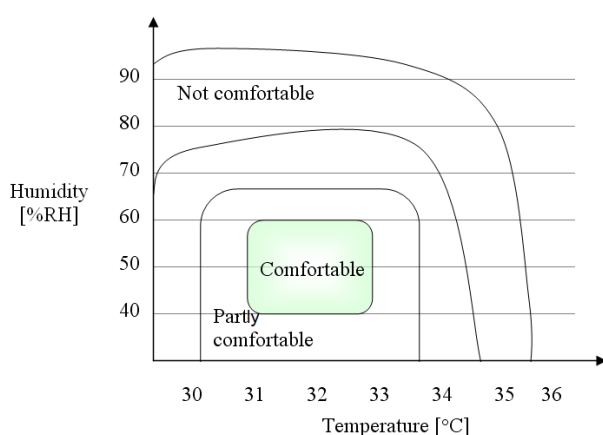
3 Možnosti hodnocení fyziologického komfortu

Komfort přímo souvisí s fyziologickými procesy v našem těle. Do určité míry je to dar přírody. Umožňuje nám poznat náš fyziologický stav, aby se zabránilo fyziologicky nepříznivým situacím při aktivním pohybu tj. přehřátí nebo podchlazení.

Termofyziologický komfort je založen na principu zachování energie. Všechny energie vyrobené v těle metabolismem M musí být rozptýleny v přesně stejném množství od těla (Mecheels a Umbach, 1977; Mecheels, 1998):

$$M - P_{ex} = H_{res} + H_c + H_e + \frac{\Delta S}{\Delta t} \quad (3.1)$$

kde P_{ex} je externí práce, H_{res} tepelné ztráty vzniklé dýcháním, H_c tepelný tok zahrnující záření, vedení a proudění, a v neposlední řadě odpařovací tepelný tok H_e způsobený pocením. Je-li více vyrobené energie než rozptýlené, tělo trpí hypertermií. Na druhé straně, příliš vysoké tepelné ztráty vedou k podchlazení. Oba stavy vedou ke změně tělesné energie. S může být buď pozitivní (vedoucí k hypertermii) nebo negativní (hypotermie) a nula je pro ustálený stav. Oblast pocitů fyziologického komfortu je bohužel velmi malá a lze ji poměrně obtížně udržet Obr. 3.1.



Komfortní stav:

Teplota: $32 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$

Rel. vlhkost: $50 \pm 10 \%$

Proud. vzduchu: $25 \pm 15 \text{ cm/s}$

Nekomfortní stav:

kontinuální pocení -

teplota $> 33 \text{ }^\circ\text{C}$

rel. vlhkost $\geq 80 \%$

Obr. 3.1 Oblast oděvního fyziologického komfortu [3]

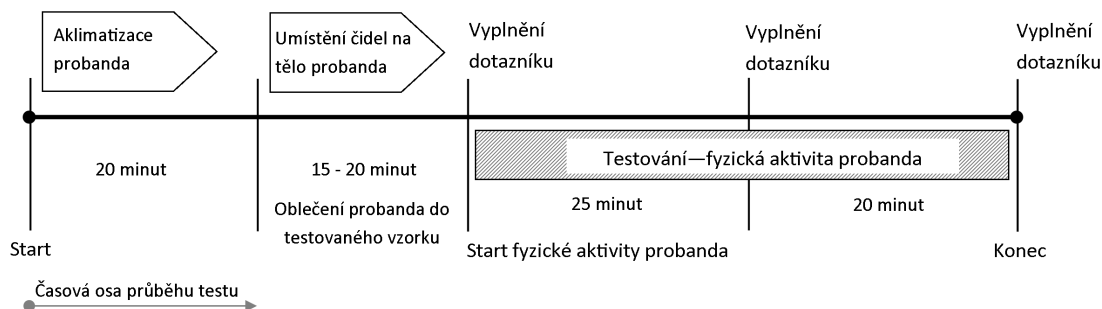
3.1 Hodnocení komfortu uživatelem

Vzhledem k tomu, že komfort přímo souvisí s fyziologickým procesem, je možné ho změřit kvantitativně. Důležitý způsob, jak změřit komfort, je provést studie s probandy. Ty mohou být provedeny buď za skutečných podmínek – při použití oděvu v reálných podmínkách nebo za kontrolovaných klimatických podmínek a činnosti v laboratoři. Měření za kontrolovaných podmínek má velké výhody. Zkušební podmínky jsou reprodukovatelné a sondy mohou být připojeny k tělu subjektu s cílem získat objektivní data. Tyto údaje mohou zahrnovat srdeční frekvenci (EKG pomocí elektrod), teplotu pokožky na různých místech, teplotu a vlhkost mikroklimatu v různých polohách, ztrátu hmotnosti zkušební osoby – probanda, přibývání na váze oděvu apod. Obr. 3.2 ukazuje, jak je taková zkouška prováděna. Reálné podmínky testování s možností monitorování vybraných veličin dávají nové možnosti pro hodnocení oděvního komfortu.



Obr. 3.2 Ukázka procesu testování první vrstvy oděvu s probandem v klimatizované laboratoři

U laboratorních testů proband musí být aklimatizován na klimatické podmínky a uveden v aktivní činnost v předběžném testu. Dodržet všechny zásady a podmínky pro objektivní testování je náročné a proto zkoušky prováděné s lidskými subjekty jsou časově a finančně náročné. Ideový návrh průběhu a postupu u tohoto typu testu je ilustrován na časové ose viz Obr. 3.3.



Obr. 3.3 Ilustrace postupu experimentu na časové ose průběhu testu (vzor dotazníku je v příloze 2)

3.1.1 Subjektivní vnímání pocitu oděvního diskomfortu probandem

Subjektivní vnímání oděvního komfortu je důležitou součástí celkového hodnocení oděvu, protože může dopředu rozhodnout o výkonu sportovce. Jeho rozdílné vnímání u jednotlivců je dáno „od přírody“ a také kulturní odlišností. Významnou roli ve vnímání komfortu, jak je uváděno v různých studiích, hraje také psychika, očekávání a úroveň stresu jedince. Například podle neuropsychologa Michaela Lynche, regulaci vnitřní tělesné teploty řízenou hypotalamem může také znatelně ovlivnit hladina stresu. Nervový systém pak pracuje na vyšší obrátky než obvykle, což má za následek rychlejší přísun krve k tělesným orgánům a následné zvýšení teploty těla [31].

3.2 Objektivní možnosti hodnocení oděvního komfortu

Pro objektivní hodnocení komfortu oděvů bylo navrženo množství přístrojů, které se ale většinou soustředí jenom na hodnocení jednotlivých materiálových parametrů, jako jsou například tepelná vodivost, výparný odpor, prodyšnost vzduchu atd. za standardizovaných podmínek, které ale ne vždy odpovídají reálnému prostředí a podmínkám, v kterých se oděv používá. Pro zlepšení a sofistikovanější hodnocení oděvního komfortu se v současné době začínají ve větším měřítku používat torza těl, nebo celého člověka (Sweating Thermal Manikin). Umožňují simulaci nejenom prostupu tepla, ale také vlhkosti přes textilní materiál v podmínkách přibližujícím se reálnému prostředí použití. Pokročilejší systémy již umožňují simulovat také jednoduché pohyby.

Vybrané nejběžnější metody hodnocení textilií, použité také v rámci řešení této disertační práce a popis těchto přístrojů jsou podrobněji uvedeny v příloze 3.

Přístroje na hodnocení vybraných fyziologických veličin.

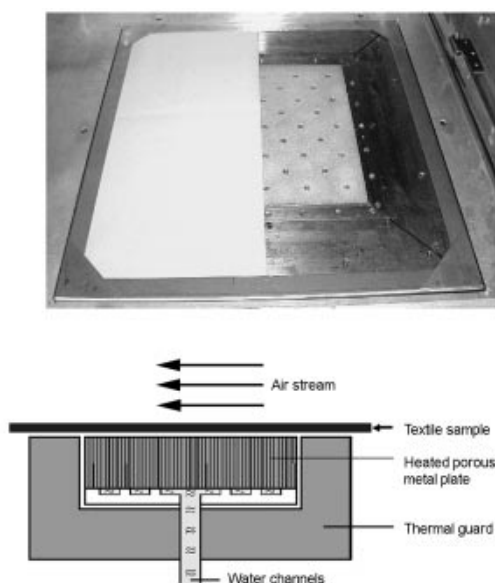
Přístroj SGHP - skin model je důležitá laboratorní zkušební metoda, která splňuje kritérium korelace naměřených dat a pocitů uživatele. Skin model je termoregulační model lidské kůže. Testuje termofyziologický komfort textilních materiálů. Skin model je mezinárodně standardizován (ISO 1092, EN 31092).

Schematický náčrt skin modelu je uveden níže viz Obr. 3.4. Měřicí jednotka je vyrobená ze slinuté nerezové oceli. Voda, která je dodávána kanály pod měřicí jednotkou, se může odpařit přes četné póry desky stejně jako pot z pórů kůže. Navíc je měřicí jednotka uchovávána při teplotě 35°C a potažena celofánem umožňujícím transport pouze vodních par. Tak je transport tepla a vlhkosti srovnatelný s póry lidské kůže. Skin model může také simulovat různé situace. Normální situace nošení jsou charakterizovány nepozorovatelným pocením, tj. nositel nepozná transport potu ve formě vodních par. Přesto je přes polopropustnou membránu kůže vypařeno nejméně 30 gramů vodní páry za hodinu. Součinitel tepelné odolnosti R_{ct} a součinitel R_{et} (součinitel odolnosti vůči vodním parám) vrstev textilií jsou zvláště důležité pro pocit komfortu oděvů při normálním nošení [32].

Jestliže jsou textilie identicky zkonstruovány, silnější textilní vrstva má vždy vyšší (a tak horší) součinitel odolnosti vůči vodním parám R_{et} . Aby se mohla vzít v úvahu vyšší tepelná izolace, je poměr (3.2) [32].

$$I_{mt} = 60 \cdot \frac{R_{ct}}{R_{et}} \quad (3.2)$$

Index propustnosti vodních par, který je měřítkem prodyšnosti s ohledem na tepelnou izolaci textilie.



Obr. 3.4 Principiální schéma Skin modelu dle ISO 11092 nebo EN 31092 [32]

Při běžném užívání oděvů je absorpce vodní páry v oděvu normální součástí nošení. Při silnějším pocení, např. při chůzi po schodech nahoru, si nositel uvědomuje, že se začal potit, ale není ještě mokry od potu. V těchto situacích kůže produkuje odpařované impulsy potu, které lze simulovat Skin modelem pomocí měření kapacity „vyrovnávací paměti“ vůči odpařovanému potu. Reálné fotografie Skin modelu umístěného v klimatické komoře, spolu s dalšími údaji jsou uvedeny v příloze 3.

Hodnocení sensorického komfortu textilií

Také sensorický komfort textilií lze zkoušet speciálními laboratorními přístroji. Je možno měřit index povrchu, který charakterizuje textilní povrch jako drsný nebo „chlupatý“. Pokud je povrch textilie příliš hladký (plochý), ve styku se zpotenou pokožkou přilne. Pokud má příliš mnoho tuhých konců vláken, textilie na kůži škrábe. Proto je zapotřebí najít dobrý kompromis. Omak a sensorický komfort lze objektivně měřit pomocí přístrojů KES. Podrobnosti jsou uvedeny v příloze 3.

3.3 Význam materiálového složení na oděvní komfort

Aplikace elastických vláken na pružné pleteniny pro funkční oděvní vrstvy (zejména první, přicházející do styku s pokožkou uživatele) trvale roste. Elastické textilie mohou zdokonalit volnost pohybu v oděvu. Pružnost zvětší ergonomický komfort.

Nicméně použití elastických přízí může také způsobovat problémy: elastická vlákna jsou nenavlhavá a odpuzují vodu, to znamená, že nemohou pohlcovat vlhkost do své vnitřní struktury ani nesmáčí kapalný pot (Umbach, 1993b, 2001). Tato skutečnost redukuje termofyziologický komfort. Navíc jsou elastické příze velmi hladké (ploché), což zhoršuje sensorický komfort.

Spotřebitelé očekávají od elastických textilií více pohodlí než u ostatních struktur. Hohenstein Institutes prováděl výzkumné práce týkající se termofyziologického a sensorického komfortu pro elastické textilie. Především byly zkoumány různé elastické úplety pro sportovní aplikace. Během výzkumu bylo zjištěno, že mnoho dnes používaných obyčejných úpletů elastické konstrukce může být problematických s ohledem na jejich fyziologické vlastnosti. Někteří výrobci

předpokládají, že použití mikrovláken a elastických vláken by mělo automaticky vést k produkci vhodné plošné textilie pro sportovní oděvy. Ale pouze použití těchto vláken v konstrukci pleteniny obvykle vede k velmi hladkému, plochému a nestrukturovanému povrchu. Toto způsobí v některých případech jen malý sensorický komfort.

Obecně je nutné poukázat na to, že pro komfort nejsou důležité jednotlivé parametry jako např. použití mikrovláken, ale naopak všechny fyziologicky důležité parametry musí být přizpůsobeny předpokládanému použití (např. funkční oděv) za účelem dosažení co nejlepšího komfortu.

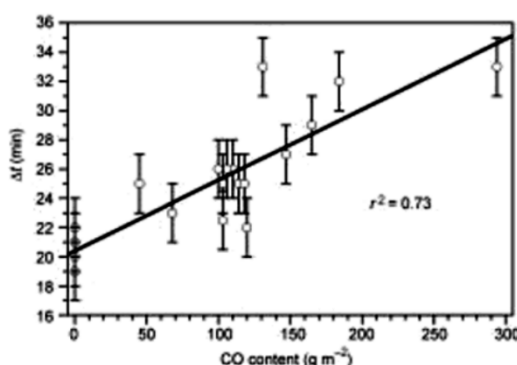
Komfort oděvů velmi úzce souvisí s materiálovým složením:

- hydrofilní přírodní vlákna jako bavlna nebo regenerovaná vlákna jako viskóza, modalová nebo lyocelová vlákna, nebo
- hydrofobní umělá vlákna jako polyester, polyamid nebo polypropylen

Někteří výrobci preferují přírodní materiály jako je bavlna. Bavlna má vynikající vlastnosti pro každodenní oděv nošený v normální situaci s omezeným množstvím transportu potu. V těchto situacích může bavlna vyrovnávat menší podněty transportu potu v obou formách (pára, kapalina), z toho důvodu drží mikroklima suché a příjemnější.

Ale na poli funkčních oděvů a textilního zboží, které je vystavováno vysokému množství kapalného potu po dlouhý časový úsek, je bavlna pouze doporučena na vnější stranu dvouvrstvého materiálu a v kombinaci se syntetickou vnitřní stranou k pokožce.

Jestliže je bavlna (nebo regenerovaná vlákna jako viskóza) používána jako jediný nebo hlavní materiálový komponent, textilie rychle nasákne vlhkostí a stane se rychle mokrou, přiléhající nepříjemně na tělo. Hydrofilní vlákna též vedou k odlišným fyziologickým problémům prodlužujícím dobu sušení. Jak ilustruje Obr. 3.5 s rostoucím obsahem bavlny doba sušení Δt roste. Jestli se Δt stane příliš dlouhá, po zátěži je nevyhnutelné ochlazení. Potem mokré triko ztrácí svou tepelnou izolaci. Krátká doba sušení je tak jedním z hlavních nezbytných předpokladů pro dobrý komfort funkčních oděvů [33].



Obr. 3.5 Doba sušení Δt jako funkce obsahu bavlny v elastických, pletených sportovních textiliích (Bartels, 2003b) [33]

Parametrů ovlivňujících a týkajících se komfortu oděvů je mnohem víc než jen materiálové složení, zejména tvar vláken, konstrukce textilie, plošná hmotnost, finální úpravy atd. Důležitá je např. struktura povrchu plošné textilie. Bylo prokázáno, že pletené struktury mnoha současných elastických sportovních textilií jsou fyziologicky sporné. Použití přízí z chemického hedvábí,

zejména nejen pro elasticitu, ale také pro směsování vláken, často vede k příliš hladkému a plochému povrchu textilie, který je v kontaktu s pokožkou. Tyto typově „fóliové textilie“ mají příliš mnoho kontaktních bodů s kůží. Takový povrch je příliš hladký a drží se mokré zpotené pokožky.

Finální úpravy textilií

Finální úpravy textilií podstatně ovlivňují komfort (Umbach, 1988). Některé z těchto úprav pracují se změkčovadly nebo pryskyřicemi. Můžou být hydrofobní, tj. vodu odpuzující. Z fyziologického hlediska to je nevhodné, protože nejen voda, ale také pot je odpuzován hydrofobní textilií. Textilie nevede pot od pokožky nebo ho nedopraví do vnějšku textilie. Pot pak zůstává u kůže. Vlhká kůže může být podrážděna mnohem snadněji než suchá kůže. Z těchto důvodů by měla být preferována hydrofilní, tj. vodu přijímající, úprava.

3.4 Užitná hodnota textilií

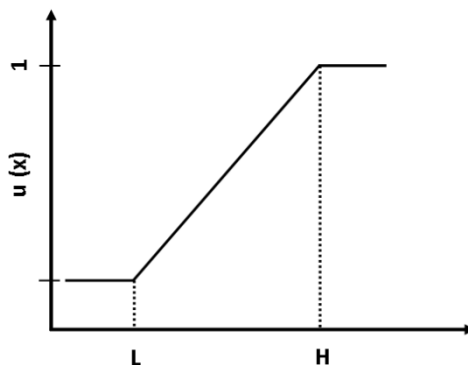
Vlastnost výrobku, která je schopna působit na psychiku uživatele, je schopna vyvolat reakci subjektivního hodnocení, se nazývá vlastností užitnou. Pro daný účel se ve funkci užitných vlastností projevuje vždy určitý počet vlastností výrobku, např. prodyšnost vzduchu, tepelný a výparný odpor atd., které nemají vliv na subjektivní hodnocení uživatelem u dekoračních textilií, zatímco pro pracovní a sportovní oděvy se stávají vlastností užitnou. V případě, že užitná vlastnost je vnímaná samostatně, vstupuje do hodnocení a stává se přímo určující vlastností. Výběr užitných vlastností pro daný účel a způsob použití je problémem poměrně jednoduchým. Z množiny vlastností oděvu X je možno na základě všeobecných zkušeností určit, které z těchto vlastností jsou vnímány uživatelem ve funkci užitných vlastností. Složitým problémem zůstává pak otázka výběru určujících vlastností [34].

Objektivní vyjádření a výpočet užitných vlastností textilií, jejich vzájemných relací v závislosti na struktuře a materiálových vlastnostech textilie je nezbytný pro celkové hodnocení oděvního komfortu. Existují určité znaky jakosti textilií, které jsou vyjádřené tzv. užitnými vlastnostmi. Některé tyto užité vlastnosti mají pro oděvní výrobek jen malý význam, ale některé mají zcela zásadní význam pro hodnocení výrobku [35].

3.4.1 Transformace určujících vlastností

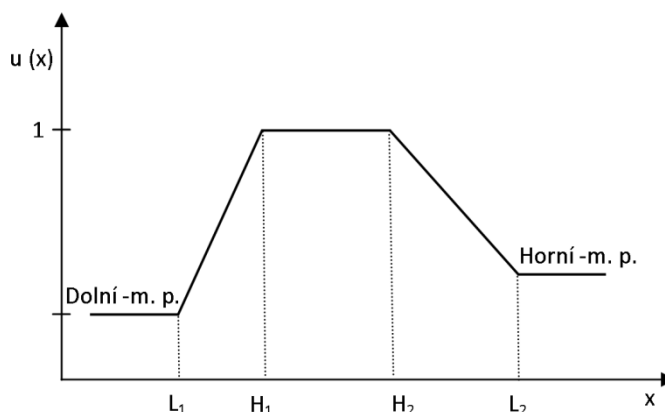
Základním problémem teorie užitných vlastností je transformace veličin různého fyzikálního významu a rozměru na souměřitelné veličiny psychometrického významu, tak jak je vnímá uživatel oděvu. Uživatel vnímá danou hodnotu užité vlastnosti textilie jen v určitém rozsahu (mezích) a klesne-li tato hodnota pod mez morální i fyzické únosnosti, je vlastnost globálně hodnocena jako nevyhovující, stoupne-li tato hodnota na mez optimálního vjemu, tj. uživatel není schopen posoudit, je-li „lepší či horší“, bude globálně hodnocena jako plně vyhovující. Pouze v tomto intervalu mezi oběma mezemi je tedy možné posuzovat metriku vnímání, tj. posuzovat míru psychického hodnocení této určující vlastnosti uživatelem. Z této úvahy pak lze také vycházet, s přihlédnutím k účelu a způsobu použití, při stanovení mezí transformace [34].

Určení mezí určujících vlastností je nutným krokem pro jejich transformaci na souměřitelnou veličinu, použitelnou pro vyjádření míry vjemu uživatele pomocí normované užité vlastnosti. Normovaná užitná vlastnost (normovaný index vlastnosti) je bezrozměrná veličina a může se pohybovat v intervalu $<0;1>$. Protože nelze předpokládat jiný průběh než lineární, lze průběh znázornit podle schématu viz Obr. 3.6.



Obr. 3.6 Jednoduchá transformace na dílčí normovanou užitnou vlastnost

Takto znázorněná „schodová funkce“ představuje typický průběh závislosti normované určující vlastnosti na hodnotě užité vlastnosti. Pro regresivní průběh vlastnosti a pro inflexní průběhy je třeba průběh funkce upravit. Poměrně složitý problém vyvstává při stanovení minimálních hodnot normovaných určujících vlastností pro jednotlivé účely a způsoby použití. Další typ transformační funkce je znázorněn na Obr. 3.7.



Obr. 3.7 Oboustranně omezená transformace určující vlastnosti

L_1, L_2 – dolní limity

H_1, H_2 – horní limity

Dolní -m.p. – dolní mez použitelnosti výrobku z hlediska vlastnosti x

Horní -m.p. – horní mez použitelnosti výrobku z hlediska vlastnosti x

Tento typ transformace platí pro určující vlastnosti, dosahující oboustranně omezeného optima pro určující vlastnosti. Meze transformace určujících vlastností se stanovují týmem odborníků, na základě platných norem, nebo na základě reprezentativního psychoanketárního průzkumu [34].

3.4.2 Stanovení koeficientu významnosti

Uživatel nevnímá všechny projevy vlastností textilie stejným způsobem, stejnou mírou. Míra vnímání je závislá na kulturní, životní zkušenosti a způsobu použití oděvu. Parametr váhy k pak udává přísnost posuzování vzhledem k celkovým požadavkům kladeným na oděv.

Koeficient významnosti pro jednotlivé určující vlastnosti a pro daný účel a způsob použití je možné stanovit na základě psychoanketárního průzkumu podle jednotné metodiky [34].

3.4.3 Specifikace parametrů plošných textilií podle konečného užití

V rámci řešení dílčího úkolu projektu TERMOTEX na FT-KOD byla rozpracována problematika specifikace parametrů plošných textilií podle konečného užití. Vybrané relevantní výsledky pro tuto práci jsou uvedeny níže v této kapitole.¹

Vybrané kategorie textilního sortimentu byly rozděleny dle účelu a způsobu použití.

Textilie pro užití v přímém celoplošném kontaktu s lidským tělem

- Prádlovky normální
- Prádlovky tepelně izolační
- Trenýrkoviny
- Pyžamoviny

Postup řešení

Řešení bylo realizováno v následující posloupnosti, kde byly stanoveny:

- užité vlastnosti, které jsou určující pro daný účel a způsob konečného užití
- objektivní a subjektivní normované metody laboratorního hodnocení včetně odpovídajících měrných jednotek
- intervaly doporučených hodnot jednotlivých vlastností
- hodnoty koeficientů významnosti pro jednotlivé užité vlastnosti na základě reprezentativního psychologického anketárního průzkumu [34].

Výsledek řešení viz Tab. 4 (výsledná tabulka pro námi sledovanou oblast) je prezentována prostřednictvím tabulky s komentovaným závěrem k jednotlivým vybraným určujícím vlastnostem.

3.4.4 Specifikace parametrů pro plošné textilie v kategorii prádlovky normální.

Tyto plošné textilie jsou používány v přímém kontaktu s lidským organismem ve funkci první vrstvy oblečení. Pro tuto vrstvu jsou důležité vlastnosti, které jsou schopny uživateli zprostředkovat vjem komfortu při nošení. Jsou to určující užité vlastnosti v pořadí 8, 9, 10, 11, 12, 13 viz Tab. 4.

Užité vlastnosti 2, 3, 4 jsou nositelé trvanlivostních charakteristik oblečení.

Vlastnosti 5, 6, 7 přinášejí spotřebiteli pocit dobrého či špatného vzhledu výrobku. Tyto mohou být rovněž považovány za trvanlivostní v důsledku morálního opotřebení, kdy velká změna rozměrů může vést k odložení výrobku, stejně tak jako velká žmolovitost, nebo nedostatečné stálosti vybarvení v praní, potu a otěru.

¹ Citace z řešení dílčího úkolu projektu TERMOTEX, FT-KOD.



Tab. 4 Specifikace užitečných vlastností a koeficientu významnosti prádlovek

PARAMETRY UŽITNÝCH VLASTNOSTÍ PLOŠNÝCH TEXTILIÍ						
Účel použití: Celoplošný přímý kontakt s lidským organismem						
Způsob použití: Prádlovky normální						
				Interval doporučených hodnot		Koeficient významnosti
	Určující užitečná vlastnost	Rozměr	Měřicí metoda	min	max	c
1	Plošná hmotnost	g/m ²	ČSN EN ISO12127	80	120	0.981
2	Pevnost za mokra	N	ČSN EN ISO13934-1	100	300	0.932
3	Tažnost za sucha	%	ČSN EN ISO13934-1	15	35	1.185
4	Oděr-Accelerator-300s	%	ČSN 800833	5	8	0.852
5	Žmolkovitost	etalon	ČSN EN ISO12945-2	3	5	1.006
6	Změna rozměrů-5.praní	%	ČSN EN ISO 3077	1	3	1.466
7	Stálosti vybarvení	etalon	ČSN EN ISO 105.....	3	5	1.275
8	Odolnost k vod. parám-R _{et}	Pa m ² /W	ČSN EN 31092	2	6	0.828
9	Tepelná odolnost-R _{ct}	m ² K/W	ČSN EN 31092	0.02	0.04	0.826
10	Prodyšnost	mm/s	ČSN EN ISO 9237	100	400	0.792
11	Savost vzlínáním	mm	ČSN 800828	30	80	1.438
12	Transport vlhkosti MMT Jednosměrný transport vlhkosti Celkové vedení vlhkosti Poměr zavlhčení líc/rub	Stupeň	AATCC 195	3.5 3.5 1	5 5 >1	1.438
13	Objektivního hodnocení omaku (THV) KAWABATA SYSTÉM	Stupeň	IP KOD 01-2004	3	5	0.980

3.4.5 Závěr - specifikace užitečných vlastností

Pro vybranou kategorii plošných textilií byly stanoveny užitečné vlastnosti, které jsou určující pro vybraný účel a způsob konečného užití výrobku. Těmto vlastnostem byly přiřazeny objektivní metody jejich laboratorního stanovení, odpovídající měrné fyzikální jednotky a určení intervalu doporučených hodnot. Byly stanoveny koeficienty významnosti jednotlivých vlastností, které popisují jejich důležitost v souboru vlastností v závislosti na účelu a způsobu užití textilie či výrobku.

Výsledkem je výše uvedená tabulka, která může být pomocným nástrojem pro stanovení technické úrovně výrobku a řízení jakosti zboží. Tyto mohou sloužit jako optimalizační kritérium pro průběžné hodnocení nových textilií a pro predikci jejich užitečné hodnoty, která je měřítkem jakosti výrobku.

Pro provedení specifikace parametrů užitečných vlastností ve vybraných kategoriích užívání byly východiskem platné normy ČSN, EN a výzkumné práce z oblasti hodnocení užitečných vlastností plošných textilií [34] a výrobků z nich.

Experimentální měření

Na základě rešerše termofyziologického komfortu oděvů a v souladu s naplánovanými cíli této disertační práce byly naplánovány a provedeny následující experimenty.

4 Experimentální měření

Cílem experimentální části disertační práce bylo hodnotit vlastnosti vybraného souboru oděvních materiálů (první vrstvy oděvu) a jejich oděvní komfort v laboratorních podmínkách a hodnocení dějů s nimi souvisejících.

Navržené experimentální práce se zabývaly měřením vybraných termofyziologických vlastností textilních materiálů a jejich laboratorním testováním při simulované fyzické zátěži probanda. Vše probíhalo v laboratořích Katedry oděvnictví Fakulty textilní TUL. Experimentální práce postupovaly v následujících krocích:

- a) testování vybraného souboru trik, od přírodních materiálů až po moderní „Smart“ textilie, při definované trvalé zátěži probanda na rotopedu
 - analýza dat a hodnocení rizika přehřátí organismu dle tepelného indexu
- b) subjektivní hodnocení pocitu diskomfortu probandem při trvalé zátěži
- c) objektivní hodnocení oděvního komfortu textilií
 - měření vlastností určujících oděvní komfort v laboratořích fyziologického komfortu - materiálové hodnocení souboru trik (prodyšnost vzduchu, objemová porozita, R_{et} , R_{ct} , ...)
 - objektivní hodnocení sensorického omaku textilií na systému KAWABATA
- d) analýza a vyhodnocení naměřených dat

4.1 Charakteristika použitého souboru trik

Pro experimentální testování byl zvolen poměrně rozsáhlý soubor trik různého materiálového složení a plošné hmotnosti od českých, evropských a světových výrobců, kteří se zaměřují na tento segment trhu a dodávají své výrobky jak civilnímu sektoru, tak ozbrojeným složkám státu. V tomto souboru trik jsou zastoupené běžně dostupné výrobky, ale i vysoce specializované textilie určené pro speciální a náročné podmínky. Materiálové složení trik je různorodé od 100 % čistě přírodních vláken až po umělá vlákna a jejich směsi v různém poměrovém zastoupení.

Základní soubor trik byl vybrán na základě poznatků z rešeršní části. Jsou v něm tak zastoupena trika jedno-druhového materiálového složení z běžně dostupných a používaných přírodních a syntetických vláken. Základ souboru trik pro testování byl získán od představitelů organizačních a ozbrojených složek různých států (ČR, EU, USA) doplněný o běžně komerčně dostupná trika pro rekreační a sportovní účely od předních světových výrobců, dále byl tento soubor doplněn o speciální trika různého materiálového a poměrového složení od českých výrobců a o trika speciálně navržená a vyrobená z pleteniny v metráži od předního světového výrobce.

Při návrhu výběru trik pro experimentální měření se vycházelo z nabídky moderních „Smart“ oděvů, které v současné době představují špičkovou úroveň a umožňují nám přímo porovnat jejich výhody/nevýhody a jejich termofyziologický komfort v současnosti s ještě běžně používanými klasickými materiály. Širší výběr trik tak dobře reflektuje předmět a cíle této výzkumné práce.

1. vrstva oděvu – transportní vrstva

Následující soubor trik pro testování oděvního komfortu byl vybrán na základě požadavku pro dosažení nejlepšího možného fyziologického komfortu jak při běžné aktivitě - středně těžké práci, tak zejména při dlouhodobé mírné zátěži organismu při fitness tréninku dle výše zmíněné metodiky. Testovaný soubor trik tak dobře pokrývá celý segment profesí (hasiči, údržba, policie, armáda, stewardi, atd.) a je také vhodný pro sportovní aktivity nespportovců. Je určen zejména do prostředí, ve kterém je předpoklad, že není možnost lehce vyměnit tuto vrstvu oblečení za jinou, jak je to běžné u vrcholového sportu. Tato první vrstva tak může sloužit jako první vrstva sendvičového oděvu nebo jako v našem případě vrchní vrstva oděvu. V následující Tab. 5 je uvedeno označení vzorků oděvů, které byly vybrány pro testování a jejich základní a vybrané materiálové parametry vzhledem ke zkoumané problematice.

Tab. 5 Označení, původ a vybrané materiálové parametry testovaného souboru trik.

Označení	Materiál	Výrobce/ Původ	Struktura	Tloušťka [mm]	Plošná hmotnost [g/m ²]
T-shirt 1	100% CO	KAJA s.r.o/ Czech Republic	zátažná jedolící hladká	0.69	170
T-shirt 2	100% WO (merino)	DEVOLD MSM/ Norway	zátažná oboulicí	0.94	217
T-shirt 3	100% PP	SPOLSIN s.r.o./ Czech Republic	zátažná interloková	1.51	189
T-shirt 4	100% PL	ADIDAS/ Philippines	zátažná interloková	0.59	132
T-shirt 5	95% CO/ 5% EL	SPOLSIN s.r.o./ Czech Republic	zátažná jedolící krytá	0.77	226
T-shirt 6	100% CO	NA/ France	zátažná jedolící hladká	0.67	161
T-shirt 7	100% CO	NA/ Romania	zátažná jedolící hladká	0.91	220
T-shirt 8	50% CO/ 50%PL	NA/ USA	zátažná jedolící hladká	0.72	154
T-shirt 9	100% CO	NA/ Italy	zátažná jedolící hladká	0.69	152
T-shirt 10	50% CO/ 50%PL	NA/ Macedonia	zátažná jedolící hladká	0.67	157
T-shirt 11	100% CO	NA/ United Kingdom	zátažná jedolící hladká	0.83	216
T-shirt 12	100% PL	POLARTEC/ USA	zátažná interloková	0.92	179
T-shirt 13	100% PL	POLARTEC/ USA	zátažná jedolící krytá	0.57	124
T-shirt 14	100% CO	GILDAN/ Bangladesh	zátažná jedolící hladká	0.69	160
T-shirt 15	100% WO (merino)	DEVOLD (Breeze)/ Norway	zátažná jedolící hladká	0.68	150
T-shirt 16	100% CV	NA/ Czech Republic	zátažná interloková	0.68	210
T-shirt 17	96% WO (merino)/ 4% PADh	JITEX Comfort / Czech Republic	zátažná jedolící hladká	0.71	170
T-shirt 18	100% PP	JITEX Comfort / Czech Republic	zátažná oboulicí	0.90	115
T-shirt 19	48% WO/ 25% Porexil Thermocool/ 25% Tencel/ 2% PADh	Clevertex VÚB/ Czech Republic	zátažná oboulicí	1.15	240
T-shirt 20	100% Porexil Warm-light	Clevertex VÚB/ Czech Republic	zátažná jedolící hladká	0.88	178
T-shirt 21	50% Porexil Thermocool/ 50% Tencel	Clevertex VÚB/ Czech Republic	zátažná jedolící hladká	0.79	167
T-shirt 22	35% Porexil Thermocool/ 35% Tencel/ 28% PL VR micro/2 % PADh	Clevertex VÚB / Czech Republic	zátažná oboulicí	0.93	182
T-shirt 23	91% PL / 9% antistatické vlákno	MONITEX / Czech Republic	zátažná jedolící hladká	1.52	210

4.2 Subjektivní hodnocení pocitu diskomfortu probandem

Předpokladem pro dosažení optimálního komfortu uživatele při nošení oděvu jsou dobré materiálové vlastnosti textilie naměřené na přístrojích. K ověření komfortních vlastností první vrstvy oděvu v podmínkách simulujících fyzickou aktivitu uživatele je možné využít laboratorní testování fyziologického komfortu. Základem je monitorování vývoje teploty a vlhkosti v mikrovrstvě oděvu za stejných podmínek a záznam subjektivních vjemů probanda. Pro tento účel a ověření těchto předpokladů bylo provedeno měření a celkové hodnocení komfortu první vrstvy oděvu na jednom probandovi. Z měření a výsledku dotazníkového šetření lze pak určit míru pocívaného diskomfortu v jednotlivých fázích testu pro jednotlivé zkoušené vzorky trik a porovnat je s přímo naměřenými materiálovými vlastnostmi.

Metodika hodnocení

Celkové subjektivní hodnocení diskomfortu oděvu je možné rozdělit do několika částí – podskupin. Testovaná osoba vnímá a rozlišuje různé vjemy a pocity, jako například chlad, teplo, vlhkost, sensorické vjemy jako pichlavost, dráždění oděvu a v další řadě hodnotí také celkové padnutí oděvu tj. střih. Kromě toho do subjektivního hodnocení oděvu vstupují také další parametry oděvu, jako jsou osobní preference například z dřívějších poznatků a očekávání, celkový design oděvu apod. Protože je komplikované zaznamenat a vyhodnotit všechny subjektivní vjemy probanda a tato práce nemá za cíl hodnotit a vstupovat do řešení designu a střihu oděvu, jsou pro tuto studii vybrány jen nejdůležitější vjemy pro hodnocení diskomfortu probandem, které byly zjišťované dotazníkovou metodou.

Dotazníkové šetření se primárně soustředilo na čtyři důležité hodnotící oblasti vnímání oděvního komfortu probandem:

- A) subjektivní hodnocení tepelných pocitů,
- B) subjektivní hodnocení vlhkostních pocitů,
- C) subjektivní hodnocení sensorických pocitů,
- D) celkové subjektivní hodnocení oděvu probandem.

Proband v jednotlivých oblastech postupně ve třech krocích na začátku testu, v průběhu testu a na konci testu po skončení fyzické aktivity zaznamenal do dotazníku hodnotu dle přidělené škály. Pro lepší orientaci bylo pro každou škálu přiřazeno slovní vyjádření pocitu komfortu/diskomfortu. Zvolená stupnice hodnocení byla vytvořena na základě borgové škály, která byla pro účely testu nutně upravena. Škála má 10 stupňů citlivosti, přičemž hodnota 10 představuje optimální hodnocení v dané oblasti. Vzor záznamu pro sledování smyslového vnímání oděvního komfortu probandem je uveden jako příloha 2. V rámci hodnocení tepelného komfortu nebylo rozlišováno vnímání teplého, nebo studeného diskomfortu probandem. Pro uživatele představují oba stavy diskomfort.

Postup při hodnocení dotazníkového šetření

Každá kategorie má přesně definovanou oblast, které se má proband držet a hodnotit. Před samotným hodnocením je proband s dotazníkem seznámen tak, aby správně porozuměl, co má v té které kategorii hodnotit. Proband přiděluje pro každou kategorii v jednotlivých určených časových okamžicích bodové hodnocení vnímaného oděvního komfortu od 10 – 1 bodu přičemž 10 představuje nejlepší a 1 nejhorší hodnocení. Pro lepší orientaci v bodovém hodnocení mu

slouží a napomáhá přiřazené slovní hodnocení. První záznam v dotazníku tak proband učiní těsně před začátkem fyzické aktivity po aklimatizaci, druhý záznam je po 25 minutách při pokračující fyzické aktivitě probanda a poslední záznam je na konci testování hned po skončení fyzické aktivity.

Bodové hodnocení dotazníkového šetření

V následujících tabulkách viz Tab. 6 až Tab. 8 je uvedeno bodové hodnocení trik probandem na začátku, uprostřed a na konci testu podle sledovaných kategorií z dotazníku. Zelená barva v tabulce značí, že sledovaný vjem se nachází v žádané oblasti, představující optimální, nebo vyhovující oblast a triko tak podává optimální výkon. Žlutě zvýrazněná oblast značí, že sledované kritérium je ve zhoršené oblasti a červená barva značí již nedostatečné hodnocení trika probandem a nevhovující oblast, ve které již dle subjektivního srovnání sledované triko nevyhovuje minimálnímu požadavku na oděvní komfort.

Trika, která v součtu bodů dosáhla 60-65 % z celkového bodového hodnocení (cca. 25 bodů) a v žádné, ze čtyř oblastí/kategorií zjišťovaných dotazníkem nedosáhla méně než 5 bodů, můžeme považovat za vhodná pro doporučení pro daného probanda. Seřazení trik v tabulkách je voleno sestupně podle dosaženého hodnocení v bodech. Menší rozptyl v hodnocení v jednotlivých kategoriích nám dává předpoklad pro dosažení optimálního komfortu při jeho nošení.

Tab. 6 Subjektivní hodnocení oděvního komfortu probandem - analýza dat z dotazníku na začátku testu.

Subjektivní bodové hodnocení trik probandem na začátku testu

Označení	Tepelné pocity	Vlhkostní pocity	Senzorické pocity	Subj. hodn. probanda	Součet bodů
triko č. 18	6	10	6	8	30
triko č. 17	7	7	8	9	31
triko č. 1	9	6	7	10	32
triko č. 21	5	7	10	10	32
triko č. 7	10	10	4	9	33
triko č. 11	9	9	6	9	33
triko č. 14	8	8	9	9	34
triko č. 19	4	10	10	10	34
triko č. 20	7	9	8	10	34
triko č. 22	7	8	9	10	34
triko č. 3	9	10	7	9	35
triko č. 8	10	8	8	9	35
triko č. 10	10	9	8	8	35
triko č. 15	10	9	9	9	37
triko č. 16	8	9	10	10	37
triko č. 4	9	9	10	10	38
triko č. 6	9	9	10	10	38
triko č. 2	10	10	9	10	39
triko č. 5	9	10	10	10	39
triko č. 9	10	10	9	10	39
triko č. 12	9	10	10	10	39
triko č. 13	9	10	10	10	39
triko č. 23	10	10	10	10	40

Tab. 7 Subjektivní hodnocení oděvního komfortu probandem - analýza dat z dotazníku uprostřed testu.

Subjektivní bodové hodnocení trik probandem uprostřed testu

Označení	Tepelné pocity	Vlhkostní pocity	Senzorické pocity	Subj. hodn. probanda	Součet bodů
triko č. 18	4	3	6	5	18
triko č. 1	8	3	4	4	19
triko č. 7	5	4	4	6	19
triko č. 19	2	3	8	7	20
triko č. 8	9	4	4	4	21
triko č. 9	9	4	4	4	21
triko č. 23	4	6	8	3	21
triko č. 14	4	4	8	6	22
triko č. 17	6	3	6	7	22
triko č. 10	9	4	5	5	23
triko č. 20	5	5	8	5	23
triko č. 2	9	4	6	5	24
triko č. 16	5	5	8	6	24
triko č. 22	5	4	9	6	24
triko č. 3	8	5	5	7	25
triko č. 11	10	5	4	6	25
triko č. 4	10	4	8	4	26
triko č. 12	9	6	6	6	27
triko č. 13	10	5	7	6	28
triko č. 21	6	5	10	7	28
triko č. 15	7	7	8	7	29
triko č. 5	10	6	8	6	30
triko č. 6	8	7	9	6	30

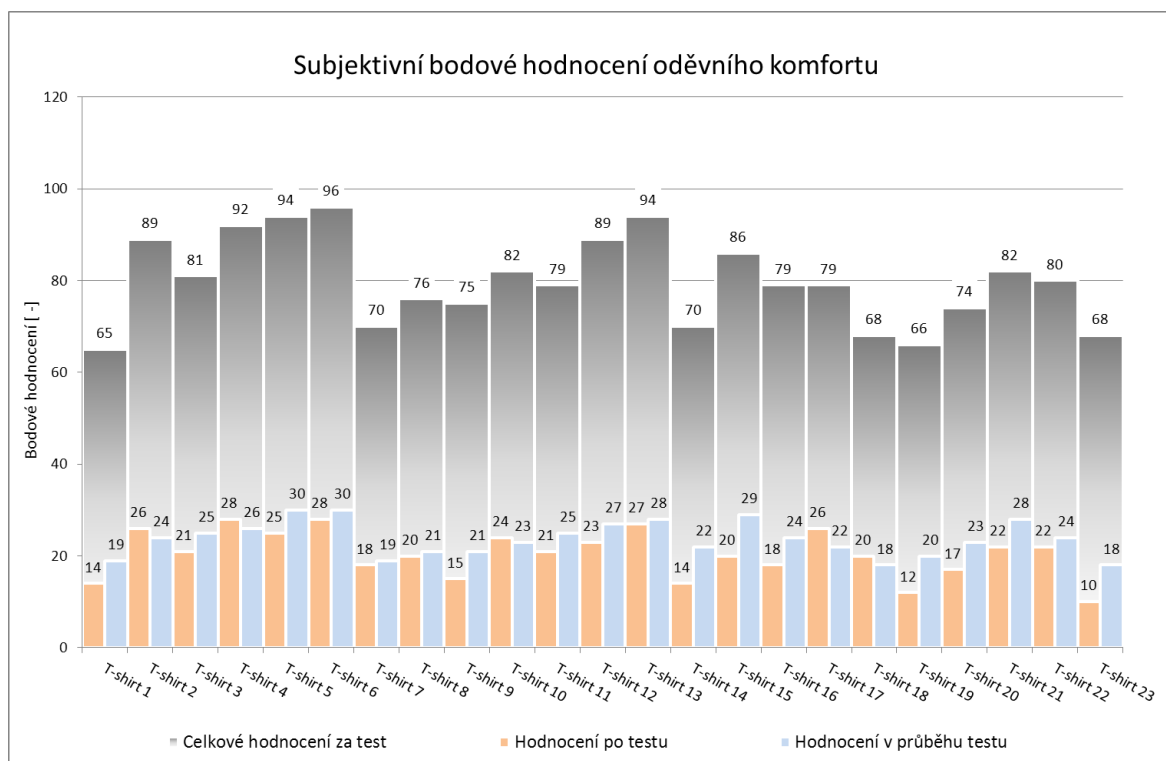
Tab. 8 Subjektivní hodnocení oděvního komfortu probandem - analýza dat z dotazníku na konci testu.

Subjektivní bodové hodnocení trik probandem na konci testu

Označení	Tepelné pocity	Vlhkostní pocity	Senzorické pocity	Subj. hodn. probanda	Součet bodů
triko č. 23	1	1	7	1	10
triko č. 19	2	1	6	3	12
triko č. 1	8	1	3	2	14
triko č. 14	3	1	8	2	14
triko č. 9	9	2	2	2	15
triko č. 20	4	1	6	6	17
triko č. 7	6	3	5	4	18
triko č. 16	3	3	9	3	18
triko č. 8	9	3	5	3	20
triko č. 15	5	4	7	4	20
triko č. 18	5	4	7	4	20
triko č. 3	9	4	4	4	21
triko č. 11	10	4	4	3	21

triko č. 21	5	3	9	5	22
triko č. 22	5	4	8	5	22
triko č. 12	9	3	6	5	23
triko č. 10	10	4	5	5	24
triko č. 5	10	4	7	4	25
triko č. 2	10	5	6	5	26
triko č. 17	6	6	6	8	26
triko č. 13	9	5	7	6	27
triko č. 4	9	5	8	6	28
triko č. 6	9	6	8	5	28

Na základě získaného bodového hodnocení dle záznamu sledování smyslového vnímání oděvního komfortu, bylo sestaveno celkové bodové hodnocení pro každý vzorek oděvu, které je zachyceno v grafu viz Obr. 4.1. Celkové subjektivní bodové hodnocení oděvního komfortu vyjadřuje jak dobře/špatně si vedlo zkoušené triko v průběhu celého zátěžového testu za celý jeho průběh tj. od začátku do konce testu. Za celý test tak mohlo triko obdržet celkem až 120 bodů. Čím více bodů testované triko získalo, tím má lepší předpoklady pro dosažení optimálního komfortu při dlouhodobé zátěži a subjektivně více vyhovuje probandovi při daných podmínkách testu. Bodové hodnocení v průběhu a na konci testu pak dotváří celkový pohled na testované triko a ukazuje, jak si vedlo testované triko v daném časovém bodě a na kolik došlo ke zhoršení, nebo zlepšení vnímání subjektivního pocitu komfortu probandem.



Obr. 4.1 Subjektivní hodnocení vnímání oděvního komfortu trik v průběhu testování při dlouhodobé definované zátěži probanda

Subjektivní hodnocení trik je rozděleno do tří částí a to následovně. Celkové dosažené bodové hodnocení za celý test, bodové hodnocení v průběhu testu a na konci testu. V subjektivním hodnocení není zvlášť hodnocen soubor trik před testem, protože toto hodnocení je

zahrnuto v celkovém hodnocení a za předpokladu, že na začátku testu jsou vhodně zvolena všechna vytipovaná trika pro daný test, nemá toto hodnocení tak vypovídající hodnotu jako hodnocení v průběhu a na konci testu, kdy můžeme předpokládat zhoršování jejich užitečných vlastností a uživatel začne na základě zhoršujících se termoregulačních vlastností textilie pociťovat diskomfort.

4.2.1 Analýza a vyhodnocení dotazníkového šetření

Soubor trik byl subjektivně hodnocen na základě vyplněného dotazníku při dlouhodobé fyzické zátěži probanda. Celkové bodové ohodnocení ze všech čtyř sledovaných oblastí komfortu jednotlivých trik je uvedeno v následující tabulce viz Tab. 9.

Tab. 9 Subjektivní vnímání oděvního komfortu uživatele při zátěžovém testu.

Subjektivní hodnocení komfortu			
	Celkem	Po testu	V průběhu
T-shirt 1	65	14	19
T-shirt 2	89	26	24
T-shirt 3	81	21	25
T-shirt 4	92	28	26
T-shirt 5	94	25	30
T-shirt 6	96	28	30
T-shirt 7	70	18	19
T-shirt 8	76	20	21
T-shirt 9	75	15	21
T-shirt 10	82	24	23
T-shirt 11	79	21	25
T-shirt 12	89	23	27
T-shirt 13	94	27	28
T-shirt 14	70	14	22
T-shirt 15	86	20	29
T-shirt 16	79	18	24
T-shirt 17	79	26	22
T-shirt 18	68	20	18
T-shirt 19	66	12	20
T-shirt 20	74	17	23
T-shirt 21	82	22	28
T-shirt 22	80	22	24
T-shirt 23	68	10	18

Z výsledné komparativní tabulky viz Tab. 9 je zřejmé, že nejlépe jsou hodnocena trika číslo 6 a 13 v průběhu celého testu. Jako velmi dobrá jsou hodnocena také trika číslo 5, 4, 2, 12. Jako nejhorší je hodnoceno triko číslo 1 a triko číslo 19. Z pohledu materiálového složení vyšla jako nejlepší a zároveň nejhorší v subjektivním hodnocení trika vyrobená ze 100 % bavlny. Obecně můžeme konstatovat, že všechna trika, která dosáhla v celkovém bodovém ohodnocení kolem 90 bodů a více, můžeme považovat za vhodná pro dané podmínky a fyzickou aktivitu.

Dobrý pohled na vývoj pocitu diskomfortu u probanda v průběhu testování nám poskytuje grafická analýza uvedená v paprskových diagramech přílohy 1. Na začátku testu dosahuje většina ze zkoušených oděvů dobré, nebo výborné bodové hodnocení probandem zejména u vzorků T-shirt číslo 2, 5, 4, 6, 9, 12, 23, což ukazuje na vhodně zvolenou skupinu vzorků pro testování první vrstvy oděvu. Snížené hodnocení ze sensorického pocitu je zaznamenáno jenom u T-shirt 7 a T-shirt 11. Vzorek oděvu T-shirt 18 vykazuje celkově horší subjektivní hodnocení probandem již na začátku testování, vzorky T-shirt 19, 21 mají horší tepelný diskomfort, proband pociťoval „teplo“ již před začátkem fyzické aktivity. U některých vzorků testovaného oděvu dochází na konci měření ke zlepšení pocitu komfortu u probanda, tj. snížení pociťovaného diskomfortu probandem viz příloha 1 graf T-shirt 2, T-shirt 4, T-shirt 17, případně se pociťovaný diskomfort na konci testu nezhoršil T-shirt 13. Materiály a z nich vyrobené oděvy pod označením T-shirt 20-22 představují speciální skupinu oděvů určených zejména do chladnějšího podnebí, nebo pro lidi se zhoršeným termoregulačním mechanismem a byly zejména zkoušené za účelem zjištění a predikce jejich chování v standardních podmínkách při mírně náročné fyzické aktivitě.

4.2.2 Souhrn a diskuse k subjektivnímu hodnocení oděvního komfortu

Subjektivní hodnocení uživatele představuje nejdůležitější způsob hodnocení oděvního komfortu oděvů. Zároveň je to nejlepší způsob jak celkově zhodnotit míru vhodnosti oděvu v daném prostředí, pro které byl určen a jeho vnímání uživatelem. Protože jenom lidský subjekt může přímo hodnotit své vjemy a pocity z nošení tohoto oděvu. Tento způsob hodnocení oděvů však představuje zároveň z hlediska organizace a angažovanosti účastníků složitý úkol. Za předpokladu, že máme jen velmi malou a úzce vyprofilovanou skupinu potenciálních budoucích uživatelů oděvů stejného pohlaví, např. stewardi o počtu 10 probandů a pro test vybereme jen 10 nejvhodnějších vzorků, které chceme subjektivně zhodnotit, představuje jenom toto jedno zhodnocení vzorků již 100 testů. Tento způsob hodnocení oděvního komfortu v současnosti ale nejde úplně nahradit, nebo zcela vyloučit z hodnocení jenom testováním na přístrojích v laboratořích, které hodnotí každou vlastnost textilie diskrétně od ostatních vlastností, na rozdíl od člověka, který hodnotí analogově celkový pocit komfortu z oděvu. Zároveň platí, že nejde navrhnout oděv, který by zcela vyhovoval celé řadě probandů ve skupině. Různé preference/antipatie ke střihu, materiálu apod. výrazně vstupují do celkového hodnocení oděvu probandy.

4.2.3 Závěr – subjektivní hodnocení oděvního komfortu probandem

Na základě subjektivního hodnocení můžeme konstatovat následující. Jako nejlepší jsou hodnocené následující vzorky:

- T-shirt 6, T-shirt 13, T-shirt 5, T-shirt 4, T-shirt 2

Vzorky T-shirt 6, 5, jsou vyrobeny z bavlněných vláken, u kterých je možné předpokládat s koncem fyzické aktivity (tj. tvorby tepla) a s průběhem času, stupňování pocitu diskomfortu z důvodu zhoršujících se tepelných pocitů. Jako doporučeníhodné jsou proto označeny podtržené vzorky T-shirt 13 a T-shirt 4, které jsou vyrobeny ze syntetických vláken. Vzorek T-shirt 2 je vyroben z vlny-merino, která při navlhání uvolňuje značné množství sorpčního tepla. Po skončení tohoto procesu, ale můžeme očekávat zhoršení tepelných pocitů a celkového oděvního komfortu. Doporučení vlny-merino je teda možné jenom podmíněčně. Na tomto místě je nutné zmínit, že tato studie je založena na jednom probandovi a pro lepší (přesnější) srovnání oděvního komfortu, pro různé somatotypy lidí, by bylo potřebné rozšířit studii o další probandy.

4.3 Objektivní hodnocení sensorického omaku pletenin

Laboratoř KES je vybavena systémem japonských speciálních přístrojů dle Kawabaty pro měření vlastností významných pro objektivní hodnocení omaku tkanin pro oděvní použití. Každé stanovení probíhá při standardním zatížení, které odpovídá malé deformaci, podobně jako při ohmatání textilie rukou.

Měřicí systém KES

Vlastní automatizovaný měřicí systém je složen ze 4 přístrojů:

- KES 1 (měření tahu a smyku)
- KES 2 (měření ohybu)
- KES 3 (měření tlaku)
- KES 4 (měření povrchových vlastností).

Měřicí software a standardní podmínky měření

Velikost deformačních sil za standardních měřících podmínek je dáno měřicím softwarem a je definováno takto:

- Při měření tahových vlastností je za standardních podmínek vzorek namáhán do meze 490 N/m (500 gf/cm) ve směru osnovy a útku.
- Při stanovení smykových charakteristik je vzorek vystaven deformaci smykem v obou směrech ke zvolenému úhlu smyku, standardně ± 8 stupňů.
- Při zjišťování ohybových vlastností je vzorek textilie rovnoměrně ohýbán do mezí křivosti $\pm 2,5 \text{ cm}^{-1}$, opět v obou směrech.
- Měření kompresních vlastností probíhá za působení tlaku na materiál až do meze 4900 N/m² (50 gf/cm²).
- Povrchové vlastnosti jsou dány hodnotou koeficientu tření a geometrické drsnosti, které jsou snímány pomocí dvou čidel, jejichž přítlak na povrch vzorku činí 4900 N/m² (50 gf/cm²) a která se pohybují se ve směru osnovy a útku po dráze 30 mm a zpět. Hodnoty jsou vyhodnocovány na střední dráze 20 mm. Vzorek je v čelistech upnut pod předpětím 19,6 N/m (20 gf/cm).

Výše uvedené schéma deformačních sil je vhodné pro tkané oděvní materiály.

Kalkulační software KES

Celková hodnota kvality omaku je vyjádřena regresní rovnicí, ve které figurují hodnoty empirických koeficientů, vyčíslených na základě velkého počtu měření, vždy pro určitý účel použití textilie.

Primární omak – HV je vyjádřen užitečnými vlastnostmi KOSHI – TUHOST, NUMERI – HLADKOST, FUKURAMI – PLNOST a SOFUTOZA – HEBKOST, které jsou považovány za základní pro zvolený účel použití. Podle intenzity jejich projevu jsou hodnoceny ve škále 1-10, kde 10 je silný projev vlastnosti v hodnocení omaku.

Konečné celkové vyhodnocení omaku textilie se označuje jako totální omak THV- TOTAL HAND VALUE. Nabývá hodnot ve škále 1-5.

Tab. 10 Klasifikační tabulka senzorického omaku textilie THV- TOTAL HAND VALUE

Klasifikace THV	
1	velmi špatný, nevyhovující
2	podprůměrný
3	průměrný
4	velmi dobrý
5	výborný

Problematika měření pletenin

Doporučené standardní podmínky měření nevyhovují pro měření a vyhodnocení objektivního omaku vysoce tažných pletenin. Největší problémy vznikají při měření tahových charakteristik na přístroji KES FB1-Auto, neboť v důsledku vysoké tažnosti nevyhovuje stávající upínací mechanismus. Podobný problém vzniká při měření povrchových charakteristik na přístroji KES FB4-Auto, kde standardní měření probíhá při předpětí vzorku, kde pro vysokou tažnost není možné zajistit korektní funkci upnutí vzorku v čelistech stroje a jeho pohyb pod přítlačnými senzory. Ve stávajícím kalkulačním software neexistuje kategorie užívání vhodná pro hodnocení první vrstvy oděvů vhodných pro fitness aktivity. Bylo nutné prověřit a vybrat substituční kategorii užití.

Úprava standardní metodiky měření na KES²

Pro umožnění měření pletenin na stávajícím zařízení bylo nevyhnutné stanovit a experimentálně ověřit:

1. Podmínky měření tahových vlastností na stroji KES FB1-Auto s využitím nižší než standardně deklarované tahové deformační síly, jejímž výsledkem by byla hodnota tažnosti odpovídající konstrukčním možnostem měřicího stroje a kapacitním možnostem měřicího software.
2. Úpravu vzorku pro měření povrchových vlastností na stroji KES FB4-Auto tak, aby byla eliminována vysoká tažnost pletenin. Snížená tažnost pletenin byla podmínkou pro možnost upnutí vzorku do čelistí stroje pod konstantním předpětím měřicího softwaru a odpovídající konstrukčním možnostem upínacího mechanismu. Současně musí být úprava vzorku provedena tak, aby nebyla ovlivněna kvalita povrchu textilie z hlediska její geometrické drsnosti a koeficientu tření.
3. Výběr kategorie užívání v kalkulačním softwaru. Jednalo se o experimentální odzkoušení kategorie pánských košilovin, dámské letní a zimní šatovky a dámského kostýmu.

² Autor úprav metodiky hodnocení senzorického omaku textilií na systému KAWABATA:
 Ing. Marie Koldinská

Navržený postup řešení

Podmínky měření tahových vlastností pletenin na stroji KES FB1-Auto byly upraveny experimentálním snížením deformační tahové síly, kde limitním faktorem byla hodnota tažnosti 30 %. V experimentu byla úspěšně ověřena deformační tahová síla 24,5 N/m. Pro měření na přístroji KES FB4 byla provedena úprava vzorku spočívající ve snížení tažnosti pleteniny, aby při upnutí vzorku pod předpětím nedocházelo k vysunutí čelistí mimo standardní pracovní prostor. Experimentálně byly upraveny vzorky pletenin nažehlovací vložkou typu vliselin, která fixovala strukturu pleteniny z rubní strany, snížila její tažnost a deformaci struktury po roztažení a neovlivnila povrch vzorku. Vyhodnocení výsledků měření bylo provedeno v softwaru KES CALK v kategorii KN 302 - Winter.

4.3.1 Podmínky měření vysoce tažných pletenin v systému KES

KES FB1-Auto-TAH

Podmínky měření:

- velikost vzorku: 20 x 20 [cm]
- senzitivita: optional
- rychlost: 0,2 [mm/s]
- vzdálenost čelistí: 5 [cm]
- maximální zatížení: 25 [gf/cm]
- každý vzorek měřen zvlášť ve směru osnovy a ve směru útku

Hodnocené charakteristiky vlastnosti:

LT	linearita (křivky zatížení-protažení)	[-]
WT	tahová energie na jednotku plochy	[gf.cm/cm ²]
RT	elastické zotavení	[%]
EMT	tažnost při max. tahové síle	[%]

KES FB1-Auto-SMYK

Podmínky měření:

- velikost vzorku: 20 x 20 [cm]
- senzitivita: standard
- konstantní předpětí vzorku: 10 [gf/cm]
- vzdálenost čelistí: 5 [cm]
- maximální smykový úhel: ± 8 [°]
- každý vzorek měřen zvlášť ve směru osnovy a ve směru útku

Hodnocené charakteristiky vlastnosti:

G	tuhost ve smyku na jednotku délky v mezích smykového úhlu od 0,5° do 2,5° (\pm)	[gf/cm.degree]
2HG	hystereze smykové síly při smyk. úhlu $\pm 0,5$	[gf/cm]
2HG5	hystereze smykové síly při smyk. úhlu $\pm 5,0$	[gf/cm]

KES FB2-Auto-OHYB

Podmínky měření:

- velikost vzorku: 20 x 20 [cm]
- senzitivita: 20 standard
- rychlost: 0,5 [cm⁻¹/s, křivost/s]
- vzdálenost čelistí: 1 [cm]
- maximální křivost K: $\pm 2,5$ [cm⁻¹]
- každý vzorek měřen zvlášť ve směru osnovy a ve směru útku

Hodnocené charakteristiky vlastnosti:

B	ohybová tuhost vztahovaná na jednotku délky v mezích křivosti od 0,5 do 1,5 cm ⁻¹ (+)	[gf.cm ² /cm]
2HB	hystereze ohybového momentu na jednotku délky při křivosti $\pm 1,0$ cm ⁻¹	[gf.cm/cm]

KES FB3-Auto-KOMPRESI

Podmínky měření:

- velikost vzorku: 20 x 20 [cm]
- kompresní rychlost: 50 [s.mm⁻¹]
- plocha čelisti: 2 [cm²]
- maximální zatížení: 50 [gf/cm²]

Hodnocené charakteristiky vlastnosti:

LC	linearita (křivky tlak-tloušťka)	[-]
WC	energie stlačení	[gf.cm/cm ²]
RC	elastické zotavení	[%]
T ₀	tloušťka textilie (při tlaku 0,5 gf/cm ²)	[mm]
T _M	tloušťka textilie (při tlaku 50 gf/cm ²)	[mm]

KES FB4-Auto-POVRCHOVÉ VLASTNOSTI

Podmínky měření:

- velikost vzorku: 20 x 20 [cm]
- senzitivita: standard
- rychlost posunu vzorku: 0,1 [cm/s]
- napětí vzorku: 20 [gf/cm]
- přítlak čidla pro tření: 50 [gf]
- přítlak čidla pro drsnost: 10 [gf]
- každý vzorek měřen zvlášť ve směru osnovy a ve směru útku

Hodnocené charakteristiky vlastnosti:

MIU	střední hodnota koeficientu tření	[-]
MMD	střední odchylka koeficientu tření	[-]
SMD	střední odchylka geometrické drsnosti	[μm]

4.3.2 Objektivní hodnocení omaku zátažných pletenin na KES

V rámci této části experimentu byla navržena a odzkoušena nová komparativní metodika pro objektivní srovnávání omaku pletenin. Přestože stávající vybavení laboratoře (software, hardware) neumožňuje přímé hodnocení zátažných pletenin, upravená metodika umožňuje jejich komparativní porovnání navzájem.

V systému objektivního hodnocení omaku KES dosáhly hodnocené textilie průměrné až výborné výsledky. V následující tabulce viz Tab. 11 je uvedeno dosažené hodnocení pro kategorii KN302 - Winter, která svým charakterem nejvíce odpovídá testovanému souboru trik. Zvolená kategorie také dobře koresponduje i vzhledem k subjektivnímu hodnocení probandem.

Z hlediska primárních vlastností (HV) mají všechny testované pleteniny nízkou tuhost, vysokou hladkost a objemnost a nadprůměrnou hebkost. Celkový omak (THV) všech pletenin byl vyčíslen hodnotami od 3,30 (vzorek T-shirt 18) až po 5,86 (vzorek T-shirt 19), které jsou pro daný účel použití nadprůměrně dobré až excelentní. Na základě tohoto hodnocení lze předpokládat výborný komfort uživatele z hlediska omaku výrobků.

Tab. 11 Komparativní hodnocení vybraného souboru trik pro jejich vzájemné srovnání dle THV podle kategorie KN 302-Winter

Označení	THV [-]
T-shirt 1	4.20
T-shirt 2	4.31
T-shirt 3	4.58
T-shirt 4	5.28
T-shirt 5	4.79
T-shirt 6	5.17
T-shirt 7	4.03
T-shirt 8	4.58
T-shirt 9	5.04
T-shirt 10	5.02
T-shirt 11	4.10
T-shirt 12	4.75
T-shirt 13	3.41
T-shirt 14	5.04
T-shirt 15	5.21
T-shirt 16	3.60
T-shirt 17	5.20
T-shirt 18	3.30
T-shirt 19	5.86
T-shirt 20	4.10
T-shirt 21	3.61
T-shirt 22	4.52
T-shirt 23	4.59

4.3.3 Závěr - objektivní hodnocení omaku

Celkový omak (THV) všech vzorků pletenin je uveden v tabulce viz Tab. 11 ze které můžeme konstatovat následující:

Všechny testované vzorky dosáhly průměrné, nadprůměrně dobré až excelentní hodnocení a jsou vhodné pro daný účel použití. Na základě tohoto hodnocení lze předpokládat výborný komfort uživatele z hlediska omaku výrobků. Jako nejlepší jsou hodnoceny následující vzorky:

- T-shirt 19, T-shirt 4, T-shirt 15, T-shirt 17, T-shirt 6

Nejlépe hodnocení dosáhl vzorek T-shirt 19, který je směsí různých materiálů s dominantní složkou WO (merino), vzorek č. 4 (PL) a vzorek č. 6 (CO) dosáhly také výborné hodnocení a byly také dobře subjektivně hodnoceny v rámci subjektivního hodnocení probandem. Vzorky č. 15, 17 (WO) dosáhly výborné hodnocení THV. Vzorky trik vyrobených z vlny-merino dosahují nadprůměrné hodnocení také v subjektivním hodnocení oděvního komfortu probandem. Celkově můžeme pak konstatovat, že hodnocení objektivního omaku textilií potvrdily výsledky ze subjektivního hodnocení probandem.

4.4 Laboratorní testování fyziologického komfortu

Laboratorní testování fyziologického komfortu slouží k ověření komfortních vlastností oděvu v reálných podmínkách užívání, které jsou určeny klimatickými podmínkami prostředí a intenzitou pracovního nebo sportovního výkonu probanda.

Podstata metody

Metoda spočívá v experimentálním stanovení fyziologické odpovědi organismu probanda na testovaný oděv v definovaných konstantních klimatických podmínkách a při definovaném konstantním fyzickém výkonu.

Sledované veličiny

Sleduje se fyziologická odpověď organismu probanda na interakci pokožky a zkoušeného vzorku textilie v mezivrstvě testovaného oděvu:

- vývoj teploty v mezivrstvě mezi lidským tělem a oděvem (°C),
- vývoj relativní lokální vlhkosti v mezivrstvě mezi lidským tělem a oděvem (% RV).

Klimatické parametry experimentálního prostředí (dle ČSN EN 20139)³

- teplota 20 ± 2 (°C),
- vlhkost 65 ± 5 (%).

Fyzická zátěž organismu probanda

- výkon organismu je stanoven na 80 % maximální zátěže organismu, což odpovídá tepové frekvenci v rozmezí 135-140 tepů (počet tepů/min),
- doba zátěže 45 minut.

³ Podmínky v laboratoři v průběhu experimentu kontrolované sondou Almemo FHAD 46-0

Zkušební zařízení a pomůcky

- rotoped
- sport tester Suunto t6d – pro sledování aktuální tepové frekvence probanda
- centrální bezdrátová jednotka FlexiGuard + bezdrátové čidla vlhkosti a teploty
- SW FlexiGuard (záznam dat)

4.4.1 Tělesné dispozice probanda

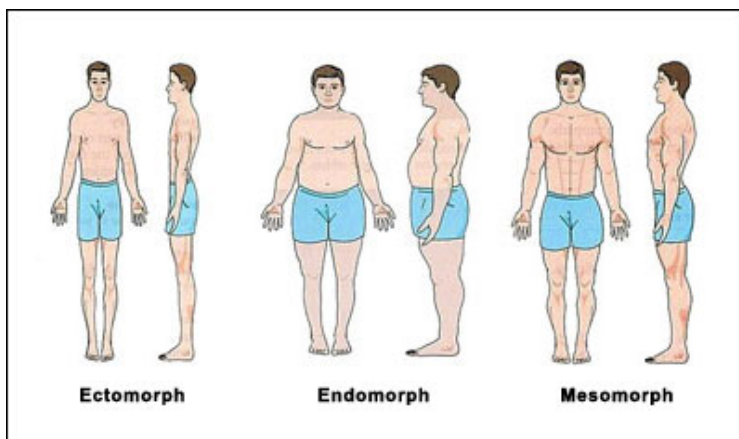
Pro zátěžové testy, které probíhaly v kontrolovaných podmínkách v laboratoři, byl vybrán proband, jehož základní údaje naleznete v tabulce níže viz Tab. 12. Byl pro něj vypočítán Body Mass Index neboli index tělesné hmotnosti (BMI) vyjadřující vztah mezi tělesnou hmotností a tělesnou výškou. BMI lze vypočítat jako poměr hmotnosti v [kg] a druhé mocniny výšky v [m]. Normální hodnota BMI se pohybuje v rozmezí **18,5-25**. Všeobecně se tento údaj považuje za orientační při porovnávání populace. Protože BMI nezohledňuje stavbu kostry a množství svalové hmoty v těle je uveden v tabulce ještě další parametr probanda.

Tab. 12 Základní údaje o sledovaném probandu

Označení	Proband
Věk	31
Váha	58 kg
Výška	169 cm
BMI index	20
Somatotyp	ektomorf

Podle stavby těla je možno dělit populaci podle tzv. somatotypů, kde se zjišťuje poměr tří základních tělesných typů:

- **ektomorf** - štíhlý a hubený typ, postava má lineární kontury - dlouhé končetiny, dlouhé prsty a ruce, slabě vyvinuté svalstvo a slabá kostra. Velký povrch těla, rychlý energetický výdej, málo tukových buněk. Špatně nabírá svalovou hmotu.
- **mezomorf** - svalnatý typ se silnou kostrou, širokými rameny a úzkými boky. Středně rychlý energetický výdej, rychlý přírůstek svalové hmoty.
- **endomorf** - tučný typ s velkým počtem tukových buněk. Relativně velká hlava, široká tvář, krátké končetiny a prsty, celkově rozložitý, oblý tvar těla. Malý tělesný povrch, nízký energetický výdej.



Obr. 4.2 Zobrazení různých druhů somatotypů postav [7]

Simulace zátěže probanda

Po odborné konzultaci s odborníky Laboratoře sportovní motoriky, Katedry tělesné výchovy, Fakulty přírodovědně humanitní a pedagogické, byla pro experiment stanovena definovaná fyzická zátěž- tepová frekvence na 70–80 % maximální tepové frekvence. Při udržování daného rozsahu maximální tepové frekvence se člověk pohybuje v aerobním tréninku, při čemž se spalují tuky, buduje se vytrvalost a větší odolnost proti únavě. Navržená zátěžová tréninková jednotka se tak řídila usměrněním uvedeným v Kap. 1.4.

Simulace fyzické zátěže byla prováděna při definované tepové frekvenci po dobu 45-ti minut. Zátěž byla nastavena pro dosažení a udržení hodnoty tepové frekvence v rozmezí 135-145 tepů za minutu. Proband udržoval srdeční frekvence v tomto intervalu po celou dobu testu. Tepová frekvence byla monitorována pomocí senzoru umístěnému na měřicím pásu připevněném k probandovu trupu. Srdeční tep byl snímán a zaznamenáván sport testerem Suunto t6d.



Obr. 4.3 Sport tester Suunto t6d, určený k snímání a monitorování tepové frekvence probandů.
Zdroj: (<http://www.suunto.com>)

Pro udržení objektivních podmínek při testu, bylo nutné, aby proband udržoval stejný režim před průběhem testu.

Režim probanda:

- **den před testem**
 - pravidelný režim v předcházejícím dnu z hlediska obvyklého příjmu tekutin, potravy a činnosti
- **v den testu**
 - stejné stravovací návyky před měřením
 - před začátkem testu vypít 3 dcl. vody
 - stejný čas zahájení testu
 - odpočinek 30 minut před testem

4.4.2 Postup a příprava měření před testem

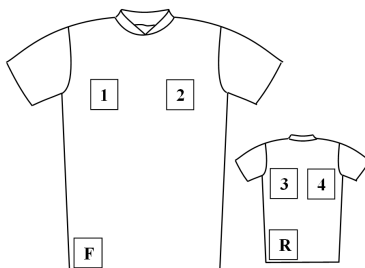
V závislosti na konstrukci střihu a velikosti zkoušeného vzorku oděvu, byl oděv upraven tak, aby těsně obepínal tělo probanda a případná vzduchová mezera v mezivrstvě oděvu, zejména na pozici měřicích čidel byla zanedbatelná. Textilie je tak v přímém kontaktu s pokožkou probanda. Provedená úprava ale v žádném případě nebrání ve volném pohybu probanda.

Příprava zkoušeného oděvu před testem:

- úprava velikosti oděvu
- provedení pracího cyklu dle pokynů výrobce oděvu před jeho zařazením do testovacího procesu
- klimatizování dle ČSN EN 20139

Příprava probanda před testem:

Před testem je důležitá aklimatizace probanda a umístění čidel na tělo probanda. Aktivní strana čidla je otočena vždy směrem k tělu probanda. Na záda probanda jsou symetricky umístěna čidla číslo 3, 4 pod lopatky probanda a na hrudníku probanda pod prsními svaly jsou umístěna čidla 1, 2. Promítnutá pozice čidel je znázorněna na obrázku viz Obr. 4.4.



Obr. 4.4 Ilustrativní znázornění pozice čidel na těle vzhledem k oděvu

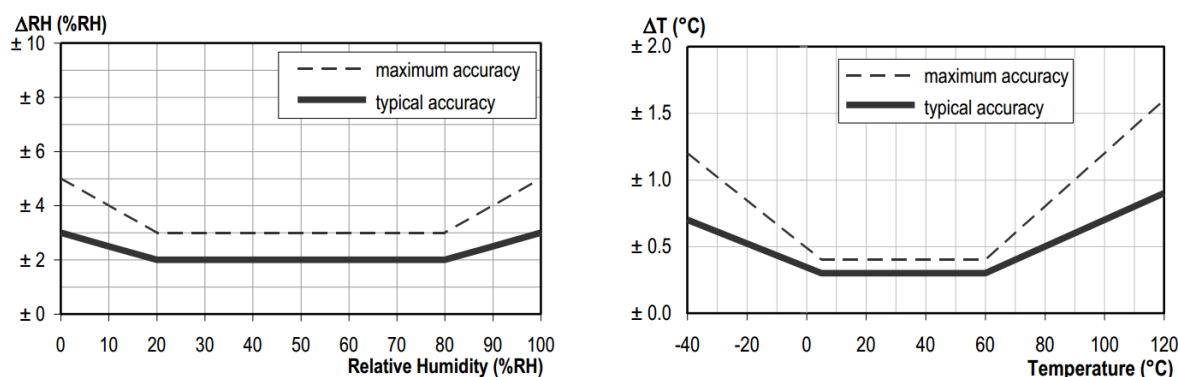
Technické specifikace měřícího zařízení

Pro monitorování mikroklimatu teploty a vlhkosti v mezivrstvě oděvu byla použita bezdrátová jednotka FlexiGuard. Samotné řešení systému fyzicky sestává ze tří základních částí (zařízení). Jedná se o volitelnou sadu senzorů WBAN (wireless body area network) založenou na standardu ANT+, modulární snímací jednotku a vizualizační jednotku. Snímací jednotka tvoří jádro systému. Je koncipována jako řídicí jednotka dílčího subsystému každého monitorovaného probanda. Je schopna spravovat libovolnou sadu senzorů vlastní právě danému probandovi.



**Obr. 4.5 Bezdrátová monitorovací jednotka postavená na platformě FlexiGuard
 Zdroj: (FBMI ČVUT a 1. LF UK CleverTech, s.r.o.)**

Sada senzorů umožňuje monitorovat teplotu a vlhkost pomocí čtyř plně digitálních MEMS členů SHT21 umístěných v mezivrstvě mezi pokožkou probanda a první vrstvou oděvu v intervalu až 1 krát za sekundu.



Obr. 4.6 Výrobce udávaná typická a maximální tolerance senzorů SHT21.

Zdroj: (<http://www.sensirion.com/sht21>)

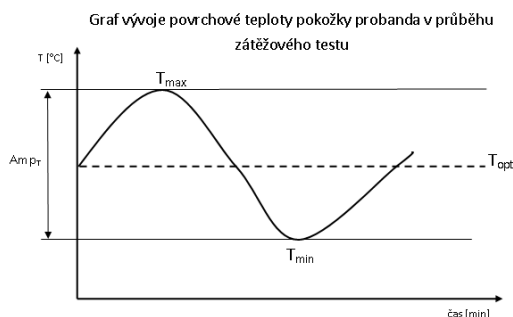
Postup měření

Postup při měření je ilustrativně znázorněn na Obr. 3.3 a obecně se dá shrnout do následujících kroků.

- Umístění senzorů na předem zvolená místa na těle probanda.
- Upevnění měřicího pásu pro záznam a sledování srdeční frekvence pomocí sport testeru SUUNTO t6d na hrudník probanda.
- Připevnění senzorů k tělu probanda pomocí paropropustné lékařské lepicí pásky tak, aby nebránila prostupu tepla a vlhkosti a neomezovala pohyb probanda, ani jinak neovlivnila měření.
- Klimatizace oděvu a probanda se senzory v normálním prostředí (teplota $20 \pm 1^{\circ}C$, vlhkost $60 \pm 5\%$ dle ČSN EN 20139) po dobu cca 15-20 minut před testem.
- Oblečení probanda do testovaného oděvu. Aklimatizace probanda v klidu a klimatických podmínkách laboratoře po dobu 15 min.
- Zápis o počátečním stavu teploty a vlhkosti v klimatizované místnosti.
- Start programu a jednotky FlexiGuard, navázání spojení s bezdrátovou jednotkou pro záznam hodnot vlhkostních a teplotních čidel.
- Usazení probanda do předepsané pozice na rotopedu. Po ustálení podmínek (teploty a vlhkosti) zodpovězení otázek dotazníku na subjektivní pocity a vnímání oděvního komfortu před testem.
- Začátek fyzické aktivity po uplynutí cca 60 sec. Rozjezd a dosažení nastavené fyzické zátěže.
- Udržování fyzické aktivity v rozmezí předepsané tepové frekvence po dobu testu 45 min.
- Zodpovězení otázek dotazníku na subjektivní pocity a vnímání oděvního komfortu v průběhu testu a okamžitě po skončení testu.
- Zápis o konečném stavu teploty a vlhkosti v klimatizované místnosti.
- Uložení zaznamenaných dat v programu FlexiGuard.

4.5 Vyhodnocení objektivně měřených hodnot teploty a vlhkosti oděvního mikroklimatu

V grafu viz Obr. 4.7 je znázorněn obecný předpokládaný průběh vývoje povrchové teploty probanda v průběhu zátěžového testu. Čárkovaná čára T_{opt} vynesena v grafu představuje optimální teplotu probanda, kdy proband nepocituje tepelný diskomfort. Hodnota T_{opt} je jedinečná pro každého probanda a je závislá na různých faktorech, jako je trénovanost, otužilost, BMI, atd.



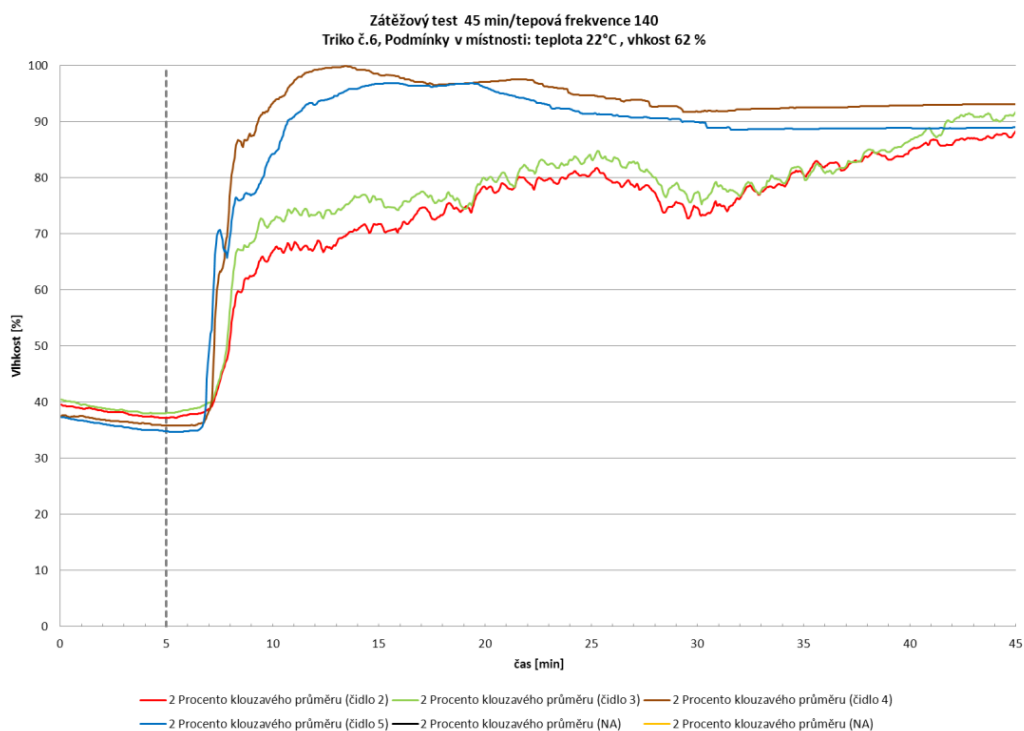
Obr. 4.7 Zobecnění průběhu vývoje povrchové teploty pokožky probanda v průběhu sportovní zátěže

Pro fyziologický komfort probanda je důležité, aby výchylka Amp_T a tudíž rozdíl teplot T_{max} a T_{min} v průběhu sportovní zátěže byl co nejmenší. V průběhu času vykazuje amplituda tendenci postupného zmenšování výchylky a při pokračující zátěži probanda lze předpokládat její postupné vyrovnávání (utlumení) v nekonečnu. Teplota T_{max} je teplota, která v grafu představuje maximální teplotu povrchu probanda, které proband dosáhne při dané fyzické zátěži. Proband v tomto bodě silně pocituje diskomfortní stav – teplo. Tělo probanda při pokračující zátěži začíná reagovat tak, aby nedošlo k přehřátí organismu. Probandovo tělo se začne bránit nárůstem tvorby potu a proband se začne intenzivně potit. Tvorba potu, jehož podstatnou složkou je voda, která má dobrou tepelnou vodivost ($\lambda=0,6 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$), způsobí zvýšení součinitele tepelné vodivosti λ , zvlhčení oděvu (snížení tepelného odporu) a ohlazení povrchu těla probanda zlepšením jeho chlazení usnadněnou evaporací. Povrchová teplota probanda postupně klesá až do druhého hraničního bodu T_{min} , kde proband začne pociťovat druhý diskomfortní stav – chlad. V tomto bodě se začne teplota opět zvyšovat směrem k optimálnímu stavu T_{opt} . Periodu opakování tohoto děje můžeme považovat za děj, při kterém probíhá nejprve vlhčení, transport a pak sušení první vrstvy oděvu. Pot probanda je přijímán první vrstvou oděvu a je postupně transportován na povrch oděvu, kde se začne odpařovat. Kratší perioda děje představuje lepší schopnosti materiálu a struktury trika pohlcovat, transportovat a odvádět vlhkost od těla. Pro lepší triko pak platí, že pocit diskomfortu trvá kratší dobu a triko vyschne na těle probanda rychleji.

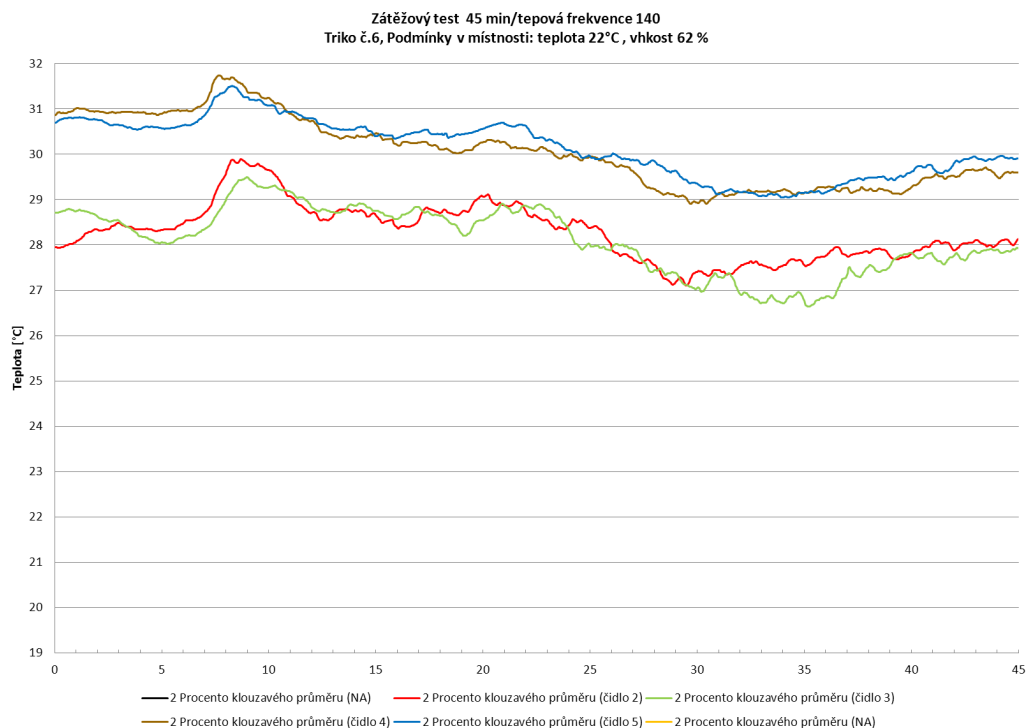
4.5.1 Vyhodnocení a analýza grafu teploty a vlhkosti v mezivrstvě oděvu

Následující grafy viz Obr. 4.8 a Obr. 4.9 ukazují časový průběh teploty a vlhkosti vzduchu, změřené mezi pokožkou testované osoby a první (jedinou) vrstvou oděvu během zátěžového testu na rotopedu v klimatizované místnosti. Horní pár křivek přísluší levému a pravému čidlu umístěnému na zádech pod lopatkami probanda, spodní pár křivek přísluší obdobnému páru čidel, které jsou umístěny pod prsními svaly. Relativní vlhkost vzduchu mezi pokožkou a materiálem trika během několika minut od začátku testu prudce stoupne - na zádech až na 100 % vlhkost, na prsou jen na 70 %, viz Obr. 4.8. To znamená, že na zádech materiál zvlhne vysráženou vlhkostí a

během další doby testu relativní vlhkost klesá na konečných 90 %. Naopak na prsou vlhkost zvolna stoupá s mírným zakolísáním asi po 30 minutách – tento okamžik odpovídá konci poklesu teploty vzduchu podle grafu na Obr. 4.9. Pak vlhkost dále stoupá až na hodnotu 90 % shodnou s hodnotou na zádech.



Obr. 4.8 Ukázka vývoje stavu vlhkosti v mezivrstvě triko-pokožka v průběhu zátěžového testu u vzorku T-shirt 6.



Obr. 4.9 Ukázka vývoje stavu teploty v mezivrstvě triko-pokožka v průběhu zátěžového testu u vzorku T-shirt 6.

4.5.2 Výpočet a stanovení tepelné zátěže organismu podle WBGT

Hodnocení je založeno na výpočtu indexu tepelné zátěže organismu WBGT (Wet Bulb Globe Temperature) dle ČSN EN ISO 7243 (83 3561).

Výsledkem monitorování průběhu teploty a vlhkosti v oděvním mikroklimatu jsou časové závislosti těchto veličin v jednotlivých měřicích bodech. Z vyhodnocení grafů a vypočtené korelace je patrné, že rozdíly mezi čidly na hrudi a na zádech jsou významné. Pro vyjádření celkové tepelné pohody je ale možné vzájemně průměrovat čidla na hrudi a čidla na zádech se stejnou významností [35]. Převedení primárních údajů o teplotě a vlhkosti do škály tepelné pohody je možné s využitím tepelných indexů. Mezi takové standardní tepelné indexy vhodné pro podmínky zvýšené zátěže patří WBGT, který lze přibližně vyjádřit ve tvaru (4.1) [36, 37]:

$$WBGT = 0.7T_w(T_a) + 0.3T_a [^{\circ}C] \quad (4.1)$$

Teplota mokrého teploměru $T_w(T_a)$ [$^{\circ}C$] souvisí s teplotou okolí T_a [$^{\circ}C$] a relativní vlhkostí okolí RH [%]. Lze ji určit dosazením do empirického výrazu (4.2)[38]:

$$T_w(T_a) = T_a \operatorname{atg} \left[0.15977 \sqrt{(RH + 8.313658)} \right] + \operatorname{atg}(T_a + RH) - \operatorname{atg}(RH - 1.676331) + 0.00391838 \sqrt{RH^3} \operatorname{atg}(0.023101RH) - 4.686035 \quad (4.2)$$

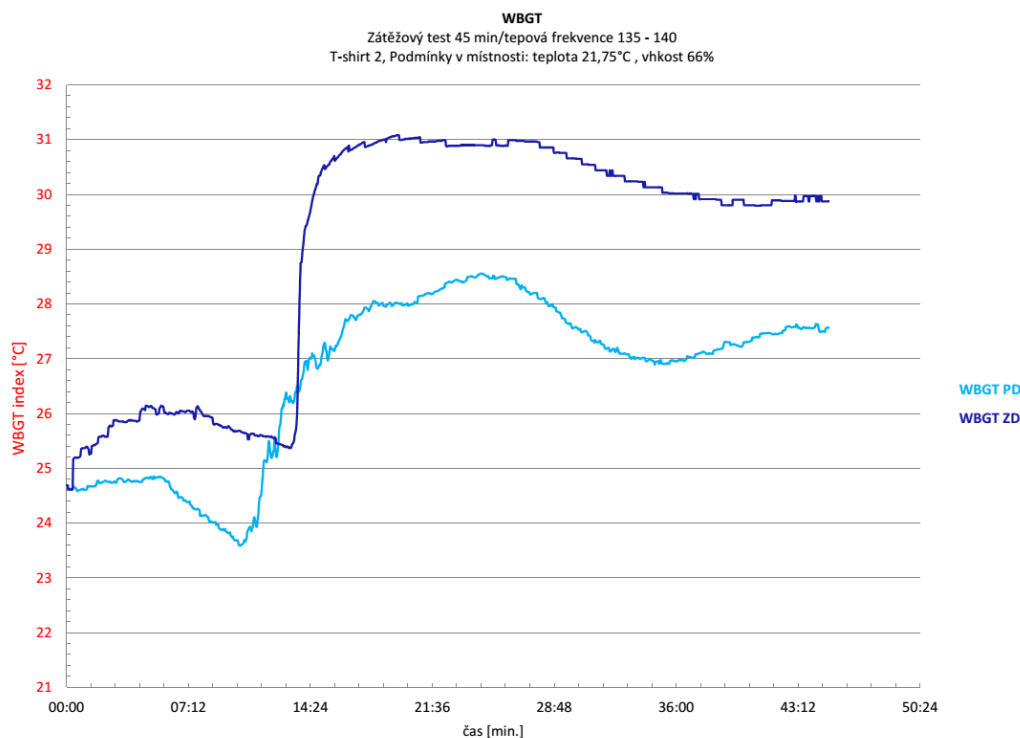
Vztah mezi WBGT a úrovní rizika přehřátí je uveden v následující tabulce viz Tab. 13. Čím více bodů, tím lepší pocit komfortu triko dosahuje a riziko přehřátí organismu je menší [36].

Tab. 13 Vztah mezi WBGT a úrovní rizika přehřátí organismu

Rozmezí WBGT	Riziko přehřátí	Body
Pod 18 $^{\circ}C$	Nízké	1.0
18 $^{\circ}C \leq$ WBGT \leq 23 $^{\circ}C$	Střední	0.8
23 $^{\circ}C \leq$ WBGT \leq 28 $^{\circ}C$	Vysoké	0.6
28 $^{\circ}C \leq$ WBGT \leq 30 $^{\circ}C$	Velmi vysoké	0.4
Nad 30 $^{\circ}C$	Téměř jisté	0.2

Z vývoje tepelného indexu WBGT pro přední díl (PD) a zadní díl (ZD) je zřejmé, že je mezi nimi významný rozdíl. Maximální hodnoty a tudíž největší riziko přehřátí organismu je zaznamenáno na zadním dílu trika.

Časový průběh vývoje tepelného indexu WBGT pro T-shirt 2 je znázorněn v grafu viz Obr. 4.10.



Obr. 4.10 Ilustrativní grafické znázornění časového průběhu vývoje tepelného indexu WBGT

Pro celkové hodnocení oděvního komfortu první vrstvy oděvu dle indexu WBGT bylo vypočteno a vyhodnoceno riziko přehřátí organismu zvláště pro přední díl a zadní díl. Hodnocení je rozděleno na průměrné riziko přehřátí a na maximální riziko přehřátí organismu. Výsledné bodové hodnocení pro charakterizaci rizika přehřátí je uvedeno v následující tabulce viz Tab. 15 jako součet bodů.

4.5.3 Shrnutí výsledků objektivního vyhodnocení oděvního komfortu trik

V následujících tabulkách Tab. 14 a Tab. 15 jsou uvedeny vypočtené a normalizované indexy vybraných užitečných vlastností a to sensorického omaku THV (I_{THV} – index sensorického omaku textilie) a tepelný index WBGT (I_{WBGT} – index průměrného celkového rizika přehřátí organismu).

Tab. 14 Sensorický omak THV a normalizovaný index sensorického omaku textilie.

Označení	THV [-]	Index I_{THV} [-]
T-shirt 1	4.20	0.82
T-shirt 2	4.31	0.84
T-shirt 3	4.58	0.91
T-shirt 4	5.28	1.00
T-shirt 5	4.79	0.95
T-shirt 6	5.17	1.00
T-shirt 7	4.03	0.78
T-shirt 8	4.58	0.91
T-shirt 9	5.04	1.00

T-shirt 10	5.02	1.00
T-shirt 11	4.10	0.80
T-shirt 12	4.75	0.94
T-shirt 13	3.41	0.64
T-shirt 14	5.04	1.00
T-shirt 15	5.21	1.00
T-shirt 16	3.60	0.69
T-shirt 17	5.20	1.00
T-shirt 18	3.30	0.62
T-shirt 19	5.86	1.00
T-shirt 20	4.10	0.80
T-shirt 21	3.61	0.69
T-shirt 22	4.52	0.89
T-shirt 23	4.59	0.91

Tab. 15 Bodové hodnocení rizika přehřátí organismu a výsledná hodnota užítosti - index WBGT

Označení	Součet bodů dle rizika přehřátí [-]	Index I_{WBGT} [-]
T-shirt 1	2.20	0.44
T-shirt 2	2.40	0.50
T-shirt 3	2.20	0.44
T-shirt 4	1.60	0.25
T-shirt 5	2.00	0.37
T-shirt 6	1.80	0.31
T-shirt 7	2.00	0.37
T-shirt 8	2.00	0.37
T-shirt 9	2.00	0.37
T-shirt 10	2.40	0.50
T-shirt 11	1.80	0.31
T-shirt 12	2.00	0.37
T-shirt 13	2.20	0.44
T-shirt 14	1.60	0.25
T-shirt 15	1.60	0.25
T-shirt 16	1.40	0.19
T-shirt 17	1.60	0.25
T-shirt 18	1.60	0.25
T-shirt 19	1.40	0.19
T-shirt 20	1.60	0.25
T-shirt 21	1.80	0.31
T-shirt 22	1.40	0.19
T-shirt 23	1.60	0.25

4.5.4 Souhrnné vyhodnocení objektivního měření při zátěžových testech

Pro dosažení optimálního oděvního komfortu je důležitá schopnost materiálu trika, co nejdéle udržovat povrch pokožky bez vrstvy potu. Je požadována co nejdelší doba, po kterou je triko schopné odvádět a transportovat vlhkost, beze změny a výrazného nárůstu vlhkosti v mezivrstvě pokožka-oděv. Další důležitou vlastností materiálu je pot nejen odvádět, ale umožnit co nejrychleji jeho přestup z povrchu materiálu do okolí. Při tomto procesu je zároveň žádoucí co nejmenší nárůst teploty povrchu těla, při které by mohlo docházet nejprve k přehřátí organismu a po skončení zátěže a tvorby tepla v svalech k prudkému ochlazení těla a vzniku rizika podchlazení. Z těchto důvodů je hodnocení provedeno stanovením tepelné zátěže (rizika přehřátí organismu) podle ukazatele WBGT (ČSN ISO 7243). Pro potřeby a stanovení celkového indexu komfortu jsou sledované užité vlastnosti převedeny na normalizované bezrozměrné indexy.

4.5.5 Závěr - vyhodnocení objektivního měření při zátěžových testech

Na základě výsledků hodnocení rizika přehřátí organismu WBGT a vypočteného indexu I_{WBGT} můžeme konstatovat následující.

- Nejlepší hodnocení, nejvíc bodů (nejnižší riziko přehřátí organismu) dosáhly vzorky - T-shirt 2, T-shirt 10.
- Dobré hodnocení dosáhly vzorky - T-shirt 1, T-shirt 3, T-shirt 13.
- Nejnižší (nejhorší) hodnocení dosáhly vzorky - T-shirt 16, T-shirt 19, T-shirt 22.

Jako nejlepší jsou hodnoceny vzorky vyrobené ze 100 % WO a z 50 % CO/ 50 % PL vláken. Vzorek T-shirt 10 a zejména vzorek T-shirt 2 jsou také dobře hodnocené z pohledu subjektivního hodnocení tepelných pocitů probandem v zátěžovém testu. Jako doporučeníhodná (pro použití v podmínkách vysoké zátěže, bez možnosti snadné výměny první vrstvy oděvu) se jeví vzhledem i k subjektivnímu hodnocení tepelného pocitu probanda vzorky T-shirt 3 a T-shirt 13. Vzorek T-shirt 1 lze doporučit jenom s podmínkou, že po skončení fyzické zátěže organismu (produkce tepla) bude tato vrstva vyměněna za jinou první vrstvu.

Naopak nelze doporučit vzorek T-shirt 16 vyrobený ze 100 % CV vláken, který dosáhl také špatného hodnocení v subjektivním hodnocení tepelného vjemu probandem. Vzorky T-shirt 19 a T-shirt 22 jsou vzhledem k poměrně vysoké plošné gramáži a tloušťce vhodnější do chladnějšího prostředí.

4.6 Materiálové hodnocení vybraného souboru trik

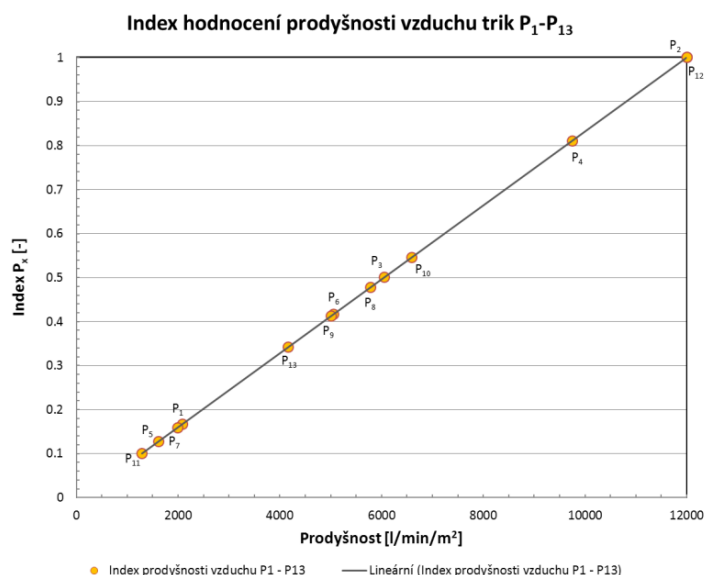
Pro celkový pohled na zkoumaný soubor trik je nezbytné jejich hodnocení pomocí přímo naměřených materiálových hodnot textilních materiálů, ze kterých jsou trika vyrobena. Základní charakteristika a materiálové vlastnosti trik jsou uvedeny v tabulce viz Tab. 5. Standardním postupem dle předepsaných norem byla změřena prodyšnost vzduchu, součinitel tepelné odolnosti R_{ct} a součinitel odolnosti vůči vodním parám R_{et} (podrobnosti viz Příloha 3).

Na základě naměřených parametrů R_{ct} a R_{et} byl dle normy ČSN EN 31092 vypočten bezrozměrný index propustnosti vodních par I_{mt} , který představuje poměr tepelné odolnosti a odolnosti vůči vodním parám podle rovnice (4.3):

$$I_{mt} [-] = (R_{ct} / R_{et}) \cdot S \quad (4.3)$$

kde: S – je rovno 60 [Pa/K].

Pro odzkoušení metodiky materiálového hodnocení byla vybrána menší skupina vzorků. V grafu viz Obr. 4.11 je zobrazena ukázka vyhodnocení prodyšnosti vzduchu pomocí normalizovaného indexu P_x . Index P_1 až P_{13} (číslování indexu P_x je totožné s číslováním vzorků T-shirt 1 – T-shirt 13). Je to bezrozměrná veličina získaná lineárním přepočtem, kde hodnota indexu 1 představuje nejlepší hodnocení daného parametru trika. Podrobnosti a bližší popis transformace je uveden výše viz Kap. 3.4.



Obr. 4.11 Ukázka grafu pro normalizaci hodnocení prodyšnosti vzduchu pomocí indexu P_1 - P_{13} (Pozn. tlakový spád 7 Pa, přepoččet $1 \cdot 10^{-3} m/s = 1 mm/s = 60 l/min/m^2$)

Z materiálového složení byla dále vypočtena objemová porozita O_p dle vztahu (4.4) a z naměřených hodnot R_{et} a R_{ct} byl dle vztahu (4.3) uvedeného v normě ISO 11092 vypočten index propustnosti vodních par I_{mt} .

$$O_p [-] = 1 - \frac{gsm}{Tl \cdot \rho_v} \tag{4.4}$$

Kde: gsm je plošná hmotnost, ρ_v je hustota vláken (lineární mísení s ohledem na objemové podíly), Tl - tloušťka materiálu [m].

Dle definice uvedené v normě ISO 11092 je hodnota indexu propustnosti vodních par $I_{mt} = 0$ spodní hranicí a představuje v hodnocení nekonečnou odolnost, hodnota 1 má tepelnou odolnost vůči vodním parám jako vrstva vzduchu stejné tloušťky. Jejich vzájemná korelace je uvedena v Tab. 16. Všechno jsou to bezrozměrné veličiny.

Tab. 16 Porovnání korelace normalizovaných indexů a objemové porozity.

Korelace	Index propustnosti vodních par I_{mt} [-]	Index prodyšnosti vzduchu [-]	Objemová porozita [-]
Index propustnosti vodních par I_{mt} [-]	1		
Index prodyšnosti vzduchu [-]	0.9062	1	
Objemová porozita [-]	-0.0065	0.2233	1

V následující tabulce viz Tab. 17 je testovaný soubor trik seřazen podle indexu propustnosti vodních par od nejhoršího k nejlepšímu. Hodnoty indexu rovnající se, nebo blízké hodnotě „1“ představují optimální komfort.

Tab. 17 Souhrnná tabulka normalizovaných indexů a objemové porozity.

Označení	Index propustnosti vodních par I_{mt} [-]	Index prodyšnosti vzduchu [-]	Objemová porozita [-]
T-shirt 7	0.27	0.11	0.841
T-shirt 9	0.31	0.14	0.855
T-shirt 11	0.32	0.17	0.829
T-shirt 4	0.33	0.18	0.839
T-shirt 5	0.36	0.35	0.807
T-shirt 13	0.37	0.42	0.843
T-shirt 6	0.39	0.42	0.842
T-shirt 10	0.43	0.48	0.839
T-shirt 1	0.45	0.50	0.838
T-shirt 8	0.45	0.55	0.853
T-shirt 3	0.54	0.81	0.862
T-shirt 12	0.57	1.00	0.860
T-shirt 2	0.86	1.00	0.824

Alternativní způsob výpočtu celkové porozity pro vybrané vzorky pomocí nové progresivní metody je uveden v příloze 5. Při porovnání výsledků porozity jedné a druhé metody je zřejmé, že nejsou přímo srovnatelné.

Z výsledků uvedených v Tab. 16 a Tab. 17 můžeme konstatovat následující.

- Vypočtená objemová porozita vzorků dle (4.4) je téměř stejná pro všechny vzorky.
- Index propustnosti vodních par dobře koreluje s indexem prodyšnosti vzduchu.
- Standardizovaný index propustnosti vodních par I_{mt} je komplexnějším indexem, než index prodyšnosti vzduchu a zahrnuje v sobě jak R_{et} tak R_{ct} a proto je vhodnější pro hodnocení termofyziologických vlastností (komfortu) oděvů.

Materiálové hodnocení podle indexu I_{mt}

Index propustnosti vodních par I_{mt} je bezrozměrný a dosahuje hodnot mezi 0 a 1. Hodnota 0 znamená, že materiál nepropouští vodní páru, tj. má nekonečnou odolnost vůči vodním parám a materiál s hodnotou 1 má tepelnou odolnost vůči vodním parám jako vrstva vzduchu shodné tloušťky. Výsledné hodnoty jsou uvedeny v následující tabulce viz Tab. 18.

Tab. 18 Naměřené materiálové údaje a vypočtený index I_{mt} .

Označení	R_{et} [$\text{Pa}\cdot\text{m}^2\cdot\text{W}^{-1}$]	R_{ct} [$\text{K}\cdot\text{m}^2\cdot\text{W}^{-1}$]	I_{mt} [-]
T-shirt 1	2.560	0.019	0.45
T-shirt 2	2.590	0.037	0.86
T-shirt 3	5.120	0.046	0.54
T-shirt 4	2.000	0.011	0.33
T-shirt 5	4.150	0.025	0.36
T-shirt 6	3.060	0.020	0.39
T-shirt 7	3.780	0.017	0.27
T-shirt 8	3.230	0.024	0.45
T-shirt 9	2.920	0.015	0.31

T-shirt 10	2.820	0.020	0.43
T-shirt 11	3.380	0.018	0.32
T-shirt 12	3.140	0.030	0.57
T-shirt 13	1.300	0.008	0.37
T-shirt 14	2.786	0.025	0,55
T-shirt 15	3.657	0.037	0.61
T-shirt 16	3.125	0.026	0.50
T-shirt 17	3.606	0.055	0.92
T-shirt 18	2.550	0.028	0.65
T-shirt 19	5.420	0.038	0.42
T-shirt 20	3.840	0.034	0.53
T-shirt 21	2.860	0.023	0.48
T-shirt 22	3.610	0.024	0.39
T-shirt 23	3.877	0.031	0.48

4.6.1 Závěr - materiálové hodnocení podle indexu I_{mt}

Na základě vypočteného indexu I_{mt} se jako nejvhodnější z testovaného souboru první vrstvy oděvu jeví následující vzorky trik:

- Nejlepší hodnocení - T-shirt 17 (0.92 [-]), T-shirt 2 (0.86 [-]), T-shirt 18 (0.65 [-]), T-shirt 15 (0.61 [-]), T-shirt 12 (0.57 [-]).
- Nejnižší hodnocení dosáhly vzorky - T-shirt 7 (0.27 [-]), T-shirt 9 (0.31 [-]), T-shirt 11 (0.32 [-]).

Výborné hodnocení dle indexu I_{mt} dosáhly vzorky vyrobené z vlny-merino T-shirt 17, 2, 18, dobré hodnocení dosáhly vzorky T-shirt 15 (PP) a T-shirt 12 (PL). Nejhorší hodnocení dosáhly vzorky vyrobené z bavlněných vláken T-shirt 7, 9, 11 (CO).

4.7 Analýza a vyhodnocení údajů z objektivního měření

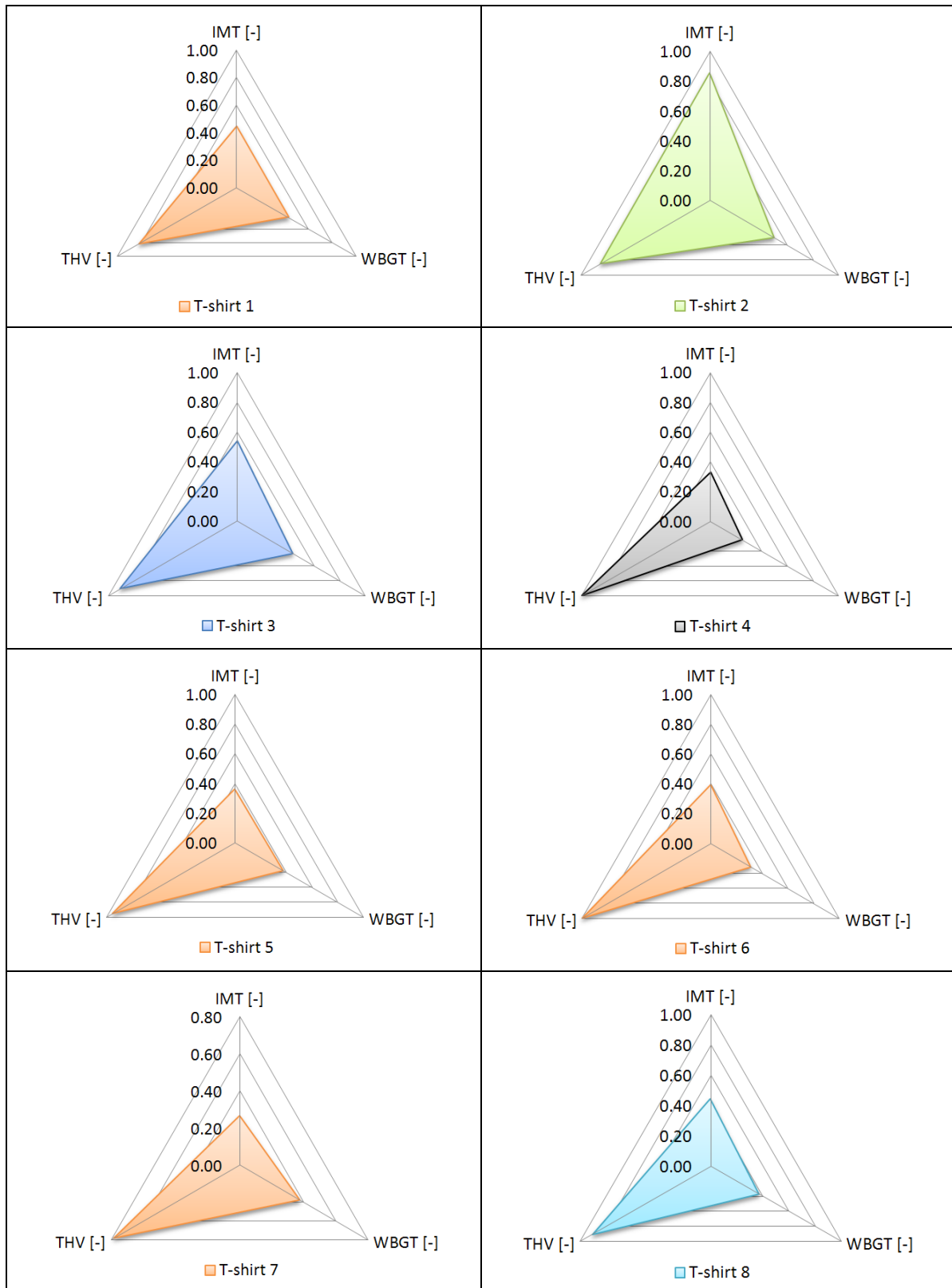
Na následujících obrázcích jsou v paprskových diagramech prostorově zobrazena vypočtená a linearizovaná objektivní měření vybraných užitečných vlastností textilií. Pro optimální textilii a z ní vyrobený kus oděvu, bude platit, že vynesená bezrozměrná veličina pro námi sledovanou vlastnost na diagramu bude v každé ose x, y, z rovná hodnotě 1 a tudíž výsledný obrazec - trojúhelník bude zabírat maximální možnou plochu v diagramu. Pro snadnější orientaci jsou výsledky barevně rozlišené podle dominantního materiálového složení textilie.

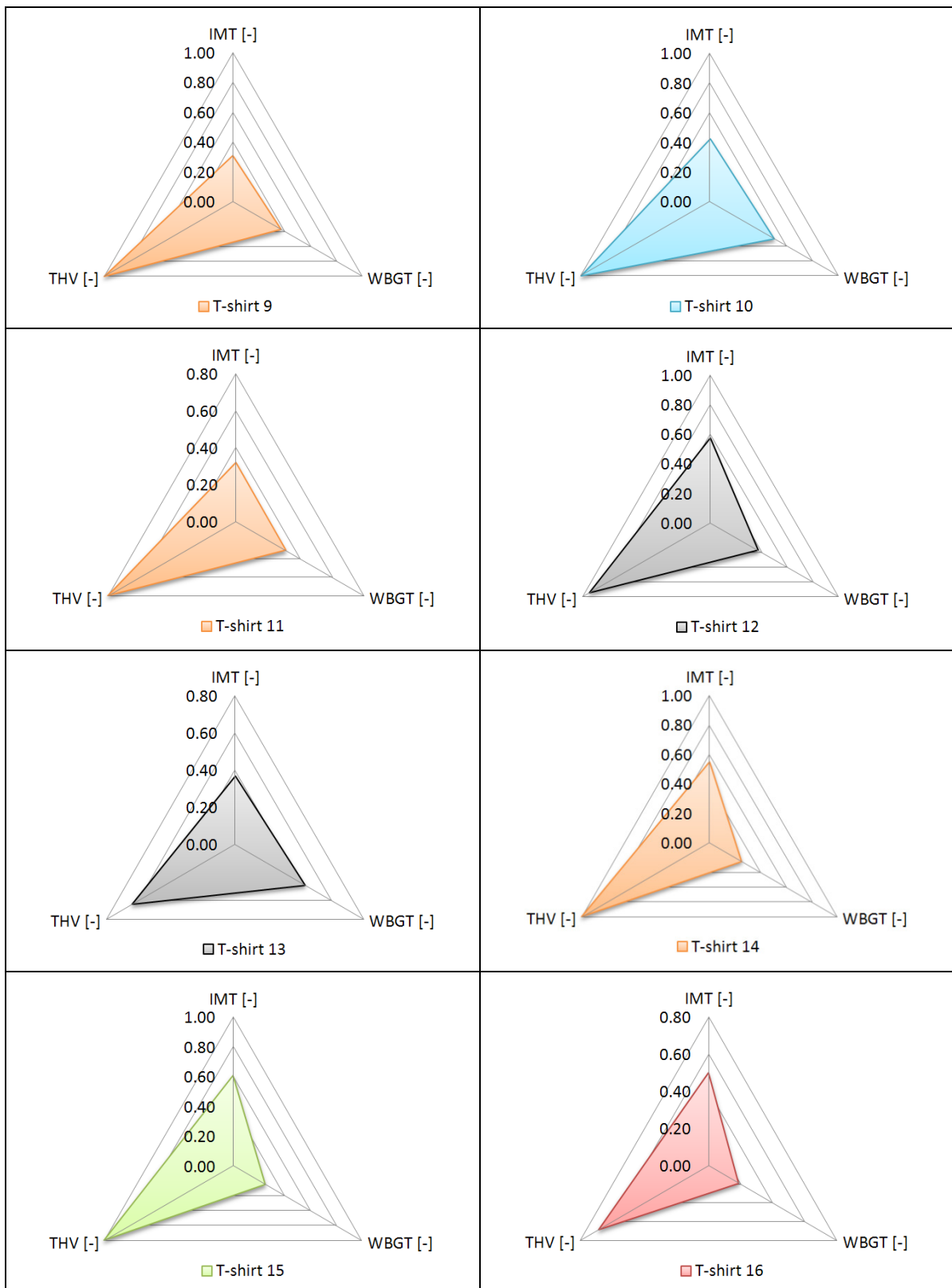
Barevné rozlišení dle materiálového složení je definované následovně:

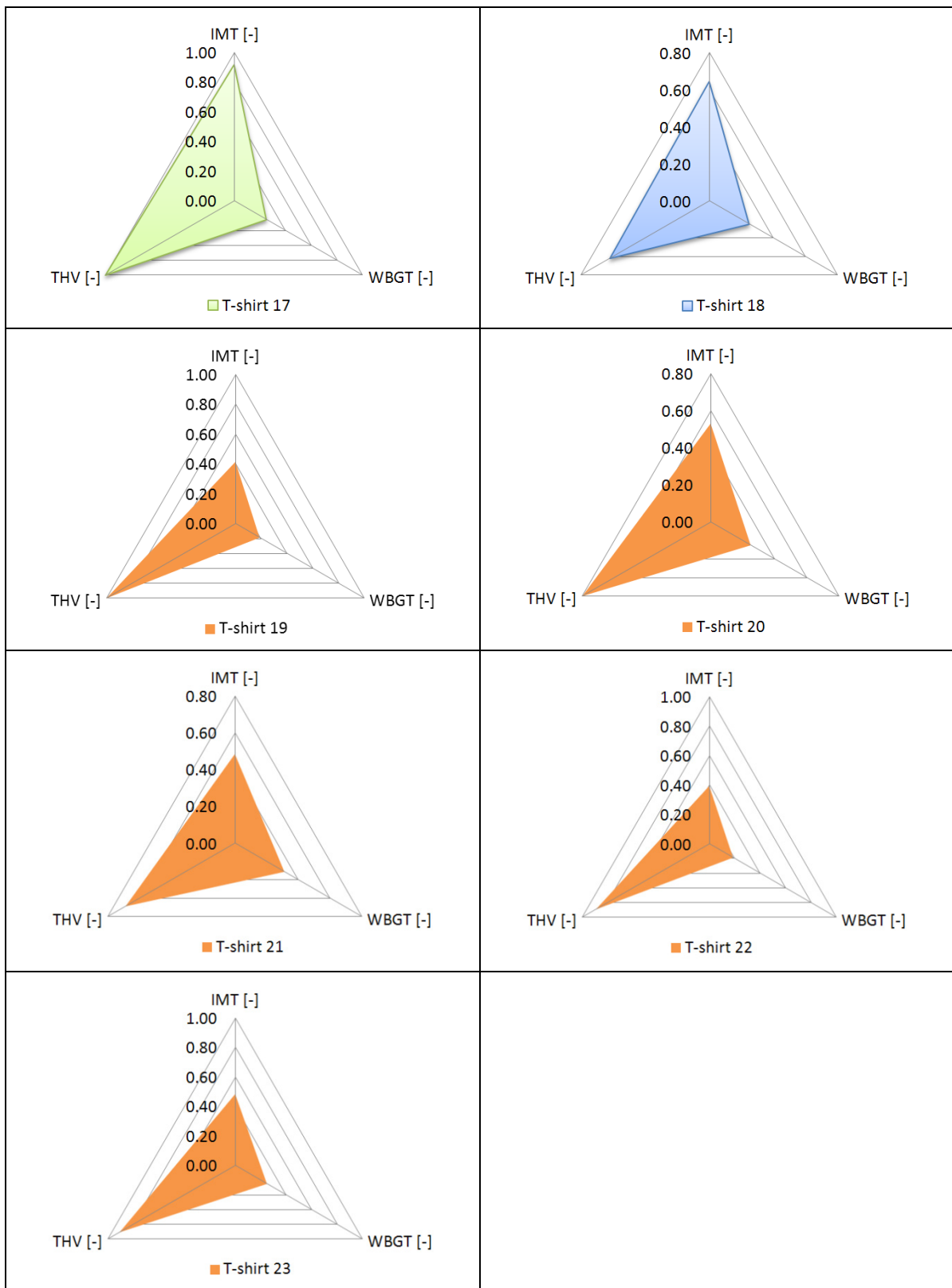
 Bavlina	 Polyester
 Merino vlna	 Viskóza
 Polypropylén	 Směs

Paprskové diagramy vybraných užitečných vlastností viz Tab. 19.

Tab. 19 Vizualizace užitečných vlastností z objektivního měření oděvního komfortu oděvu



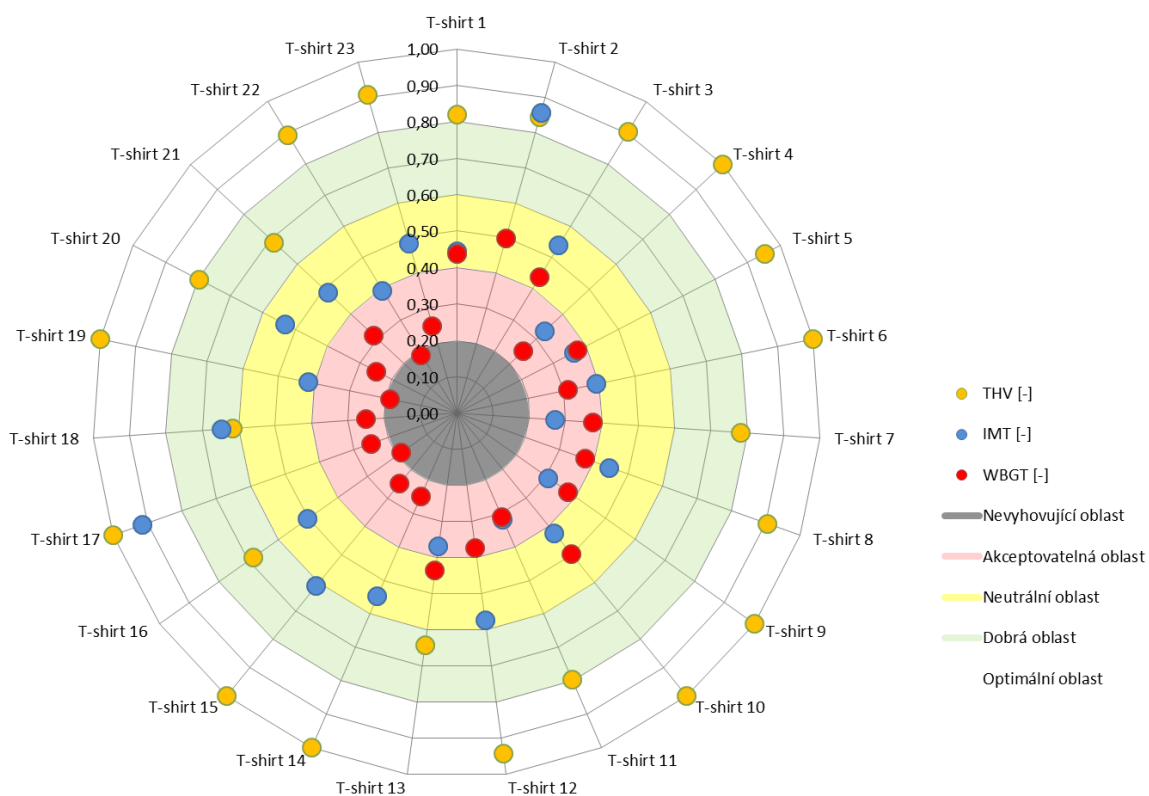




Na následujícím diagramu můžeme sledovat vzájemné srovnání užitečných vlastností souboru trik jako celku. V jednotlivých paprscích diagramu jsou užité vlastnosti pro každé triko vyneseny na jedné ose. Jako nejlepší je hodnocena ta textilie, která má všechny hodnocené užité vlastnosti nejbliž okraji diagramu, tj. hodnotě 1. Z diagramu viz Obr. 4.12 je zřejmé, že v hodnocení sensorického omaku THV hodnocené textilie dosáhly velmi dobrého až výborného hodnocení. V hodnocení indexu I_{mt} jsou vidět již výraznější rozdíly mezi jednotlivými textiliemi. Jako nejvyrovnanější z pohledu objektivního hodnocení je hodnocení dle tepelného indexu WBGT.

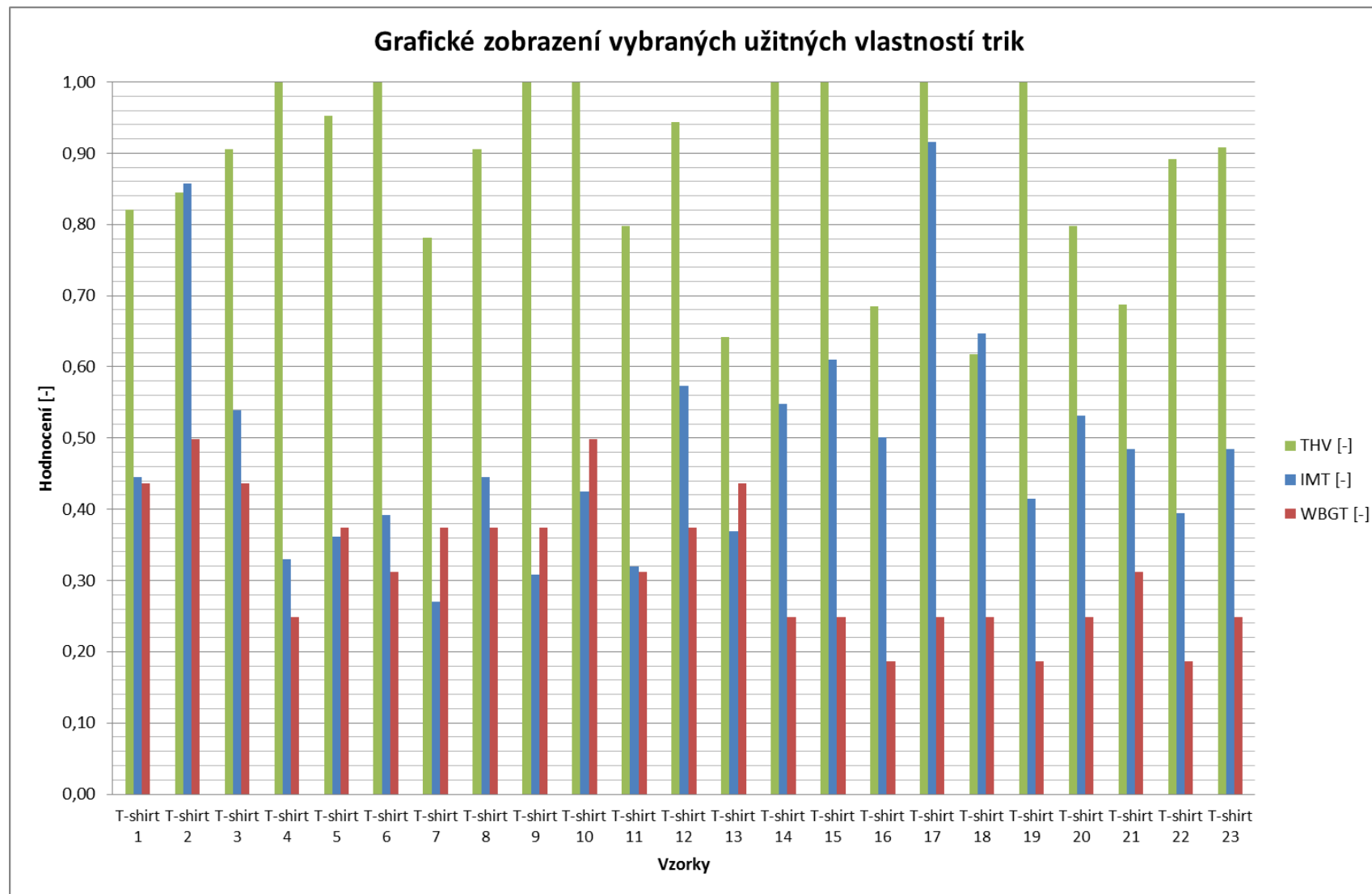
Paprskový diagram vybraných užitečných vlastností trik spolu s vyobrazením hranic oblastí komfortu (od nevyhovující až po optimální oblast) je zobrazeno na obrázku grafu viz Obr. 4.12. Interval (hranice) jednotlivých oblastí grafu jsou rozděleny následovně:

- 1) Nevyhovující oblast komfortu $\langle 0-0,2 \rangle$.
- 2) Akceptovatelná oblast komfortu $\langle 0,2-0,4 \rangle$.
- 3) Neutrální oblast komfortu $\langle 0,4-0,6 \rangle$.
- 4) Oblast dobrého komfortu $\langle 0,6-0,8 \rangle$.
- 5) Optimální oblast komfortu $\langle 0,8-1 \rangle$.



Obr. 4.12 Grafické zobrazení vybraných užitečných vlastností pro zkoumaný soubor trik.

Grafické zobrazení vybraných užitečných vlastností trik v klasickém sloupcovém grafu je zobrazeno na Obr. 4.13.



Obr. 4.13 Grafické zobrazení vybraných užitečných vlastností pro zkoumaný soubor trik.

4.8 Návrh a výpočet indexu komfortu

Pro celkové zhodnocení a pohled na „výkon“ (fyziologický komfort), který poskytuje testovaná textilie při dlouhodobé fyzické aktivitě uživatele oděvu, byl navržen index komfortu I_{com} . Hodnocení je založeno na třech objektivně měřených složkách ovlivňujících celkový pocit komfortu uživatele při jeho dlouhodobé fyzické námaze a to materiálové složky zastoupené indexem I_{mt} , tepelného indexu WBGT a indexu senzoričského omaku THV.

Index oděvního komfortu je vypočten podle rovnice (4.5):

$$I_{com} [-] = k_1 \cdot I_{WBGT} + k_2 \cdot I_{mt} + k_3 \cdot I_{THV} \quad (4.5)$$

kde:

- k_1 – konstanta významnosti,
- k_2 – konstanta významnosti,
- k_3 – konstanta významnosti,
- I_{WBGT} – index průměrného celkového rizika přehřátí organismu,
- I_{mt} – index propustnosti vodních par,
- I_{THV} – index senzoričského omaku textilie.

Všechny tři složky indexu jsou důležitou součástí celkového pohledu uživatele na textilii a umožňují nám kvalitativně hodnotit textilii přímo z termofyziologického rizika přehřátí a senzoričského hlediska vzhledem k jejím předpokládaným budoucím uživatelům.

Z analýzy a výsledků experimentálních dat můžeme konstatovat následující:

Pro rychlé komparativní hodnocení oděvního komfortu trik, zejména pro oděvy určené pro rekreační sportovce (bez dalších speciálních požadavků kladených na oděv a s možností jejich snadné výměny za jinou) můžeme rovnici (4.5) nahradit zjednodušenou rovnicí (4.6).

$$I_{com} [-] = k_1 \cdot I_{mt} + k_2 \cdot I_{THV} \quad (4.6)$$

- Při stanovování váhy koeficientů významnosti k_1 a k_2 je možné a doporučené vycházet z tabulky viz Tab. 4 pro textilie - *prádlovky normální*.
- Naopak při speciálních požadavcích na oděv je vhodné tuto rovnici rozšířit o další hodnotící kritéria dle doporučení uvedených v Kap. 3.4.4.

4.8.1 Celkové hodnocení oděvního komfortu

Protože se jedná o výpočet uživatelského komfortu oděvu a různí uživatelé mohou mít rozdílné požadavky na jednotlivé hodnotící složky, rovnice indexu (4.5) umožňuje pomocí volitelného parametru váhy k_x nastavit preferenci jednotlivých složek. Pomocí nastavení preferencí tak může výsledný index komfortu lépe reagovat na požadavky jednotlivých uživatelů oděvů. Protože se v této disertační práci jedná jenom o informativní výpočet pro tuto studii, byla pro každou složku indexu zvolena stejná preference (váha). Vypočtený index komfortu zkoumaného souboru je uveden v následující tabulce a byl převeden do procentuálního zobrazení viz Tab. 20.

Tab. 20 Celkový vypočtený index komfortu pro zkoumaný soubor textilií.

Označení	Index komfortu - I_{com} [%]
T-shirt 1	56.67
T-shirt 2	73.28
T-shirt 3	62.64
T-shirt 4	52.59
T-shirt 5	56.22
T-shirt 6	56.74
T-shirt 7	47.47
T-shirt 8	57.45
T-shirt 9	56.02
T-shirt 10	64.08
T-shirt 11	47.57
T-shirt 12	62.97
T-shirt 13	48.21
T-shirt 14	59.85
T-shirt 15	61.92
T-shirt 16	45.72
T-shirt 17	72.07
T-shirt 18	50.41
T-shirt 19	53.34
T-shirt 20	52.55
T-shirt 21	49.40
T-shirt 22	49.04
T-shirt 23	54.66

4.8.2 Vyhodnocení výsledků podle indexu komfortu

Na vypočteného celkového indexu komfortu a výsledku uvedených v Tab. 20. můžeme konstatovat následující.

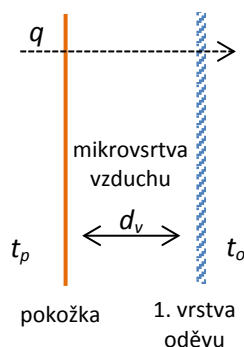
- Nejvyšší procentuální hodnocení dle I_{com} dosáhly vzorky T-shirt 2, 17 – nad 72 %
- Nejhorší hodnocení pod 50 % dosáhly vzorky T-shirt 16, 7, 11, 13.
- Další vzorky v testu dosáhly průměrné až nadprůměrné hodnocení.

Jako nejvhodnější první vrstvu oděvu, dle výpočtu indexu komfortu oděvu založeného na objektivním hodnocení materiálových vlastnosti textilií můžeme doporučit textilie vyrobené z vlny-merino, naopak nelze doporučit trika vyrobená ze 100 % viskózy a bavlny. Jako dobrou alternativu zejména z hlediska jednoduché údržby a také ekonomického hlediska lze doporučit trika vyrobená z polyesterových vláken.

5 Simulace přestupu tepla přes první vrstvu oděvu.

Pro komplexnější pohled na vybrané textilní vzorky a predikci chování první vrstvy oděvu při dlouhodobé fyzické aktivitě, byla provedena simulace prostupu tepla přes první vrstvu oděvu za rozdílných podmínek simulace.

Kondukce tepla je hlavní mechanismus přenosu tepla v tenkých textilních vrstvách oděvního systému. V příspěvku [39] je rozpracovaná problematika transportních vlastností tepla přes textilní vrstvy v průběhu fyzické aktivity a dále je rozebrán vliv kondenzace vodních par v mezivrstvách oděvu a její vliv na funkční vlastnosti systému oděvu. Protože první vrstva oděvu je v přímém kontaktu s pokožkou a může být také použita ve dvou a tří vrstevném systému oděvu je důležité predikovat její chování za různých podmínek. Tepelná vodivost materiálu byla pro simulaci zvolena v „suchém“ stavu za podmínek 31 °C a relativní vlhkosti 40 % a ve „vlhkém“ stavu za podmínek 31 °C a relativní vlhkosti 90 %. Oba stavy tak odpovídají reálnému výchozímu stavu probanda na začátku testu a po ustálení cca po 30-ti minutách fyzické aktivity v průběhu testu.



Obr. 5.1 Schematické zobrazení navržené simulace přestupu tepla.

Navržené varianty simulace:

- I. **Letní** – vnější prostředí vzduch $t_o - 35$ °C (bez nucené konvekce)
 - a. Bez fyzické zátěže – suchý vzduch / suchá oděvní vrstva
 - b. Po fyzické aktivitě – vlhký vzduch / zvlhčená oděvní vrstva
- II. **Zimní** – vnější prostředí vzduch $t_o - 21$ °C (bez nucené konvekce)
 - a. Bez fyzické zátěže – suchý vzduch / suchá oděvní vrstva
 - b. Po fyzické aktivitě – vlhký vzduch / zvlhčená oděvní vrstva

Podmínky simulace:

Tepelný odpor vzduchové vrstvy oděvu dosahuje svého maxima při tloušťce 5 mm. U silnějších vrstev se již uplatňuje volná konvekce a tepelný odpor klesá [6]. Pro simulaci byly zvoleny dvě varianty tloušťky mikrovrstvy.

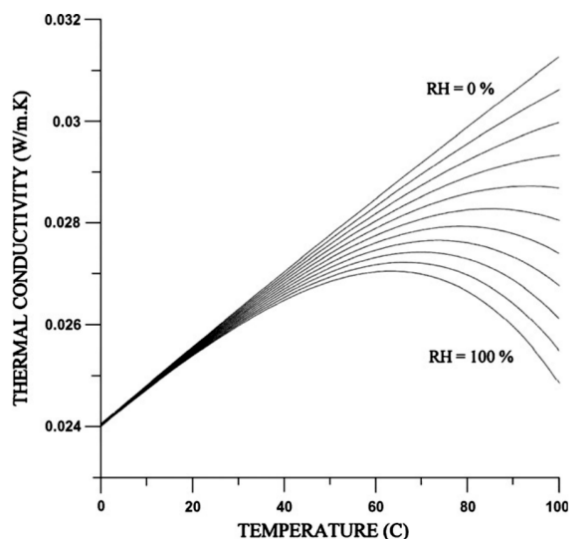
Vzduchová mezera v mikrovrstvě systému pokožka – oděv:

Tloušťka mikrovstvy

- a. Mikrovrstva vzduchu $d_v - 0,001$ m
- b. Mikrovrstva vzduchu $d_v - 0,005$ m

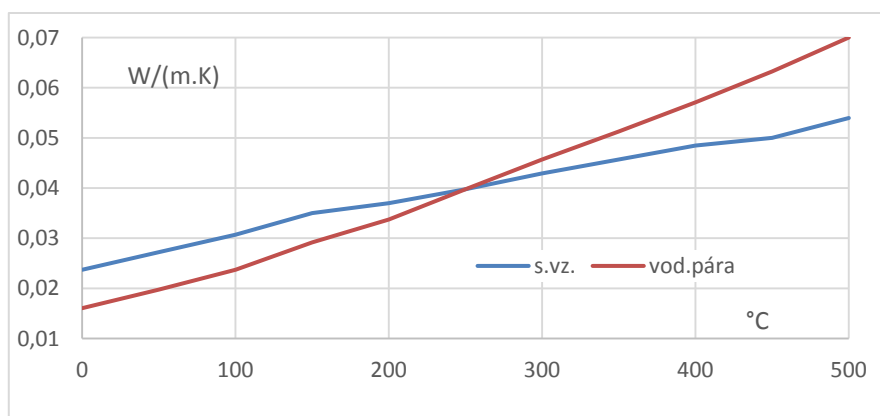
Tepelná vodivost vzduchu

Porovnání tepelné vodivosti vlhkého a suchého vzduchu při teplotách od 0 – 100 °C, je zobrazeno na Obr. 5.2. Relativní vlhkost je znázorněná v grafu v rozmezí od 0 % (horní křivka) po 100 % (dolní křivka) v pevných krocích po 10 % RH. Při teplotách vyšších než 50 °C můžeme sledovat pokles tepelné vodivosti u vlhkého vzduchu.



Obr. 5.2 Tepelná vodivost vlhkého vzduchu, jako funkce teploty s relativní vlhkostí jako parametr v rozmezí od suchého vzduchu (horní křivka RH = 0 %) až po vlhký vzduch (nižší křivka RH = 100 %) v 10 % krocích. [40]

V rozsahu teplot běžně používaných v klimatizovaných podmínkách textilních laboratoří (20 °C), je podle [41] tepelná vodivost přehřáté vodní páry menší než vodivost suchého vzduchu, viz graf na Obr. 5.3. Například pro 0 °C jsou hodnoty vodivosti 0,0237 W/(m.K) pro suchý vzduch a 0,0160 W/(m.K) pro přehřátou vodní páru, tj. asi 67 % hodnoty vzduchu a hodnoty se vyrovnají okolo 250 °C. Pro praktické výpočty můžeme tedy zanedbat tento rozdíl, a pokud by se naopak uvažoval, tak by paradoxně nepatrně zlepšil tepelně izolační vlastnost vlhkého vzduchu. Pokud by se uvažovaly letní podmínky (35 °C) můžeme pro výpočet volit mírně vyšší hodnoty tepelné vodivosti vzduchu 0,0255 – 0,026 W/(m.K).



Obr. 5.3 Tepelná vodivost suchého vzduchu a přehřáté vodní páry [39]

Základním předpokladem pro tuto simulaci je, že nedochází ke kondenzaci vodní páry v materiálu, protože voda má asi 25x větší tepelnou vodivost (0,6 W/(m. K)) než suchý vzduch.

Tepelná vodivost vzduchu pro simulaci:

- c. Součinitel tepelné vodivosti vzduchu $\lambda_{vz.} = 0,0242$ [W/(m.K)]

Variety první vrstvy oděvů pro simulaci přestupu tepla

Pro simulaci přestupu tepla byly ze zkoumaného souboru trik vybrány čtyři vzorky, které dosáhly v celkovém hodnocení dle indexu komfortu nejlepší hodnocení. Všechny vzorky tak představují typické zastupitele pro dané jednodruhové materiálové složení. Základní parametry pro simulaci jsou uvedeny v následujícím seznamu. Tepelná vodivost materiálu vzorku byla zjišťována na přístroji C-THERM TCi umístěném v klimatické komoře za ustálených podmínek uvedených v tabulce. Výsledná tepelná vodivost je průměrem z 10-ti. V tabulce níže je pro srovnání uveden přepočtený součinitel tepelné vodivosti λ ze změřené tepelné odolnosti R_{ct} na přístroji SGHP.

Vzorek	Tloušťka [m]	Tepelná vodivost za sucha λ_s [W/(m.K)] (31°C/40% RH)	Tepelná vodivost za mokra λ_m [W/(m.K)] (31°C/90% RH)
1. T-shirt 1 – 100% CO	0.00069	0.0867	0.1117
2. T-shirt 2 – 100% WO	0.00094	0.0754	0.0997
3. T-shirt 3 – 100% PP	0.00151	0.0660	0.0693
4. T-shirt 12 – 100% PL	0.00092	0.0687	0.0711

Kontrolní srovnávací přepočtení R_{ct} (SGHP) $\rightarrow \lambda_{Rct}$ [W/(m.K)] (35°C/60% RH)

1. T-shirt 1 – 100% CO	0.00069	0.03632
2. T-shirt 2 – 100% WO	0.00094	0.02541
3. T-shirt 3 – 100% PP	0.00151	0.03283
4. T-shirt 12 – 100% PL	0.00092	0.03067

Simulace

V následujících tabulkách jsou uvedeny varianty simulace dle metodiky zadání uvedeného výše a výsledné hodnoty součinitele prostupu tepla, odporu prostupu tepla a výsledné teploty na rozhraní vrstev. Rozpis variant kódování pro simulaci je uveden v Tab. 21.

Tab. 21 Souhrnný rozpis parametrů pro simulaci přestupu tepla.

Simulace období - Letní / Zimní	Tloušťka mezivrstvy d_v	Aktivita uživatele	Tepelná vodivost vzduchu $\lambda_{vz.}$
I.	a.	a.	c.
II.	b.	b.	

V následujících tabulkách viz Tab. 22 – Tab. 25 jsou uvedené výsledky simulace, tj. hodnoty součinitele přestupu tepla, odporu prostupu tepla a teploty na rozhraní vrstev pro jednotlivé podmínky a parametry dle navržené metodiky simulace.

Tab. 22 Vypočtené hodnoty součinitele prostupu tepla při použití navrženého systému v letním prostředí bez fyzické aktivity uživatele. (simulace - suchý stav vzorku λ_s)

Vzorek	Varianta	Součinitel prostupu tepla [W/(m ² K)]	Odpor prostupu tepla [(m ² K)/W]	Teplota na rozhraní vrstev 1-2 [°C]
T-shirt 1	I.a.a.c.	20.29	0.05	34.35
T-shirt 1	I.b.a.c.	4.66	0.21	34.85
T-shirt 2	I.a.a.c.	18.59	0.05	34.07
T-shirt 2	I.b.a.c.	4.56	0.22	34.77
T-shirt 3	I.a.a.c.	15.58	0.06	33.57
T-shirt 3	I.b.a.c.	4.36	0.23	34.6
T-shirt 12	I.a.a.c.	18.28	0.05	34.02
T-shirt 12	I.b.a.c.	4.55	0.22	34.76

Tab. 23 Vypočtené hodnoty součinitele prostupu tepla při použití navrženého systému v zimním prostředí bez fyzické aktivity uživatele. (simulace - suchý stav vzorku λ_s)

Vzorek	Varianta	Součinitel prostupu tepla [W/(m ² K)]	Odpor prostupu tepla [(m ² K)/W]	Teplota na rozhraní vrstev 1-2 [°C]
T-shirt 1	II.a.a.c.	20.29	0.05	21.66
T-shirt 1	II.b.a.c.	4.66	0.21	21.37
T-shirt 2	II.a.a.c.	18.59	0.05	23.32
T-shirt 2	II.b.a.c.	4.56	0.22	21.57
T-shirt 3	II.a.a.c.	15.58	0.06	24.56
T-shirt 3	II.b.a.c.	4.36	0.23	22.0
T-shirt 12	II.a.a.c.	18.28	0.05	23.45
T-shirt 12	II.b.a.c.	4.55	0.22	21.61

Tab. 24 Vypočtené hodnoty součinitele prostupu tepla při použití navrženého systému v letním prostředí v průběhu fyzické aktivity uživatele. (simulace - mokrý stav vzorku λ_m)

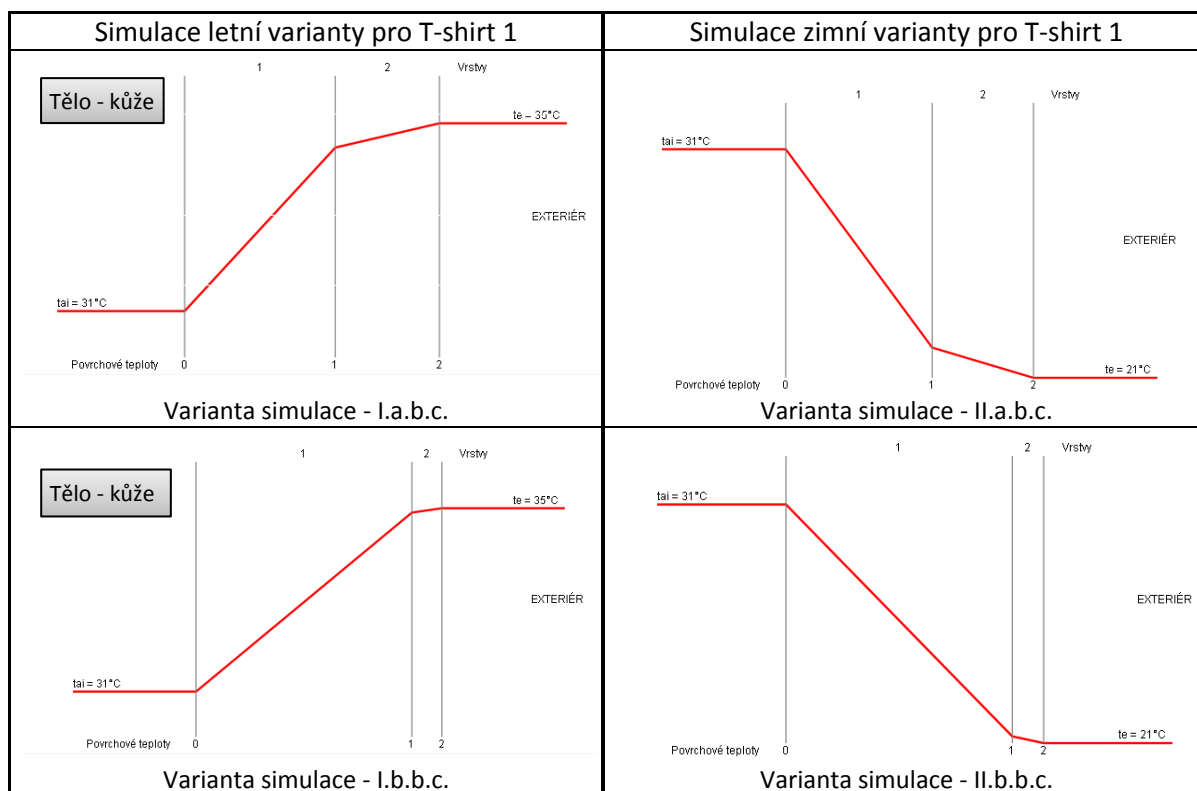
Vzorek	Varianta	Součinitel prostupu tepla U [W/(m ² K)]	Odpor prostupu tepla R [(m ² K)/W]	Teplota na rozhraní vrstev 1-2 [°C]
T-shirt 1	I.a.b.c.	21.05	0.05	34.48
T-shirt 1	I.b.b.c.	4.7	0.21	34.88
T-shirt 2	I.a.b.c.	19.7	0.05	34.26
T-shirt 2	I.b.b.c.	4.63	0.22	34.83
T-shirt 3	I.a.b.c.	15.84	0.06	33.62
T-shirt 3	I.b.b.c.	4.38	0.23	34.62
T-shirt 12	I.a.b.c.	18.43	0.05	34.05
T-shirt 12	I.b.b.c.	4.55	0.22	34.76

Tab. 25 Vypočtené hodnoty součinitele prostupu tepla při použití navrženého systému v zimním prostředí v průběhu fyzické aktivity uživatele. (simulace - mokrý stav vzorku λ_m)

Vzorek	Varianta	Součinitel prostupu tepla U [W/(m ² K)]	Odpor prostupu tepla R [(m ² K)/W]	Teplota na rozhraní vrstev 1-2 [°C]
T-shirt 1	II.a.b.c.	21.05	0.05	22.3
T-shirt 1	II.b.b.c.	4.7	0.21	21.29
T-shirt 2	II.a.b.c.	19.7	0.05	22.86
T-shirt 2	II.b.b.c.	4.63	0.22	21.44
T-shirt 3	II.a.b.c.	15.84	0.06	24.45
T-shirt 3	II.b.b.c.	4.38	0.23	21.95
T-shirt 12	II.a.b.c.	18.43	0.05	23.38
T-shirt 12	II.b.b.c.	4.55	0.22	21.59

Ukázka výsledného profilu přestupu tepla pro vzorek T-shirt 1.

Tab. 26 Ilustrační výsledný simulační profil prostupu tepla přes vzorek T-shirt 1.



Teplná jímavost vzorků je vypočítaná porovnáním odezvy senzoru s kalibrační hodnotou výrobce. Výsledná naměřená effusivita zkoušených vzorků za rozdílných vlhkostních podmínek je uvedena v následující tabulce viz Tab. 27.

Tab. 27 Naměřená effusivita vzorků na přístroji TCI.

Vzorek	Effusivita (31 °C/ 40 % RH)	Effusivita (31 °C/ 90 % RH)
	[Ws ^{1/2} /(m ² K)]	[Ws ^{1/2} /(m ² K)]
T-shirt 1	175.52	231.85
T-shirt 2	145.78	206.23
T-shirt 3	118.55	128.23
T-shirt 12	126.46	133.45

Výpočet přestupu tepla

Přestup tepla, jestliže předpokládáme těsné přilnutí oděvní vrstvy k tělu, je převážně pouze kondukcí. Tepelný tok Q při celkové uvažované tloušťce vrstev $h = 1,69$ mm, teplotě pokožky $v_k = 31$ °C, teplotě okolí $v_o = 21$ °C, $\lambda_{40} = 0,0867$ W/(m. K) a ploše oděvu přibližně $S = 1,5$ m² je dán vztahem (5.1):

Výpočet pro T-shirt 1 (suchý stav)

$$Q = \lambda_{40} \frac{v_k - v_o}{h} \cdot S = 0,0867 \cdot \frac{31 - 21}{0,00169} \cdot 1,5 = 769,5W \quad (5.1)$$

Při relativní vlhkosti $\phi = 90$ % je $\lambda_{90} = 0,1117$ W/(m. K), což je o 29 % více. Tepelný tok je pak možné vypočítat podle následujícího vzorce (5.2):

Výpočet pro T-shirt 1 (vlhký stav)

$$Q = \lambda_{90} \frac{v_k - v_o}{h} \cdot S = 0,1117 \cdot \frac{31 - 21}{0,00169} \cdot 1,5 = 854,8W \quad (5.2)$$

Pokud budeme uvažovat stejnou variantu, ale o jiné celkové tloušťce vrstev $h = 5,69$ mm, pak podle (5.1) a (5.2) dostaneme $Q = 218,2$ W pro λ_{40} a $Q = 281,2$ W pro λ_{90} .

Analogicky dostaneme stejným výpočtem tepelný tok Q pro T-shirt 12:

- tloušťka vrstev $h = 1,92$ mm, $Q = 536,7$ W pro λ_{40} a $Q = 555,5$ W pro λ_{90} ,
- tloušťka vrstev $h = 5,92$ mm, $Q = 174,2$ W pro λ_{40} a $Q = 180,2$ W pro λ_{90} .

Tyto výsledky je potřeba okomentovat následujícím rozbohem:

- Hodnota tepelného toku je velmi vysoká a oděv by neposkytoval dobrou tepelnou ochranu ani při intenzivní činnosti, kde lze předpokládat tvorbu tepla nositelem cca 300 W.
- Vlhkost zhoršuje izolační schopnosti oděvu, ale především zvyšuje součinitel tepelné vodivosti, což je doloženo v předchozích tabulkách.
- Při tomto přiblížení se vychází z předpokladu, že se oděvní vrstva dokonale dotýká pokožky těla. Tato situace nastává pouze při upnutém (těsném) oděvu, případně při sezení a ležení. Obecně je na oděvu tento stav výjimečný, vždy bude v mezivrstvách oděvu vzduch.
- Vzhledem k omezení klimatizační komory, nelze technicky měřit tepelné vodivosti λ za podmínek vyšší relativní vlhkosti ϕ než 90 %, kde se dá předpokládat další narůst součinitele tepelné vodivosti u těchto porézních textilních struktur.
- Transport tepla nebude probíhat pouze kondukcí, ale i ostatními principy přenosu tepla popsány výše. Zásadní vliv bude mít uzavřený vzduch v mezivrstvách, který výrazně zlepšuje tepelně-izolační vlastnosti jak je vidět z výpočtů.
- Naměřený součinitel tepelné vodivosti λ se může lišit v závislosti od použité metody (přístroje).

5.1 Souhrn a diskuse výsledků simulace přestupu tepla

Vzhledem k téměř zanedbatelnému rozdílu mezi tepelnou vodivostí vlhkého a suchého vzduchu za daných podmínek a s přihlédnutím k uvažované tloušťce mikrovrstvy vzduchu v systému pokožka-oděv byl zvolen pro tuto simulaci a výpočet zjednodušující předpoklad v podobě použití stejné hodnoty tepelné vodivosti pro suchý a vlhký vzduch. Tepelná vodivost vzorků byla zjištěna měřením v klimatické komoře za podmínek blízkých reálným podmínkám na pokožce probanda před začátkem testování a v průběhu zátěžového testu po cca 30 minutách. Za předpokladu, že nedochází k vysrážení vodní páry v materiálu vzorku, pohybuje se tepelná vodivost v „suchém stavu λ_s “ a v „mokrém stavu λ_m “ dle údajů uvedených v následující tabulce:

Vzorek	λ_s [W/(m.K)] (31°C/40% RH)	λ_m [W/(m.K)] (31°C/90% RH)
T-shirt 1	0.0867	0.1117
T-shirt 2	0.0754	0.0997
T-shirt 3	0.0660	0.0693
T-shirt 12	0.0687	0.0711

Naměřená tepelná vodivost na přístroji C-Therm TCi je vyšší, než orientačně vypočtená vodivost z naměřené tepelné odolnosti R_{ct} na přístroji SGHP. Rozdíl je dán zejména z důvodu jiného principu měření a za rozdílných podmínek měření. Největší nárůst tepelné vodivosti se změnou vlhkosti RH je zaznamenán u přírodních materiálů v řádu desítek procent, cca 30 % pro vzorky T-shirt 1 (100 % Co) a T-shirt 2 (100 % Wo), jen velmi malý rozdíl tepelné vodivosti v řádu pár procent do cca 5 % je zaznamenán u vzorků T-shirt 3 (100 % PP) a T-shirt 12 (100 % PL).

Rozdíl teplot na rozhraní vrstev 1-2 (vzduch-textilní materiál) je poměrně malý a liší se v závislosti od její tepelné vodivosti a tloušťky. Požadavky kladené na součinitel přestupu tepla U a odpor prostupu tepla R za účelem dosažení optimálního oděvního komfortu se výrazně mění v závislosti na fyzické aktivitě uživatele a podmínek okolí, v kterém se pohybuje.

Z výsledků simulace je zřejmé, že součinitel prostupu tepla U je největší pro simulaci varianty s tloušťkou mikrovrstvy vzduchu 1 mm a dosahuje nejvyšších hodnot pro vzorky vyrobené z přírodních materiálů. Odpor prostupu tepla R je u všech vzorků 0,05-0,06 (m²K)/W. Při porovnání výsledků se simulací s parametrem tloušťky mikrovrstvy vzduchu 5 mm je součinitel prostupu tepla U přibližně 4-5 krát menší.

Z analýzy výpočtu tepelného toku Q můžeme konstatovat, že lepší tepelný komfort bude poskytovat textilie s menším součinitelem tepelné vodivosti λ z důvodu nižšího celkového tepelného toku a menší změny tepelného toku za podmínek vyšší relativní vlhkosti φ .

Při návrhu a následné volbě optimální první vrstvy oděvu bude nezbytné brát v úvahu předpokládanou tloušťku mezivrstvy vzduchu, tj. do jaké míry je oděvní vrstva v přímém kontaktu s pokožkou uživatele a změnu součinitele tepelné vodivosti λ s relativní vlhkostí.

Z výsledku komparativně naměřené effusivity vzorků je zřejmé, že nejteplejší omak mají vzorky T-shirt 3, 12 a jejich tepelná jímavost se na rozdíl od vzorků T-shirt 1, 2 výrazně nemění s vyšší relativní vlhkostí φ . Na základě toho můžeme předpokládat dosažení lepšího tepelného vjemu probanda při dlouhodobé fyzické aktivitě probanda za zvyšující se vlhkosti vzorku a celkově lepší subjektivní hodnocení oděvu uživatelem.

Menší hodnota součinitele prostupu tepla umožní zejména v chladném prostředí udržet si více tělesného tepla a tudíž je tu předpoklad pro dosažení lepšího subjektivního vjemu komfortu uživatelem v chladnějším prostředí.

Vyšší hodnota součinitele prostupu tepla při zvýšené okolní teplotě prostředí (varianta letní simulace) může naopak vytvořit předpoklady po časově omezenou dobu, pro dosažení lepšího komfortu z důvodu lepší tepelné vodivosti λ tj. lepšího chlazení těla uživatele. Po skončení, nebo přerušení aktivity (tvorby tepla), lze pak předpokládat zhoršení vnímání oděvního komfortu uživatelem.

5.2 Závěr - simulace přestupu tepla

Požadavky kladené na součinitel přestupu tepla U a odpor prostupu tepla R se mění v závislosti na podmínkách okolí a fyzickém stavu uživatele. Tepelná vodivost vzorků byla měřena na přístroji C-Therm TCi ve dvou stavech běžně se vyskytujících na povrchu těla, za suchého stavu při 31 °C/ 40 % RH a vlhkého stavu 31 °C/ 90 % RH. Největší nárůst tepelné vodivosti se změnou vlhkosti RH byl zaznamenán u přírodních materiálů, jen malá změna byla zaznamenána u vzorků ze syntetických vláken. Pro simulaci byly zvoleny podmínky simulující horké a chladné prostředí. Pro zjednodušení simulace byla uvažována stejná tepelná vodivost suchého a vlhkého vzduchu. V této simulaci nebyla uvažována konvekce vzduchu a přítomnost zkondenzované vody v textilním vzorku. Navržená simulace tak představuje stav přenosu tepla mezi pokožkou člověka a okolním prostředím kondukcí bez konvekce, která může výrazně ovlivnit tento přenos. Z analýzy simulace je zřejmé, že je nutné zvážit kromě součinitele tepelné vodivosti a předpokládané celkové tloušťky oděvního systému také effusivitu vzorků, zejména za vlhkého stavu oděvu.

Výsledné doporučení pro použití jako první vrstvy oděvu - T-shirt 3, T-shirt 12.

6 Srovnání subjektivního a objektivního hodnocení oděvního komfortu

Pro umožnění vzájemného srovnání subjektivního hodnocení oděvního komfortu probandem a vybraných objektivně měřených fyziologických vlastností oděvu, bylo nezbytné transformovat celkové bodové hodnocení probandem na bezrozměrnou veličinu- užitnost. Postup transformace na normovanou užitnou vlastnost je uvedený v Kap. 3.4.1.

Pro transformaci celkového subjektivního hodnocení oděvního komfortu probandem byla použita rovnice (6.1).

$$U_{\text{sub.vjem}}[-] = 0,0126x - 0,2857 \quad (6.1)$$

Meze transformace: $L_1 = 30$ bodů, $H_1 = 100$ bodů.

Výsledná *užitnost - subjektivní vjem* (celkový subjektivní vjem oděvního komfortu probandem) je spolu s vypočteným indexem komfortu a indexem propustnosti vodních par uvedena v souhrnné tabulce viz Tab. 28.

Tab. 28 Souhrnná tabulka veličin charakterizujících komfort a užitnost oděvu

Veličiny charakterizující komfort a užitnost				
Vzorek	Užitnost $I_{\text{com}} [-]$	Užitnost $I_{\text{mt}} [-]$	Subj. hodn. probandem - [body]	Užitnost - subjektivní vjem $U_{\text{sub.vjem}} [-]$
T-shirt 1	0.57	0.45	65	0.55
T-shirt 2	0.73	0.86	89	0.86
T-shirt 3	0.63	0.54	81	0.76
T-shirt 4	0.53	0.33	92	0.90
T-shirt 5	0.56	0.36	94	0.93
T-shirt 6	0.57	0.39	96	0.95
T-shirt 7	0.47	0.27	70	0.62
T-shirt 8	0.57	0.45	76	0.69
T-shirt 9	0.56	0.31	75	0.68
T-shirt 10	0.64	0.43	82	0.77
T-shirt 11	0.48	0.32	79	0.73
T-shirt 12	0.63	0.57	89	0.86
T-shirt 13	0.48	0.37	94	0.93
T-shirt 14	0.60	0.55	70	0.62
T-shirt 15	0.62	0.61	86	0.82
T-shirt 16	0.46	0.50	79	0.73
T-shirt 17	0.72	0.92	79	0.73
T-shirt 18	0.50	0.65	68	0.59
T-shirt 19	0.53	0.42	66	0.57
T-shirt 20	0.53	0.53	74	0.67
T-shirt 21	0.49	0.48	82	0.77
T-shirt 22	0.49	0.39	80	0.75
T-shirt 23	0.55	0.48	68	0.59

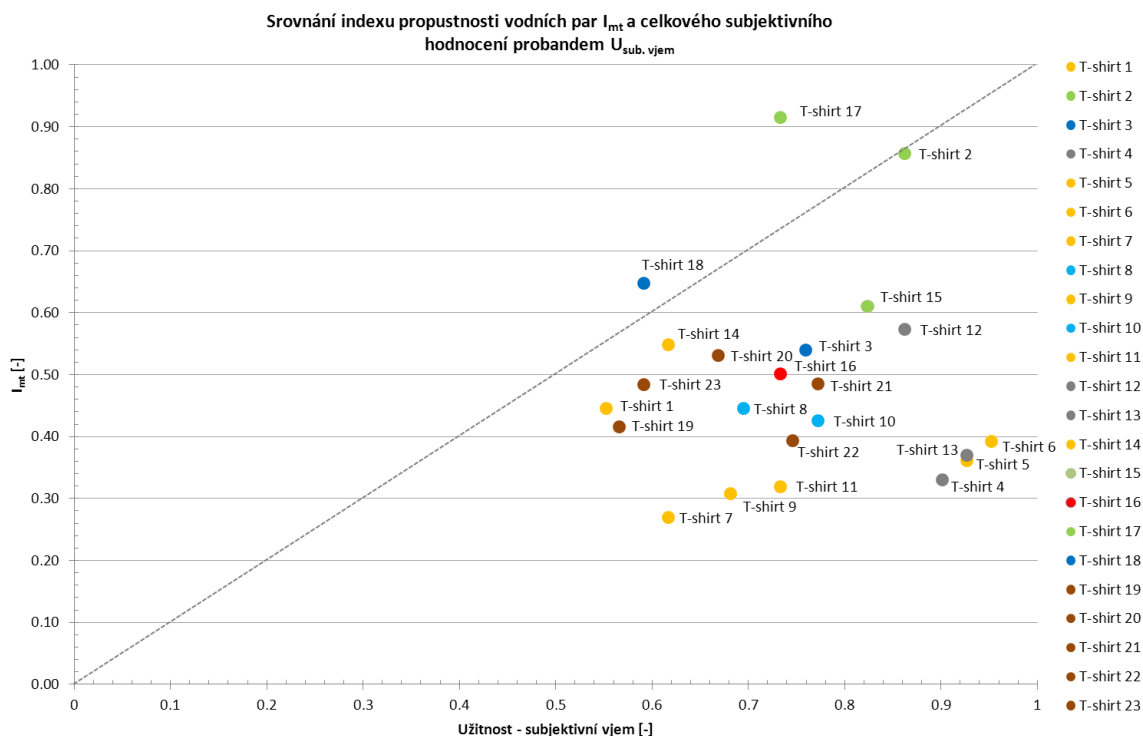
Vzájemná korelace užítosti je uvedena v Tab. 29.

Tab. 29 Porovnání korelace normalizovaných indexů.

	Index I_{mt} [-]	Index komfortu I_{com} [-]	Subjektivní vjem U [-]
Index I_{mt} [-]	1		
Index komfortu I_{com} [-]	0.713366	1	
Subjektivní vjem U [-]	-0.00662	0.19399	1

V grafu viz Obr. 6.1 je vzájemné srovnání užítostí - indexu vodních par I_{mt} a celkového subjektivního hodnocení probandem $U_{sub.vjem}$. Z rozložení zkoumaného souboru trik na obrázku grafu je zřejmé, že hodnocení dle indexu I_{mt} je co do posuzování oděvního komfortu přísnějším kritériem. Většina vzorků se tak v grafu nachází pod čárkovanou čarou, která nám graf opticky rozděluje na dvě rovnocenné části. Obecně, ale můžeme říct, že jako lepší (z objektivního i subjektivního hlediska) je hodnoceno to triko, které dosáhne větší hodnoty na obou osách grafu a leží blíže k čárkované ose v grafu. Lepší centrování hodnocení (blíže k čárkované ose grafu) by přinesla úprava mezí transformace subjektivního hodnocení probandem.

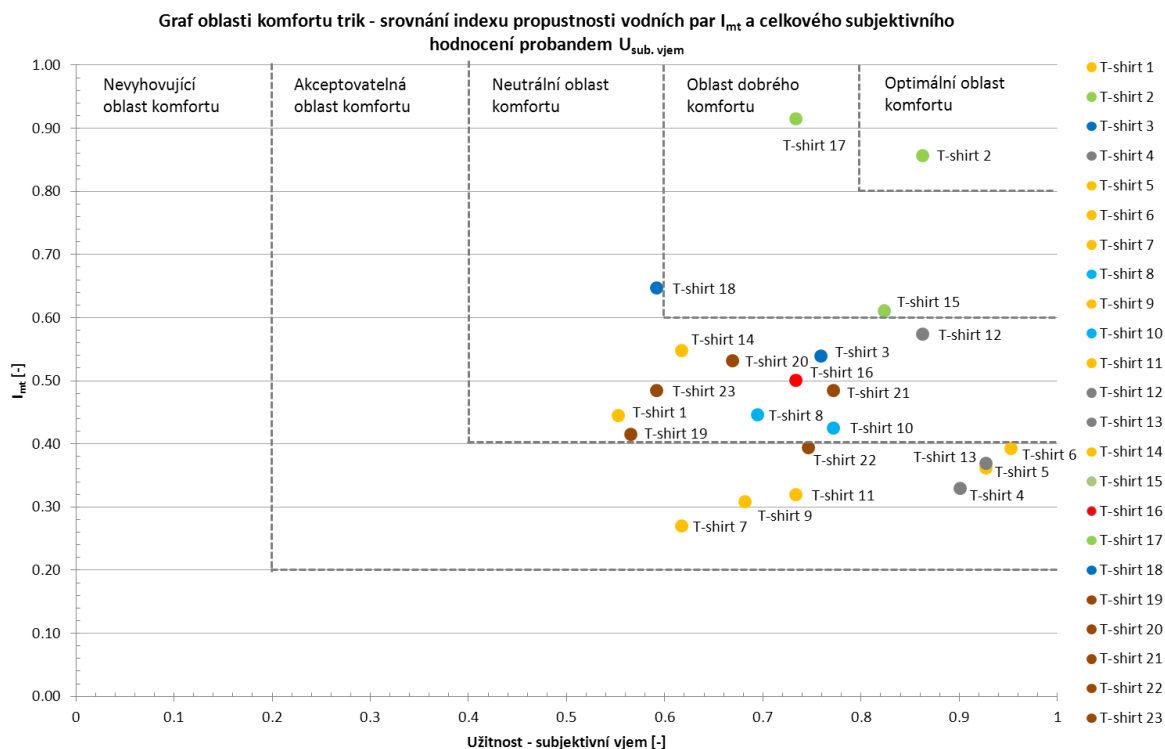
Obr. 6.1 Grafické srovnání indexu propustnosti par a subjektivního hodnocení komfortu probandem



Pro eliminaci „problému“ s centrováním hodnocení, můžeme použít rozdělení grafu podle oblastí komfortu viz Obr. 6.2. Oblasti komfortu vyznačené čárkovanou čarou v grafu a jejich intervaly (hranice) jednotlivých oblastí jsou rozděleny analogicky jako v grafu na Obr. 4.12.

- 1) Nevyhovující oblast komfortu <0-0,2>.
- 2) Akceptovatelná oblast komfortu <0,2-0,4>.
- 3) Neutrální oblast komfortu <0,4-0,6>.
- 4) Oblast dobrého komfortu <0,6-0,8>.
- 5) Optimální oblast komfortu <0,8-1>.

Obr. 6.2 Srovnání indexu propustnosti par a subjektivního hodnocení komfortu probandem s vyznačenými oblastmi oděvního komfortu



Index I_{mt} v sobě zahrnuje dva významné parametry z pohledu termofyziologického komfortu oděvu (R_{etr} , R_{ct}). Z výsledků srovnání těchto dvou užitečných vlastností (objektivní a subjektivní) můžeme konstatovat následující:

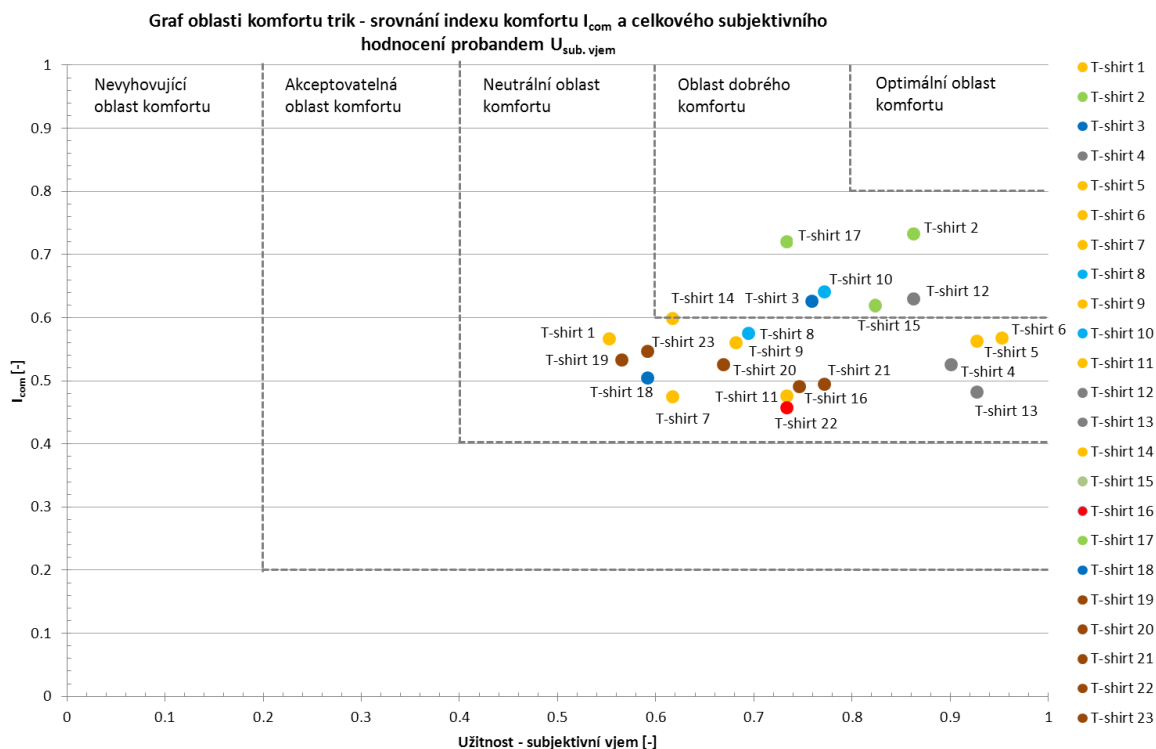
- V oblasti optimálního komfortu se nachází vzorek T-shirt 2 (vlna-merino).
- V oblasti dobrého komfortu – T-shirt 17, v blízkosti hranice oblastí – T-shirt 15 a T-shirt 18.
- V neutrální oblasti se nachází většina ze zkoumaných vzorků trik.
- V oblasti akceptovatelného komfortu se nachází převážně vzorky vyrobené z bavlněných vláken.

Shrnující doporučení pro první vrstvu oděvu

Jako nejlepší jsou v tomto porovnání hodnocené vzorky vyrobené z vlny merino (T-shirt 2, T-shirt 17, T-shirt 15). Rovněž vhodné pro doporučení jsou vzorky T-shirt 18 (PP) a T-shirt 12 (PL). Naopak pro středně těžkou kontinuální aktivitu uživatele nelze doporučit vzorky z bavlněných vláken.

Na následujícím grafu viz Obr. 6.3 je vzájemné srovnání užitečností - indexu komfortu I_{com} a celkového subjektivního hodnocení probandem $U_{sub.vjem}$. Index komfortu I_{com} v sobě zahrnuje kromě indexu I_{mt} , také další dvě důležité složky objektivního hodnocení komfortu (senzorický omak - I_{THV} a index rizika přehrátí organismu - I_{WBGt}). Představuje tak komplexnější hodnocení oděvního komfortu oděvu. Použití rovnocenných koeficientů významnosti (váhy) při výpočtu I_{com} způsobuje rovnoměrnější rozložení vzorků v grafu, tj. změna jednotlivých preferencí složek tak může více, či méně ovlivnit výsledné srovnání.

Obr. 6.3 Srovnání indexu komfortu a subjektivního hodnocení komfortu probandem s vyznačenými oblastmi oděvního komfortu



Index komfortu I_{com} je komplexním hodnocením oděvního komfortu oděvu. Z výsledků srovnání těchto dvou užitností (objektivní I_{com} a subjektivní $U_{sub.vjem}$) můžeme konstatovat následující:

- V oblasti dobrého komfortu se nachází vzorky: T-shirt 2, T-shirt 17, T-shirt 10, T-shirt 3, T-shirt 12, T-shirt 15.
- V neutrální oblasti se nachází zbytek vzorků ze zkoumaného souboru trik.

Shrnující doporučení pro první vrstvu oděvu

Jako nejlepší jsou v tomto porovnání hodnocené vzorky vyrobené z vlny-merino T-shirt 2, T-shirt 17, T-shirt 15 dále T-shirt 3 (PP), T-shirt 12 (PL) a T-shirt 10 (CO/PL). Všechny tyto vzorky splňují předpoklady pro dosažení dobrého komfortu a jsou tak vhodnou první vrstvou oděvu za daných podmínek.

7 Souhrn dosažených výsledků z experimentální části

V této kapitole je uveden souhrn výsledků z jednotlivých kapitol disertační práce.

Testování - simulace zátěže probanda.

- Subjektivní hodnocení pocitu komfortu probanda v průběhu simulované fyzické aktivity, realizované na základě dotazníkového systému.
- Objektivní hodnocení vývoje mikroklimatu v systému pokožka - oděv za definované fyzické aktivity probanda.

Hodnocení vybraných termofyziologických a materiálových vlastností vzorků oděvů na přístrojích.

- Hodnocení tepelné odolnosti a odolnosti vůči vodním parám.
- Hodnocení sensorického omaku textilie.
- Hodnocení prostupu tepla přes první vrstvu oděvu.

Srovnání subjektivního a objektivního hodnocení oděvního komfortu.

Testování první vrstvy oděvu v laboratorních podmínkách

Subjektivní hodnocení oděvního komfortu probandem (0-120 bodů)

Na základě subjektivního hodnocení můžeme konstatovat následující. Jako nejlepší jsou hodnoceny následující vzorky:

- T-shirt 6 (96 b.), T-shirt 13 (94 b.), T-shirt 5 (94 b.), T-shirt 4 (92 b.), T-shirt 2 (89 b.)

Vzorky T-shirt 6, 5, jsou vyrobeny z bavlněných vláken, u kterých je možné předpokládat s koncem fyzické aktivity (tj. tvorby tepla) a s průběhem času, stupňování pocitu diskomfortu z důvodu zhoršujících se tepelných pocitů. Jako doporučeníhodné jsou proto označeny podtržené vzorky T-shirt 13 a T-shirt 4, které jsou vyrobeny ze syntetických vláken. Vzorek T-shirt 2 je vyroben z vlny-merino, která při navlhání uvolňuje značné množství sorpčního tepla. Po skončení tohoto procesu, ale můžeme očekávat zhoršení tepelných pocitů a celkového oděvního komfortu. Doporučení vlny-merino je teda možné jenom podmíněčně. Na tomto místě je nutné zmínit, že tato studie je založena na jednom probandovi a pro lepší (přesnější) srovnání oděvního komfortu, pro různé somatotypy lidí, by bylo potřebné rozšířit studii o další probandy.

Hodnocení objektivního měření při zátěžových testech (0-1 [-])

Na základě výsledků hodnocení rizika přehřátí organismu WBGT a vypočteného indexu I_{WBGT} můžeme konstatovat následující.

- Nejlepší hodnocení, nejvyšší index I_{WBGT} (nejnižší riziko přehřátí organismu) dosáhly vzorky - T-shirt 2 (0.5 [-]), T-shirt 10 (0.5 [-]).
- Dobré hodnocení dosáhly vzorky - T-shirt 1 (0.44 [-]), T-shirt 3 (0.44 [-]), T-shirt 13 (0.44 [-]).
- Nejnižší hodnocení (vyšší riziko přehřátí organismu) dosáhly vzorky - T-shirt 16 (0.19 [-]), T-shirt 19 (0.19 [-]), T-shirt 22 (0.19 [-]).

Jako nejlepší jsou hodnoceny vzorky vyrobené ze 100 % WO a z 50 % CO/ 50 % PL vláken. Vzorek T-shirt 10 a zejména vzorek T-shirt 2 jsou také dobře hodnocené z pohledu subjektivního hodnocení tepelných pocitů probandem v zátěžovém testu. Jako doporučeníhodné (pro použití

v podmínkách vysoké zátěže, bez možnosti snadné výměny první vrstvy oděvu) se jeví vzhledem i k subjektivnímu hodnocení tepelného pocitu probanda vzorky T-shirt 3 a T-shirt 13. Vzorek T-shirt 1 lze doporučit jenom s podmínkou, že po skončení fyzické zátěže organismu (produkce tepla) bude tato vrstva vyměněna za jinou první vrstvu.

Naopak nelze doporučit vzorek T-shirt 16 vyrobený ze 100 % CV vláken, který dosáhl také špatného hodnocení v subjektivním hodnocení tepelného vjemu probandem. Vzorky T-shirt 19 a T-shirt 22 jsou vzhledem k poměrně vysoké plošné gramáži a tloušťce vhodnější spíše do chladnějšího prostředí.

Hodnocení materiálových a termofyziologických vlastností první vrstvy oděvu

Materiálové hodnocení podle indexu I_{mt} (0-1 [-])

Na základě vypočteného indexu I_{mt} se jako nejvhodnější z testovaného souboru první vrstvy oděvu jeví následující vzorky trik:

- Nejlepší hodnocení - T-shirt 17 (0.92 [-]), T-shirt 2 (0.86 [-]), T-shirt 18 (0.65 [-]), T-shirt 15 (0.61 [-]), T-shirt 12 (0.57 [-]).
- Nejnižší hodnocení dosáhly vzorky - T-shirt 7 (0.27 [-]), T-shirt 9 (0.31 [-]), T-shirt 11 (0.32 [-]).

Výborné hodnocení dle indexu I_{mt} dosáhly vzorky vyrobené z vlny-merino T-shirt 17, 2, 18, dobré hodnocení dosáhly vzorky T-shirt 15 (PP) a T-shirt 12 (PL). Nejhorší hodnocení dosáhly vzorky vyrobené z bavlněných vláken T-shirt 7, 9, 11.

Hodnocení senzorickeho omaku textile (THV (1-5), I_{THV} 0-1 [-])

Celkový omak (THV-KES) všech vzorků pletenin je uveden v tabulce viz Tab. 11. V Tab. 14 je uveden normalizovaný index I_{THV} . Z výsledků hodnocení můžeme konstatovat následující:

Všechny testované vzorky dosáhly průměrné, nadprůměrně dobré až excelentní hodnocení a jsou vhodné pro daný účel použití. Na základě tohoto hodnocení lze předpokládat výborný komfort uživatele z hlediska omaku výrobků. Jako nejlepší jsou hodnoceny následující vzorky:

- T-shirt 19 (5.86, 1 [-]), T-shirt 4 (5.28, 1 [-]), T-shirt 15 (5.21, 1 [-]), T-shirt 17 (5.20, 1 [-]), T-shirt 6 (5.17, 1 [-]).

Nejlepší hodnocení dosáhl vzorek T-shirt 19, který je směsí různých materiálů s dominantní složkou WO (merino), vzorek č. 4 (PL) a vzorek č. 6 (CO) dosáhly také výborné hodnocení a byly také dobře subjektivně hodnoceny v rámci subjektivního hodnocení probandem. Vzorky č. 15, 17 (WO) dosáhly výborné hodnocení THV. Vzorky trik vyrobených z vlny-merino dosahují nadprůměrné hodnocení také v subjektivním hodnocení oděvního komfortu probandem. Celkově můžeme pak konstatovat, že hodnocení objektivního omaku textilií potvrdily výsledky ze subjektivního hodnocení probandem.

Hodnocení výsledků podle indexu komfortu I_{com} (0-100 %)

Na základě vypočteného celkového indexu komfortu a výsledků uvedených v Tab. 20. můžeme konstatovat následující.

- Nejvyšší procentuální hodnocení dle I_{com} dosáhly vzorky T-shirt 2 (73,28 %), T-shirt 17 (72,07 %).
- Nejhorší hodnocení pod 50 % dosáhly vzorky: T-shirt 16 (45,72 %), T-shirt 7 (47,47 %), T-shirt 11 (47,57 %), T-shirt 13 (48,21 %).
- Další vzorky v testu dosáhly průměrné až nadprůměrné hodnocení.

Jako nejvhodnější první vrstvu oděvu, dle výpočtu indexu komfortu oděvu založeného na objektivním hodnocení materiálových vlastností textilií můžeme doporučit textilie vyrobené z vlny-merino, naopak nelze doporučit trika vyrobená ze 100 % viskózy a bavlny. Jako dobrou alternativu zejména z hlediska jednoduché údržby a také ekonomického hlediska lze doporučit trika vyrobená z polyesterových vláken.

Simulace přestupu tepla přes první vrstvu oděvu

Požadavky kladené na součinitel přestupu tepla U a odpor prostupu tepla R se mění v závislosti na podmínkách okolí a fyzickém stavu uživatele. Tepelná vodivost vzorků byla měřena na přístroji C-Therm TCI ve dvou stavech běžně se vyskytujících na povrchu těla, za suchého stavu při 31 °C/ 40 % RH a vlhkého stavu 31 °C/ 90 % RH. Největší narůst tepelné vodivosti se změnou vlhkosti RH byl zaznamenán u přírodních materiálů, jen malá změna byla zaznamenána u vzorků ze syntetických vláken. Pro simulaci byly zvoleny podmínky simulující horké a chladné prostředí. Pro zjednodušení simulace byla uvažována stejná tepelná vodivost suchého a vlhkého vzduchu. V této simulaci nebyla uvažována konvekce vzduchu a přítomnost zkondenzované vody v textilním vzorku. Navržená simulace tak představuje stav přenosu tepla mezi pokožkou člověka a okolním prostředím kondukcí bez konvekce, která může výrazně ovlivnit tento přenos. Z analýzy simulace je zřejmé, že je nutné zvážit kromě součinitele tepelné vodivosti a předpokládané celkové tloušťky oděvního systému také effusivitu vzorků, zejména za vlhkého stavu oděvu.

Výsledné doporučení pro použití jako první vrstvy oděvu - T-shirt 3, T-shirt 12.

Celkové hodnocení komfortu podle jednotlivých hodnotících metod

Na základě výsledků z jednotlivých hodnotících metod byla sestavena tabulka doporučených vzorků trik podle dosaženého pořadí v dané hodnotící metodě viz Tab. 30.

Tab. 30 Souhrnná tabulka doporučených vzorků trik rozdělených podle jednotlivých hodnotících metod (uvedeno je prvních pět v pořadí od nejlepšího po nejhorší).

		Doporučené vzorky trik				
		1	2	3	4	5
Subjektivní hodnocení						
1	Celkové subjektivní hodnocení komfortu probandem	T-shirt 6	T-shirt 13	T-shirt 5	T-shirt 4	T-shirt 2
Objektivní metody hodnocení						
2	Hodnocení senzorickeho omaku THV	T-shirt 19	T-shirt 4	T-shirt 15	T-shirt 17	T-shirt 6
3	Hodnocení rizika prehrati organismu podle WBGT	T-shirt 2	T-shirt 10	T-shirt 1	T-shirt 3	T-shirt 13
4	Materiálové hodnocení podle indexu I_{mt}	T-shirt 17	T-shirt 2	T-shirt 18	T-shirt 15	T-shirt 12
5	Hodnocení podle indexu komfortu I_{com}	T-shirt 2	T-shirt 17	T-shirt 10	T-shirt 12	T-shirt 3
6	Hodnocení dle simulace přestupu tepla (pozn. hodn. 4 vybrané vzorky)	T-shirt 3	T-shirt 12	T-shirt 2	T-shirt 1	

Uvedené pořadí trik v Tab. 30 může být mírně zavádějící vzhledem k tomu, že nezachycuje vzájemné rozdíly v hodnocení mezi jednotlivými vzorky trik a proto je nutné vždy posuzovat komfort v souvislostech dané metodiky hodnocení. Dobrým příkladem malých rozdílů v hodnocení je například objektivní hodnocení omaku textilií THV. Všechny zkoušené vzorky v něm obstáli nadprůměrně a dosáhly vysoké ohodnocení na škále THV-KES, a tudíž z hlediska senzorickeho

omaku představují vhodnou volbu. Z výsledků uvedených v Tab. 30 je zřejmé, že v jednotlivých hodnotících kritériích se nejlépe umístila a jsou nejlépe hodnocena trika T-shirt 2, T-shirt 17.

Srovnání subjektivního a objektivního hodnocení oděvního komfortu

Index I_{mt} v sobě zahrnuje dva významné parametry z pohledu termofyziologického komfortu oděvu (R_{et} , R_{ct}). Z výsledků srovnání těchto dvou užitečných vlastností (objektivní I_{mt} a subjektivní $U_{sub.vjem}$) můžeme konstatovat následující:

Shrnující doporučení pro první vrstvu oděvu podle užitečnosti $I_{mt} - U_{sub.vjem}$

Jako nejlepší jsou v tomto porovnání hodnocené vzorky vyrobené z vlny-merino T-shirt 2, T-shirt 17, T-shirt 15. Rovněž vhodné pro doporučení jsou vzorky T-shirt 18 (PP) a T-shirt 12 (PL). Naopak pro středně těžkou kontinuální aktivitu uživatele nelze doporučit vzorky z bavlněných vláken.

Index komfortu I_{com} je komplexním hodnocením oděvního komfortu oděvu. Z výsledků srovnání těchto dvou užitečností (objektivní I_{com} a subjektivní $U_{sub.vjem}$) můžeme konstatovat následující:

Shrnující doporučení pro první vrstvu oděvu podle užitečnosti $I_{com} - U_{sub.vjem}$

Jako nejlepší jsou v tomto porovnání hodnocené vzorky vyrobené z vlny-merino T-shirt 2, T-shirt 17, T-shirt 15 dále T-shirt 3 (PP), T-shirt 12 (PL) a T-shirt 10 (CO/PL). Všechny tyto vzorky splňují předpoklady pro dosažení dobrého oděvního komfortu a jsou tak vhodnou první vrstvou oděvu za daných podmínek.

7.1 Závěrečné shrnutí výsledků z experimentální části

Na tomto místě je nutné zdůraznit, že zde prezentované výsledky práce byly zjišťovány a měřeny za účelem hodnocení oděvního komfortu uživatele při dlouhodobé středně těžké práci. Za jiných podmínek např. méně náročné fyzické aktivity, trvající kratší dobu, nebo přerušované a za jiných podmínek okolí se výsledky a výsledné doporučení mohou lišit. Při méně náročných podmínkách (krátkodobé, přerušované a mírnější fyzické zátěži) tak mohou splňovat podmínky dobrého oděvního komfortu i další vzorky trik ze zkoumaného souboru. Výsledné hodnocení je uvedeno v Tab. 31.

Tab. 31 Výsledné hodnocení dle užitečností I_{com} a $U_{sub.vjem}$

Vzorek	Užitečnost I_{com} [-]	Užitečnost - subjektivní vjem $U_{sub.vjem}$ [-]
T-shirt 2	0.73	0.86
T-shirt 17	0.72	0.73
T-shirt 10	0.64	0.77
T-shirt 12	0.63	0.86

Výsledné hodnocení je možné rozdělit následovně:

Hodnocení podle indexu komfortu I_{com}

Na základě vícekritériálního hodnocení užitečných vlastností textilií podle navrženého indexu komfortu oděvu I_{com} byla jako nejvhodnější pro první transportní vrstvu oděvu vyhodnocena následující trika:

- Triko Devold – 100 % WO (merino) (T-shirt 2)
- Triko Jitex Comfort – 96 % WO (merino)/ 4 % PADh (T-shirt 17)
- Triko Macedonia – 50 % CO/ 50 % PL (T-shirt 10)
- Triko Polartec® Power Dry® FR – 100 % PL (T-shirt 12)

Hodnocení podle srovnání subjektivního a objektivního hodnocení komfortu oděvu

Z výsledků srovnání dvou užitných vlastností (objektivní I_{com} a subjektivní $U_{sub.vjem}$) můžeme doporučit jako nejvhodnější pro první vrstvu oděvu následující trika, která se nachází v oblasti dobrého komfortu:

- 1) Triko Devold – 100 % WO (merino) (T-shirt 2)
- 2) Triko Jitex Comfort – 96 % WO (merino)/ 4 % PADh (T-shirt 17)
- 3) Triko Macedonia – 50 % CO/ 50 % PL (T-shirt 10)
- 4) Triko Polartec® Power Dry® FR – 100 % PL (T-shirt 12)

Z vyhodnocení naměřených materiálových parametrů, objektivních vyhodnocení dle rizika přehřátí organismu, senzorického omaku a subjektivního hodnocení probandem je zřejmé, že jako nejvhodnější trika pro rekreační fitness sportovce a pro povolání, která neumožňují rychlou výměnu oděvu za jinou, a případně jako první transportní vrstvu oděvu, jsou nejvhodnější ze zkoumaného souboru trika vyrobená z WO (merino). Podle podmínek za kterých se bude oděv používat je možné podmíněčně doporučit také trika vyrobená z PP vláken. Z ekonomického pohledu a také z pohledu jednoduchosti údržby lze doporučit také trika vyrobená z PL vláken.

Z analýzy dat a výsledků experimentů můžeme na základě porovnání objektivních a subjektivních vlastností a užitností konstatovat, že subjektivní hodnocení probandem potvrdilo objektivně naměřené údaje a výsledky. Pro hodnocení oděvního komfortu, bez speciálních požadavků a nároků na oděvní komfort, tak plně postačuje hodnocení pomocí navrženého indexu komfortu. Pro oděvy určené do obzvláště náročných podmínek použití, zejména z hlediska oděvního komfortu (ochranné oděvy, záchranné složky, vojsko, extrémní podmínky, atd.) je možné na základě navržené metodiky srovnání užitných vlastností doporučit provedení subjektivního hodnocení oděvního komfortu na probandech.

Z vyhodnocení naměřených materiálových parametrů, objektivních vyhodnocení dle rizika přehřátí organismu, senzorického omaku a subjektivního hodnocení probandem je zřejmé, že jako nejvhodnější trika pro rekreační fitness sportovce a pro povolání, která neumožňují rychlou výměnu oděvu za jinou, a případně jako první transportní vrstvu oděvu, jsou nejvhodnější ze zkoumaného souboru trika vyrobená z WO (merino). Podle podmínek, za kterých se bude oděv používat, je možné podmíněčně doporučit také trika vyrobená z PP vláken. Z ekonomického pohledu a také z pohledu jednoduchosti údržby lze doporučit také trika vyrobená z PL vláken.

Z předchozího vyplývá:

- Z analýzy dat a výsledků experimentů můžeme na základě porovnání objektivních a subjektivních vlastností konstatovat, že subjektivní hodnocení probandem potvrdilo objektivně naměřené údaje a výsledky.
- Nejvhodnější trika pro rekreační fitness sportovce a pro povolání, která neumožňují rychlou výměnu oděvu za jinou, a případně jako první transportní vrstvu oděvu, jsou nejvhodnější ze zkoumaného souboru trika vyrobená z vlny-merino.
- Pro hodnocení oděvního komfortu, bez speciálních požadavků a nároků na oděvní komfort, plně postačuje hodnocení pomocí navrženého indexu komfortu.
- Pro oděvy určené pro použití do obzvláště náročných podmínek, zejména z hlediska oděvního komfortu (ochranné oděvy, hasiče, záchranné složky, vojsko, extrémní podmínky, atd.) je možné na základě navržené metodiky srovnání užitných vlastností doporučit provedení subjektivního hodnocení oděvního komfortu na probandech.

8 Závěr

Cílem této práce bylo formulovat základní požadavky, které jsou kladené na komfort první vrstvy oděvu při kontinuální středně těžké fyzické aktivitě uživatele. Dále byl testován fyziologický komfort vybraného souboru trik a byla navržena nová hodnotící metodika. I když vytvořený celkový hodnotící model podle indexu komfortu se může zdát složitý, byl sestaven na základě nových a ověřených metodik a zahrnuje hodnocení oděvů pomocí měření vybraných materiálových veličin, objektivního hodnocení sensorického omaku a hodnocení rizika přehřátí organismu podle tepelného indexu WBGT. Součástí práce je také návrh a ukázka metodiky pro subjektivní hodnocení oděvního komfortu na probandech.

Existuje a v praxi se používá několik dalších metod pro měření a vyhodnocování oděvního komfortu, jako např. měření propustnosti vodních par textiliemi, skin model, moisture management tester, apod. Žádná z těchto metod, ale neposkytuje celkový pohled na zkoušenou textilií z hlediska jejího budoucího použití v oděvu, což je možné dosáhnout jenom při reálném testování na probandech. Zpracováním textilie do oděvu, kdy se plošný útvar z 2D konstrukce promění vlivem stříhu a sešití v prostorový útvar 3D, může zásadně ovlivnit celkový výsledný komfort oděvu, který bude posuzovat uživatel v reálných podmínkách při jeho nošení. Do celkového hodnocení oděvního komfortu tak vstupuje řada dalších faktorů, které zásadně ovlivňují komfort pociťovaný uživatelem oděvu. Proto je nesmírně důležité respektovat všechny aspekty ovlivňující celkový termofyziologický komfort již při samotném návrhu oděvu.

Experimentální práce se v první etapě soustředily zejména na testování v laboratorním prostředí v klimatizované místnosti z důvodu možnosti řízení a dodržení standardních podmínek v průběhu celého experimentálního měření. Proband vyvíjel fyzickou aktivitu za použití rotopedu. Testování za takto nastavených podmínek umožňuje eliminaci vlivů, jako například proudění vzduchu, který za běžných okolností ovlivňuje pociťovaný fyziologický komfort probandem. Za předpokladu, že proudění vzduchu je přibližně $0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, je výrazně potlačen vliv přestupu tepla a vlhkosti konvekci. Trup probanda je pro účely testování ve vhodné statické pozici a za předpokladu dokonale přiléhavého oděvu k tělu probanda můžeme považovat vzduchovou mezivrstvu (mezi pokožkou probanda a oděvem) při tomto způsobu testování za minimální a konstantní v průběhu celého testu. Při takto navržené metodice se při testování projeví zejména schopnost materiálu účinně odvádět pot z povrchu těla a schopnost ho rozprostřít na povrchu textilie. Takto naměřené údaje jsou pak použité pro hodnocení rizika přehřátí organismu podle tepelného indexu WBGT. V průběhu testu proband také zaznamenával subjektivní pocity diskomfortu dle navržené metodiky.

V druhé etapě se experiment soustředil na materiálové hodnocení zkoumaného souboru trik. Pro toto hodnocení se jako nejvhodnější jeví použití indexu propustnosti vodních par, který zahrnuje obě důležité složky a to součinitel odolnosti vůči vodním parám R_{et} a součinitel tepelné odolnosti R_{ct} . V rámci materiálového hodnocení je objektivně hodnocen také sensorický omak.

V celkovém hodnocení oděvního komfortu vyjádřeném navrženým indexem komfortu je zahrnuto v hodnocení zkoumaného souboru trik pomocí stanovení tepelné zátěže podle ukazatele WBGT, objektivního hodnocení omaku textilie podle indexu THV a indexu propustnosti vodních par I_{mt} . Výsledný index je složen ze třech nejdůležitějších oblastí pro hodnocení oděvního komfortu a vyjadřuje tak míru vhodnosti oděvu pro dané podmínky použití.

V rámci další etapy experimentální práce bylo na vybraných vzorcích provedeno specializované měření a za pomoci mikrotomografického skenování na přístroji SkyScan 1272 byla zjišťována jejich porozita. Pro komplexnější pohled na vybrané textilní vzorky a predikci chování první vrstvy oděvu při dlouhodobé fyzické aktivitě, byla provedena také simulace prostupu tepla přes první vrstvu oděvu. Z provedené analýzy simulace je zřejmé, že pro dosažení optimálního komfortu je nutné zvážit, kromě součinitele tepelné vodivosti textilních materiálů a jejich navlhavosti, také předpokládanou celkovou tloušťku oděvního systému a rovněž také effusivitu vzorků, zejména za vlhkého stavu oděvu.

Samotné celkové subjektivní hodnocení oděvního komfortu je důležitou součástí celkového hodnocení oděvního komfortu, protože nám umožňuje sledovat vývoj pocitu diskomfortu u probanda v průběhu fyzické aktivity a na základě porovnání výsledků s objektivně naměřenými údaji nám umožňuje zvolit nejvhodnější užité vlastnosti pro vytvoření komplexního hodnocení oděvního komfortu. Při určení optimální první vrstvy oděvu vychází uživatel také z dalších užitečných vlastností, tak jak je to rozebráno v řešeršní části disertační práce. Navržený index komfortu oděvu I_{com} tak umožňuje flexibilně reagovat na požadavky jednotlivých uživatelů.

Výsledky disertační práce jsou ve shodě s navrženými cíli a výsledky subjektivního hodnocení oděvního komfortu probandem potvrdily výsledky z vícekriteriálního objektivního hodnocení materiálových vlastností zkoušeného souboru trik. Při určení optimální první vrstvy oděvu se vycházelo z objektivních měření a ze subjektivního hodnocení probandem. Pro hodnocení oděvního komfortu bez speciálních požadavků a nároků na oděvní komfort, tak plně postačuje hodnocení pomocí navrženého indexu komfortu. Pro oděvy určené pro použití do obzvláště náročných podmínek, zejména z hlediska oděvního komfortu (ochranné oděvy, extrémní podmínky, záchranní složky, vojsko, atd.) je možné, na základě navržené metodiky srovnání užitečných vlastností, doporučit provedení subjektivního hodnocení oděvního komfortu na probandech.

Reference

- [1] D. Apurba a R. Alagirusamy. *Science in clothing comfort*. 1st pub. New Delhi: Woodhead Publishing India, 2010, 175 s. ISBN 978-81-908-0015-0.
- [2] Fukazawa, T., Y. Satsumoto, M. Takeuchi, and K. Ishikawa, *Effect of Air Permeability and Water Vapor Permeability Upon Simultaneous Heat and Mass Transfer in Simulated Clothing Systems*. Sen-i Gakkaishi, 1998. 54 (9): p. 443–451.
- [3] *Transport Properties of Semi-Permeable-Barrier Textile for Modern Sports Apparel*. Hong Kong : Institute of Textiles and Clothing, The Hong Kong Polytechnic University, Hung Hom, Kowloon, Hong Kong, 2008. 86th Textile Institute World Conference Proceedings. ISBN 978-962-367-628-1.
- [4] Ruckman, J. E., *Water Vapour Transfer in Waterproof Breathable Fabrics: Part 1: Under Steady-state Conditions*. International Journal of Clothing Science and Technology, 1997.9 (1): p. 10–22.
- [5] Gretton, J. C., D. B. Brook, H. M. Dyson, and S. C. Harlock, *Moisture Vapor Transport Through Waterproof Breathable Fabrics and Clothing Systems Under a Temperature Gradient*. Textile Research Journal. 1998. 68 (12): p. 936–941.
- [6] Hes, Luboš a Petr Sluka. *Úvod do komfortu textilií*. 1. vyd. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2005, 109 s. ISBN 80-708-3926-0.
- [7] Trojak, Stanislav a kolektiv. *Lékařská fyziologie*. 4. Praha: Grada Publishing, a.s. , 2003. str. 772. ISBN 80-247-0512-5.
- [8] Silbernagl, Stefan a Despopoulos, Agamemnon. *Atlas fyziologie člověka*. 6. Praha: Grada Publishing, a.s., 2004. str. 448. ISBN 80-247-0630-X.
- [9] Merkunová, Alena a Orel, Miroslav. *Anatomie a fyziologie člověka pro humanitní obory*. 1. Praha: Grada Publishing, a.s., 2008. str. 304. ISBN 978-80-247-1521-6.
- [10] Delljova, Roza Andrejevna, Rallema Fjodorovna Afanasjevová a Zora Stěpanovna Čubarovová. *Hygiena odívání*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1984, 144 s. 04-844-84.
- [11] Nešpor, K. a Švábová, K.: *Vybrané kapitoly pracovního lékařství*. Institut postgraduálního vzdělávání ve zdravotnictví Praha, 2002.
- [12] Havenith, George a Caroline J. Smith. *Body Mapping of Sweating Patterns in Athletes: A Sex Comparison*. Medicine and science in sports and exercise, 2012, roč. 44, č. 12, s. 2350-2361. DOI: 10.1249/MSS.0b013e318267b0c4. Dostupné z: <http://www.medscape.com/viewarticle/775404>
- [13] Online zdroj: Metodický materiál ke vztahu pohybu a zdraví, Technická univerzita v Liberci, Katedra tělesné výchovy, Dostupné z www: <https://www.ktv.tul.cz/ke-stazeni/category/25-opvk?download=155:pohyb-a-zdrav>, (26.5.2014).
- [14] Pokorný, Jaroslav. *Přehled fyziologie člověka*. 3., přeprac. vyd. Praha: Karolinum, 2002, 255 s. ISBN 80-246-0229-6.
- [15] Ruckman, J. E., *Water Vapour Transfer in Waterproof Breathable Fabrics: Part 1: Under Steady-state Conditions*. International Journal of Clothing Science and Technology, 1997. 9 (1): p. 10–22.



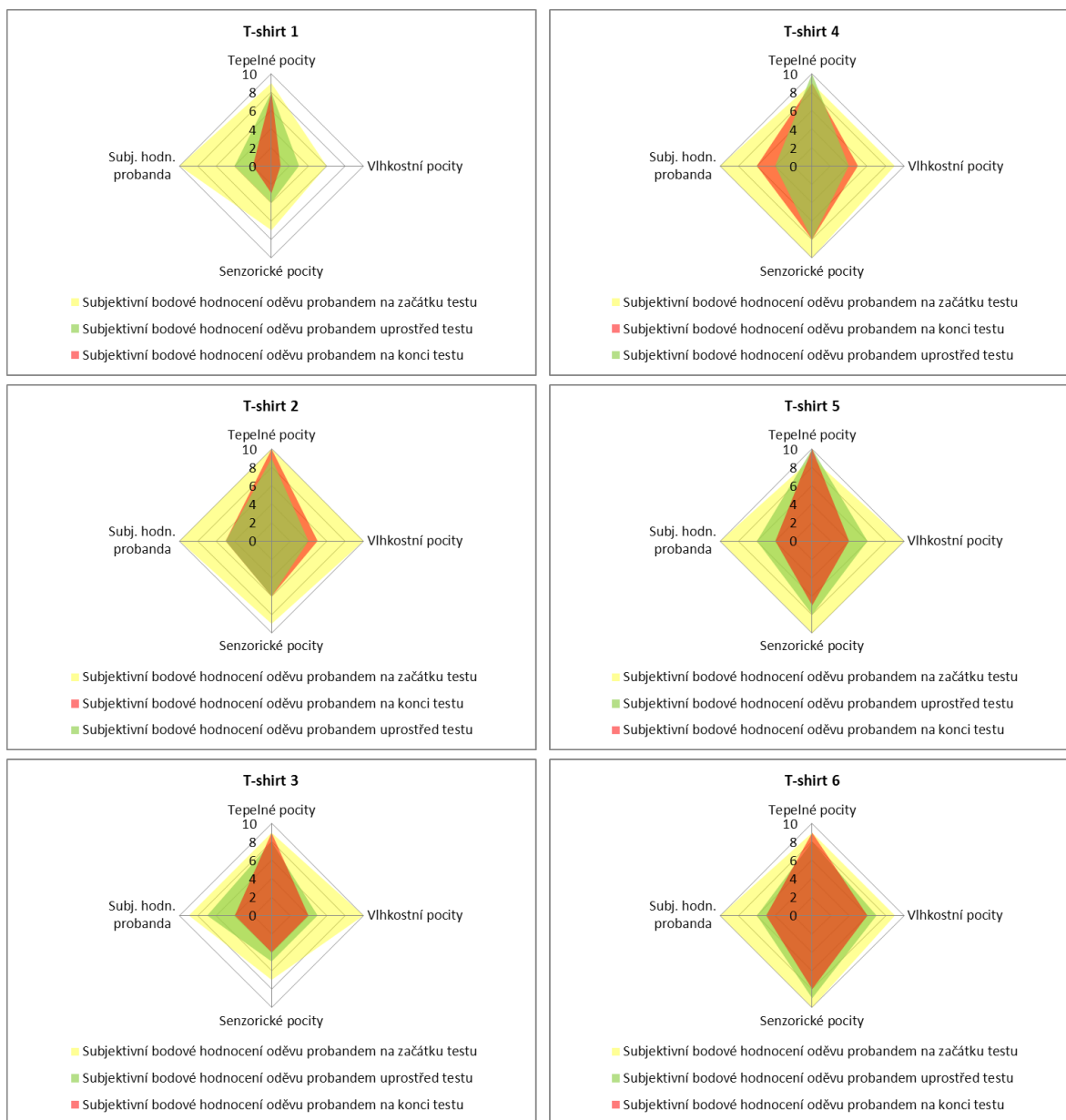
- [16] Fukazawa, T., Y. Satsumoto, M. Takeuchi, and K. Ishikawa, *Effect of Air Permeability and Water Vapor Permeability Upon Simultaneous Heat and Mass Transfer in Simulated Clothing Systems*. Sen-i Gakkaishi, 1998. 54 (9): p. 443–451.
- [17] Wang, Z., Y. Li, Y. L. Kwok, and C. Y. Yeung, *Influence of Waterproof Fabrics on Coupled Heat and Moisture Transfer in a Clothing System*. Sen-i Gakkaishi, 2003. 59 (5): p. 187–197.
- [18] Li, Y., Q. Y. Zhu, and K. W. Yeung, Influence of Thickness and Porosity on Coupled Heat and Liquid Moisture Transfer in Porous Textiles. *Textile Research Journal*, 2002. 72 (5): p. 435–446.
- [19] Kim, J. O., Dynamic Moisture Vapor Transfer Through Textiles Part III: Effect of Film Characteristics on Microclimate Moisture and Temperature Changes. *Textile Research Journal*, 1999. 69 (3): p. 193–202.
- [20] Fukazawa, T., H. Kawamura, and T. Tamura, Water Vapour Transfer Through Microporous Membranes and Polyester Textiles at Combinations of Temperature and Pressure that Simulate Elevated Altitudes. *Journal of the Textile Institute*, 2000. 91 (3): p. 434–447.
- [21] Fukazawa, T., H. Kawamura, Y. Tochihara, and T. Tamura, Experiment and Analysis of Combined Heat and Water Vapor Transfer Through Clothes With Condensation. *Textile Research Journal*, 2003. 73 (9): p. 774–780.
- [22] Ren, Y. J. and J. E. Ruckman, Water Vapour Transfer in Wet Waterproof Breathable Fabrics. *Journal of Industrial Textiles*, 2003. 32 (3): p. 165–175.
- [23] Rossi, R. M., R. Gross, and H. May, Water Vapor Transfer and Condensation Effects in Multilayer Textile Combinations. *Textile Research Journal*, 2004. 74 (1): p. 1–6.
- [24] Finn, J. T., A. J. G. Sagar, and S. K. Mukhopadhyay, Effects of Imposing a Temperature Gradient on Moisture Vapor Transfer Through Water Resistant Breathable Fabrics. *Textile Research Journal*, 2000. 70 (5): p. 460–466.
- [25] Umbach, K. H., Water Vapor Transport Through Protective Textiles at Low Temperatures, *Textile Research Journal*. 72(10), 899-905 (2002).
- [26] Fukazawa, T., H. Kawamura, Y. Tochihara, and T. Tamura, Water Vapor Transport Through Textiles and Condensation in Clothes at High Altitudes – Combined Influence of Temperature and Pressure Simulating Altitude. *Textile Research Journal*, 2003. 73 (8): p. 657–663.
- [27] Jena, A. and K. Gupta, *Characterization of Water Vapour Permeable Membranes*. Desalination, 2002. 149: p. 471–476.
- [28] Viera Glombíková: *Fyziologické vlastnosti textilií* [Elektronická skripta]. Liberec 2006 Dostupné z: <http://www.ft.tul.cz/databaze/skripta/> (1.5.2014).
- [29] Šubert R., *Hodnocení tepelně-izolačních vlastností textilií při vyšších rychlostech vzduchu*, Liberec 2006, 149 s., Disertační práce, Fakulta textilní, Technická univerzita v Liberci
- [30] Militký, J.: *Textilní vlákna*, Katedra textilních materiálů, FT TUL 2002, ISBN 80-7083-644-X
- [31] Karjalainen, S. (2012), *Thermal comfort and gender: a literature review*. Indoor Air, 22: 96–109. doi: 10.1111/j.1600-0668.2011.00747.x
- [32] ISO 11092 *Zjišťování fyziologických vlastností. Měření tepelné odolnosti a odolnosti vůči vodním parám za stálých podmínek*

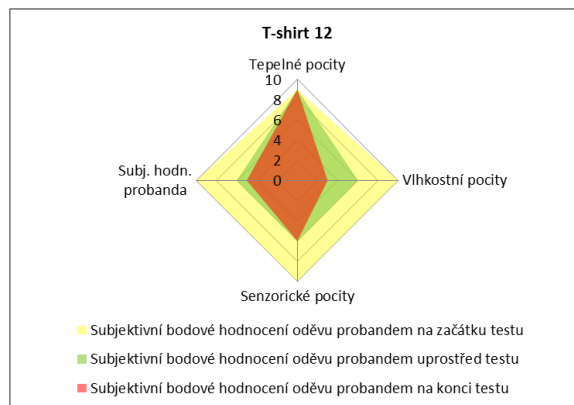
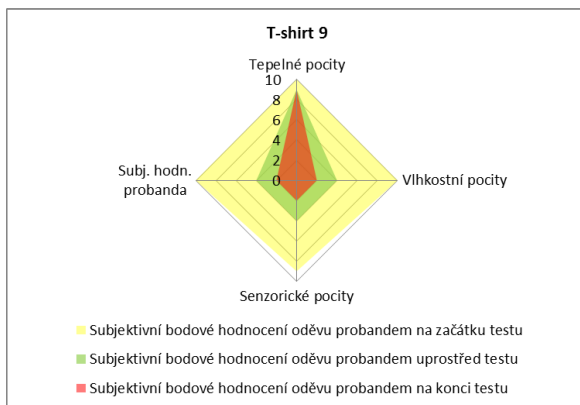
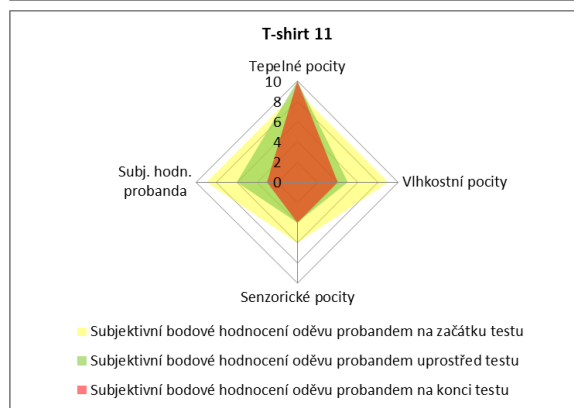
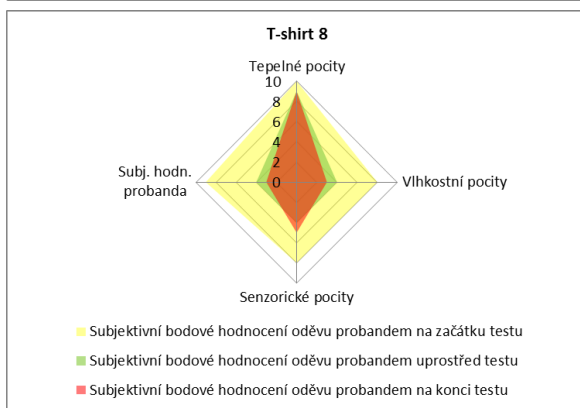
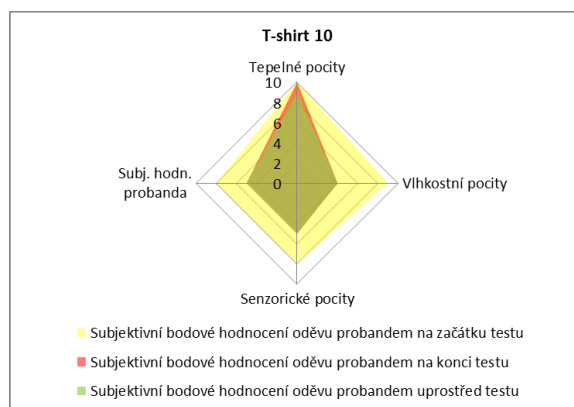
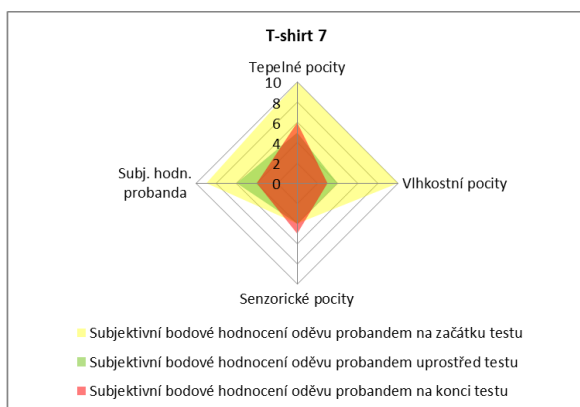


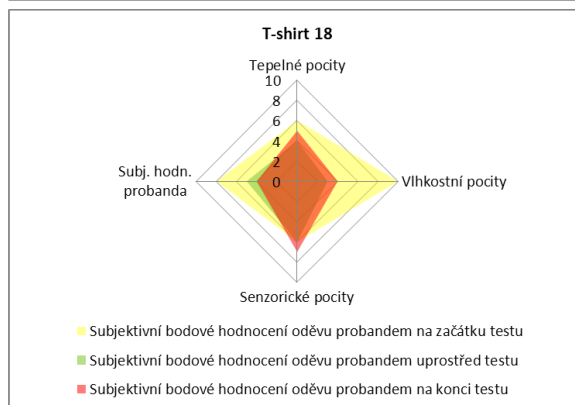
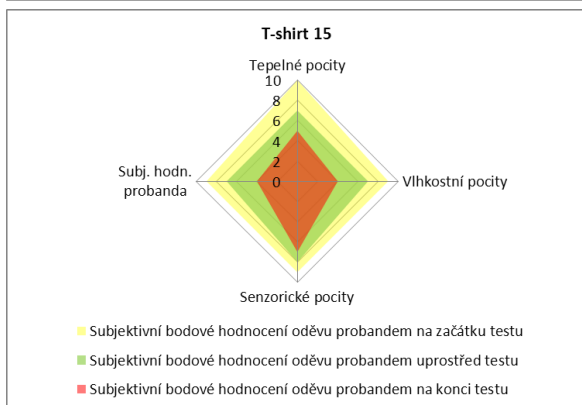
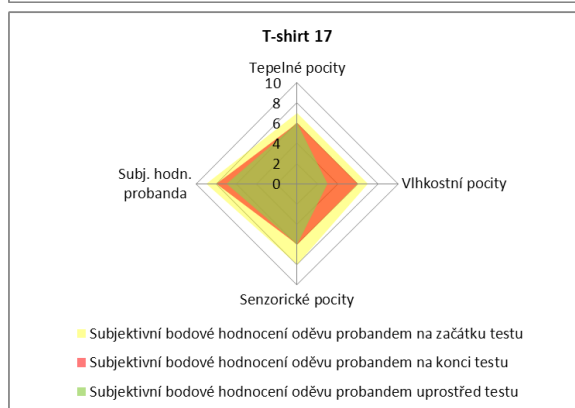
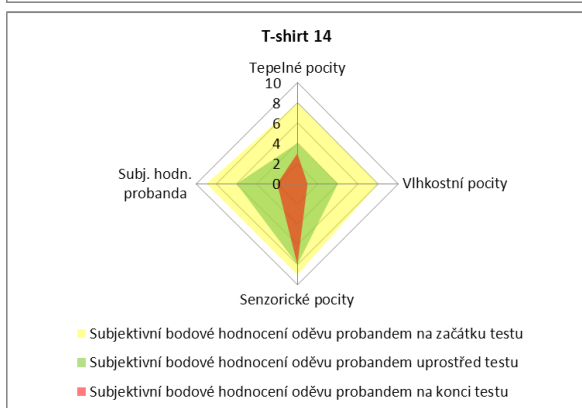
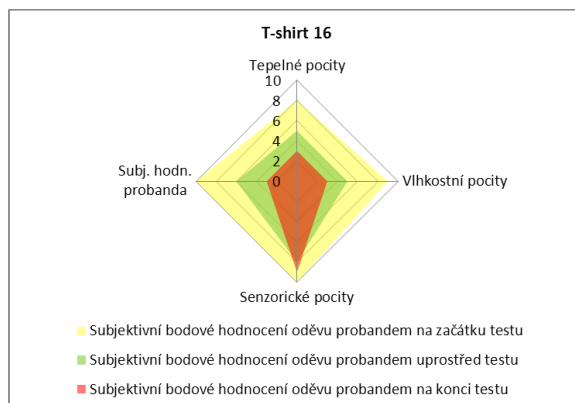
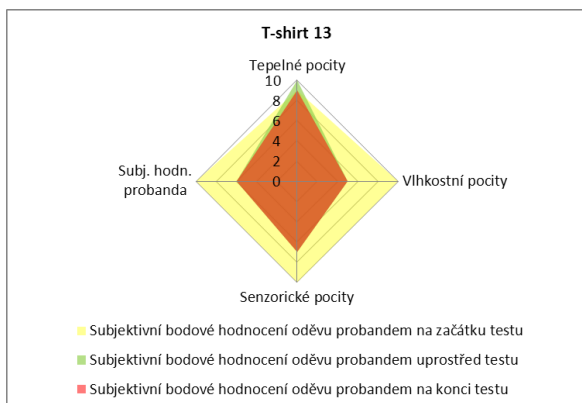
- [33] Bramel, S. Key trends in sportswear design. *Textiles in Sport*, Edited by: R. Shishoo. Woodhead Publishing (August 29, 2005), CRC Press. 352p. ISBN 0-8493-3486-1
- [34] Švehla a Kašparová. *Užitná hodnota plošných textilií*. SVÚT Liberec, 1976
- [35] Křemenáková, D., Militký, J., Šesták, J. *Vláknenné struktury pro speciální aplikace.*, O.P.S., ISBN 978-80-87269-32-9.
- [36] Epstein Y. a Moran D. S.: *Thermal Comfort and the Heat Stress Indices*, Industrial Health, 44, s. 388-398 (2006).
- [37] d'Ambrosio Alfano F. R. a kol.: *Thermal Environment Assessment Reliability Using Temperature – Humidity Indices*, Industrial Health, 49, s. 95-106 (2011).
- [38] Stull R.: Wet-Bulb Temperature from Relative Humidity and Air Temperature, *Journal of Applied Meteorology & Climatology*, November, 2011, 2267-2269.
- [39] Havelka, A., Adámek, K., Nagy, L., Kůs, Z. Transport properties of barrier textiles for sports and functional applications. Edited by: G. Bartkowiak & M. Pawlowa I. Frydrych. *Protective and Smart Textiles, Comfort and Well-Being*. Monograph, Lodz: Lodz University of Technology, 2015, p. 145-158. ISBN 978-83-7283-665-6.
- [40] P. T. Tsilingiris, Thermophysical and transport properties of humid air at temperature range between 0 and 100 °C, *Energy Conversion and Management*, Volume 49, Issue 5, May 2008, Pages 1098-1110, ISSN 0196-8904. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2007.09.015>. (1.3.2015).
- [41] Chyský, J.: *Vlhký vzduch*, ČVUT Praha 1977. ISSN 04-239-77.

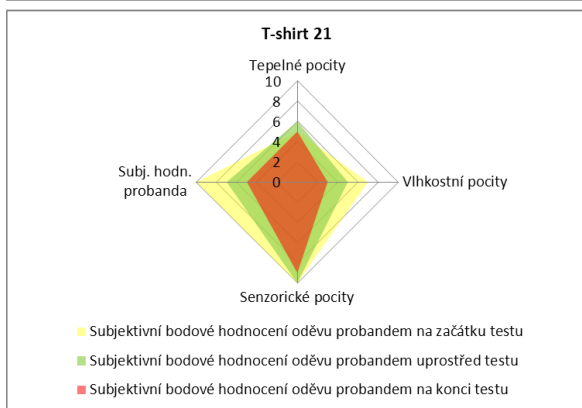
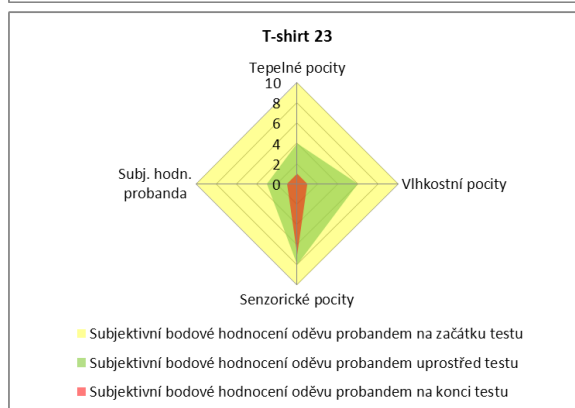
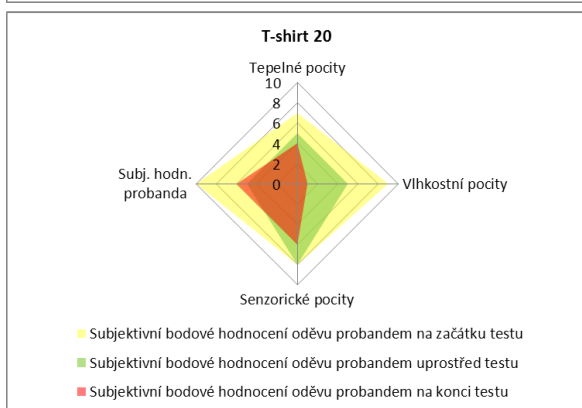
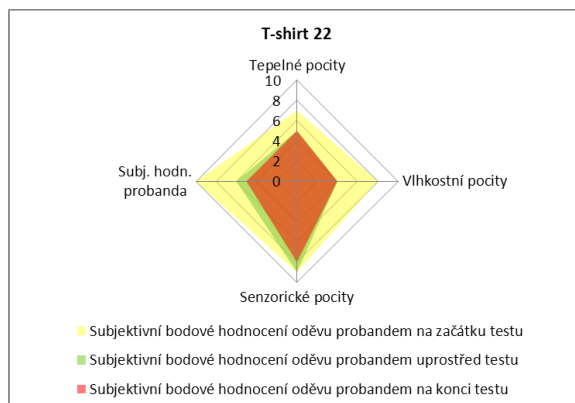
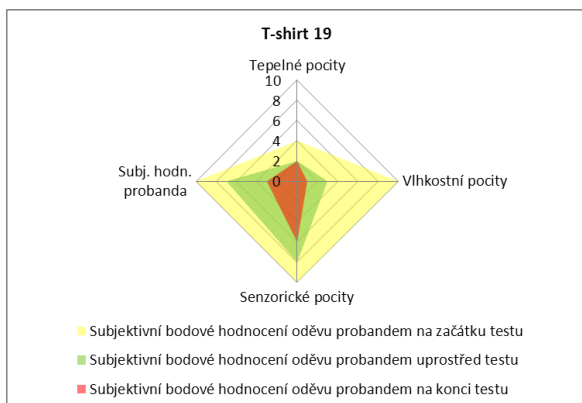
Příloha 1 – Diagramy subjektivního hodnocení pocitu diskomfortu probanda při testování první vrstvy oděvů.

Legenda: 10 bodů - nejlepší hodnocení, 1 bod – nejhorší hodnocení.









Příloha 2 – Vzor protokolu o průběhu testu.

Protokol o průběhu testu			
Datum			Čas
Klimatické podmínky			
začátek testu		konec testu	
teplota	vlhkost	teplota	vlhkost
Označení trička			
Poznámky k testu			

Záznam sledování smyslového vnímání oděvního komfortu

A	Tepelné pocity	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
	-před testem										
-v průběhu testu											
-po testu											
kritéria hodnocení tepelná vnímavost – teplé nebo studené	Optim.	Slabě	Lehce	Středně	Středně silné	Silně	Velmi silně	Krajně silně	Velmi krajně	Extrem.	

B	Vlhkostní pocity	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
	-před testem										
-v průběhu testu											
-po testu											
kritéria hodnocení pocit vlhkosti, navlhavost	Optim.	Téměř žádná		Trochu zvýšená		Mírně zvýšená		Silně zvýšená	Extrémní, krajně nepohodlná		

C	Senzorické pocity	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
	-před testem										
-v průběhu testu											
-po testu											
kritéria hodnocení pichlavost, dráždivost	Velmi příjemné			Neutrální			Mírně nepříjemné			Nepříjemné	

D	Subjektivní hodnocení oděvu probandem	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
	-před testem										
-v průběhu testu											
-po testu											
kritéria hodnocení celkové pohodlí při nošení	Příjemné, nelepí se na tělo, pocit sucha			Neutrální, lepší se jen místy na tělo				Nepříjemné, lepí se na tělo, pocit mokra			

Příloha 3 - Laboratorní hodnocení vlastností určujících oděvní komfort

Pro hodnocení termo-fyziologických vlastností a komfortu oděvu existuje několik různých sofistikovaných metod. Některé z nejčastěji používaných metod a jejich principy jsou uvedeny v následujících odstavcích.

MMT SDL ATLAS – Moisture management tester

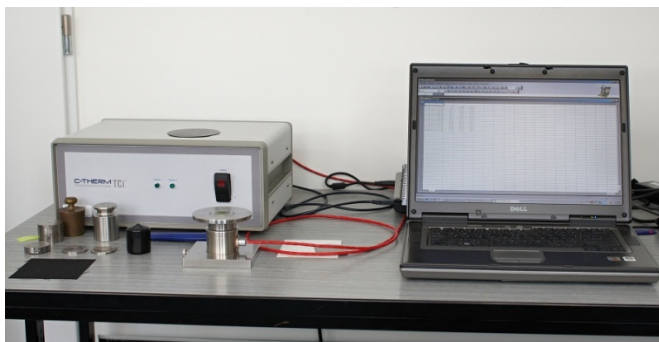
Přístroj Moisture Management Tester (MMT) slouží k testování vlastností managementu vlhkosti u textilií. Přístroj se skládá z horních a dolních soustředně umístěných čidel vlhkosti, mezi něž se vkládá testovaná textilie. Předem stanovené množství zkušebního roztoku syntetického potu se aplikuje na horní stranu, tzn. rubovou stranu textilie, poté se sleduje šíření roztoku materiálem ve třech směrech:

- Šíření roztoku směrem k vnějším okrajům na horní (rubové) straně textilie.
- Přenos roztoku tkaninou z horní (rubové) strany na spodní (lícovou).
- Šíření roztoku směrem k vnějším okrajům na spodní (lícové) straně textilie.

Přístroj MMT je navržen pro sledování, měření a zaznamenávání šíření kapaliny textilií ve více směrech. Z naměřených hodnot se následně vypočítá charakteristická schopnost managementu vlhkosti testovaného textilního vzorku.

Analyzátor tepelné vodivosti TCi

Analyzátor tepelné vodivosti TCi je přístroj ke zjišťování součinitele tepelné vodivosti λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]. Přístroj používá jednostranný teplotně odrazivý snímač, ve kterém se mimo jiné nachází zdroj tepla, které proudí směrem od senzoru k materiálu. Zjišťuje se růst teploty snímače v přechodové rovině mezi vyhříváním čidlem a zkoušeným vzorkem. Nárůst teploty na rozhraní snímače vyvolá změnu úbytku elektrického napětí na čidle. Existuje nepřímá úměra. Čím větší je tepelně-izolační schopnost materiálu, tím strmější je nárůst elektrického napětí.



Obr.1 Analyzátor tepelné vodivosti TCi

Na základě metody přechodové roviny se stanovuje koeficient tepelné vodivosti λ v rozsahu $0-100$ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] a effusivita e [$\text{W}\cdot\text{s}^{1/2}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]. Také je možno dle zadaných kritérií spočítat teplotní vodivost α [$\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$], měrnou tepelnou kapacitu c_p [$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] a tepelný odpor R [$\text{m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$].

Výhoda přístroje spočívá v možnosti senzoru měřit při teplotách od $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ až do $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ a při maximální relativní vlhkosti až 95 %. Výhodou je také fakt, že minimální požadovaný rozměr vzorku je cca 2 cm v průměru.

SGHP - (Sweating Guarded Hotplate)

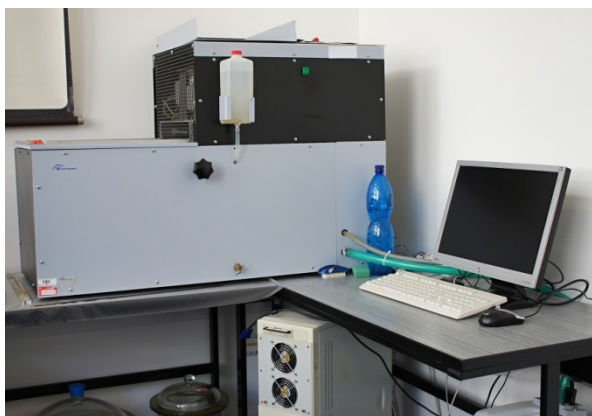
Model potící se teplé pokožky byl vyvinut pro měření tepelné odolnosti (R_{ct}) a odolnosti vůči vodním parám (R_{et}) u textilních materiálů. Testování probíhá v souladu s normou ISO 11092 a ASTM F1868. Izotermní testovací plocha je obklopena zezdola i z boku chráničem, aby veškeré teplo, které bylo testovací ploše dodáno, prošlo ke vzorku. Při zkoušce R_{et} je do zařízení přiváděna destilovaná voda, která se pod testovací plochou ohřívá a ve formě vodních par dále prostupuje celofánovou membránou a k testovanému vzorku. Aby se dosáhlo ustálených normovaných podmínek je SGHP umístěno v klimatické komoře, je vybaveno tunelem s čidlem rychlosti vzduchu a čidly teploty a vlhkosti. Ovládání systému a záznam dat zajišťuje software ThermDac. [1]



Obr. 2 SGHP – Model potící se teplé pokožky (SGHP) v klimatické komoře

Přístroj PSM-2

Přístroj PSM-2 je určen pro měření tepelné odolnosti a odolnosti vůči vodním parám dle normy ČSN EN 31092 (ISO 11092). Jedná se o model přístroje, který simuluje lidskou pokožku. Konstrukčně je PSM-2 odlišná od SGHP, principem se ale neliší.



Obr. 3 Přístroj PSM-2 pro měření tepelné odolnosti a odolnosti vůči vodním parám

Přístroj pro měření prodyšnosti vzduchu SDL M021S

Prodyšnost vzduchu je schopnost materiálu propouštět vzduch. Měří se dle normy ČSN EN ISO 9237 (80 0817) a udává se jako rychlost vzduchu, který prochází plochou vzorku při zvoleném tlakovém spádu. Vzduch je nasáván skrze vzorek pomocí vývěvy.

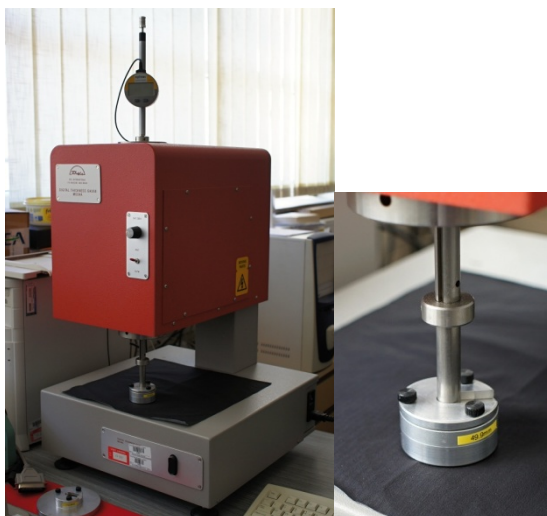
Průtok vzduchu se reguluje pomocí ventilů a snímače diferenčního tlaku na zvolený tlakový spád. Objem průtoku vzduchu lze měřit na čtyřech průtokoměrech v rozsahu $0,1\text{--}400\text{ ml}\cdot\text{s}^{-1}$. Norma doporučuje tlakový spád 100 Pa, nebo 50 Pa podle typu oděvního materiálu. Pro měření vybraného souboru trik bylo nutné v rozporu s normou použít nižší tlakový spád a to 7 Pa z důvodu vysoké prodyšnosti materiálů.



Obr.4 Přístroj na měření prodyšnosti vzduchu SDL M021S

Měření tloušťky materiálu

Tloušťka materiálu byla stanovena na digitálním tloušťkoměru SDL M034A dle normy ČSN EN ISO 5084 (80 0844). Tloušťka je měřena jako vzdálenost mezi základní deskou, na které je umístěn vzorek, a paralelním přítlačným kotoučem. Vyjma vlasových apod. textilií se volí přítlak 1000 Pascalů a přítlačná hlavice o ploše 20 cm^2 . Tloušťkoměr je napojen na počítač se softwarem, který měření zaznamenává a vyhodnocuje.






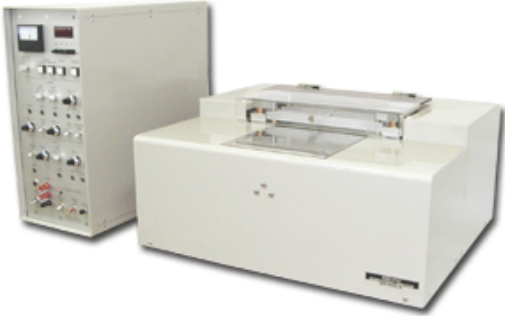
Obr.5 Digitální tloušťkoměr SDL M034A

KES - FB (Kawabata Evaluation System for Fabrics)

Systém umožňuje testování šesti základních mechanických vlastností plošných textilií (tah, smyk, ohyb, stlačitelnost, koeficient tření a drsnost). Na základě těchto vlastností je možné stanovit THV (Total Hand Value) - hodnocení omaku.

Omak představuje základní kvalitativní charakteristiku oděvních textilií zahrnující vlastnosti jako např.: krčivost, splývavost, měkkost, plnost, ...

THV a vyjádření omaku jsou světovými standardy hodnocení omaku garantované The Hand Evaluation and Standardization Committee, The Textile Machinery Society of Japan. [2]

 <p>Automatický model pro testování povrchových vlastností textilií, papíru, netkaných textilií, fólií.</p>	 <p>Automatický model pro testování ohybových vlastností (ohybová tuhost, ohybový moment) textilií, netkaných textilií, přízí.</p>
 <p>Automatický model pro testování kompresních vlastností jako tloušťky, stlačitelnosti textilií a fólií.</p>	 <p>Automatický model pro testování tahových a smykových vlastností textilií, papíru, netkaných textilií a fólií.</p>

Reference

- [1] ISO 11092 *Zjišťování fyziologických vlastností. Měření tepelné odolnosti a odolnosti vůči vodním parám za stálých podmínek*
- [2] Online zdroj: Technická univerzita v Liberci, Fakulta textilní, Katedra oděvnictví, Dostupné z [www: http://www.kod.tul.cz/laboratore.html](http://www.kod.tul.cz/laboratore.html), (26.5.2014)

Příloha 5 – Hodnocení porozity vzorků pomocí mikrotomografického skenování na SkyScan 1272

V současnosti je v procesu nově zaváděné metody umožňující náhled do struktury textilií systém mikrotomografického skenování na přístroji systému SkyScan 1272. Tento přístroj pomocí sofistikovaného softwaru umožňuje rekonstruovat a vizualizovat naměřená data v 2D a v 3D a provádět jejich analýzu včetně zjišťování porozity u textilních materiálů. Bližší informace o CT systému jsou k nalezení ve zdroji [1].

Základní údaje o nastavení profilu skenování u vybraných vzorků jsou uvedeny v Tab. 1.

Tab. 1 Základní nastavení profilu skenování CT-mikro systému

Vybrané specifikace a nastavení profilu skenování	
Spodní hranice prahování (Lower grey threshold)	20
Rozlišení kamery	Rows – 1640 px, Columns – 2452 px
Velikost pixelu (Scaled Image Pixel Size)	5,000061 um
Exposure	320 ms
Rotační krok	0,200 deg
Frame Averaging	ON (3)
Počet řezů	501
Nastavení zdroje rentgenky	
Source Voltage	40 kV
Source Current	200 uA

Profil skenování a základní parametry systému jsou stejné pro skenování každého vzorku textilie. Vyhodnocení celkové porozity a vizualizace 2D a 3D u sledovaných vzorků je provedeno v rekonstrukčním softwaru *NRecon*. Pro zjištění celkové porozity vzorku byla použita metoda ROI shrink-wrap (2D space). Výsledky jsou uvedeny v tabulce viz Tab. 2.

Tab. 2 Celková porozita sledovaných vzorků. Rekonstrukce - Mode: Shrink-wrap (2D space), Stretch over holes with a diameter in 10 pixels.

Vzorek	Celková porozita [%]	Objem vzorku [mm ³]
T-shirt 1	27.27	12.709
T-shirt 2	38.45	17.967
T-shirt 4	59.62	8.975
T-shirt 13	32.65	16.715

Vizualizace - 2D a 3D zobrazení vláken.

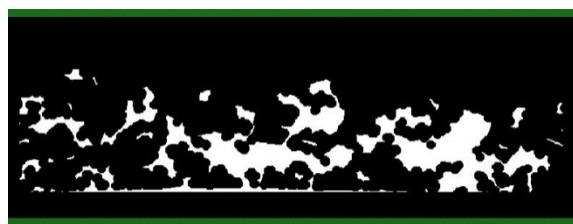
Profily vzorků: bílé místa na obrázku představují - vlákna, černé místa okolí - vzduch



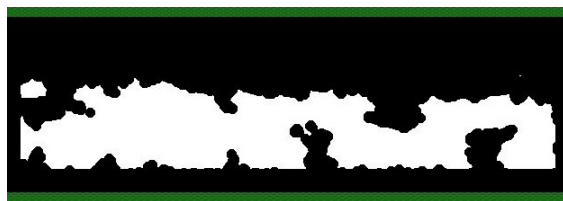
Vzorek T-shirt 1



Vzorek T-shirt 2

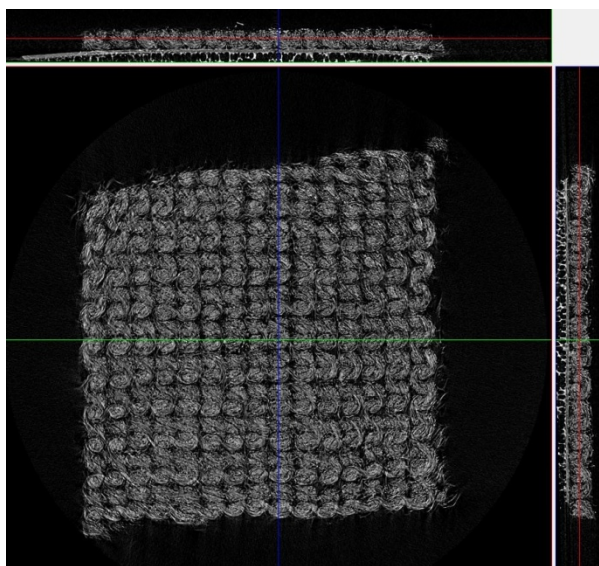


Vzorek T-shirt 4

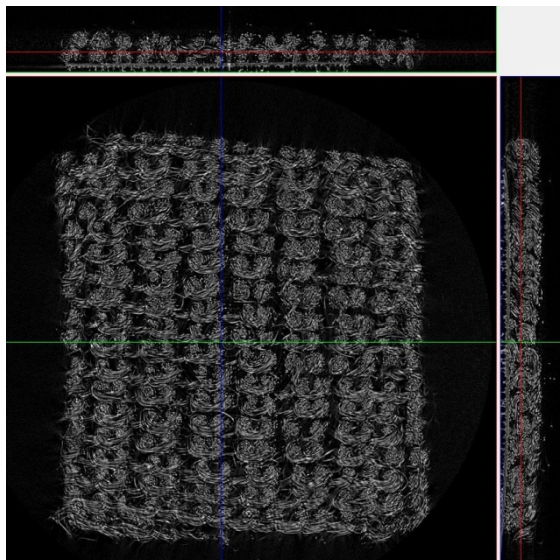


Vzorek T-shirt 13

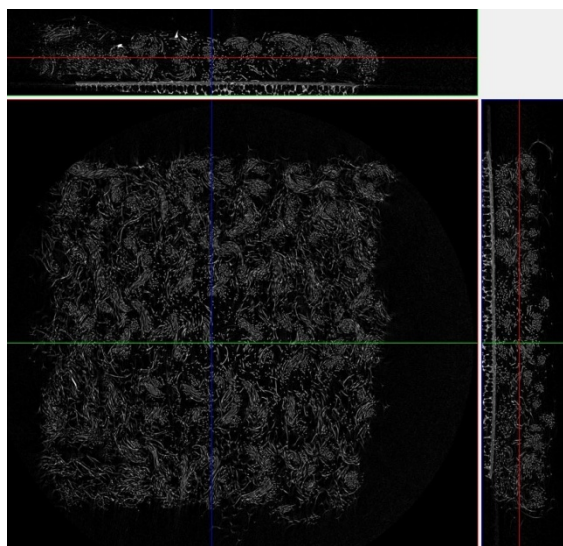
2D pohled na strukturu vzorků



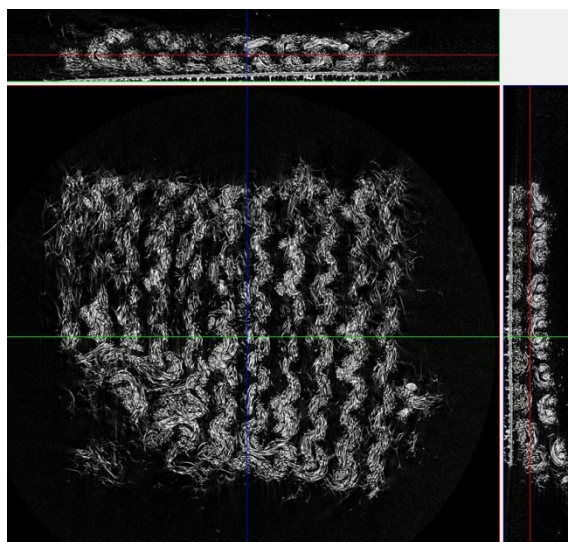
Vzorek T-shirt 1



Vzorek T-shirt 2

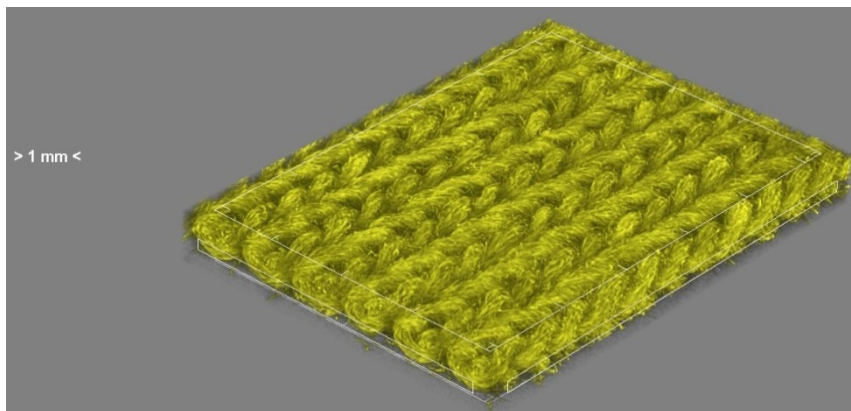


Vzorek T-shirt 4

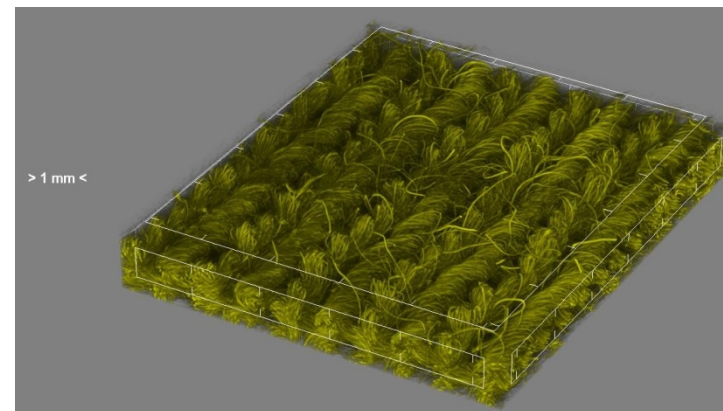


Vzorek T-shirt 1

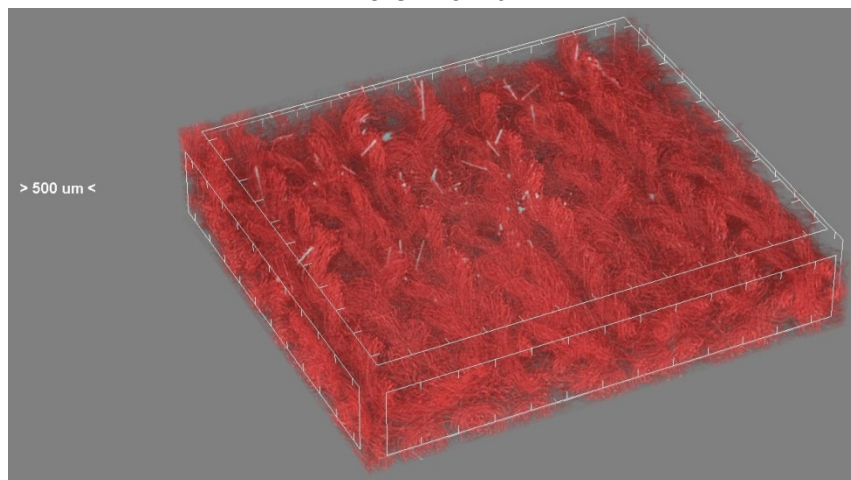
3D pohled na strukturu vzorků



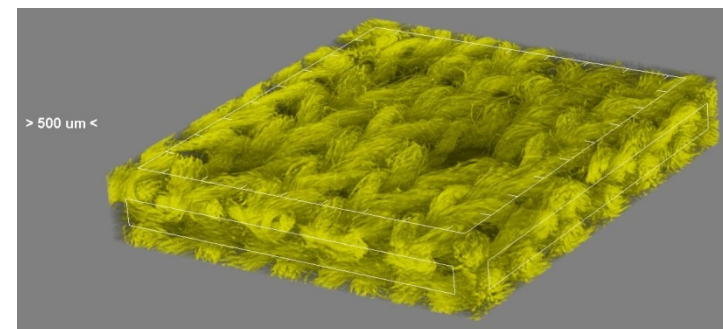
Vzorek T-shirt 1



Vzorek T-shirt 2



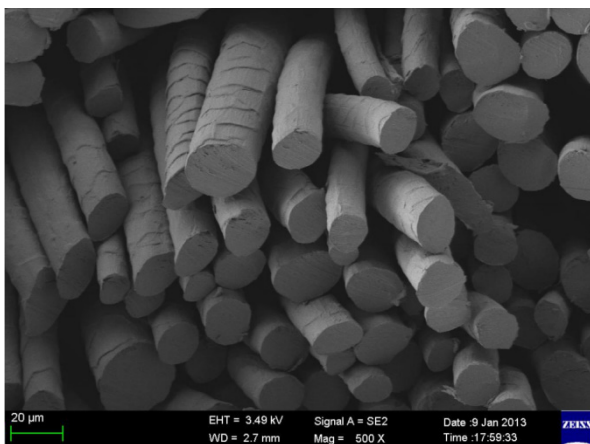
Vzorek T-shirt 4



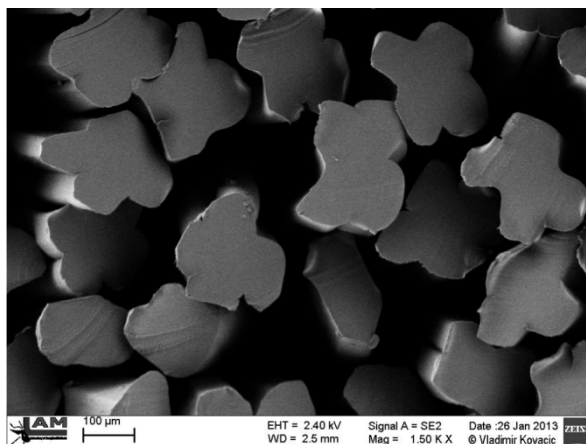
Vzorek T-shirt 13

Pohled na vnitřní strukturu vybraných testovaných pletenin – T-shirt 2, 4, 5, 13

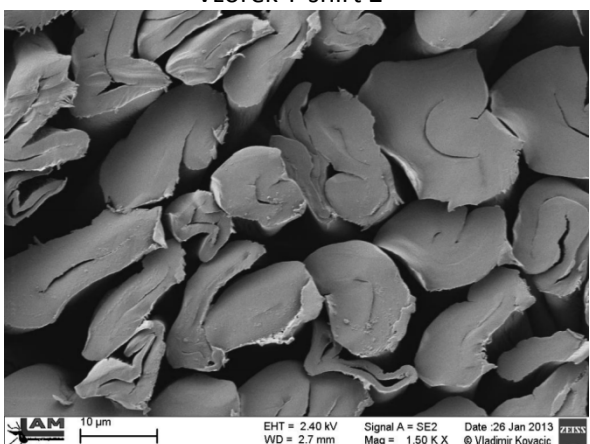
Pohled na vláknennou strukturu vzorků - zobrazeno pomocí SEM ¹



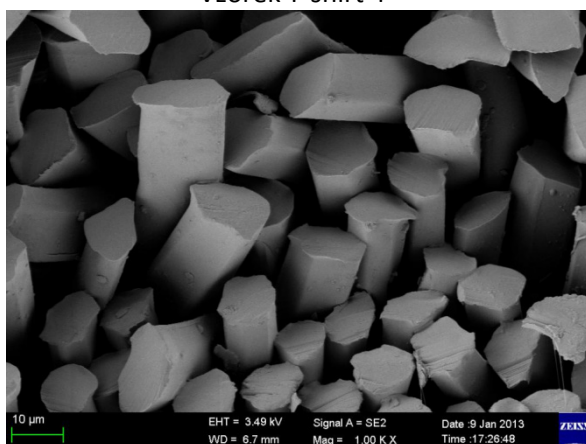
Vzorek T-shirt 2



Vzorek T-shirt 4



Vzorek T-shirt 5



Vzorek T-shirt 13

Reference

- [1] Bakalova T., Kolínová M. Možnosti použití počítačové tomografie (CT) v technice, *Jemná mechanika a optika*, č. 4/2014, p. 111 - 114, ISSN 0447-6441.

¹ Autor snímků Ing. Vladimír Kovačič

Původní výsledky a jejich uplatnění

V článku [1] je rozpracovaná problematika transportních vlastností tepla přes textilní vrstvy v průběhu fyzické aktivity a dále je rozebrán vliv kondenzace vodních par v mezivrstvách oděvu a její vliv na funkční vlastnosti systému oděvu.

V článku [2] je prezentována zejména problematika testování oděvního komfortu funkčních oděvů a subjektivního hodnocení fyziologického komfortu na probandech.

V článku [3] je rozpracovaná problematika objektivního hodnocení oděvního komfortu dle standardního tepelného indexu WBGT a hodnocení rizika přehřátí organismu v průběhu kontinuální středně náročné fyzické zátěže probanda.

Možnosti vícekritériálního hodnocení fyziologických vlastností první vrstvy oděvů pro sportovní účely jsou prezentovány v článku [4].

Na mezinárodních konferencích [5, 6, 7] byla prezentována studovaná problematika oděvního komfortu první vrstvy oděvů a prezentované výsledky aplikačního výzkumu. Prezentace výsledků proběhla rovněž v rámci pravidelných seminářů organizovaných na CXI TUL (2013).

Doporučení na pokračování práce

V návaznosti na tuto disertační práci by bylo vhodné výzkum v této oblasti směřovat na monitorování a ověření fyziologických vlastností v reálných podmínkách zejména u speciálních oděvů (tepová frekvence, vlhkost, teplota, atd.), určených pro organizační a ozbrojené složky státu. Tento výzkumný záměr by mohl být prospěšný také pro lepší ochranu zdraví člověka a pro dosažení lepší výkonnosti a výdrže uživatele při vykonávání náročných úkolů za zvýšené fyzické aktivity, či v extrémních okolních podmínkách. Zlepšení pocíťovaného oděvního komfortu také zlepší mentální výkon uživatele. Nepřetržitě on-line, nebo off-line monitorování při diskontinuální nárazové práci v reálných podmínkách, umožní také lepší srovnání subjektivního a objektivního hodnocení oděvního komfortu. Hodnocení užitečných vlastností pro uzavřené systémy oděvu (skafandry – ochranné obleky pro nehostinné prostředí) představuje důležitý cíl v rámci dalšího aplikačního výzkumu v oblasti hodnocení a zlepšování oděvního komfortu.

U oděvů, určených pro záchranný systém státu, by se objektivně měřily textilní vlastnosti, které jsou objektem zkoumání této disertační práce. Zjišťovala by se tak vzájemná korelace s testy na probandech. Po ověření by odpadlo testování na probandech a výsledky by sloužili k rychlému hodnocení vlastností oděvů. Další rozšíření materiálového hodnocení o nové způsoby testování, například MMT test, test vzlínivosti textilií, termovizní snímání, atd. umožní lepší návrh sendvičové struktury oděvů. Rozšíření o nové metody umožní lepší hodnocení oděvního komfortu sendvičové struktury oděvů, která má zejména ve střeoevropském podnebí zásadní vliv na uživatele. Rozšíření skupiny probandů o různé somatotypy a také o testování na lidech s poruchou termoregulace umožní zlepšení kvality života uživatelů a najde uplatnění také v další významné oblasti (medicínské), která spolu se stárnoucí populací v Evropě představuje další perspektivní aplikační oblast pro tento výzkum.

Publikace a konference autora disertační práce

- [1] Havelka, A., Adámek, K., Nagy, L., Kůs, Z. Transport properties of barrier textiles for sports and functional applications. Edited by: G. Bartkowiak & M. Pawlowa I. Frydrych. *Protective and Smart Textiles, Comfort and Well-Being*. Monograph, Lodz: Lodz University of Technology, 2015, p. 145-158. ISBN 978-83-7283-665-6.
- [2] Nagy, L., Havelka, A., Kůs, Z., Jandová, S. Testing physiological comfort of functional clothing. *ACC JOURNAL*, XIX (1/2013/Issue A), 2013, p. 85-93. ISSN 1803-9782.
- [3] Nagy, L., Havelka, A., Jandová, S., Kůs, Z. Physiological Comfort in Garments for Sport Activities and its Testing. Edited by: Qi Luo. *Sports Technology and Engineering*. CRC Press, Taylor & Francis Group, London, 2015, p. 347-351. ISBN 978-1-138-02698-8.
- [4] Nagy, L. & Havelka, A. Evaluation and Testing of Physiological Properties of the First Layer Garment for Sport Apparel. Edited by: Z. Dragčević. *ITC&DC Magic World of Textiles*. Dubrovnik: University of Zagreb, Faculty of Textile Technology, 2014, p. 300-306. ISBN 978-953-7105-54-9.
- [5] Havelka, A. & Nagy, L. *Objective Measurements of Physiological Comfort in Sports Garment*. Wuhan: The Textile Institute, 2014. The 89th Textile Institute World Conference - Textile Innovation from Fibre to Fashion. TIWC 2014. p. 863-867. ISBN 978-1-84626-xxx-x.
- [6] Nagy, L. Monitoring Physiological Comfort of Clothing in Laboratory Conditions. *8th International Conference - TEXSCI 2013*, Sept. 23-25, 2013, TUL, Liberec, Czech Republic, 2013.
- [7] Nagy, L. & Havelka, A. Evaluation of Physiological Properties of the First Layer Garment for Sport Apparel. *4th International Conference on Textile and Material Science TEXCO 2014*, Sept. 27-28, 2014.
- [8] Odp. řešitel: A. Havelka a kol. „Fyziolog“ – Inovace a monitorování fyziologických vlastností speciálních oděvů pro ozbrojené síly a oděvy pro zraněné a nemocné, Závěrečná zpráva o realizaci projektu č. 907980. (člen řeš. týmu)

Název: Hodnocení fyziologických vlastností první vrstvy oděvu

Title: Evaluation of the physiological properties of the first layer of a garment

Autor: Ing. Ladislav Nagy

Školitel: doc. Ing. Antonín Havelka, CSc.

Studijní program: P3106 - Textilní inženýrství

Studijní obor: 3106V008 - Textilní technika

Datum: 31.7.2015 / v.22

Tato publikace neprošla jazykovou ani redakční úpravou.
