TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta textilní

Oděvy do čistých prostor

Bakalářská práce

Studijní program: B3107 Textil
Studijní obor: Výroba oděvů a management obchodu s oděvy

Autor práce: **Zita Theiberová**
Vedoucí práce: Ing. Petra Komárková, Ph.D.
Katedra oděvnictví

Liberec 2021

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta textilní

Zadání bakalářské práce

Oděvy do čistých prostor

Jméno a příjmení:	**Zita Theiberová**
Osobní číslo:	T17000265
Studijní program:	B3107 Textil
Studijní obor:	Výroba oděvů a management obchodu s oděvy
Zadávající katedra:	Katedra oděvnictví
Akademický rok:	**2019/2020**

Zásady pro vypracování:

1. Proveďte rešerši zaměřenou na oděvy určené do čistých prostor, zaměřte se na jejich účel používání, rozdělení, požadavky, materiálové složení a požadavky na výrobu, užívání a nakládání s těmito oděvy.
2. Analyzujte současný stav v konkrétní čisté výrobě z hlediska používání jednorázových obleků i oděvů pro opakované použití, z hlediska fyziologického komfortu, manipulace s těmito oděvy (likvidace, praní apod.), požadovaných norem a případně i z hlediska ekonomických nákladů.
3. Navrhněte experiment hodnotící fyziologický komfort vytipovaných oděvů určených do čistých prostor. Experiment vyhodnoťte a analyzujte získané výsledky.
4. Na základě všech získaných poznatků navrhněte optimalizaci oděvů do čistých prostor a případně služeb spojených s poskytováním těchto oděvů.

Rozsah grafických prací:	dle rozsahu dokumentace
Rozsah pracovní zprávy:	cca 40 stran
Forma zpracování práce:	tištěná
Jazyk práce:	Čeština

Seznam odborné literatury:

- HES, L., SLUKA, P. Úvod do komfortu textilií. Skripta, Technická univerzita v Liberci, 2005. ISBN 80-7083-926-0.
- SONG, G. Improving comfort in clothing. Woodhead Publishing. 2011. ISBN: 9781845695392.
- SUPRUN, N., SYGLOBA, M., VLASENKO, V. The comfort of clean room clothing. Vlakna a textil, 2004. Volume 11. Issue 2. pp 54-57.

Vedoucí práce:	Ing. Petra Komárková, Ph.D. Katedra oděvnictví
Datum zadání práce:	5. listopadu 2019
Předpokládaný termín odevzdání:	10. ledna 2021

L.S.

doc. Ing. Vladimír Bajzík, Ph.D.
děkan

prof. Dr. Ing. Zdeněk Kůs
vedoucí katedry

V Liberci dne 26. listopadu 2020

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci jsem vypracovala samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Jsem si vědoma toho, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

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

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má bakalářská práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědoma následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

7. ledna 2021 Zita Theiberová

Poděkování

Touto cestou bych chtěla velmi poděkovat paní Ing. Petře Komárkové, Ph.D. za odborné vedení při vypracování bakalářské práce, odborné rady a podnětné připomínky a trpělivost. Děkuji také Ing. Michalu Chotěborovi za pomoc a rady při měření v experimentální části práce. Dále děkuji členům a vedení Katedry oděvnictví za jejich rady a vstřícnost a umožnění přístupu do laboratoře komfortu.

Anotace

Téma: Oděvy do čistých prostor

Teoretická část je všeobecná rešerše, zaměřená na oděvy určených do čistých prostor. Popsán je jejich účel, rozdělení, materiálové složení a dále jsou specifikovány požadavky na výrobu, užívání a nakládání s těmito oděvy.

Experimentální část je zaměřena na porovnání vybraných tkanin určených na výrobu oděvů do čistých prostor z hlediska oděvního komfortu. V první části je provedena analýza současného stavu z hlediska používání jednorázových a pratelných oděvů, manipulace s těmito oděvy, požadovaných norem a fyziologického komfortu. V druhé části jsou určeny a testovány termofyziologické vlastnosti na různých typech tkanin, které mohou ovlivňovat komfort pracovníka. Na základě získaných poznatků je sestaven návrh na optimalizaci oděvů tak, aby splňoval uživatelské nároky z hlediska fyziologického komfortu a zároveň vyhovoval podmínkám, které jsou kladeny na čisté prostory.

Klíčová slova:

Čisté prostory, oděvy, oděvní komfort, propustnost vzduchu, propustnost vodních par, tepelný odpor

Theme: Clothes for clean rooms

The theoretical part is a general research focused on clothing intended for clean rooms. Their purpose, classification, material composition are described and further specified requirements for the manufacture, use and handling of these garments.

The experimental part is focused on the comparison of selected fabrics intended for the production of clothes for clean rooms in terms of clothing comfort. In the first part, an analysis of the current state is performed in terms of the use of disposable and washable clothing, handling of these clothing, the required standards and physiological comfort. In the second part, thermophysiological properties on various types of fabrics that can affect worker comfort are determined and tested. Based on the acquired knowledge, a proposal for the optimization of clothing is compiled so that it meets the user's requirements in terms of physiological comfort and at the same time meets the conditions that are placed on clean rooms.

Keywords:

Clean rooms, clothing, clothing comfort, air permeability, water vapor permeability, thermal resistance

Obsah

1 Úvod 10

2 Čisté prostory 11

2.1 Normy pro čisté prostory 11

2.1.1 Norma FS 209 D, E 11

2.1.2 Norma ISO 14644-1 12

2.2 Klasifikace tříd čistoty 13

2.2.1 Klasifikace tříd čistoty pro průmysl 13

2.2.2 Klasifikace tříd čistoty pro výrobce léčiv 13

2.2.1 Klasifikace tříd čistoty pro zdravotnická zařízení 14

2.3 Provoz čistého prostoru 15

2.3.1 Řízení rizika kontaminace 15

2.3.2 Kontaminace 15

2.3.3 Monitoring 16

3 Oděvy určené do čistých prostor 17

3.1 Účel používání oděvů 17

3.2 Rozdělení oděvů určených do čistých prostor 17

3.2.1 Rozdělení podle četnosti použití 17

3.2.2 Rozdělení oděvů podle typu 17

3.2.3 Rozdělení oděvů podle jednotlivých tříd čistoty 19

3.3 Základní Požadavky na pracovní oděv 21

3.3.1 Bariérová vlastnost oděvu 21

3.3.2 Úlet částic 22

3.3.3 Trvanlivost oděvu 23

3.3.4 Elektrostatické vlastnosti 24

3.4 Oděvní komfort 26

3.4.1 Senzorický komfort 26

3.4.2 Patofyziologický komfort 26

3.4.3 Termofyziologický komfort 26

3.5 Materiálové složení 32

3.5.1 Materiálové složení textilií 32

3.5.2 Parametry tkaniny 33

3.6 Požadavky na výrobu 36

3.6.1 Konstrukční požadavky 36

3.6.2 Technologie zpracování 37
3.7 Užívání 38
3.8 Manipulace s použitými oděvy 40
4 Analýza současného stavu 42
4.1 Oděvy do čistých prostor 42
4.2 Monitoring čistých prostor 45
4.3 Fyziologické vlastnosti pracovních oděvů a pracovní podmínky 47
5 Experimentální části 48
5.1 Výběr měřených vlastností 48
5.2 Výběr testovaných vzorků textilií 48
5.3 Tloušťka textilie 50
5.4 Propustnost vzduchu 51
5.5 Propustnost vodních par 55
5.6 Tepelná vodivost a tepelný odpor 59
5.7 Diskuze výsledků 61
5.8 Návrh konstrukčního řešení 63
6 Závěr práce 65
Použítá literatura 67
Seznam obrázků 69
Seznam tabulek 71
Seznam grafů 72
Seznam rovnic 73
Seznam příloh 74

Seznam použitých zkratek

Zkratka	Význam
CA	Acetát
CC	Contamination control
CFU	Jednotky vytvářející kolonie
CO	Bavlna
CO_2	Oxid uhličitý
ČP	Čisté prostory
ČSN	Česká státní norma
CV	Viskóza
EN	Evropské normy
EPA	ElectroStatic Discharge Protected Area
ESD	ElectroStatic Discharge
FMEA	Failure Mode and Effect Analysis
FMECA	Failure Mode and Effect Critical Analysis
FS	Federal standard
HACCP	Hazard Analysis and Critical Control Points
HEPA	High Efficiency Particulate Air filter
IEST	The Institute of Environmental Sciences and Technology
ISO	International Organisation for Standardisation
LI	Len
PA6.6	Polyamid 6.6
PAN	Polyakrylonitril
PU	Polyuretan
PES	Polyester
PP	Polypropylen
QRM	Quality risk managemet
RFID	Radio Frequency Identification
RP	Recommended practices
SE	Přírodní hedvábí
SOP	Standard Operating Procedure
UVC	Ultrafialové záření (290-200 nm)
WO	Vlna

1 Úvod

Čisté prostory jsou prostředí, kde je řízena koncentrace částic pevného aerosolu ve vzduchu podle určitých limitů. Částice jsou do prostředí emitovány lidmi, technologií, údržbou a zařízením. Požadavky na kvalitu čistého prostoru určují, jaké částice musí být kontrolovány a eliminovány na nejnižší možnou míru. [1] Funkcí oděvů do čistých prostor je vytvořit bariéru mezi člověkem a prostředím, a omezit tak únik částic z těla nositele do okolí. Tato hlavní ochranná funkce však stojí proti sobě s fyziologickými vlastnostmi, které mají zajistit přijatelné podmínky pracovní pohody pracovníků.

Cílem bakalářské práce je navrhnout optimalizaci pracovních oděvů ve výrobní společnosti, jejíž výroba je situována v čistém prostředí třídy ISO 7. Laboratorním testováním vybraných vzorků textilních materiálů bude snaha najít materiál s optimálními vlastnostmi, aby co nejvíce vyhovoval uživatelským nárokům z hlediska fyziologického komfortu a zároveň vyhovoval podmínkám, které jsou kladeny na konkrétní čisté prostory. Navrhnuta bude i změna konstrukčního řešení stávajícího oděvů. Snaha bude o zvýšení bariérové funkce oděvu a zvýšení komfortu.

V rešeršní části jsou popsány čisté prostory, jejich klasifikace a stručný popis jejich provozu včetně monitorování. Velká část rešerše je věnována oděvům určeným do čistých prostor. Popsán je jejich účel, rozdělení, materiálové složení a dále jsou specifikovány požadavky na výrobu, užívání a nakládání s těmito oděvy. Dále je vysvětlen pojem oděvní komfort a z hlediska této bakalářské práce nejdůležitější fyziologický komfort je i blíže specifikován.

Experimentální část je zaměřena na laboratorní testování a porovnání vybraných komerčně dostupných textilních materiálů z hlediska oděvního komfortu. Bariérové textilie jsou vyráběny s velmi nízkou porositou a tím i nízkou prodyšností. Vedle prodyšnosti je nutno řešit i otázku tepelně-izolačních vlastností a propustnosti vodních par vrstvami oděvu směrem od těla. Na základě výsledků testování bude navržena optimalizace pracovních oděvů.

2 Čisté prostory

Speciální průmyslové či zdravotnické prostory, ve kterých je řízena koncentrace částic ve vznosu a které jsou konstruovány a využívány takovým způsobem, aby to minimalizovalo zanesení, generování a zadržování částic uvnitř prostoru, v němž jsou řízeny ostatní parametry, např. teplota, vlhkost a tlak. V čistých prostorech mají být všechny exponované povrchy hladké, nepropustné a neporušené, aby se minimalizovalo uvolňování nebo hromadění částic nebo mikroorganismů a aby umožňovaly opakované používání čisticích a dezinfekčních prostředků.[2]

2.1 Normy pro čisté prostory

Čisté prostory jsou klasifikovány podle čistoty vzduchu a jsou v nich kontrolovány koncentrace vzdušných částic se stanovenými limity počtu vzdušných částic na m^3. Tento počet a velikost vzdušných částic nám stanovuje třídu čistoty daného prostoru. První klasifikace čistých prostor byla stanovena v roce 1963 ve Spojených státech amerických jako US Federal standard 209. Poprvé byla základní kvalitativní veličinou čistoty vzduchu koncentrace částic o velikosti rozměru 0,5 mikronu a větší v jedné kubické stopě. Následovaly úpravy této normy 209B, 209C, 209D, 209E. daly, které dávaly dobrý přehled o problematice čistého prostoru. Po zveřejnění mezinárodní normy ISO 14644-1 v roce 1999 byla tato FS norma v roce 2001 zrušena. *[3*]

Tabulka 1 - Srovnání klasifikace tříd čistoty ISO 14644-1 a FS 209 [3]

ISO 14644-1 Třída	ISO 3	ISO 4	ISO 5	ISO 6	ISO 7	ISO 8
FS 209 Třída	Třída 1	Třída 10	Třída 100	Třída 1 000	Třída 10 000	Třída 100 000

2.1.1 Norma FS 209 D, E

FS 209 D - platná od roku 1988

Označení třídy v palcových jednotkách obvykle používaných v USA, je dáno maximálním přípustným počtem částic ležících v intervalu velikosti (0,5 ≤ X >5) µm obsažených v kubické stopě.

FS 209 E - platná od roku 1992

Označeni třídy v jednotkách soustavy SI je dáno dekadickým logaritmem maximálního přípustného počtu částic ležících v intervalu velikosti (0,5 ≤ X >5) µm obsažených v kubickém metru vzduchu. *[3*]

2.1.2 Norma ISO 14644-1

Zabývá se klasifikací čistoty vzduchu, kde čistota je stanovena počtem prachových částic v 1 m^3. Pro účely klasifikace jsou brány v úvahu jen statistické soubory částic, které mají kumulativní rozdělení rozmezí ležících v intervalu velikosti (0,5 ≤ X >5) µm obsažených v kubickém metru vzduchu. v stejně jako norma FS 209 E, D. [4]

Norma klasifikuje čisté prostory klasifikačním číslem „N“

Maximální povolená koncentrace částic CN se pro každou uvažovanou velikost D prachové částice vypočte z rovnice:

(1)

$$C_N = 10^N \times \left(\frac{0,1}{D}\right)^{2,08}$$

Kde:

C_N…… je maximální povolená koncentrace částic ve vzduchu (počet částic v krychlovém metru vzduchu), jejichž velikost je větší nebo rovna určité specifikované velikosti. C_N se zaokrouhluje na nejnižší celé číslo s maximálně třemi platnými číslicemi.

N……..je klasifikační číslo ISO, které nesmí být větší než 9. Může se specifikovat i jemnější klasifikace ISO s nejmenším povoleným přírůstkem 0,1.

D……. je uvažovaná velikost částice µm

0,1……. je konstanta uváděná v µm [4]

V následující tabulce jsou uvedené třídy čistoty a odpovídající koncentrace částic, jejichž velikost je větší nebo rovná uvažované velikosti. [3]

Tabulka 2 - Třídy čistoty a odpovídající koncentrace částic [3]

Maximální počet částic na m3 vzduchu						
Třída	**Velikost částic**					
	≥ 0,1 µm	**≥ 0,2 µm**	**≥ 0,3 µm**	**≥ 0,5 µm**	**≥ 1 µm**	**≥ 5 µm**
ISO 1	10					
ISO 2	100	24	10			
ISO 3	1 000	237	102	35		
ISO 4	10 000	2 370	1 020	352	83	
ISO 5	100 000	23 700	10 200	3 520	832	
ISO 6	1 000 000	237 000	102 000	35 200	8 320	293
ISO 7				352 000	83 200	2 930
ISO 8				3 520 000	832 000	29 300
ISO 9				35 200 000	8 320 000	293 000

2.2 Klasifikace tříd čistoty

2.2.1 Klasifikace tříd čistoty pro průmysl

K rozvoji čistých technologií přispěl nejvíce kosmický průmysl. Nástup elektrotechnického průmyslu a rychlá miniaturizace součástkové základny vyžadovala speciální bezprašný prostor. Čisté technologie patří k nejmodernějším a nejprogresivnějším oborům vědy a techniky.

Technika čistých prostor v dnešním moderním pojetí je v České republice používána více než čtyři desetiletí. Uplatňuje se v oblastech, kde je rozhodujícím parametrem zabránění částicové kontaminace, která negativně ovlivňuje technologický proces a kvalitu – spolehlivost výrobku.

Rozhodujícím faktorem pro zvolení koncepce čistého prostoru je technologie výroby nebo činnosti, pro kterou je čistý prostor zřizován.

- automobilový průmysl
- potravinářský průmysl
- chemický průmysl
- elektrotechnický průmysl
- strojírenství
- optika
- letectví a kosmonautika
- kosmetický průmysl

2.2.2 Klasifikace tříd čistoty pro výrobce léčiv

Jediný právně závazný předpis, který řeší požadavky na prostory s vysokou kvalitou vnitřního prostředí, je vyhláška č. 84/2008 Sb. o správné lékárenské praxi, podle které se příprava sterilních léčivých přípravků provádí v prostředích s definovanou třídou čistoty.[6]

Čisté prostory pro výrobu sterilních přípravků jsou klasifikovány podle požadovaných charakteristik prostředí. Každá výrobní činnost vyžaduje přiměřenou úroveň čistoty prostředí za provozu, aby bylo minimalizováno riziko mikrobiální nebo částicové kontaminace produktu nebo zpracovávaných materiálů. Aby bylo dosaženo požadovaných podmínek ve stavu "za provozu", mají být tyto prostory navrženy tak, že bude dosaženo určité definované úrovně čistoty vzduchu ve stavu "za klidu". Stav "za klidu" je stav, ve kterém jsou zcela nainstalována výrobní zařízení a tato zařízení jsou v provozu bez přítomnosti zpracovávaného produktu a obalového materiálu, a nejsou zde přítomni žádní pracovníci. Stav "za provozu" je stav, kdy výrobní zařízení jsou v běžném provozu s předepsaným počtem pracovníků.[7]

Čisté prostory a zařízení by měly být klasifikovány v souladu s EN ISO 14644-1. Klasifikace by měla být jasně oddělena od provozního monitorování čistých prostor.

Maximálně přípustný počet částic pro každou třídu čistoty je dán v následující tabulce:

Tabulka 3 - Klasifikace tříd čistoty podle počtu maximálně přípustných částic dle vyhlášky č. 84/2008 Sb. [6]

Třída čistoty	**Maximální přípustný počet částic /m³ o velikosti**			
	Za klidu		**Za provozu**	
	0,5 µm	**5,0 µm**	**0,5 µm**	**5,0 µm**
A	3 520	20	3 520	20
B	3 520	29	352 000	2 900
C	352 000	2 900	3 250 000	29 000
D	3 520 000	29 000	nedefinováno	Nedefinováno

Třída A:
Pracovní prostor pro vysoce rizikové činnosti, např. plnící místo, zásobník pro zátky, otevřené ampule a lahvičky, provádění aseptického propojení. Běžně jsou tyto podmínky zajišťovány vzduchotechnickými systémy s laminárním prouděním vzduchu. Systémy laminárního proudění vzduchu mají zajišťovat homogenní rychlost proudění vzduchu v rozsahu 0,36 – 0,54 m/s (doporučená hodnota) v pracovním místě v případě otevřeného pracovního prostředí. Zachování laminárního proudění má být prokázáno a validováno. Stejnosměrné proudění a nižší rychlosti proudění jsou přípustné v uzavřených izolátorech nebo rukávcových boxech.

Třída B:
Pro aseptickou přípravu a plnění, prostor obklopující prostředí třídy A.

Třída C a D:
Čisté prostory pro provádění méně kritických činností ve výrobě sterilních přípravků. Klasifikace čistých prostor a zařízení.[7]

2.2.1 Klasifikace tříd čistoty pro zdravotnická zařízení

Zatím co pro čisté prostory pro přípravu léčiv jsou jednoznačně dané požadavky pro kvalitu prostředí, způsob jejich dosažení i kontroly, pro ČP ve zdravotnictví takové požadavky nejsou nikde stanoveny. Máme k dispozici dvě vyhlášky:

− Vyhláška č. 49/1993 Sb., o technických požadavcích na vybavení zdravotnických zařízení

− Vyhláška č. 195/2005 Sb., kterou se upravují podmínky předcházení, vzniku a šíření infekčních onemocnění a hygienické požadavky na provoz zdravotnických zařízení a ústavů sociální péče

Ani v jedné nejsou požadavky na prostředí řešeny. I zde se proto vychází z ČSN EN ISO 14 644-1 a všechny požadavky kladené na ČP ve zdravotnictví (operační sály s příslušenstvím, JIP, ARO, některé vyšetřovny apod.) jsou stanoveny pouze dohodou mezi pracovníky orgánů ochrany veřejného zdraví, výrobci ČP (projektant ČP) a jejich uživateli – zdravotníky. [6]

2.3 Provoz čistého prostoru

2.3.1 Řízení rizika kontaminace

Riziko je v ISO 14644-6 definováno jako „kombinace pravděpodobnosti vzniku škody a závažnosti této škody“. Škodu lze v čistých prostorách považovat za množství kontaminace, které se přenáší z nebezpečí na výrobek, kde „nebezpečí“ je zdrojem kontaminace. Je obtížné dosáhnout jednotného pohledu různých zainteresovaných stran na aplikaci řízení rizik, neboť každá z nich může vnímat odlišné potencionální škody, vznik různých škod může ohodnotit odlišnou pravděpodobností a odlišným stupněm závažnosti. Efektivní použití QRM (řízení rizik pro jakost) může zajistit vysokou kvalitu výrobku tím, že poskytne proaktivní prostředky pro stanovení a kontrolu potencionálních problémů jakosti během vývoje a výroby. [3][8]

Existuje řada systémů pro řízení a hodnocení rizik. Nejvhodnější metoda pro čisté prostory jsou:

- analýza HACCP (lze ji využít pro stanovení a řízení rizik souvisejících s fyzikálními, chemickými či biologickými nebezpečími včetně mikrobiologické kontaminace)

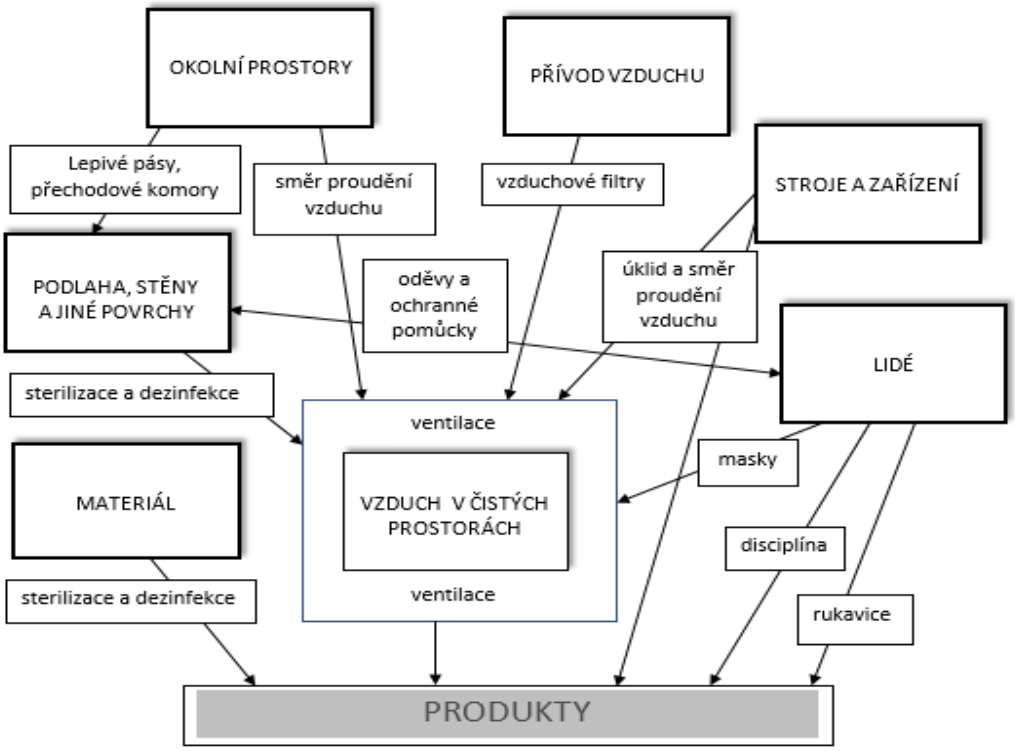
- analýza FMEA (lze ji uplatnit u zařízení a vybavení a použít ji pro analýzu výrobní činnosti a jejího vlivu na produkt nebo proces)

- analýza FMECA (Uplatnění analýzy FMECA ve farmaceutickém průmyslu se předpokládá především u selhání a rizik souvisejících s výrobním postupem; nicméně neomezuje se pouze na toto použití. Výstupem analýzy FMECA je relativní „skóre" rizik pro jednotlivé způsoby selhání, které se používá pro klasifikaci těchto způsobů podle relativních rizik. [8]

2.3.2 Kontaminace

K přenosu kontaminace může dojít vzduchem, přímým kontaktem z člověka, oblečení, nedostatečné očisty prostor a technologie, obalového materiálu, přiváděného vzduchu. Proto pro pohyb personálu, materiálu a úklid prostor musí existovat přesně definovaná pravidla, která snižují na minimum částicovou a mikrobiální kontaminaci. Přístup pracovníků má být omezen a vstup personálu i materiálu do čistého prostoru má probíhat podle definovaného postupu (převlékání a očista pracovníků, očista a dezinfekce materiálu). Rozsah a postupy mají být stanoveny v závislosti na definované třídě čistoty.

Lidé jsou největším zdrojem kontaminace v čistých místnostech, bez ohledu na to, zda tato kontaminace pochází ze vzdušných částic nebo je mikrobiologická. A to díky vlastnostem lidského těla, zejména obnovy kůže – odlamování téměř neviditelných šupinek a také úlomky vlasů. Míra rozptylu částic ve vzduchu se liší od člověka k člověku a u jedné osoby se mění ze dne na den. Čím větší je aktivita, tím větší je počet částic, které jsou rozptýleny. Člověk poškozuje svou přítomností hodnoty parametrů čistého prostoru. Sedící člověk emituje 100 000 částic / min. Pomalu jdoucí člověk emituje až 5 mil. částic. [3]



Obrázek 1 - Příklad rizikového diagramu znázorňujícího hlavní zdroje mikrobiální a částicové kontaminace v čistých prostorách [3]

2.3.3 Monitoring

Monitoring je způsob jak objektivně posuzovat funkčnost procesů zajišťujících předepsanou čistotu a nezbytnou ochranu produktu před nežádoucími vlivy. Odstranění mikročástic ze vzduchu je složitý proces, jelikož tyto částice se neustále generují výrobním zařízením, vybavením místnosti, procesem výroby, lidmi. Není proto možné dosahovat nejvyšších tříd čistoty u všech procesů. Jediný objektivní způsob kontroly znečištění je kontrola celkového prostředí čistého prostoru, a to velikost proudění vzduchu, směr, tlak, teplota a vlhkost. Všechny tyto vlastnosti musí být důkladně kontrolovány a dodrženy pro dodržení třídy čistoty.[10]

Monitorování by mělo být dostatečně časté a komplexní, aby bylo možné včas odhalit skutečné nebo vznikající nepřijatelné podmínky. Překročení stanovených limitů měření by mělo vést k rychlé reakci, včetně vyšetřovacích a nápravných opatření. [8]

Monitoring rozdělujeme:

- Kontinuální - nepřetržité měření a sledování vybraných parametrů
- Diskontinuální - měření a sledování vybraných parametrů v pravidelné frekvenci dané prováděcím SOP

Monitorování čistých prostor má být prováděno “za provozu”. Mezi monitorované parametry čistých prostor patří např. počet částic ve vznosu, tlakové rozdíly, mikrobiologická kontrola ovzduší, rychlost proudění vzduchu, provoz řídicího systému [8]

3 Oděvy určené do čistých prostor

3.1 Účel používání oděvů

Běžné pracovní oděvy mají funkci ochranou a brání působení nepříznivých vnějších vlivů na pracovníka a jeho zdraví. Oděvy určených do čistých prostor plní funkci opačnou. Mají chránit okolní prostředí před kontaminací, tedy úletem částic z těla a oděvu pracovníka. Mluvíme o funkci bariérové. Oblečení a jeho kvalita musí být uzpůsobeny výrobě a používáno tak, aby se výrobek ochránil před kontaminací. Takový oděv musí zajistit dobré filtrační vlastnosti, nízkou tvorbu částic z jejich tkaniny a také musí být konstrukčně navržen tak, aby obalil osobu a neumožňoval rozptýlení významného množství nefiltrovaných tělních částic do čisté místnosti.

3.2 Rozdělení oděvů určených do čistých prostor

3.2.1 Rozdělení podle četnosti použití

Jednorázové oděvy

Jsou určeny pro jedno použití a vyrobeny z netkaných textilií, které vytváří vynikající bariéru pro pevné částice a mikroorganismy. Nicméně jejich největší nevýhodou je sklon k oděru a následnému úletu částic. Tyto textilie mohou být vyrobeny různou technologií z polymerů jako je polypropylen, polyester, polyetylén nebo jejich sloučenin s příměsí viskózy.

Pro opakované použití

Po každém použití se musí tyto oděvy být dekontaminovány či vysterilizovány podle předpisů, které se opírají o normu IEST RP CC 003.4. Četnost výměny těchto oděvů je dána stupněm čistoty prostor, pro které jsou určeny a kterou také upravuje tato forma.

3.2.2 Rozdělení oděvů podle typu

Svrchní oděv

Overal - nejúčinnějším typem ochranného oděvu pro čisté prostory. Zcela obklopuje osobu a je schopen zachytit až 98% kontaminace pocházející od uživatele. Existují v provedení s kapucí či stojatým límcem. Rukávy i nohavice jsou ukončeny pružnými úpletovými lemy zabraňujícím měchovému efektu [11]

Dvoudílný oblek – prvky u blůzy jako, stojatý límec, krytý zip, pružné úplety u rukávu či po celém obvodu všitý vnitřní díl, který se zasouvá do kalhot, snižují riziko kontaminace. Kalhoty jsou v pase staženy pruženkou a nohavice taktéž mohou být ukončeny pružným úpletem.

Plášť – Oděv vhodný pro čisté prostory nižšího stupně čistoty. Jednoduchý střih se zapínáním na patentky.

Spodní oděv

Efektivní spodní prádlo v kombinaci s čistým oblečením může v čisté místnosti poskytnout další snížení disperze. Vytváří „předbariéru“ – snižuje počet částic uvolňovaných z pokožky uživatele, snižuje penetraci vlhkosti a mikroorganismů. [9]

Doplňky

Tak jako materiály vrchních oděvů, musí i doplňky splňovat požadavky na funkční vlastnosti. Musí především zmírnit riziko kontaminace, ale zároveň nepotlačovat fyziologický komfort a omezovat pracovníka v činnosti.

Kukla – existuje různé modely kukel, které částečně či plně kryjí obličej. Mohou se používat spolu s kombinézami, blůzami a plášti se stojáčkem.

Čepice - jednorázové čepice jsou vyrobeny z netkané textilie, která poskytuje ochranu před prachem, nečistotou a některými částicemi v nekritickém prostředí.

Rouška – textilní rouška je určena pro opakované použití. Může být součástí kukly, na kterou se upevňuje stiskacími knoflíky, jednorázová rouška je vyrobená z netkané textilie. Maska má universální velikost a uchycuje se gumičkou. Horní lem je opatřen tvarujícím páskem v oblasti nosu pro dokonalé anatomické vytvarování.

Ochranné brýle- patří k důležitým prevencím nejen při pracovní činnosti..

Rukavice – jednorázové rukavice (nitril, latex, vinil), sterilní, nesterilní, s pudrem a bez pudru. Rukavice - pro opakované použití - bezprašné antistatické rukavice vyrobené z nylonového úpletu (odvádějí náboj statické elektřiny).

Návleky na boty – jednorázové ochranné návleky jsou vyrobeny z netkané textilie, pratelné návleky pak z látky kompatibilní do čistých prostor. Pro kritické oblasti jsou navrženy vysoké návleky. Ty jsou určeny pro opakované použití. Mají nášlapnou část z antistatické pryže a obepnutí kolem kotníku a pod kolenem zajišťují stahovací pásky nebo pruženky.

Boty – Pratelná a chemicky odolná obuv do čistého prostředí vyrobená z PU a látky kompatibilní do čistých prostor. Tak jako u návleků pásky zajistí přiléhavost na kotník a lýtko a sníží riziko kontaminace.

Brýle - tělo brýlí vyrobeno z měkkého termoplastu a zorník z tvrzeného polykarbonátu, pružná páska pro upevnění brýlí, nepřímé odvětrání na spodní straně brýlí, možnost sterilizace v autoklávu.

Obrázek 2 - Overal [9]

Obrázek 3 - Plášť [9]

Obrázek 4 - Dvoudílný oděv [9]

Obrázek 5 - Čepice [9]

Obrázek 6 - Ochranné brýle [9]

Obrázek 7 - Kukla [9]

Obrázek 8 - Rouška [9]

Obrázek 9 - Rukavice [9]

Obrázek 10 - Návleky na boty [9]

Obrázek 11 - Boty [9]

3.2.3 Rozdělení oděvů podle jednotlivých tříd čistoty

Výběr bude záviset na třídě čistých prostor. Rostoucí technické požadavky na oděv v čistých prostorech mohou vést ke zvýšení osobního omezení nebo nepohodlí. Proto by se mělo zvážit, pokud to požadavky na čistotu a proces dovolí, co je nezbytné pro úroveň čistoty místnosti.

Popis oblečení pro jednotlivé třídy čistoty:

Třída A/B (odpovídá ISO 5): Pokrývka hlavy (kukla) má dokonale zakrývat vlasy a kde je to potřebné i vousy a má být zasunuta pod límec kombinézy. Přes tvář má být nasazena maska, bránící uvolňování kapiček. Na rukou mají mít pracovníci vysterilizované, nepráškované gumové nebo plastové rukavice, na nohou vysterilizovanou nebo vydezinfikovanou obuv nebo návleky. Spodní konce kalhot mají být zasunuty do obuvi nebo návleků a rukávy kombinézy mají být zasunuty do rukavic. Ochranný oblek nemá prakticky uvolňovat žádná vlákna a částice a má zachycovat částice odloučené z povrchu těla.

Třída C (odpovídá ISO 7): Vlasy a kde je potřebné i vousy mají být zakryty. Oblečení má sestávat z krátkého kabátku a kalhot, nebo z kombinézy, rukávy mají být na zápěstí utaženy, kabátek mít vysoký límec, a na nohou mají být vhodné boty nebo návleky. Z oblečení se nemají uvolňovat žádná vlákna nebo částice

Třída D (odpovídá ISO 8): Vlasy a kde je potřebné i vousy mají být zakryty. Má se používat běžný ochranný oděv a vhodná obuv nebo návleky. Mají být přijata vhodná opatření k vyloučení vnášení kontaminace do čistých prostor. [7]

Obrázek 12 - Oděv třídy ISO 8 [8]

Obrázek 13 - Oděv třídy ISO 7-6 [8]

Obrázek 14 - Oděv třídy ISO 6-4 [8]

Tabulka 4 - Použití oděvů podle třídy čistoty [11]

	Rozdělení tříd Zdravotnictví, výroba léčiv			**Rozdělení tříd** montáže elektrosoučástek, letectví, kosmonautika, průmysly špičkové technologie				
	A	**B**	**C/D**	**ISO 4**	**ISO 5**	**ISO 6**	**ISO 7**	**ISO 8**
Oděvy								
Vnitřní oblek	P	P	P	D	D	SP	SP	-
Overal	P	P	SP	D	D	D	SP	SP
Dvoudílný oděv	-	-	-	-	SP	SP	SP	SP
Pokrývka hlavy	D	D	SP	D	D	SP	SP	SP
Gumové rukavice	P	P	SP	D	D	D	D	SP
Obličejová maska	P	P	D	D	D	D	D	SP
brýle	D	D	SP	D	D	D	SP	SP
Kapuce	P	P	D	D	D	D	SP	SP
Návleky na boty	D	D	D	D	D	SP	SP	SP
Ošetření								
Dekontaminace	I	I	I	I	I	I	II	II
Sterilizace	P	KU	KU	KU	KU	KU	-	-
Výměna oděvu								
Četnost	Při vstupu	1x denně	1x denně	Při vstupu	1x denně	2x týdně	2x týdně	2x týdně

P – povinný, D – doporučený, SP – specifické použití
I – Kategorie I dle doporučeného postupu IEST RP CC 003.4, II – Kategorie II dle doporučeného postupu IEST RP CC 003.4

3.3 Základní Požadavky na pracovní oděv

Od oděvu určeného do čistých prostor se očekává, že zabezpečí zachování odpovídající čistoty v čistém prostředí. Proto jsou požadavky na oděvy do čistých prostor směřovány na vlastnosti bránící kontaminaci.

ISO 13408-1: 2008 obsahuje některé obecné požadavky na oděvy do čistých prostor pro aseptické zpracování, ale neposkytuje mnoho pokynů ohledně kvalifikace systémů oděvů čistých prostor.

IEST-RP-CC003.4: 2013 poskytuje pokyny pro návrh, výběr, specifikaci, údržbu a testování oděvních systémů. Dodatek B navrhuje zkoušky pro posouzení penetrace částic a čistoty oděvů. Je to nejužitečnější dokument pro podporu kvalifikace systémů oděvů pro ČP.

Ve zdravotnictví v České republice je v současnosti aktuální ČSN EN 13795 1-3 Operační roušky, pláště a operační oděvy do čistých prostor, používané jako zdravotnické prostředky pro pacienty, nemocniční personál a zařízení. Tato norma je pro výrobce bariérových oděvů klíčovou.

3.3.1 Bariérová vlastnost oděvu

Klíčovou funkcí oděvů pro čisté prostory je zabránit kontaminaci, která je způsobena rozptylem částic od uživatele do čisté místnosti. Oděv má působit jako filtr. Účinnost tohoto filtru závisí na vazbě tkaniny a u netkaných textilií na technologii výroby, na materiálu, ze kterého je vyroben a na konstrukci samotného oděvu.

Účinnost oděvů a jak se liší uvolňování částic pracovníka za minutu v závislosti na používaném oděvu a prováděném pohybu prokazují testy v tzv. „Body Boxu“. Je to čistá komora vybavená senzory, které měří emise částic uvolněných z oděvu v reálných podmínkách. Čistota v komoře je zajišťována nejen desinfekčními prostředky, ale také instalací UVC lamp. Ze stropu je ventilátorem přiváděn vzduch přes HEPA filtry a speciální podlahovou konstrukcí odváděn konstantní proud vzduchu s nízkou turbulencí. Metoda měření v boxu umožňuje kvantitativní zaznamenávání a hodnocení kontaminantů skutečně emitovaných člověkem. [12]

Obrázek 15 - Boby Box [12]

Obrázek 16 - měřící zařízení Bio Track v Body Boxu [12]

Firma Dastex [12] v roce 2014 provedla studii zaměřenou na účinnost ochranných oděvů do čistých prostor.

Faktorem proveditelnosti studie bylo zavedení nového měřicího zařízení dodávaného TSI: Biotrak 9510-BD, založeného na autofluorescenční metodě. S tímto konkrétním čítačem bylo možné kvantitativně zaznamenávat a vyhodnocovat nejen bakterie ve vzduchu, ale také částice ve vzduchu, takže výsledky lze rozdělit na životaschopnou a neživotaschopnou kontaminaci.

Pro studii byly definovány tři oděvní sety, které byly v minulosti několikrát testovány. Prvním testovaným oděvem byla běžecká souprava z 100% bavlny, a u druhého byl přidán na první set ještě plášť, boty a čepice určené do čistých prostor. Třetí set se skládal z vhodného spodního prádla pro čisté prostory, overalu s kapucí, který odpovídá třídě čistoty A/B, obličejové masky, brýlí, rukavic a obuví do čistých prostor, takže žádná část kůže nezůstala odkryta.

Po vstupu do komory a 5 minutách aklimatizace, začalo 30 minutové měření u osoby simulující pomalou chůzi a poté měření u klidně stojící osoby. Pro zajištění spolehlivých výsledků s Body Box bylo stanoveno 10 opakovaných cyklů na osobu a na oděvní systém.

Z výsledků zapsaných v následující tabulce je jasné, že lidé v čistém prostoru představují hlavní riziko kontaminace, pokud jde o kontaminaci částicemi i mikroby.

Tabulka 5 – Výsledky měření částic a bakterií metodou Body Box [12]

Set	Počet částic a baktérií / m^3											
	≥ 1 µm				≥ 5 µm				≥ 10 µm			
	Stání		Chůze		Stání		Chůze		Stání		Chůze	
	částice	baktérie	částice	baktérie	částice	baktérie	částice	baktérie	částice	baktérie	částice	baktérie
1.	5352	18	93158	263	107	2	1548	36	17	2	132	10
2.	183736	623	3561251	12496	8429	373	174711	6474	1344	86	25888	4847
3.	571564	1379	8433842	17893	30670	758	456963	9368	5841	557	77007	7367

3.3.2 Úlet částic

Úlet částic znamená uvolňování prachových a vlákenných částic z oděvů. V průběhu užívání, ale i údržby, se oděv mechanicky namáhán a dochází k narušení materiálu a postupnému uvolňování částic.

Hodnoty úletu závisí na vlákenném materiálu a na technologii zpracování přízí. Staplové příze z rostlinných vláken jsou pro výrobu oděvů nevhodné svým typickým projevem chlupatosti. Ta je nejčastěji charakterizována jako množství vystupujících nebo volně pohybujících konců vláken v povrchových vrstvách příze. U oděvů z přírodních vláken by hrozilo zachytávání nečistot na odstávajících koncích vláken materiálu, nebo jejich odlamování. Proto se pro výrobu pratelných oděvů volí materiály ze syntetického hedvábí, tzv. multifily.

Nejčastější zkušební metodou používanou pro hodnocení čistoty oděvů pro čisté prostory je buben Helmke. Tato metoda se používá ke kvantifikaci částic uvolněných při použití mechanické energie za sucha jako prostředku pro simulaci uvolňování částic z povrchu oděvu během použití. Testované oděvy se otáčí v rotujícím bubnu, aby se kontrolovaným způsobem uvolňovaly částice z textilie, zatímco pro vzorkování vzduchu se používá čítač uvolněných částic. [14]

Metodu testování vysvětluje dodatek „hodnocení oděvů pro čisté prostory“ standardu IEST-RP-CC003.4, který řeší oděvy pro čisté prostory jako kritický aspekt kontroly kontaminace. Výsledky testů jsou řazeny do kategorie I a II. Kategorie I, která je podle této zkušební metody nejlepším možným výsledkem, vyžaduje např. u overalu méně než 1200 částic ≥ 0,5 µm/min a méně než 2000 částic≥ 0,3 µm/min. V kategorii II jsou limity od 1200 do 12000 pro částice ≥ 0,5 µm/min a od 2000 do 20000 pro částice ≥ 0,3 µm/min. [11]

Helmkeho bubnový test je široce používán v čistírnách prádelen nebo v oděvních procesorech k určení účinnosti čisticího procesu.

Obrázek 17 - testovací zařízení buben Helmke [14]

3.3.3 Trvanlivost oděvu

Je to schopnost textilie odolávat poškození a opotřebení během užívání, které postupně zhoršují ochranné funkce. Mechanická namáhání plošných textilií v hotových výrobcích se odehrávají v oblasti malých deformací. V praxi dochází málokdy k takovému namáhání, které by znamenalo porušení plošné textilie.

Účinnost textilie se zhorší v důsledku stárnutí, opotřebení, praní, sušení, sterilizace atd. Toto zhoršení by mělo být sledováno. Další vlastností, kterou je třeba vzít v úvahu, je odolnost textilie vůči chemikáliím, jako jsou látky používané během výrobního procesu a při čištění a dezinfekce čisté místnosti a oblečení. Kromě praní se jedná i o sterilizační procesy, jako je ozařování nebo autoklávování, což bude mít nepříznivý vliv na životnost oděvu.

Studie Ljungqvist B. a Reinmüllera B. (2003, 2004 a 2006), Whyte, W. a Hejab, M. (2007) a studie firmy DuPont (2007) ukazují, že filtrační účinnost opakovaně použitelných oděvů do čistých prostor se v průběhu času zhoršují v důsledku opotřebení, praní a sterilizace. Všechny tyto studie prokázaly zvýšenou kontaminaci čistých prostor po 25 pracích a sterilizačních cyklech: 0,5 µm částice vzrostly o 675%, 5 µm částice vzrostly o 777% a cfu / sekundu o 128% (Ljungqvist B. a Reinmüller B. 2004). [13]

3.3.4 Elektrostatické vlastnosti

V některých typech čistých prostor (např. v elektronickém průmyslu nebo prostorách s hořlavými či výbušnými chemikáliemi) je riziko vzniku elektrostatické náboje, které se hromadí na povrchu oděvů. Ve vyhrazených EPA pracovištích (ElectroStatic Discharge Protected Area (antistatické pracoviště) je nutné použít tzv. ESD oděvy (ESD = ElectroStatic Discharge (elektrostatický výboj)), aby se předešlo škodám, ke kterým může dojít následkem výbojem. Tvorba jiskry může způsobit hoření až explozi, poškození elektronických přístrojů, vznik elektronického šumu atd. Antistatické vlastnosti se využívají i v bezprašném prostředí, kde zamezují akumulaci prachových častíc na oděv a jejich následnému přenášení.

Proces tvorby statické elektřiny se dá rozdělit do tří fází:

1. při kontaktu dvou povrchů dochází k pohybu elektrického náboje tak, že se na jednom povrchu hromadí přebytek elektronů
2. na kontaktním mezipovrchu vzniká elektrická dvojvrstva, ale elektrostatická elektřina se neprojevuje, protože díky kontaktu obou povrchů se celý systém jeví elektricky neutrální
3. při mechanickém oddělení povrchů dochází ke vzniku statické elektřiny a jejímu postupnému snižování vlivem neutralizace a disipace v závislosti na elektrickém měrném odporu materiálu[15]

Pro posouzení kvality antistatických vláken a tkanin se nejčastěji používá jejich elektrický měrný odpor. Elektrický odpor (resistence) je vlastnost látky bránit průchodu elektrického proudu (odpor vést elektrický proud). Jeho jednotkou je ohm[Ω] definovaný podle Ohmova zákonu. Antistatického, resp. elektricky vodivého efektu je možné docílit buď přímo na vláknech, nebo na textiliích. Velikost elektrostatického náboje souvisí přímo s velikostí elektrického odporu vláken.

Většina textilních vláken patří mezi elektrické isolátory. To je způsobeno skutečností, že všechny elektrony jsou vázané k atomovým jádrům nebo sdílené v kovalentních vazbách. Jejich elektrická vodivost však není úplně nulová a závisí na obsahu různých přísad, resp. obsahu vlhkosti. [15]

Tabulka 6 - Měrný elektrický odpor R_E [Ωm] při 65 [%] relativní vlhkosti a [20°C] [15]

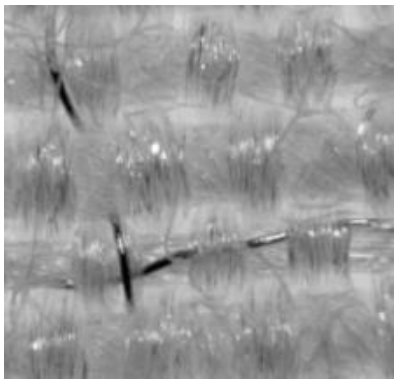
Vlákno	CO	WO	LI	CV	SE	CA	PA6	PA6.6	PAN	PES	PP
R_E	5,6	7,3	5,9	5,8	8,7	10,6	13	11	14	17	12,5

Vzhledem k tomu, že k výrobě oděvů určených do čistých prostor je nejčastěji používán polyester, který je dobrý izolátor a má vysoký elektrický odpor, by se při každém pohybu pracovníka na povrchu oděvu vytvářel elektrostatický náboj.

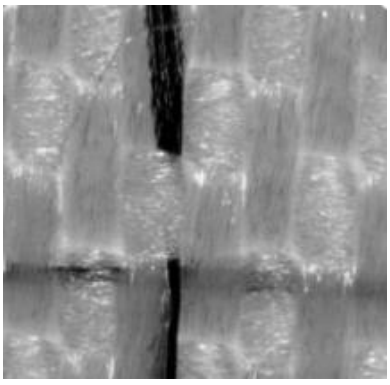
Antistatických vlastností lze u textilních materiálů dosáhnout zvýšením hydrofility nebo začleněním elektrovodivých materiálů, které výrazně snižují povrchový odpor a zabraňují tak vzniku elektrostatického náboje. Principem běžných antistatických úprav je tvorba hydrofilního filmu na povrchu textilie. Pro stálou antistatickou úpravu, především u jednorázových oděvů, se volí neionogenní povrchově aktivní látky nebo hydrofilní pryskyřice. [15]

Na pratelné oděvy tyto dodatečné chemické úpravy k zajištění antistatických vlastností nelze použít. Během používání textilií může docházet k uvolňování tohoto filmu a tedy k znehodnocení antistatické úpravy znečišťování prostředí uvolněnými částicemi. Proto se do tkaniny vetkávají vlákna elektrovodivých materiálů.

Vodivá vlákna zajišťují v textilních strukturách dostatečně vysokou a stálou elektrickou vodivost. Používají se vlákna kovová nebo uhlíková. Pro dosažení antistatických účinků stačí velmi malé procento vodivých vláken, v tkanině to bývá 1 až 1,5 %. Elektorovodivé materiály jsou do textilií aplikovány v podobě mřížky, která je zatkávána do osnovy, nebo se využívá náhodného uložení kovových vláken v přízích, které jsou vetkány do látky.[11]



Obrázek 18 – PES multifil - vetkané kovové vlákno[9]



Obrázek 19 - PES multifil s aditivem (uhlíková čerň)[9]

Pro výrobu antistatických, resp. elektricky vodivých vláken se používá čtyř základních technik:

a) tvorba bikomponentních vláken obsahujících antistatickou látku. Na povrchu je polymer obsahující hydrofilní prostředky jako je polyalkylénglykol nebo N-alkylpolyamidy.

b) tvorba bikomponentních vláken s vodivou látkou. Jako vodivé materiály se používají kovové prášky (stříbro, měď, nikl), uhlíkové látky (uhlíková čerň, grafit, uhlíková vlákna), kysličníky kovů (kysličník zinečnatý, cíničitý, antimonový) a anorganické částice pokryté kysličníky kovů

c) použití vodivých vláken (uhlíková, kovová), resp. polymerem potažených vodivých vláken

d) použití speciálních vodivých organických polymerů s konjugovanými π elektrony (polyacetylem, polyanilín, polypyrrol) [15]

3.4 Oděvní komfort

Podle Hese [16] se dá komfort definovat jako stav, kdy jsou fyziologické funkce organismu v optimu, a kdy okolí včetně oděvu nevytváří žádné nepříjemné vjemy vnímané našimi smysly. Subjektivně je tento pocit brán jako pocit pohody. Nepřevládají pocity tepla ani chladu, je možné v tomto stavu setrvat a pracovat.

Oděvní komfort můžeme rozdělit:

- **Psychologický komfort** souvisí s individualitou člověka a podepisují se na něm kulturní a sociální zvyky. Lze jej rozdělit z hlediska klimatického, ekonomického, historického, kulturního či sociálního.
- **Funkční komfort** ovlivní především vlastnosti oděvního materiálu a konstrukce oděvů a můžeme jej dělit na senzorický, patofyziologický a termofyziologický komfort. [17]

3.4.1 Senzorický komfort

Senzorický komfort zahrnuje vjemy a pocity člověka získané mechanickým a tepelným kontaktem pokožky a první vrstvy oděvu. Jedná se zejména o subjektivní pocity, které oblečení vyvolává při jeho nošení. Pocity vznikající při styku pokožky s textilií mohou být příjemné, jako pocit měkkosti, splývavosti nebo naopak nepříjemné, jako je tlak, pocit vlhkosti, škrábání, kousání, lepení apod. [16]

3.4.2 Patofyziologický komfort

Pocit komfortu při nošení oděvních textilií je ovlivněn také působením patofyziologicko-toxických vlivů. Jedná se o působení chemických substancí obsažených v materiálu, ze kterého je oděv vyroben a mikroorganismů vyskytujících se na lidské pokožce (bakterií a plísní). Působení patofyziologických vlivů je závislé na odolnosti člověka (lidské pokožky) proti účinkům chemických látek obsažených v textiliích a na podmínkách růstu kultur mikroorganismu vyskytujících se v mikroklimatu omezeném povrchem lidského těla a textilie. [16]

3.4.3 Termofyziologický komfort

Termofyziologický komfort souvisí s transportem vzdušné i kapalné vlhkosti a tepla přes jednotlivé vrstvy oděvu společně s vlivem proudění vzduchu (ochlazování větrem). Tyto vlastnosti umožňují regulovat oděvní mikroklima, které podmiňuje subjektivní pocity člověka, jeho náladu, pracovní schopnosti. Problematika fyziologického komfortu se zabývá reakcí organismu v podmínkách nošení oděvu v daném klimatu a fyzické zátěži, tělesnou termoregulací a teoretickým popisem stavu i chování oděvního mikroklimatu.[17]

Lidské tělo udržuje vnitřní teplotu těla v daném teplotním intervalu. Metabolické postupy udržují v tělesném jádru optimální teplotu asi 37°C, při které probíhají harmonicky různé životní funkce. Pro celý organismus platí, že jeho vnitřní teplota zůstává konstantní, jestliže je množství tepla vyprodukované tělem rovno teplu odevzdanému do okolního prostředí. [16]

Optimální podmínky komfortu:

- teplota pokožky …33,2 ± 1 °C
- relativní vlhkost okolního prostředí …50 ± 10%
- rychlost proudění vzduchu …25 ± 10 $cm.s^{-1}$
- nepřítomnost vody na pokožce
- obsah CO_2 …0,07% [16]

Při porušení těchto podmínek dochází ke vzniku fyziologického diskomfortu a tím i pracovní nepohody.

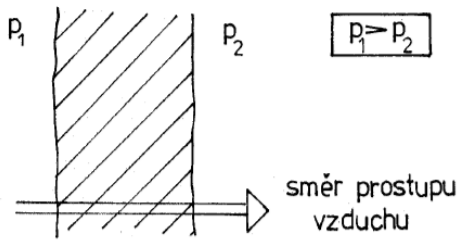
Z hlediska této bakalářské práce je fyziologický komfort nejdůležitější. Popisuje schopnost textilií absorbovat a transponovat plynnou či kapalnou vlhkost, ovlivňovat prodyšnost vzduchu a vytvářet tepelný odpor. Blíže jsou specifikovány, a v experimentální části také testovány, prostup vzduchu, propustnost vodních par a tepelně izolační vlastnost tkaniny.

a) Prostup vzduchu

Prostup vzduchu je vlastnost, která ovlivňuje fyziologický komfort textilií zásadním způsobem. Se vzduchem textilií prostupuje také vlhkost a teplo. Propustnost vzduchu, označovaná též jako prodyšnost, je vyjádřena jako rychlost proudění vzduchu danou plochou textilie. Podle normy ČSN EN ISO 9237 Textilie - Zjišťování prodyšnosti plošných textilií je definována prodyšnost jako rychlost proudu vzduchu procházejícího kolmo na zkušební vzorek při specifikovaných podmínkách pro zkušební plochu, tlakový spád a dobu. [19] [20]

Jedná se o případ, kdy plošnou textilií prostupuje vzduch, což se děje na principu rozdílných barometrických tlaků na obou stranách textilní vrstvy. Prostupy (transporty) mohou být obecně realizovány v obou směrech (zpravidla převažuje směr od organizmu do okolního prostředí).[19]

Výpočet prodyšnosti se provede dle následujícího vzorce: $R = \frac{q_v}{S} * 167$ *(2)*



Obrázek 20 - Zjišťování prodyšnosti plošných textilií a vrstev [16]

Kde:

R …….prodyšnost [$mm.s^{-1}$]

q_v ……..průměrný objem vzduchu zjištěný na plováčkovém průtokoměru [$l . min^{-1}$]

S ……zkušební plocha vzorku [cm^2]

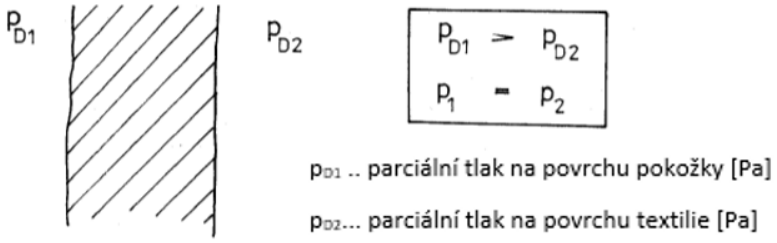
167……přepočítávací faktor z l.min-1 na cm^2, na milimetry za sekundu.

Velmi výraznou roli přitom sehrává způsob provázání osnovních a útkových nití, resp. typ vazby tkaniny. Delší neprovázané úseky nití mohou „plavat“ (tzv. flotáže) v proudu vzduchu, vzájemně se oddalují a prodyšnost tkaniny se tak zvyšuje. [19]

b) Propustnost vodních par

Propustnost vodních par má velký význam z hlediska komfortu oděvů a to zejména z důvodu vlivu na ochlazování těla při odpařování potu z povrchu pokožky. Propustnost vodních par je definována jako prostup vodní páry. Tento pochod je podmíněn rozdílným parciálním tlakem vodních par před a za textilií. V praxi to znamená, že měření se provádí při konstantním barometrickém tlaku (není realizován žádný tlakový spád například odsáváním). [21][20]

Prostup nastává při konstantním barometrickém tlaku, ale musí být dodržena podmínka rozdílných parciálních tlaků. Při $P_{D1} = P_{D2}$ prostup nenastává a vlhkost je zadržena textilní vrstvou. [20]



Obrázek 21 - prostup vodní páry na základě rozdílných parciálních tlaků [16]

Vyjadřuje rozdíl tlaku vodních par mezi dvěma povrchy materiálu, který je dělený výsledným výparným tepelným tokem na jednotku plochy ve směru gradientu. Výsledkem je přenos vodních par difúzí, kapilárně a sorpcí. Jde tedy o takzvaný „latentní" výparný tepelný tok, který prochází danou plochou – materiálem. Značí se jako R_{et} a vyjadřuje se v jednotkách m^2 Pa/W. Lidská vlhká pokožka představuje 100% propustnost vodních par, pokud ji však překryjeme textilií, propustnost se sníží. O kolik, to záleží na schopnosti textilie propouštět vodní páry. Platí vztah, že čím je R_{et} nižší, tím je propustnost pro vodní páry vyšší. [16]

Stanovení výparného odporu: $$R_{et} = (P_m - P_a)(qv^{-1} - qo^{-1}) \quad (3)$$

kde:

P_m [Pa] …….. je nasycený parciální tlak vodní páry na povrchu měřící hlavice,

P_a [Pa] …….. je parciální tlak vodní páry ve vzduchu ve zkušebním prostoru při teplotě vzduchu ve zkušebním prostoru,

q_v [W/m^2]…… plošná hustota tepelného toku procházející měřící hlavicí zakrytou měřeným vzorkem

q_0 [W/m^2]…… plošná hustota tepelného toku procházející měřící hlavicí nezakrytou měřeným vzorkem.

- když je relativní vlhkost nízká, pocitová teplota bude nižší než aktuální teplota, protože vypařování potu probíhá rychleji, a tím se tělo ochlazuje
- jakmile je ale relativní vlhkost velká (vzduch je nasycen vodními parami), pot se již tak rychle neodpařuje a pocitová teplota se zvyšuje

c) Tepelná odolnost

Tepelně-izolační vlastnosti textilie můžeme mimo jiné charakterizovat:

- **Tepelnou vodivostí** (schopnost látky vést teplo)
- **Tepelným odporem** (schopnost klást odpor proti průchodu tepla textilií)

Tato vlastnost textilie závisí na druhu vlákenného materiálu a na struktuře textilie (množství vzduchu, které mohou vlákna udržet na základě své struktury) vzduchovém prostoru mezi pokožkou a oděvní vrstvou, nebo mezi oděvními vrstvami (u vícevrstvých oděvů) a na vlhkosti obsažené v textilii a vlhkosti okolí. [17]

Přenos tepla v textiliích

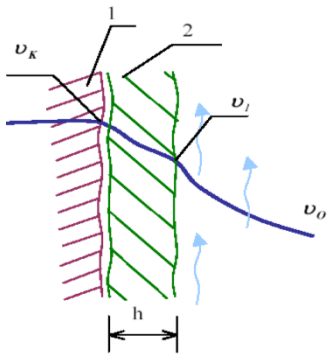
Textilními strukturami teplo prostupuje pěti základními způsoby. Nejběžnější způsob prostupu tepla je vedení (kondukce), které je také nejčastěji u textilních struktur sledováno a vyhodnocováno. Další mechanismy prostupu tepla jsou proudění (konvekce) a sálání (záření, radiace), evaporací (odpařováním potu) a respirací (dýcháním). [16]

Teplo se přenáší z vyšší teploty (teplota pokožky člověka) na nižší (teplota okolí) všemi pěti způsoby současně a podílí se na fyzikální termoregulaci organismu.

Kondukce

Kondukcí (vedením) ztrácíme teplo (až 5%) tehdy, je-li kůže v kontaktu s chladnějším prostředím. Vedení tepla je hlavní mechanismus přenosu tepla v tenkých vrstvách v oděvních systémech. Přenos energie je interakcemi mezi atomy a molekulami. Šíření tepla tímto způsobem je nejtypičtější pro pevné látky a tepelná vodivost různých materiálů se značně liší. Polymery všeobecně vykazují nižší tepelnou vodivost ležící v intervalu 0,2 až 0,4 [W/m.K]. Se vzduchem, který je špatným vodičem (s tepelnou vodivostí 0,026 [W/m.K]), ale dobrým izolátorem, jsou ztráty tepla malé. Ve vodě je ztráta tepla uskutečňována až 25x rychleji než na vzduchu. Proto je přítomnost vody v textiliích nežádoucí. [16][18] *(4)*

Množství tepla Q_V [J.s^{-1}], které projde stěnou o ploše S za dobu t: $Q_V = -\lambda * \frac{\vartheta_K - \vartheta_1}{h} * S * t$



1 – pokožka, 2 - textilie

Obrázek 22 - ztráta tepla kondukcí [17]

kde:

λ ……. součinitel tepelné vodivosti soustavy vrstev oděvu

ϑ_K……. teplota pokožky [°C]

ϑ_1……. teplota venkovní vrstvy oděvu [°C]

h …….. tloušťka textilní vrstvy [mm]

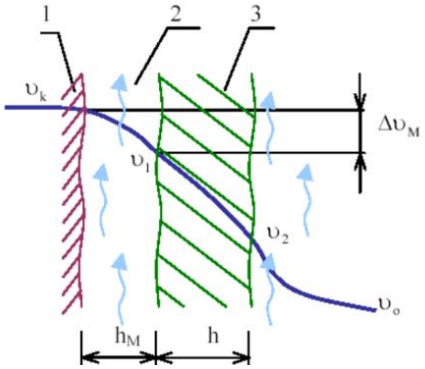
S …….. plocha, kde dochází k odvodu tepla [m^2]

t …….. čas, za který dochází k odvodu tepla

Konvekce

Představuje nejvýznamnější přenos tepla mezi člověkem a okolním prostředím. Teplo je transportováno částicemi tekutiny. Tekutinou je myšlena kapalina nebo plyn. Předpokladem je vzduchová mezivrstva mezi pokožkou a první oděvní vrstvou tzv. mikroklima, ve kterém dochází k částečnému proudění a poklesu teploty. Tloušťka mezní vrstvy je vyšší při tzv. laminárním proudění tekutiny a klesá v případě proudění turbulentního, kdy trajektorie drah jednotlivých částic nezachovávají svůj původní směr a vzájemně se mísí. Při turbulentním proudění je přenos intenzivnější než při proudění laminárním. [16][17]

Množství tepla Q_P [J.s^{-1}]: $$Q_P = \alpha_P * S * [(\vartheta_k - \vartheta_1) + (\vartheta_2 - \vartheta_0)] \quad (5)$$



1 – pokožka, 2 – mikroklima, 3 - textilie

Obrázek 23 - Ztráta tepla konvekcí [17]

kde:

α_p …… součinitel přestupu tepla

ϑ_0 …… teplota okolního prostředí [°C],

ϑ_1 …… teplota vnější strany textilie [°C],

ϑ_2 …… teplota vnitřní strany textilie [°C]

S …….. plocha, kde dochází k odvodu tepla [m^2]

* QP závisí na tloušťce vrstvy a pohybu organismu

Radiace

Dalším typem přenosu tepla je radiace, což je přirozené vyzařování energie tělesem, která se šíří elektromagnetickým vlněním rychlostí světla c = 300 mil. m/s prostorem. Povrch těla nepřetržitě emituje teplo z míst, které nejsou chráněny oděvem. Sáláním dochází k výrazné ztrátě cca 60 % celkového tepla. Ochlazování závisí na teplotním gradientu těla, prostředí a množství tepla, které přijímán stejným způsobem od okolních předmětů. [16][17][18]

Množství tepla Q [J.s^{-1}]: $$Q_S = \alpha_S * S * \left[\left(\frac{273-\vartheta_K}{100}\right)^4 - \left(\frac{273+\vartheta_o}{100}\right)^4\right] \quad (6)$$

kde:

α_S ……. součinitel sálání [Wm^{-2} °C^4]

ϑ_0 ……. teplota okolního prostředí [°C],

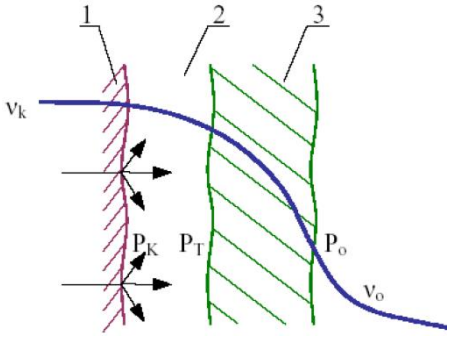
ϑ_K ……. teplota kůže [°C],

S …… plocha, kde dochází k odvodu tepla [m^2]

Evaporace

K tepelným ztrátám formou odpařování dochází v podmínkách přehřátí organismu. Je to jediný způsob výdeje tepla, pokud teplota okolí je větší než teplota těla. Evaporace závisí na fyzické aktivitě organismu, meteorologických podmínkách okolí a vhodnosti oděvu. Podmínkou pro odpařování potu z povrchu těla do prostředí je vzduch, který není nasycený vodními parami.[16][17]

Množství tepla Q_o [J.s^{-1}] $$Q_o = \Delta i * m_K * S * (P_K - P_o) \quad (6)$$



1 – pokožka, 2 – mikroklima, 3 - textilie

Obrázek 24 - Ztráta tepla evaporací [17]

kde:

Δi ……. měrné výparné skupenské teplo [J]

m_K ……. permeabilita kůže [kg.s^{-1}.m^{-2}.Pa^{-1}]

P_K ……. parciální tlak kůže [Pa]

P_0 ……. parciální tlak okolí [Pa]

Respirace

Ztráta tepla dýchacími cestami. Jeho množství je dáno rozdílem množství vodních par vdechovaných a vydechovaných.[17]

Množství tepla Q_D [J.s^{-1}]: $$Q_D = \Delta i * (W_{ex} - W_a) * \frac{1}{t} \quad (7)$$

kde:

Δi …….. měrné výparné skupenské teplo [J]

W_{ex} ….. množství vodních par vdechovaných [kg]

W_a …… množství vodních par vydechovaných [kg]

t ……. čas [s]

Tepelná rovnováha

Fyziologický mechanizmus samoregulačního systému organismu je zaměřen na zajišťování rovnováhy mezi množstvím tepla vytvořeného (metabolizmus + okolí) a tepla odevzdávaného do okolního prostředí (sálání, vedení, proudění, odpařování a dýchání) a tím i zachování stálé tělesné teploty.

3.5 Materiálové složení

Pro dosažení bariérového efektu, jsou pro výrobu pratelných oděvů do čistých prostor se používány hustě tkané textilie z jemných svazků nekonečných vláken. Pro antistatický účinek, který je u oděvů vyžadován, je do textilie vetkáno nejčastěji bikomponentní vlákno obsahující uhlík.

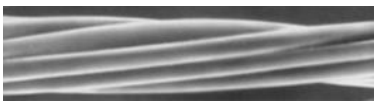
Vlastnosti plošných textilií jsou závislé jednak na vlastnostech délkových textilií (vláken, přízí, nití), ze kterých jsou plošné textilie konstruovány, jednak na konstrukci plošné textilie a rovněž na konečné úpravě.

3.5.1 Materiálové složení textilií

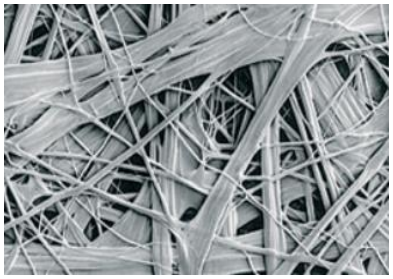
Jeden z nejčastěji používaných materiálů pro výrobu oděvů pro čisté prostory je polyester. Vlákna se vyznačují velmi vysokou krystalitou, která je příčinou vynikající tepelné odolnosti a ostatních mechanických vlastností jako odolnost v oděru, elastické zotavení, nízká navlhavost a s ní spojené rychlé schnutí a snadná údržba. Nevýhoda v podobě vyššího sklonu k tvorbě statické elektřiny je eliminována antistatickou úpravou textilie a sklonu k žmolkovitosti použitím multifilové nitě. [15]

Obecně se pojmem multifilová nit rozumí délkový vlákenný útvar. Multifilové nitě jsou zpravidla jemnější než např. některé staplové příze. Každá multifilová nit obsahuje různé množství nekonečně dlouhých vláken, získávaných chemickou cestou.

Obrázek 25 - Řez tkaninou z multifilu



Obrázek 26 - Vlákno multifil



Obrázek 27 - Netkaná textilie

U textilií vyrobených z multifilů se zpravidla předpokládá, že vnitřní struktura nitě má natolik těsné uspořádání, že průchod částic přes nitě samotné je minimální. Také díky hladkému povrchu tkaniny se na ni minimálně usazují prachové částice.

Pro jednorázové oděvy se používají netkané textilie z mikrovláken vyrobené metodou Melt-blown (textilie vyrobené rozfoukáváním tavenin). Nejvíce používanými polymery jsou polypropylen, polyetylen, polyester a polyamid.

K tvorbě vláken dochází ve speciální výtlačné hubici s mnoha zvlákňovacími otvory. Zvlákňovací otvory jsou vyvedeny na hraně hubice a je k nim přiváděn stlačený horký vzduch. Vytékající tavenina je vzduchem strhávána a formována do tvaru vlákna. Síla působení vzduchu na tvořící se vlákno se zvyšuje s rostoucí délkou vlákna. Vlákno je postupně nepravidelně dlouženo a při určité délce odtrženo. Formování vlákenné vrstvy probíhá na porézním sběrném bubnu nebo pásu. Ke zpevnění textilií se využívá zejména kalandrování.[21]

3.5.2 Parametry tkaniny

Tkaninu lze definovat jako plošnou textilii vytvořenou zpravidla ze dvou vzájemně kolmých soustav nití, osnovy a útku, navzájem provázaných vazbou tkaniny. Překřížením osnovní niti s útkem vzniká vazný bod. Úseky nitě, spojující dva sousední vazné body, mohou být zakřížené či nezakřížené. [23]

Vazba tkaniny

Správná volba vazby tkaniny je velmi důležitá. Vytváří nejen vlastní tkaninu, ale dodává tkanině určité vlastnosti (pevnost, splývavost, tuhost, vzhled, aj.). Volba vazby tkaniny záleží též na zpracovávaném materiálu (v osnově i útku) a na dalším použití tkaniny.[19]

Vazba je definována jako systém, kterým jsou provázány nitě (konstrukční prvky), a úzce s ní souvisí další konstrukční parametry:

- Plošná hmotnost (jemnost textilie) [$kg.m^{-2}$]
- Tloušťka [m]
- Objemová měrná hmotnost [$kg.m^{-3}$]
- Pórovitost [%]
- Hustota (dostava osnovy a útku, hustota řádků a sloupků)

Střída vazby je část vazby, která se v celé ploše, s výjimkou krajů tkaniny, pravidelně opakuje (velikost je dána počtem osnovních vazných bodů krát počet útkových vazných bodů).[19]

Základní vazby tkanin jsou:

- plátnová vazba
- keprová vazba
- atlasová vazba

Nejjednodušší a nejhustěji provázaná vazba je plátnová. Jedná se o nejpevnější a nejtrvanlivější vazbu. Střídu vazby tvoří dvě nitě osnovní a dvě nitě útkové. Je to vazba oboustranná. Typické je pravidelné střídání osnovních a útkových vazných bodů, resp. skupin osnovních a útkových vazných bodů. Oproti zbylým dvěma vazbám neobsahuje flotáž, což je neprovazující úsek nitě. Flotáž zvyšuje tloušťku tkaniny a její prodyšnost a naopak ubírá na pevnosti tkaniny.[19]

Dostava tkaniny

Dostava neboli hustota tkaniny udává počet osnovních či útkových nití na jednotku délky a měří se pro každou soustavu nití zvlášť. Jednotkou délky je nejčastěji 1cm, který také udává norma ČSN EN 1049-2 (80 0814) Textilie TKANINY. KONSTRUKCE. METODY ANALÝZY Část 2: Stanovení dostavy jako nejmenší zkoušenou délku. Dostava společně s průměrem osnovních a útkových nití ovlivňuje plošné zakrytí textilie a tím i filtrační schopnost textilie (propustnost vzduchu a retenci částic).

Hustota tkaniny závisí na jemnosti nití, na způsobu vazebního provázání a také na silovém působení při procesu výroby. Tyto mechanické síly působí kolmo na osu nitě a způsobuje vzájemné deformování osnovních a útkových nití ve tkanině. Původně osově symetrický („kruhový“) průřez nitě se zploští, zejména ve vazném bodě. [23]

Zakrytí tkaniny

Zakrytí je definováno jako rozdíl mezi skutečnou plochou tkaniny a plochou zakrytou nitěmi. Při výpočtu zakrytí je důležitý průměr osnovní d_o [mm] a útkové nitě d_u [mm]. Ve tkanině se nitě deformují, nicméně pro jednoduchost se za d_o a d_u užívají průměry „volných“(nedeformovaných) nití. Teoretické zakrytí lze určit třemi způsoby, a to pomocí jedné soustavy nití (útku nebo osnovy), dvou soustav nití (útku i osnovy) a pomocí cover faktoru.[24]

a) Podíl plochy zakryté osnovními nitěmi Z_o se vypočítá: $Z_o = D_o * d_o$ *(8)*

Podíl plochy zakryté útkovými nitěmi Z_u se vypočítá: $Z_u = D_u * d_u$ *(9)*

b) Celkové zakrytí tkaniny se vypočítá podle vzorce: $Z = Z_o + Z_u - Z_o * Z_u$ *(10)*

kde:

D_o ……Dostava osnovy
D_u……Dostava útku
d_o……Průměr osnovní nitě
d_u…….Průměr útkové nitě

c) Cover faktor

Pro výpočet průměru příze *d* platí nejjednodušeji Köchlinův vztah, tj., $d = K\sqrt{T}$
kde:

K……..součinitelé průměru osnovy a útku
T……..jemnost osnovních a útkových nití

Pro zakrytí osnovy platí: $Z_o = K_o D_o \sqrt{T_o}$ *(11)*

Pro zakrytí útku platí: $Z_u = K_u D_u \sqrt{T_u}$ *(12)*

Cover faktor tkaniny platí: $C_f = K_o D_o \sqrt{T_o} + K_u D_u \sqrt{T_u}$ *(13)*

Pozn.: takto definovaný cover factor tkaniny zanedbává skutečnost, že plochy překřížení nití jsou sčítány dvakrát [24]

Porosita

Porosita je vlastnost, která ovlivňuje prodyšnost a paropropustnost tkaniny. Čím nižší je hodnota porosity, tím hůře vzduch proniká textilií, klesá tak u ní komfort, ale vzrůstá bariérová schopnost. Velikost pórů v textilii, jejich tvar, uspořádání a četnost jsou rozhodující charakteristiky plošné textilie z hlediska její propustnosti pro vzduch. Pro vyjádření či stanovení porosity existuje řada teoretických postupů i experimentálních metod. Každý z těchto postupů zahrnuje určité zjednodušení předpoklady, které vnáší do výsledků jisté nepřesnosti. Je tedy velmi obtížné nalézt tu nejvhodnější variantu popisu porosity textilního materiálu, která by nejvíce vypovídala o jeho prostupnosti pro vzduch. Ne všechny póry v textilii se podílejí na přenosu vzduchu stejnou měrou. [19]

Póry v plošné textilii můžeme rozdělit obecně do tří skupin:

- Póry uvnitř vláken
- Póry uvnitř nitě vytvořené mezi vlákny
- Póry vytvořené mezi osnovními a útkovými nitěmi

Póry uvnitř textilních vláken jsou z hlediska prodyšnosti jednoznačně zanedbatelné jednak proto, že neprochází naskrz textilií a jednak pro svoji zanedbatelnou velikost. Textilie proto bývá uvažována jako biporézní struktura. [13]

Ke stanovení porosity idealizované tkaniny z jejich konstrukčních parametrů se zpravidla používá několik základních teoretických postupů:

a) Stanovení porosity z podílu měrných hmotností

Charakteristiku vyplnění plošné textilie vzduchem P_p: $P_p = \frac{\rho_F - \rho_v}{\rho_F}$ *(14)*

kde: ρ_F [kg/m^3] ……objemová měrná hmotnost vlákenného materiálu
ρ_v [kg/m^3] …… objemová měrná hmotnost tkaniny

b) Stanovení porosity z podílu objemů

V tomto případě lze podíl objemu vzduchu P_v vyjádřit jako: $P_v = 1 - \frac{V_y}{V_T}$ *(15)*

kde: V_y ……je celkový objem nití obsažených v 1m^2 tkaniny
V_T ……je objem 1 m^2 tkaniny

c) Stanovení porosity z plošného zakrytí textilie *(16)*

Porosita P_s je odvozena z prosté kolmé projekce příze do roviny tkaniny: $P_s = 1 - CF$

kde: CF…….je klasická definice plošného zakrytí podle Pierce

$CF = D_o d_o + D_u d_u - d_o d_o D_o D_u$ [19]

3.6 Požadavky na výrobu

3.6.1 Konstrukční požadavky

Konstrukce oděvů pro čisté prostory by měla být zpracována tak, aby se zabránilo úniku částic a zároveň aby oděv umožňoval volný pohyb a příliš pracovníka neomezoval v činnostech.

Pro účely tvorby konstrukce střihů oděvů by měl být stanoven dynamický efekt tělesných rozměrů a tyto hodnoty poté uplatněny při modifikaci konstrukčních úseček. Optimální konstrukční řešení musí umožňovat volný pohyb těla a respektovat správný velikostní sortiment.

Nejlepším konstrukčním řešením pro oděv určený do čistých prostor, který má plnit bariérovou funkci, je overal. Zcela obklopuje osobu a je schopen zachytit nejvíce částic. Nejkritičtější místa oděvu, kterým je nutno věnovat pozornost, jsou v okolí kotníků, zápěstí a krku. Při pohybu pracovníka se pod oděvem vytváří vyšší tlak. Čím větší je dostava tkaniny, tím méně vzduchu propouští a tento „nefiltrovaný“ vzduch poté uniká ve zmiňovaných kritických oblastech. Ukončení nohavic a rukávů je řešeno např. pružnými manžetami a oblast průkrčníku stojatým límcem.

Obrázek 28 - Pružné manžety na rukávech [9]

Obrázek 29 - Stojatý límec [9]

V čistých prostorách lze použít i dvoudílný oděv. Ten však neplní takový bariérový efekt, jako overal. Pro zvýšení efektu mívá blůza po celém obvodu všitý vnitřní díl, který se zasouvá do kalhot, a snižuje riziko kontaminace. Aby se riziko minimalizovalo, oděv by měl bát zbaven zbytečných záhybů, poutek a kapes, kde dochází k zadržování kontaminace.

3.6.2 Technologie zpracování

Aby oděv pro čisté prostory vyhověl nárokům, které jsou na něj kladeny, musí být kvalitně zpracován, zvolen správný technologický postup a použity při tom vhodný materiál. Na veškerou drobnou technickou a oděvní přípravu (zdrhovadla, tkanice, pruženky, šicí nitě apod.) jsou kladeny stejné požadavky jako na základní materiál.

Jedním z důležitých faktorů, který může ovlivnit pevnost švů a tím i užitou hodnotu finálního výrobku, je volba šicí nitě. Na nit při šicím procesu působí celá řada faktorů, které její pevnost snižují. Nit je namáhána mechanicky, termicky a rázově. Tato namáhání působí společně a navzájem se doplňují, čímž vzrůstají jejich účinky. Při zpracování ztrácí syntetická nit 6-10% své původní pevnosti. Zároveň platí zásada, že pevnost švu nemusí a ani nemá být vyšší než 80 % pevnosti tkaniny. Při výběru nitě je třeba posoudit vlastnosti a technologické parametry (druh a kvalita suroviny, konstrukce nitě, pevnost, tažnost, oděr, sráživost, odolnost vůči chemikáliím). [22]

Bezprašnost je další podmínkou, kterou nit musí splňovat. Úletu částic se zabrání použitím odolné multifilové nitě z polyamidového nebo polyesterového vlákna.

Drobná technická příprava, kam patří knoflíky, zdrhovadla, přezky, spínátka aj., musí být vyrobeny z materiálu, který odolává vlhkosti a chemikáliím při procesu dekontaminace nebo sterilizace. Na oděvní přípravu platí požadavky jako na základní materiál. Tato příprava by měla být požita tak, aby na oděvu nevznikaly místa zadržující kontaminaci nebo otevřená místa, kudy by částice mohly pronikat.

Obrázek 30 - Zdrhovadlo [9]

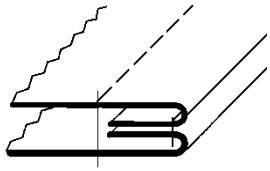
Obrázek 31 - Spínací patentky [9]

Obrázek 32 - Stahovací spona [9]

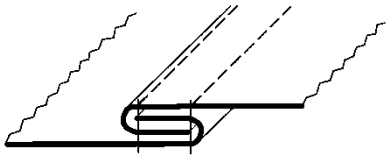
Při zpracování je důležitá odolnost textilie proti poškození způsobené jehlou, která průpichem zanechá v textilii otvor, či poškodí jednotlivá vlákna. Tento faktor lze ovlivnit výběrem vhodné jemnosti jehly a také jejím hrotem.

Největší riziko úletu částic představují nezabezpečené okraje tkanin proti třepení. Všechny okraje a švy oděvu proto musí být zpracovány tak, aby k úniku částic v důsledku třepení nedocházelo. Vhodné je použít švy, u nichž je okraj tkaniny podehnut nebo olemován.

U montážních švu je to nejčastěji dle ISO 4916 dvojitý hřbetový šev třídy 1 a přeplátovaný šev třídy 2

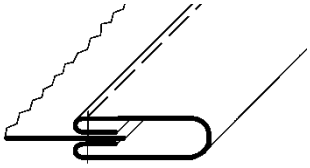


Obrázek 33 - Dvojitý hřbetový šev

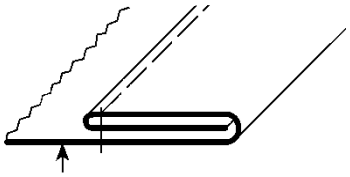


Obrázek 34 - Přeplátovaný šev

Pro začišťování okrajů a švových záložek se používá lemovací šev třídy 3 a obrubovací šev třídy 6



Obrázek 35 - Lemovací šev



Obrázek 36 - Obrubovací šev

Vyloučené jsou okraje začištěné obnitkovacím stehem, protože nezajišťují dokonalé zakrytí třepícího se materiálu.

U pratelných oděvů jsou použity rozebíratelné spoje z důvodu pozdější úpravy či opravy. Vhodný je steh třídy 300 – dvounitný vázaný. Vytváří pevný spoj, je obtížně páratelný a málo tažný.

U jednorázových obleků a doplňků z netkaných textilií se využívá nekonvenčního způsobu spojování metody svařování ultrazvukem. Tento způsob spojování lze využít pouze u syntetických materiálů (akryl, nylon, polyester, polyetylen, polypropylen, polyvinylchlorid) nebo jejich směsí s minimálně 60% obsahem termoplastických vláken. U netkaných textilií poskytuje vynikající pevnost nahodilá orientace vláken. Rovnoměrnost tloušťky materiálu a obsah termoplastických složek ovlivní výslednou pevnost svaru.

Okraje netkaných textilií mohou být zajištěny obnitkovacím stehem. Vlákenná vrstva textilie je pevně spojena, většinou kalandrováním, proto zde nehrozí riziko třepení okrajů.

3.7 Užívání

Zacházení s oděvy do čistých prostor má být prováděno podle písemných postupů a mělo by zajistit, aby se na nich nezachytily kontaminanty, které by se mohly později uvolňovat. Přesný postup této posloupnosti závisí na potřebách konkrétního zařízení, včetně klasifikace čistých prostor ISO. Neexistuje žádný standardizovaný postup, který se vztahuje na jednotlivé prostředí.

Obecně však pro vstup do čistých prostor platí určitá pravidla:

- Všechny osoby vstupující do čistých prostor musí být před vstupem do čistých prostor proškoleny
- Ke vstupu do čistého prostoru je určen pouze jediný vstup, a to dveře vedoucí do čisté šatny. Použití jakékoli jiné cesty do čistého prostoru je zakázáno
- Do čistých prostor nesmí vstupovat osoby nemocné infekční nebo kožní chorobou.
- Pracovníci musí velmi dbát na svou osobní hygienu.
- Je zakázáno přinášet do šatny věci, jež nemají přímou souvislost s pracovní činností v čistém prostoru a nejsou výslovně povoleny odpovědným pracovníkem
- Před vstupem do čistých prostor musí personál i návštěvníci odložit osobní věci. Nejsou povoleny prsteny, hodinky, řetízky a jiné osobní věci s možnou kontaminací
- Pracovník by před vstupem neměl používat kosmetické přípravky uvolňující částice, např. make up, řasenku, pudr, vlasové spreje, lak na nehty.[25]

Součástí čistých prostor je šatna, která je rozdělena do dvou zón oddělených překročnou lavicí. První čistá šatna slouží k odložení oděvu a obuvi, určených pro pohyb personálu mimo čisté prostory a k odložení jednorázového oděvu při výstupu z čistých prostor. Druhá čistá šatna slouží k oblékání oděvu a obuvi, určených pro pohyb v čistých prostorách a k odložení předepsaného pratelného oděvu pracovníků pracujících v čistých prostorách při výstupu.

Přístup pracovníků je omezen a musí probíhat definovaným postupem převlékání a očisty pracovníků. Vstup pracovníka čistou šatnou do čistého prostoru ISO 7 může vypadat např. takto:

1) při vstupu do první šatny za sebou ihned zavřít dveře a pak šlápnout na lepivý pruh
2) svléknout svrchní oblečení (pokud ho zaměstnanec má na sobě) a pověsit na věšák
3) nasadit jednorázovou pokrývku hlavy
4) přejít k překročné lavici mezi první a druhou šatnou, posadit se na ni, vyzout obuv používanou mimo čisté prostory a umístit ji do určeného regálu
5) na straně druhé šatny si obout obuv určenou do čistých prostor
6) provést dezinfekci rukou dle daného postupu
7) nasadit roušku na obličej
8) obléci předepsaný plášť do čistého prostoru
9) obléci předepsané kalhoty do čistého prostoru
10) na ruce navléknout rukavice
11) zkontrolovat stav obleku v zrcadle
12) poté pracovník může vstoupit personální propustí do čistých prostor [25]

Četnost výměny oděvů do čistých prostor je dána podle třídy čistoty. Jednorázové doplňky jako návleky na boty, čepice a rouška se mění při každém vstupu do čistých prostor a rukavice dle potřeby.

3.8 Manipulace s použitými oděvy

Dalším důležitým aspektem pro výrobu a také zdravotnická zařízení je zajištění sterility či dekontaminace každého oděvu pro čisté prostory použitého během výroby. Proto se doporučuje, aby vybraný výrobce oděvů nebo firma zajišťující servis měli validovaný a zdokumentovaný postup sterilizace a mohli zajistit hladiny sterilizační jistoty. Firmy by měly poskytnout veškerou požadovanou dokumentaci a zaručit sledovatelnost svých oděvů v celém hodnotovém řetězci.

Používání opakovaně použitelných oděvů je časově omezené. Odvíjí se od počtu cyklů použití. A to je také jednou z povinností výrobce, kteří musí uvést počet garantovaných bezpečných použití. Ke sledování životnosti oděvu se používají pokročilé sledovací systémy, jako jsou čárové kódy a čipy pro vysokofrekvenční identifikaci (RFID). [13]

Ošetření a balení oděvů do čistých prostor by mělo být prováděno v podmínkách čistých prostor, které jsou kompatibilní se standardy čistých prostor, ve kterých budou použity.

Proces dekontaminace:

1. Systém třídění a kontrola - znečištěné oděvy a boty jsou zkontrolovány a poté rozděleny do skupin k praní a poškozené uniformy a boty jsou vyřazeny za účelem opravy nebo výměny.

2. Předúprava - oděvy a obuv jsou předem ošetřeny běžnou pračkou, aby se snížilo znečištění před naložením do bariérové pračky (praní v čisté místnosti).

3. Bariérová pračka - oděvy a obuv jsou vloženy do velkokapacitních bariérových praček, promývány roztokem čištěné vody a speciálních neionogenních povrchově aktivních látek.

4. Sušička - vykládka poté projde sušičkou v čistých prostorách vybavených systémem HEPA filtrů, který zaručuje nejčistší vzduch pro sušení.

5. Zkouška částic - měření úletu částic z povrchu oděvů a obuvi (volitelné).

6. Kontrola a skládání - po testování na úlet částic jsou oděvy a boty zkontrolovány na vady a poté jsou složeny, zabaleny a utěsněny v polyethylenových pytlích.

7. Balení a dodání - jakmile jsou zapečetěny, oděvy a boty se umístí do průchodu a posílají se z čisté místnosti do přepravní oblasti, která sama o sobě je často třída 100. [27]

Obrázek 373 - primární otvor prokládací pračky na praní [27]

Obrázek 38 - Sekundární otvor pračky do čistého prostoru [27]

Obrázek 39 - Skládání, balení oděvů v čistém prostředí [27]

Proces sterilizace

Sterilizace je obecně jakýkoli proces, při kterém jsou eliminovány, odstraněny, zabity či deaktivovány všechny formy života a jiných biologických agens (jako funghi, bakterie, viry, spory, priony, prvoci). Skládá se z před sterilizační přípravou, sterilizaci ve sterilizátoru a uskladnění sterilizovaného materiálu. Každý cyklus sterilizace se dokumentuje a kontroluje. Kontrola sterilizace zahrnuje monitorování sterilizačního cyklu, kontrolu účinnosti sterilizačních přístrojů a kontrolu sterility vysterilizovaného materiálu.

Ke sterilizaci zdravotnických prostředků se smí používat pouze sterilizační přístroje za podmínek stanovených pro zdravotnické prostředky. Normy určují také požadavky na kvalifikaci personálu, technické vybavení přístroje, kvalitu sterilizačního média, sterilizovaný materiál, sterilizační proces, zkušební přístroje, údržbu, validaci a revalidaci.

Způsoby sterilizace:

- vlhkým teplem – (sytou vodní parou) je vhodný na materiály, které snáší definované sterilizační parametry (121,134°C).
- Sterilizace horkým vzduchem - horkovzdušná sterilizace se provádí v přístrojích s nucenou cirkulací vzduchu (160°C – 60 min, 180°C – 20 min)
- pomocí plazmatu – plazma, které vzniká ve vysokofrekvenčním elektromagnetickém poli, působí ve vakuu na páry peroxidu vodíku nebo jiné chemické látky.
- chemická (formaldehydem) - je založena na působení plynné směsi formaldehydu s vodní párou při teplotě 60 až 80 °C v podtlaku
- radiační - účinek vyvolává gama záření v dávce 25 kGy

Jednorázové obleky

Jednorázové obleky jsou po použití určeny k likvidaci. Ve zdravotnictví se jedná o infekční odpad a musí s ním být zacházeno podle závazných právních předpisů a vyhlášek Ministerstva životního prostředí. Takto vzniklý odpad je určen k likvidaci spalováním. V průmyslu je s použitými jednorázovými oděvy nakládáno jako se směsným odpadem a končí ve spalovnách.

Likvidace jednorázových oděvů spalováním má dopad na životní prostředí. V průběhu tzv. dokonalého spalování dochází nejprve k tepelnému rozkladu, přičemž se uvolňují hořlavé plyny, které se dále spalují. Konečnými produkty spalování jsou u polyethylenu a polypropylenu oxid uhličitý a voda. CO_2 patří mezi skleníkové plyny je obecně považován za hlavní příčinu globálního oteplování.

Experimentální část

Experimentální část je zaměřena na porovnání vybraných tkanin určených pro výrobu oděvů do čistých prostor z hlediska oděvního komfortu. V první části je provedena analýza současného stavu z hlediska používání jednorázových a pratelných oděvů, manipulace s těmito oděvy, požadovaných norem a fyziologického komfortu. V druhé části jsou určeny a testovány termofyziologické vlastnosti na různých typech tkanin, které mohou ovlivňovat komfort pracovníka. Na základě získaných poznatků je sestaven návrh na optimalizaci oděvů tak, aby splňoval uživatelské nároky z hlediska fyziologického komfortu a zároveň vyhovoval podmínkám, které jsou kladeny na čisté prostory.

4 Analýza současného stavu

Optimalizace oděvů do čistých prostor je zaměřena na výrobní společnost sídlící v Olomouckém kraji. Firma se zaměřuje na výrobu chirurgických nástrojů a mechanických zařízení pro oblast minimálně invazivní chirurgie. Část výroby je situována v čistých prostorech, které jsou konstruovány jako vestavba do stávajícího objektu. Čisté prostory jsou rozděleny do dvou tříd čistoty ISO 7 a ISO 8 a průchod je zajištěn materiálovou a personální propustí.

Třída čistoty ISO 7 platí pro přechodové komory a prostory pro montáž a primární balení.

Třída čistoty ISO 8 pro materiálové propusti, šatnu a čistící místnost (mytí komponent z předmontáže, vstupní komponenty od dodavatele).

Zdravotnické prostředky vyráběné v této firmě vstupují do těla pacienta zvnějšku a jsou v kontaktu s tkáněmi, kostmi a cirkulující krví, proto je nezbytné zajistit naprostou sterilitu výrobků. Z důvodů nemožnosti mytí kompletního výrobku (kabely, vnitřní dutiny - riziko, pokud by při operaci došlo k poruše/odhalení vnitřních komponent), je montáž výrobků vedena v ČP. Kromě kompletní montáže se v ČP provádí také primární balení výrobků. Systém sterilní bariéry je takové uzpůsobení designu balení, jež zajistí a udrží sterilitu zdravotnického prostředku po deklarovanou dobu. U všech produktů je použit sáček Stericlin, skládající se ze dvou komponent (netkaná textilie Tyvek a folie z polyethylenu). Po zabalení produktů do sekundárního a terciálního obalu mimo ČP, jsou následně poslány na sterilizaci, kde jsou eliminována všechna rezidua bakterií, plísní a kvasinek, která nebyla odstraněna během mytí a dezinfekce.

4.1 Oděvy do čistých prostor

O firemní oděvy se stará externí společnost a v rámci servisního pronájmu pracovních oděvů zabezpečuje péči o tyto oděvy. Pořízení dle požadavků zákazníka, údržbu pracovních oděvů (praní, chemické čištění), obnovu oděvů v případě změn (v případě odchodů a nástupů nových pracovníků a výměn poškozených oděvů), pořízení a rozmístění výdejních a sběrných skříněk a distribuci.

Každý zaměstnanec disponuje několika kusy trik s firemním logem a dle pracovního zařazení pak také třemi sety oblečení do ČP a třemi plášti do mycí místnosti.

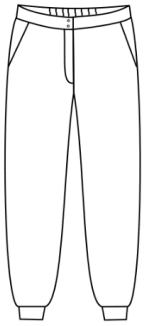
Oděvy pro prostory třídy ISO 7

Set oděvu do ČP obsahuje: dvoudílný pratelný oděv a pratelnou obuv, rukavice, roušku, čepici

Kalhoty – rovného střihu, dolní kraj kalhot je zakončen úpletovými manžetami. Do bočního švu je včleněná klínová kapsa. V pasové linii jsou kalhoty zakončeny pasovým límcem, který je v části zadního dílu nastavitelný pruženkou. Pasový límec je dvojitý, jednodílný s podkrytovým prodlouženým zapínáním na nýtované patentky. V předním pánevním kraji je vypracován podkrytový rozparek na zdrhovadlo.

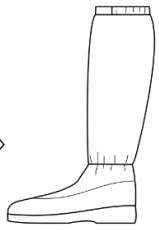
Blůza – volného střihu, bez členění a tvarování, délka sahající pod sedovou přímku. Ve středu předního dílu zhotoveno zapínání na zdrhovadlo. V místě předního kraje je nákryt střihově přičleněn k přednímu dílu. Hlavicové rukávy jsou dlouhé, jednodílné, dolní kraj zakončen úpletovými manžetami. Na předním pravém dílu je pod pasovou linií našita nakládaná kapsa. Do průkrčníku je všitý stojatý límec s nákrytovým zapínáním na nýtovaný patentek.

Obuv - podešev z PU, návlek z antistatické tkaniny (97% PES + 3% uhlík) v přední části na zdrhovadlo, nad kotníkem je návlek stažen pruženkou, u vrchního kraje nastavitelná manžeta s prodlouženým zapínáním na suchý zip.



Obrázek 40 - Kalhoty ISO 7

Obrázek 41 - Blůza ISO 7



Obrázek 42 - Obuv ISO 7

Obrázek 43 - plášť ISO 8

Oděvy pro prostory třídy ISO 8

Oděv určený do mycí místnosti se skládá: pratelný plášť a obuv, rukavice, rouška, čepice

Plášť - volného střihu, bez členění a tvarování, délka sahající nad kolena. Ve středu předního dílu zhotoveno zapínání na spínací patentky. V místě předního kraje je nákryt střihově přičleněn k přednímu dílu. Hlavicové rukávy jsou dlouhé, jednodílné. Do průkrčníku je všitý stojatý límec s nákrytovým zapínáním na nýtovaný patentek.

Tabulka 7 - parametry tkanin pro oděvy do ČP

Parametry tkaniny	**Oděv třídy ISO 7**	**Oděv třídy ISO 8**
Název tkaniny	Silitex SA 7.515	AGAVE
Vazba	Kepr 2/1	Kepr 2/1
Složení	99% PES + 1% uhlíkové vlákno	97% PES + 3% uhlíkové vlákno
Plošná hmotnost [g/m^{-2}]	150 ± 5%	95 ± 5%
Dostava – útek na 1 cm	290	320
Dostava – osnova na 1 cm	470	480
Měrný odpor [Ω]	≤ 10^6	≤ 10^9

Četnost výměny oděvů

Výměnu oděvu i pláště pracovník provádí 1x týdně vždy po provedení týdenního (pondělního) úklidu. Poté pracovník umístí svůj oděv do označené skříně pro požité oděvy, nacházející se před vstupem do šatny čistých prostor. Nový oděv pracovník odebere z osobní skříňky, která je mu přidělena a je průběžně doplňována čistými oděvy firmou starající se o servis těchto oděvů. Záznamem o provedení týdenního úklidu potvrzuje i týdenní výměnu oděvů.

Pro výměnu oděvu z jakéhokoliv jiného důvodu než je týdenní úklid, platí stejný postup. Pracovník umístí nevyhovující oděv do označené skříně před vstupem do čistých prostor a obleče si čistý pracovní oděv. Pokud není čistý oděv k dispozici, lze použít jednorázový overal.

Výměna obuvi za účelem praní probíhá každé 2 týdny. Pokud není čistá obuv k dispozici, lze použít jednorázové návleky na obuv. [25]

Tabulka 8 - cyklus výměny oděvů do ČP

Převlékání za týden	Používáno	Ve skříňce	V prádelně	Celková potřeba oděvů
1x	1	1	1	3

Praní oděvů a obuvi

Oděvy a obuv jsou odeslány externí firmě k vyprání metodou řízeného chemodezinfekčního a termodezinfekčního praní. S oděvy každého zákazníka je nakládáno odděleně. Jsou zaváděny do prokládací pračky primárním otvorem z tzv. „špinavé“ strany příjmu prádla. Prací program je sestaven přesně na druh znečištění a zohledňuje vlastnosti praného materiálu, aby nedocházelo k nadměrnému opotřebení textilie a současně byla odstraněna všechna rezidua jak z oděvů, tak z pracího agregátu a celé jeho soustavy. Dávkování komponent tekuté, bezfosfátové prací chemie je prováděno automaticky, bez zásahu obsluhy.

Takto dezinfikované prádlo je z agregátu vyjmuto sekundárním otvorem do čistého prostoru třídy čistoty ISO 7 podle ISO 14644. Zde se dále suší, žehlí, skládá a vakuově balí. Následuje vyjmutí z čistého prostoru přes expediční propust. Vyprané oděvy a obuv jsou uloženy do skříněk na čisté oděvy v šatnách. Jsou chráněny obalem, který se otevírá až v čisté šatně. [25]

Externí firma musí prokázat, že praní oděvů bylo validováno podle ISO 14698 v aktuálním znění.

4.2 Monitoring čistých prostor

Monitorování spočívá zejména v potvrzení vyhovující teploty a vlhkosti výrobního prostředí monitorovaného řídicím systémem vzduchotechniky, v potvrzení vyhovující úrovně mikrobiologického pozadí testovaného monitorováním spadů a otisků, v testování počtu pevných částic v prostoru a v monitorování minimálních požadovaných přetlaků mezi prostory s regulovaným prostředím a okolními prostory s nižší třídou čistoty.[25]

Tabulka 9 - Ověřované parametry čistých prostor při monitoringu a jejich frekvence

Parametr	Interval
Interval stanovení počtu pevných částic ve vzduchu	3 měsíce
Tlakové rozdíly mezi místnostmi	kontinuálně
Teplota	kontinuálně
Vlhkost	kontinuálně
Stanovení počtu živých mikroorganismů ve vzduchu (aktivní - aeroskop)	1 rok
Stanovení počtu živých mikroorganismů ve vzduchu (pasivní - spady)	1 měsíc
Stanovení počtu živých mikroorganismů na výrobních površích (otisky)	1 měsíc
Stanovení počtu živých mikroorganismů v demineralizované vodě	6 měsíců

Tabulka 10 - Parametry třídy čistoty ISO 7, ISO 8

Třída čistoty	**ISO 7**	**ISO 8**
Počet částic ≥ 0,5 µm/m^3	≤ 352 000	≤3 520 000
Počet částic ≥ 5 µm/m^3	≤ 2 930	≤ 29 300
Přetlak vůči ISO 8	≥ 10 Pa	N/A
Přetlak vůči nekontrolovanému prostředí	≥ 20 Pa	≥ 10 Pa
Teplota	18 – 26 °C	18 – 26 °C
Vlhkost	30 – 70 %	30 – 70 %
Počet mikroorganismů - aeroskop	≤ 100 CFU/m^3	≤ 200 CFU/m^3
Počet mikroorganismů – spady Petriho miska ø 90mm / 4 h	≤ 50 CFU	≤ 100 CFU
Počet mikroorganismů – otisky kontaktní miska ø 55mm	≤ 25 CFU	≤ 50 CFU

Při překročení varovných limitů formální nápravné opatření není vyžadováno, nicméně potřeba nápravného opatření by měla být posouzena v případě rostoucího trendu překročených varovných limitů. V případě, že výsledek měření z jednoho měřícího místa překročí akční limit, je vystaveno NC.

Tabulka 11 - koncentrace pevných částic ve vzduchu - rok 2019

Měsíc odběru	Čisté prostory montáž ISO 7		Čisté prostory balení ISO 7		Čistící místnost ISO 8		Šatna ISO 8	
	≥ 0,5 µm/m³	≥ 5 µm/m³	≥ 0,5 µm/m³	≥ 5 µm/m³	≥ 0,5 µm/m³	≥ 5 µm/m³	≥ 0,5 µm/m³	≥ 5 µm/m³
III.	6 770	348	3 955	279	6 235	704	23 274	1978
VI.	8 812	96	14 128	139	6 333	209	32 963	362
IX.	15 547	562	12 284	439	10 915	330	24 011	2 316
XII.	7 132	193	10 453	237	12 548	547	10 209	247

Tabulka 12 - mikrobiologická kontaminace - spady, rok 2019

Měsíc odběru	Čisté prostory montáž				Čisté prostory balení				Čistící místnost				Šatna			
	NM	VL	AL	M	NM	VL	AL	M	NM	VL	AL	M	NM	VL	AL	M
I	0	2	5	50	1	4	6	50	0	3	10	100	11	19	24	100
II	0	2	5	50	1	4	5	50	1	3	10	100	10	19	24	100
III	1	2	5	50	1	3	5	50	0	3	10	100	9	19	24	100
IV	1	1	5	50	0	3	5	50	0	3	10	100	14	19	23	100
V	1	1	5	50	0	3	5	50	1	3	10	100	8	20	24	100
VI	1	1	5	50	0	3	5	50	2	3	10	100	15	19	24	100
VII	1	1	5	50	1	3	5	50	0	3	10	100	10	16	18	100
VIII	1	1	5	50	3	3	5	50	2	3	10	100	12	16	18	100
IX	2	1	5	50	1	2	5	50	2	2	10	100	16	16	18	100
X	1	2	5	50	3	2	5	50	1	3	10	100	11	17	20	100
XI	0	2	5	50	0	3	5	50	2	2	10	100	8	17	20	100
XII	0	2	5	50	0	3	5	50	3	2	10	100	9	16	19	100

NM – naměřený počet mikroorganismů, VL – varovné limity, AL – akční limity, M – max. povolený počet mikroorganismů pro danou třídu čistoty, ◯ - překročený limit

Z hodnot uvedených v tabulkách vyplývá, že počet pevných částic a mikroorganismů naměřených ve vzduchu je v normě a k překročení limitů nedochází. Z tohoto hlediska můžeme říct, že bariérové vlastnosti oděvu jsou tedy dostačující.

Mytí a dezinfekce slouží k odstranění nežádoucích reziduí látek či mikroorganismů ulpělých na površích pracovních ploch, výrobků či vstupních materiálů, které jsou přístupné pro případné znečištění, při výrobě a manipulaci. K posuzování stavu čistoty po procesu mytí a dezinfekce se používá několik metod.

Čistota pracovních ploch je kontrolována v měsíčním intervalu. Provádí se tzv. otisky kontaktními miskami na daných vzorkovacích místech.

Čistota výrobku se posuzuje metodou Bioburden, která je normálně definována jako celkové množství životaschopných mikroorganismů (aerobní bakterie, houby a kvasinky) žijících na povrchu, který nebyl sterilizován. Měří se tzv. CFU (colony forming unit), u níž je stanoven maximální povolený počet (není nulový). Provede se extrakce mikroorganismů z povrchu produktu, transfer těchto izolovaných mikroorganismů na vhodné kultivační

médium a poté aerobní inkubace za definovaných podmínek v Petriho miskách. Vyhodnotí se počet všech narostlých nebo suspektních kolonií.

I přes proces mytí a desinfekce, sloužící k odstranění nežádoucích látek, ke kontaminaci povrchů pracovních ploch a výrobků dochází. Hodnoty nepřekračují maximálně stanovené povolené limity, přesto je snahou tyto hodnoty snížit. Je otázkou, zda by pomohla větší důslednost a disciplinovanost pracovníků a do jaké míry tyto hodnoty ovlivní pracovní oděv.

4.3 Fyziologické vlastnosti pracovních oděvů a pracovní podmínky

Hlavní funkcí ochranných oděvů do čistých prostor je plnit funkci osobního filtru, který chrání čisté prostředí před produkty látkové výměny lidského organismu. Tato hlavní ochranná funkce však stojí proti sobě s fyziologickými vlastnostmi, které mají zajistit přijatelné podmínky tepelné pohody pracovníků. Bariérové textilie jsou vyráběny s velmi nízkou porositou a tím i nízkou prodyšností. Vedle prodyšnosti je nutno řešit i otázku tepelně-izolačních vlastností. Neméně důležitá je také otázka propustnosti vodních par a odvodu kapalné vlhkosti vrstvami oděvu směrem od těla.[19]

Vnímání okolní teploty a termoregulační činnost organismu je velmi subjektivní. Závisí na aktivitě, konkrétní osobě (věk, postava, fyzická kondice), podmínkách, ve kterých se daná osoba nachází a hodnotě izolace oblečení. V čistých prostorách třídy ISO 7 je pracovní oděv složen za dvou vrstev. Vnitřní vrstva se skládá z firemního trika (65% Ba + 35% PES, plošná hmotnost 200 g/m^2) a dlouhých kalhot dle volby pracovníka. Vrchní vrstva je dvoudílný pracovní oděv (98% PES + 2% uhlíkové vlákno, hmotnost 150 g/m^2).

Parametry stanovené pro čisté prostory uvádí teplotní limit od 18 – 26 °C. Ať už je příčina jakákoli, k výkyvům teplot v daném čistém prostředí dochází. Pokud je teplota mimo tento limit, pracovník musí čisté prostory opustit. Někdy jsou ale teploty dlouhé hodiny na horní hranici (nejčastěji v letních měsících) uvedeného limitu, než dojde k úpravě a optimalizaci pracovních podmínek, a pracovník na pracovišti setrvává. Pak dochází u pracovníka k tepelné nepohodě. Fyzická i psychická pohoda pak výrazně klesá.

5 Experimentální části

Experimentální část je zaměřena na porovnání vybraných komerčně dostupných textilních materiálů z hlediska oděvního komfortu. Cílem laboratorního zkoušení bude najít textilní materiál s optimálními vlastnostmi, aby co nejvíce vyhovoval uživatelským nárokům z hlediska fyziologického komfortu a zároveň vyhovoval podmínkám, které jsou kladeny na konkrétní čisté prostory.

5.1 Výběr měřených vlastností

Fyziologický komfort vybraných vzorků bude měřen laboratorně na katedře oděvnictví Technické univerzity v Liberci.

Experiment byl zaměřen na hodnocení:

- propustnosti vzduchu, dle normy ČSN EN ISO 9237 (80 0817)
- propustnosti vodních par, dle normy ČSN EN ISO 11092 (80 0819)
- Tepelný odpor, dle normy ČSN EN ISO 11092 (80 0819)

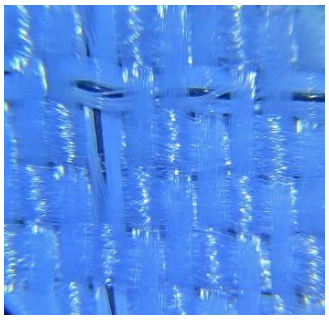
5.2 Výběr testovaných vzorků textilií

Pro experimentální část byly použity komerčně dostupné textilní materiály různých vlastností, které vyhovují požadavkům na ochranné oděvy pro čisté prostory třídy ISO 7.

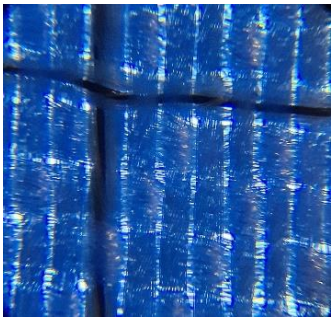
Tabulka 13 Tabulka testovaných textilií

Označení vzorků	Obchodní název vzorku	Materiálové složení	Stuktura vzorku	Plošná hmotnost [g·m^2]	Dostava útek na 1 dm	Dostava osnova na 1 dm
1	Agave	98,5 % PES 1,5% uhlíkové vlákno	Keprová vazba 2/1	95	320	480
2	Silitex SA 4M	98 % PES 2 % uhlíkové vlákno	Keprová vazba 2/1	180	240	470
3	Silitex SA 7.515	99 % PES 1 % uhlíkové vlákno	Keprová vazba 2/1	150	290	470
4	Silitex SW 75A C	99 % PES 1 % uhlíkové vlákno	Plátnová vazba	95	320	430

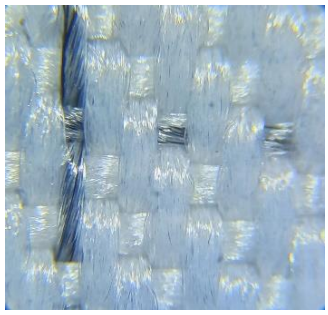
Vzorky testovaných textilií



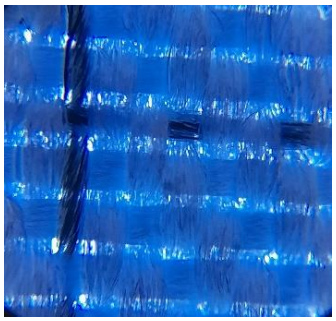
Obrázek 44 - Vzorek 1 - 40x zvětšeno



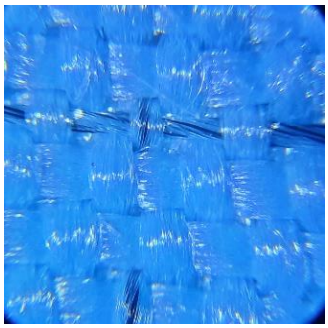
Obrázek 45 - Vzorek 1, podsvícení - 40x zvětšeno



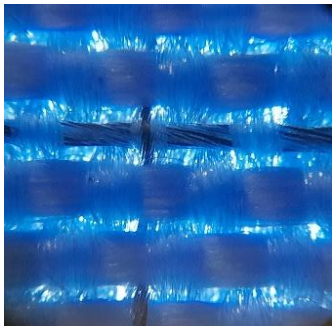
Obrázek 46 - Vzorek 2 - 40x zvětšeno



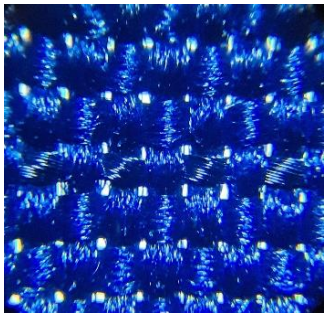
Obrázek 47 - Vzorek 2, podsvícení - 40x zvětšeno



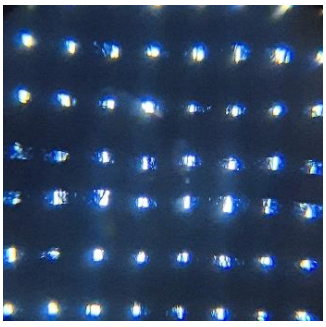
Obrázek 48 - Vzorek 3 - 40x zvětšeno



Obrázek 49 - Vzorek 3, podsvícení - 40x zvětšeno



Obrázek 50 - Vzorek 4 - 40x zvětšeno



Obrázek 51 - Vzorek 4, podsvícení - 40x zvětšeno

5.3 Tloušťka textilie

Měření bylo provedeno dle ČSN EN ISO 5084 (80 0844): Textilie – Zjišťování tloušťky textilií a textilních výrobků. Tato norma definuje tloušťku textilie [m] jako kolmo vzdálenost mezi dvěma definovanými deskami, přičemž na textilii působí přítlak 1 kPa nebo nižší.

Podstata zkoušky

Měření tloušťky textilie spočívá v měření vzdálenosti mezi základní deskou, na které je vzorek umístěn a paralelním kruhovým přítlačným kotoučem, který vyvíjí specifikovaný přítlak na zkoušenou plochu textilie. Po stanovené době (30 ± 5 sekund) se odečte kolmá vzdálenost mezi deskami z měřidla a zaznamená se.

Přístroj

Pro měření tloušťky textilie byl použit digitální přístroj DSL M034A, velikost přítlačné patky – kruh o ploše 20 cm^2, Použitý přítlak: 1000 Pa

Příprava vzorků

Ke zkoušce není vyžadována specifická velikost vzorku, pouze musí být větší, než je velikost přítlačné patky – kruh o ploše 20 cm^2. Před zkoušením byly vzorky klimatizovány dle normy ČSN EN ISO 139 (80 0056).

Podmínky měření

Měření probíhalo v klimatizované místnosti (normální ovzduší):

- relativní vlhkost vzduchu: 65 ± 4 %
- teplota vzduchu: 20 ± 2 °C

Postup měření

Po zpuštění zkušebního přístroje a PC byly zvoleny jednotky na PC – pro zatížení a tloušťku. Stejné jednotky je třeba nastavit i na měřidle přístroje. Dále byl zvolen způsob ukládání naměřených dat, velikost přítlačné plochy a velikost přítlaku. Poté se nadzvedne přítlačná patka přístroje a do vzniklého prostoru se vloží měřený vzorek.

Protože vzorek má svou vlastní hmotnost, je nutné tuto hmotnost od měření eliminovat vynulováním hodnoty zátěže. Dvoupolohovým ovládačem se zpustí pohyb přítlačné patky směrem dolů. Na vzorek působí přítlačná patka velmi pomalou rychlostí do požadovaného přítlaku. Na obrazovce se zobrazí výsledky, které lze buď akceptovat, nebo odmítnout. Po skončení zkoušek se zobrazí statistická analýza.[28]

Tabulka 14 - tloušťka testovaných textilií

Měření	Tloušťka textilie [mm]			
	Vzorek 1	Vzorek 2	Vzorek 3	Vzorek 4
1	0,17	0,30	0,37	0,19
2	0,17	0,30	0,37	0,20
3	0,17	0,30	0,37	0,20
4	0,17	0,30	0,37	0,19
5	0,17	0,29	0,37	0,19
6	0,18	0,30	0,37	0,20
7	0,17	0,30	0,37	0,19
8	0,18	0,30	0,37	0,20
9	0,17	0,30	0,37	0,19
10	0,17	0,30	0,37	0,19
Průměrná tloušťka tkaniny	0,172	0,299	0,370	0,194

Tabulka 15 - Základní statistická charakteristika - Tloušťka textilií

Základní statistická charakteristika měřeného souboru dat				
s^2 [mm^2]	0,0000178	0,0000100	0,0000000	0,0000267
S [mm]	0,0042164	0,0031623	0,0000000	0,0051640
V [%]	2,4513780	1,0576179	0,0000000	2,6618442
medián	0,17	0,3	0,37	0,19

s^2..... výběrový rozptyl [mm^2]
s ….. výběrová směrodatná odchylka [mm]
v ….. variační koeficient [%]

5.4 Propustnost vzduchu

Měření prodyšnosti bude provedeno v souladu s normou ČSN EN 9237: Textilie - *Zjišťování prodyšnosti plošných textilií*. Tato norma definuje prodyšnost R [$m.s^{-1}$] jako rychlost proudu vzduchu procházejícího kolmo no zkušební vzorek při specifikovaných podmínkách pro zkušební plochu, tlakový spád a dobu.

Podstata zkoušky

Podstatou zkoušky je měření rychlosti proudu vzduchu procházejícího kolmo danou plochu plošné textilie při stanoveném tlakovém spádu. Pro oděvní textilie se nastavuje tlakový spád 100 Pa, pro technické textilie to je 200 Pa.

Prodyšnost

Prodyšnost je definována jako rychlost proudu vzduchu procházejícího kolmo vzorkem textilie při definovaném rozdílu tlaků na protějších stranách textilie, době a zkušební ploše. Prodyšnost R [mm.s^{-1}], při konkrétním tlakovém rozdílu, je dána vztahem:

(17)

$$R = \frac{\overline{q_v}}{A} * 167$$

$\overline{q_v}$ ..... aritmetický průměr rychlosti průtoku vzduchu v [l/min^{-1}]
A ..... zkoušená plocha textilie v cm^2 (plocha čelisti A= 20 cm^2)
167 ..... faktor přepočítání z [dm^3/min^{-1}.cm^{-2}] na [mm.s^{-1}]

Přístroj

Pro měření bude použit přístroj na zjišťování propustnosti vzduchu SDL M021S, který měří propustnost vzduchu u textilií a jiných porézních materiálů. Pomocí pedálu vývěvy je nasáván vzduch přes vzorek textilie. Objem průtoku vzduchu [ml.s^1] se měří zvoleným průtokoměrem. Ten lze nastavit pomocí přídavného digitálního měřidla Almemo. Rozsah nastavitelného tlaku je do 2 kPa. Přístroj obsahuje čtyři průtokoměry pokrývající rozsah toku vzduchu od 0,1 do 400 [ml.s^{-1}]. Plocha držáku je 20 cm^2.

Obrázek 52 - Přístroj SDL M021S

Příprava vzorků

Z každého typu materiálu bylo odebráno 10 zkušebních vzorků o rozměru 150 x 150 mm. Před zkoušením byly vzorky klimatizovány dle normy ČSN EN ISO 139 (80 0056).

Podmínky měření

Měření probíhalo v klimatizované místnosti (normální ovzduší):

- relativní vlhkost vzduchu: 65 ± 4 %
- teplota vzduchu: 20 ± 2 °C

Postup měření

Zkušební vzorek je upnut do kruhového držáku s použitím dostatečného napětí, které zabrání vzniku záhybů. Je třeba dbát na to, aby upnutá plocha nebyla deformována a nedocházelo průniku vzduchu mimo měřenou oblast. Je důležité správné upnutí vzorků podle účelu měření. Pokud se vzorek upíná do čelisti rubem nahoru, měří se prodyšnost směrem od organismu do okolního prostředí. Vzorek upnutý lícem nahoru měří odolnost vůči pronikání větru z okolního prostředí.

Zapne se sací ventilátor, který nasává vzduch přes zkušební vzorek a průtok vzduchu se postupně seřizuje tak, aby na zkušební ploše textilie vznikl výše doporučený tlakový spád.

Poté se nastaví optimální tlakový spád u digitálního snímače Almemo, aby byly dodrženy stejné podmínky měření u obou materiálů.

Jednotlivé naměřené hodnoty byly následně převedeny dle převodní tabulky průtoků na skutečné hodnoty rychlosti průtoku vzduchu q_v. Z těchto hodnot byly vypočítány aritmetické průměry a následně byla vypočítána prodyšnost R pro jednotlivé zkoušené materiály.[30]

Výsledky měření

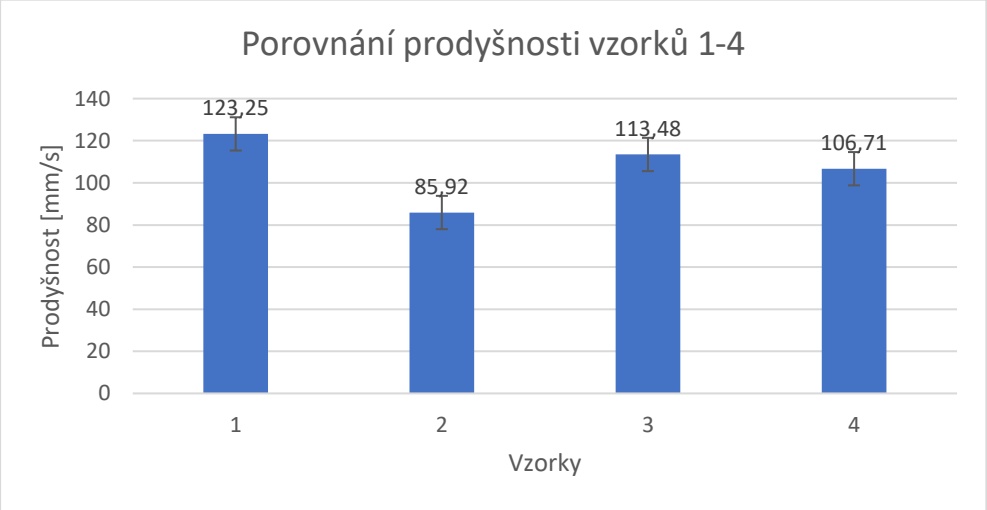
Tabulka 16 - Rychlost průtoku vzduchu

Měření	Rychlost průtoku vzduchu q_v [ml/s]			
	Vzorek 1	Vzorek 2	Vzorek 3	Vzorek 4
1	235	180	250	220
2	230	180	230	220
3	245	180	230	230
4	255	170	230	230
5	260	180	230	230
6	260	180	230	180
7	260	175	210	200
8	245	160	215	205
9	240	160	210	210
10	230	150	230	205
Průměrná rychlost průtoku vzduchu [ml/s]	246	171,5	226,5	213
Prodyšnost [mm/s]	123,25	85,92	113,48	106,71

Tabulka 17 - Základní statistická charakteristika - rychlost průtoku vzduchu

Základní statistická charakteristika měřeného souboru dat				
s^2 [(ml/s)^2]	148,889	122,500	144,722	262,222
s [ml/s]	12,202	11,068	12,030	16,193
v [%]	4,960	6,454	5,311	7,602
medián	245	177,5	230	215

s^2..... výběrový rozptyl [(ml/s)^2]
s ..... výběrová směrodatná odchylka [ml/s]
v ..... variační koeficient [%]



Graf 1 - Porovnání vzorků 1-4 prodyšnost

Textilní vzorky byly testovány pro určení propustnosti vzduchu materiálem ve směru od organismu do okolního prostředí. Pro všechny vzorky byl nastaven tlakový spád na 100 Pa.

Pro přehlednost byly výsledky zpracovány do grafu, ze kterého je patrno, že mezi zkoušenými vzorky se výsledné hodnoty liší až o třetinu. Nejnižší prodyšnost byla zjištěna vzorku číslo 2. Naopak nejvyšší prodyšnost vykazoval vzorek číslo 1. V porovnání se vzorkem číslo 4, který má stejnou plošnou hmotnost a menší dostavu osnovy, se vzorky od sebe lišily typem vazby. Ze snímků pořízených mikroskopem je patrné, jak pórovitost a způsob provázání osnovních a útkových nití tuto vlastnost ovlivňuje. U vzorku 4 jsou více patrné póry mezi jednotlivými vaznými body než mezi jednotlivými vlákny osnovních a útkových nití. U vzorku 3, který dosáhl lepších výsledků než vzorek 4 i s dvojnásobnou tloušťkou textilie, můžeme pozorovat větší pórovitost osnovních nití.

5.5 Propustnost vodních par

Cílem tohoto měření bylo zjišťování propustnosti vodních par u jednotlivých materiálů. Zkouška probíhala podle normy ČSN EN 31092 (800819) s názvem *Textilie- Zjišťování fyziologických vlastností- měření tepelné odolnosti a odolnosti vůči vodním parám za stálých podmínek (zkouška pocení vyhřívanou destičkou*). Pro zjišťování propustnosti vodních par byla použita metoda měření výparného odporu R_{et}.

Podstata zkoušky

Zkušební vzorek se umístí na elektricky vyhřívanou desku simulující efekt pocení. Napříč a rovnoběžně s povrchem vzorku proudí klimatizovaný vzduch.

Elektricky vyhřívaná porézní deska je zakryta celofánovou membránou. Tato membrána je propustná pro vodní páry, ale není propustná pro vodu. K vyhřívané desce je přiváděna voda, která se vypařuje a ve formě páry prochází membránou. Zkušební vzorek nepřichází do styku s vodou.

Výparný odpor se u zkušebního vzorku stanovuje z tepelného toku nutného k udržení konstantní teploty desky. Výparný odpor mezní vzduchové vrstvy nad povrchem zkušebního přístroje se odečte od výparného odporu u zkušebního vzorku a mezní vzduchové vrstvy. Obě měření se provádí za stejných podmínek.

Propustnost vodních par

Propustnost vodních par W_d [g/m^2.h.Pa] je vlastnost textilního materiálu nebo kompozitu závislá na odolnosti vůči vodním parám a teplotě.

Odolnost vůči prostupu vodních par

Odolnost vůči prostupu vodních par R_{et} [m^2·Pa/W] je stanovena jako rozdíl tlaku vodních par mezi dvěma povrchy materiálu, dělený výsledným výparným tepelným tokem na jednotku plochy ve směru gradientu (latentní výparný tepelný tok procházející danou plochou, odpovídající ustálenému použitému tlakovému gradientu páry).

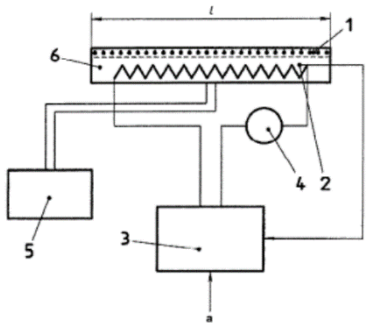
Klasifikace prodyšnosti látek v těchto jednotkách je pak následující:

- Ret< 6 velmi dobrá
- Ret 6 - 13 dobrá
- Ret 13 - 20 uspokojivá
- Ret> 20 neuspokojivá

Přístroj

Měření výparného odporu bylo prováděno pomocí přístroje SWEATING GUARDED HOTPLATE 8.2 umístěného ve zkušební komoře VC 0060 s řízenou okolní teplotou a vlhkostí.

Měřící jednotka s řízením teploty a přívodu vody sestávají z kovové desky o tloušťce 3 mm, s minimální plochou 0,04 m^2, upevněné k vodivému kovovému bloku s elektrickým topným článkem. Pro měření výparného odporu musí být kovová deska (1) porézní. Do bloku s vyhřívacím prvkem (6) jsou vytvořeny kanálky, které jsou v kontaktu s porézní deskou, aby byl umožněn přívod vody z dávkovacího zařízení (5). Termoregulátor (3) s tepelným čidlem měřící jednotky (2) musí udržovat teplotu T_m měřící jednotky (7) na konstantní teplotě. Voda je přiváděna na povrch porézní kovové desky (1) dávkovacím zařízením (5). K zachování konstantní rychlosti vypařování je dávkovací zařízení aktivováno spínačem, který se sepne, když hladina vody v desce klesne přibližně o více než 0,1 mm pod povrchem desky.

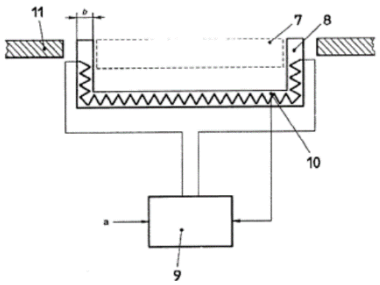


Legenda

1 kovová deska
2 teplotní čidlo
3 termoregulátor
5 dávkovací zařízení
6 kovový blok s vyhřívacím prvkem

Obrázek 53 - Schéma měřící jednotky s řízením teploty a přívodu vody

Měřící jednotka obklopena tepelným chráničem (8), který je umístěn v otvoru měřícího stolu (11). Tepelný chránič s řízením teploty je z materiálu s vysokou tepelnou vodivostí a obsahuje elektricky vyhřívané prvky. Jeho účel je zabránit unikání tepla ze spodní části měřící jednotky.



Legenda

7 měřící jednotka
8 tepelný chránič
9 termoregulátor
10 teplotní čidlo
11 měřící stůl

Obrázek 54 -Schéma tepelného chrániče s řízením teploty

Zkušební komora, ve které je umístěna řídící jednotka a tepelný chránič a ve které je řízena okolní teplota a vlhkost. Klimatizovaný vzduch musí být veden tak, aby proudil napříč a rovnoběžně s horním povrchem měřící jednotky a tepelného chrániče. Po dobu trvání zkoušky nesmí kolísat teplota a relativní vlhkost vzduchu a proud musí vykazovat určitý stupeň turbulence. [31]

Příprava vzorků

Z každého materiálu byly odebrány a odzkoušeny 3 zkušební vzorky o rozměru 310 x 310 mm. Před zkoušením byly vzorky klimatizovány za podmínek stanovených normou ČSN EN ISO 139 (80 0056).

Postup měření

Každý zkušební vzorek byl umístěn na desku s navlhčenou celofánovou membránou. K vyhřívané desce byla přiváděna voda, která se ve formě páry prostupovala materiálem. Napříč a rovnoběžně s povrchem vzorku proudil klimatizovaný vzduch.

Po umístění vzorku na měřicí jednotku bylo třeba vyčkat, až všechny veličiny stanovené normou dosáhnou ustáleného stavu. Jejich hodnoty byly zaznamenány. Po dobu trvání zkoušky nesmělo dojít ke kolísání těchto ustálených hodnot mimo povolenou toleranci. Průběh měření a výsledky byly zaznamenány počítačem. Výparný odpor R_{et} byl vypočítán jako aritmetický průměr z jednotlivých měření.

Výsledky měření

Výsledky měření udávají odolnost plošné textilie vůči vodním parám R_{et}. Tato vlastnost ovlivňuje propustnost vodních par.

Tabulka 18 - Odolnost vůči vodním parám

Měření	Odolnost vůči vodním parám R_{et} [$m^2.Pa.W^{-1}$]			
	Vzorek 1	Vzorek 2	Vzorek 3	Vzorek 4
1	1,7055	2,0747	2,4020	1,3106
2	1,8496	1,9634	2,4459	1,3405
3	1,7551	2,0049	2,4007	1,7082
Průměr R_{et}	1,7701	2,0143	2,4162	1,4531

Tabulka 19 - Základní statistická charakteristika - odolnost vůči vodním parám

Základní statistická charakteristika měřeného souboru dat				
s^2 [$(m^2.Pa.W^{-1})^2$]	0,00536	0,00316	0,00066	0,04903
s [$m^2.Pa.W^{-1}$]	0,07321	0,05625	0,02573	0,22143
v [%]	4,1358	2,7923	1,0649	15,2383

Propustnost vodních par W_d [g/m^2.h.Pa] je vyjádřena vzorcem: *(18)*

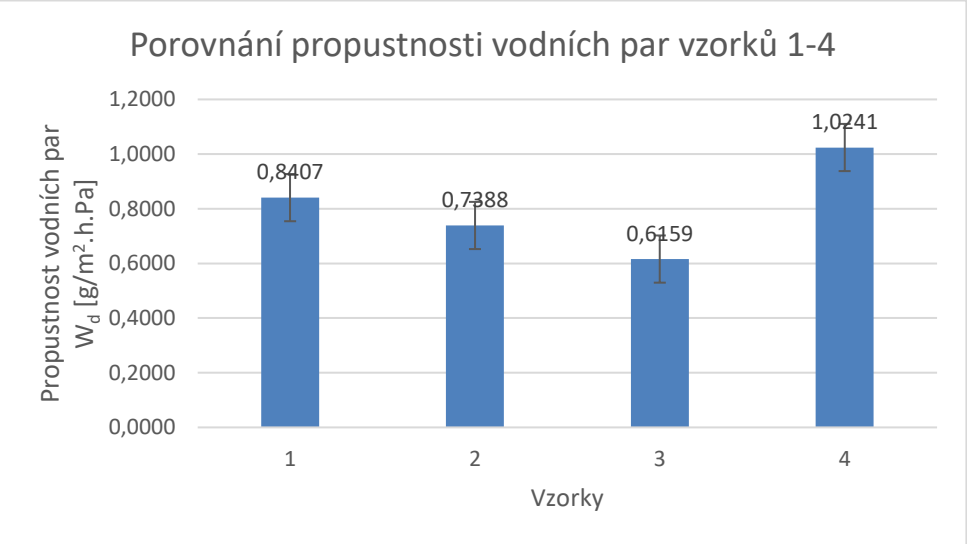
$$W_d = \frac{1}{R_{et} * \Phi T_m}$$

R_{et} ….. Odolnost vůči vodním parám [m^2.Pa.W^{-1}]
ΦT_m ... Latentní teplo odpařování vody při teplotě měřící jednotky T_m [W.h.g $^{-1}$]

V tomto případě je latentní teplo 0,672 [W.h.g $^{-1}$]; T_m = 35 °C.

Tabulka 20 - Propustnost vodních par

Propustnost vodních par W_d [g/m^2.h.Pa]	0,8407	0,7388	0,6159	1,0241



Graf 2 - Porovnání vzorků 1-4 propustnost vodních par

Všechny testované materiály lze zařadit do kategorie „velmi dobrá propustnost par“. Vynikající hodnoty zjištěné u vzorků jsou zřejmě způsobeny tloušťkou, porozitou a materiálovým složením textilie. Polyester je hydrofobní druh vlákna - neporézní a schopnost vázat vlhkost je zde malá.

Nejlepších výsledků bylo dosaženo u vzorků číslo 4 a číslo 3 se stejnou plošnou hmotností a nejmenší tloušťkou ve srovnání se vzorky 2 a 3.

5.6 Tepelná vodivost a tepelný odpor

Cílem tohoto měření bylo zjišťování tepelné odolnosti u jednotlivých materiálů. Zkouška probíhala podle normy ČSN EN 31092 (800819) s názvem Textilie- Zjišťování fyziologických vlastností- měření tepelné odolnosti a odolnosti vůči vodním parám za stálých podmínek (zkouška pocení vyhřívanou destičkou).

Podstata zkoušky

Tepelná odolnost R_{ct} [m².K/W] je rozdíl teplot mezi dvěma povrchy materiálu dělený výsledným tepelným tokem na jednotku plochy ve směru gradientu. Tepelná odolnost je specifická vlastnost textilních plošných útvarů nebo kompozit, která určuje suchý tok tepla danou plochou v důsledku aplikovaného stacionárního gradientu teploty. Suchý tepelný tok může sestávat z jedné nebo více vodivých, konvekčních a sálavých komponent.

Přístroj

Měření výparného odporu bylo prováděno pomocí přístroje SWEATING GUARDED HOTPLATE 8.2 umístěného ve zkušební komoře VC 0060 s řízenou okolní teplotou a vlhkostí.

Z každého materiálu byly odebrány a odzkoušeny 3 zkušební vzorky o rozměru 310 x 310 mm. Před zkoušením byly vzorky klimatizovány za podmínek stanovených normou ČSN EN ISO 139 (80 0056).

Podmínky měření:

t = 20 °C
ϕ = 40 %
T_m = 35 °C (teplota měřící jednotky)
T_a = 35 °C (teplota vzduchu ve zkušebním prostoru)
T_s = 35 °C (teplota tepelného chrániče)
v = 1 m/ s (rychlost proudění vzduchu)
H (výhřevnost) – v rozmezí 18,33 – 23,05 W

Postup měření

Před samotným měřením po spuštění PC probíhá temperace přístroje. Přes vzorek se umístí rámeček a zkušební prostor se uzavře. Měření probíhá 15 min a po každém měření následuje 15 min temperace přístroje. Výsledky a podmínky měření jsou zobrazovány na monitoru PC.[31]

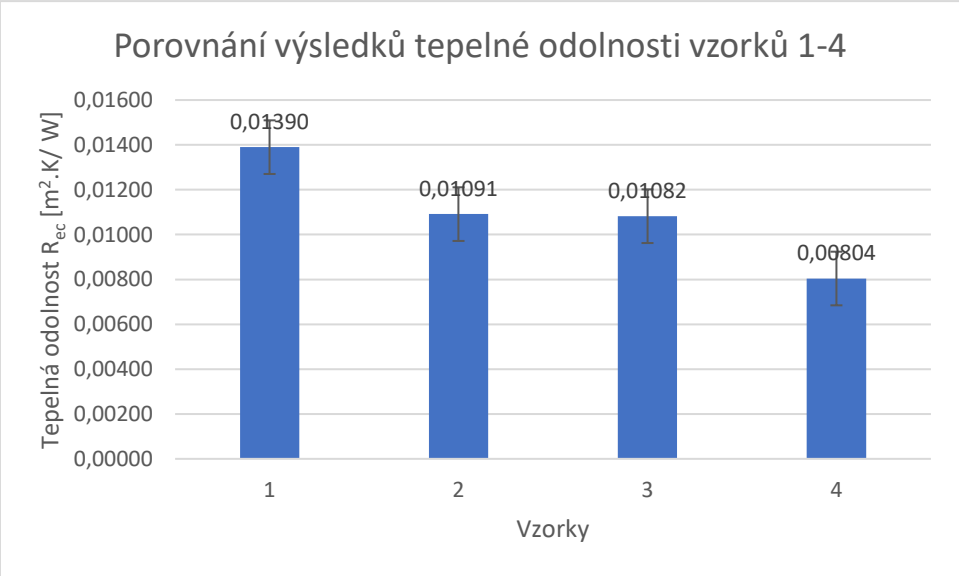
Výsledky měření

Tabulka 21 - Tepelná odolnost

Měření	Tepelná odolnost R_{ec} [m^2.K/ W]			
	Vzorek 1	Vzorek 2	Vzorek 3	Vzorek 4
1	0,015200	0,013000	0,012300	0,008880
2	0,015100	0,009200	0,009083	0,007364
3	0,011400	0,010540	0,011079	0,007882
Průměr R_{ec}	0,013900	0,010913	0,010821	0,008042

Tabulka 22 - Základní statistická charakteristika - Tepelná odolnost

Základní statistická charakteristika měřeného souboru dat				
s^2 [$(m^2.K/ W)^2$]	0,000004690	0,0000037145	0,0000026373	0,0000005938
S [m^2.K/ W]	0,00217	0,00193	0,00162	0,00077
v [%]	15,5801	17,6602	15,0082	9,5817
medián	0,0151	0,01054	0,011079	0,0078820



Graf 3 - Porovnání vzorků 1-4 tepelná odolnost

Textilie s tepelně izolačními vlastnostmi, které teplo od těla odvádí, jsou pro tento typ oděvů nejvhodnější. Tepelný odpor R_{ct} charakterizuje odpor proti prostupu tepla vzorkem a je nejvíce ovlivněn strukturou vazby, tloušťkou tkaniny a materiálovým složením. Vzorek 4 vyšel ze všech měřených materiálů jako nejméně schopný izolace tepla.

5.7 Diskuze výsledků

Tabulka 23 - Porovnání výsledků měření

Přehled parametrů tkanin a průměrné hodnoty testovaných fyziologických vlastností				
Parametr tkaniny	1	2	3	4
Plošná hmotnost [g/m^2]	95	180	150	95
Struktura vzorku	Kepr 2/1	Kepr 2/1	Kepr 2/1	Plátno
Materiálové složení	98,5 % PES 1,5 % uhlíkové vlákno	98 % PES 2 % uhlíkové vlákno	99% PES 1% uhlíkové vlákno	99 % PES 1 % uhlíkové vlákno
Tloušťka textilie [mm]	0,172	0,299	0,370	0,194
Prodyšnost [mm/s]	123,25	85,92	113,48	106,71
Propustnost vodních par W_d [g/m^2.h.Pa]	0,8407	0,7388	0,6159	1,0241
Tepelná odolnost R_{ct} [m^2.K/ W]	0,0139	0,0109	0,0108	0,0080

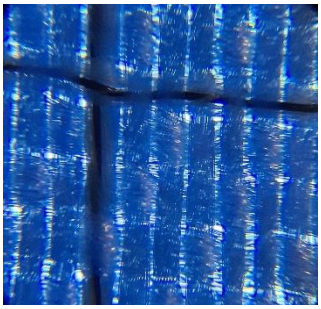
Tloušťka textilie

Tloušťka textilie je dána především jemností vláken a strukturou textilie (vazba a hustota provázání). Tato geometrická vlastnost nemá přímý vliv na oděvní komfort, ale přímo ovlivňuje některé vlastnosti, které určují oděvní komfort plošných textilií. Předpokládat, že u tenčích textilií bude propustnost par a vzduchu největší a plošný odpor vedení tepla menší, není jednoznačný a dokazuje to i tabulka srovnání výsledků měření.

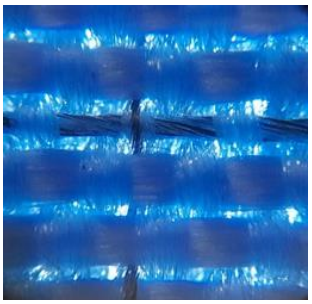
Prodyšnost

Prodyšnost plošné textilie velice úzce souvisí s její strukturou. Velmi výraznou roli sehrává způsob provázání osnovních a útkových nití, resp. typ vazby. Delší neprovázané úseky nití mohou „plavat“ v proudu vzduchu, vzájemně se oddalují a prodyšnost se zvyšuje. V důsledku silových účinků proudícího vzduchu se tkanina deformuje a její struktura se mění. [19]

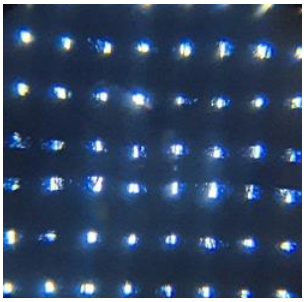
Nejlepších výsledků bylo dosaženo u vzorku 1 s nejmenší plošnou měrnou hmotností a tloušťkou. Vzorek 4, který má stejnou měrnou plošnou hmotnost jako vzorek 1 a má o dvě setiny milimetrů větší tloušťku, takových výsledků nedosáhl. Ze snímků pořízených mikroskopem je patrné, jak pórovitost a způsob provázání osnovních a útkových nití tuto vlastnost ovlivňuje. U vzorku 4 jsou více patrné póry mezi jednotlivými vaznými body než mezi jednotlivými vlákny osnovních a útkových nití. U vzorku 3, který dosáhl lepších výsledků než vzorek 4 i s dvojnásobnou tloušťkou textilie, můžeme pozorovat větší pórovitost osnovních nití.



Obrázek 55 - Vzorek 1



Obrázek 56 - Vzorek 3



Obrázek 57 - Vzorek 4

Z dosažených výsledků ale vyplývá, že všechny zkoušené materiály mají dobrou prodyšnost a vyhovují požadavkům na pracovní oděvy.

Propustnost vodních par

Termofyziologický komfort oděvů resp. textilií lze jednoduše charakterizovat pomocí dvou základních parametrů: tepelného a výparného odporu. Tento druhý parametr má mimořádně důležitou funkci při ochlazování těla odpařováním potu z lidské pokožky.[16] Paropropustnost závisí především na struktuře textilie a na materiálovém složení a s ním spojené schopnosti sorpce vlhkosti.

Propustnost vodních par R_{et} u zkoušených materiálů byla vypočtena jako aritmetický průměr ze tří měření. Z testovaných materiálů nejlépe vyšel vzorek 4, ovšem všechny vzorky svými výsledky spadají do kategorie $R_{et} < 6$, což je hodnoceno jako velmi dobré.

Tepelná odolnost

Tepelný odpor je také velice důležitá vlastnost textilií. Je to odpor, který klade materiál proti průchodu tepla textilií. Čím je tato hodnota nižší, tím materiál méně izoluje a teplo vytvořené tělem proudí lépe ven. Tepelný odpor je nejvíce ovlivněn strukturou vazby, materiálovým složením a tloušťkou textilie.

Tepelná odolnost R_{ct} byla vypočtena také jako aritmetický průměr ze tří měření. Podmínky pro měření byly stejné, jako u hodnocení propustnosti vodních par. Nejméně tepelně izolační schopnost vykazoval vzorek 4 díky tloušťce a menší pórovitosti mezi jednotlivými vlákny osnovních a útkových nití. Vzduch uzavřený v pórech textilie má mnohem větší podíl na tepelné izolaci než vlastní vlákna.

5.8 Návrh konstrukčního řešení

Jeden z návrhů na optimalizaci oděvů do čistých prostor je konstrukční řešení. Při tvorbě pracovních oděvů je důležitá střihová konstrukce. Každý druh pracovního oděvu musí zajišťovat naprostou svobodu a převládající typ pohybu musí být předmětem zvláštní analýzy. Je třeba zkoumat celou škálu pohybů a směr sil, zvláště těch, které vyvolávají napnutí tkaniny. Získané parametry určují buď přídavky ke konstrukčním rozměrům, nebo potřebnou roztažnost oděvního materiálu.

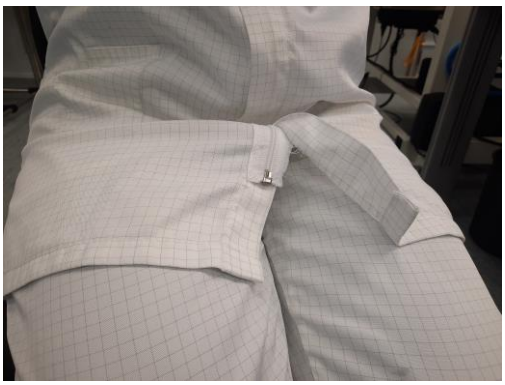
I přes snahu co nejvíce zlepšit ergonomii na pracovišti je často pracovní pozice operátora výroby sedícího u stolu v mírném předklonu s předloktím či lokty opírajícími se o desku pracovního stolu nebo o jeho hranu. V této poloze může být pro pracovníka oděv omezující díky příčnému tlaku vznikajícímu v oblasti zad a ramenou a může docházet k jeho poškozování.

Oblast trupu je tvarově nejsložitější částí lidského těla a závisí na tvaru a rozměrech hrudního koše, sklon ramen, tvaru zad a prsních svalů zvláště u žen.[32] Ramenní kloub patří k nejpohyblivějším kloubům na lidském těle a dochází zde velkým rozdílům mezi statickými a dynamickými rozměry. Vzhledem k téměř nulové pružnosti textilie je vhodné zvolit jiný typ rukávu. Klínový rukáv umožňuje mnohem lepší usazení výrobku na ramenou a v horní části trupu obecně.

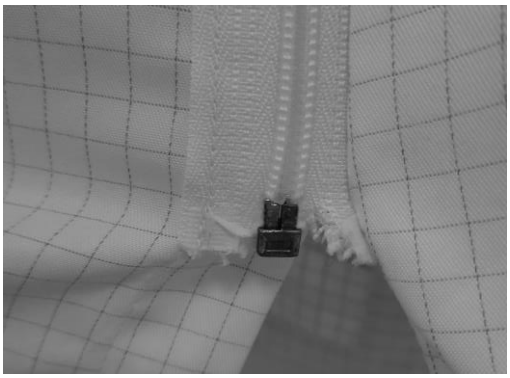
Obrázek 58 – Příčný tah v oblasti zad

Obrázek 59 - poškození oděvů

I další problém představuje blůza, která je rovného střihu s délkou sahající pod sedovou přímku. Tzv. dynamický efekt je rozdíl mezi některými rozměry měřenými vstoje a vsedě a těmito hodnotami by měla být konstrukce oděvu modifikována. Svou roli hrají i somatické odchylky, které hodnotíme z hlediska souměrnosti, držení těla, délkového a proporčního členění lidské postavy, proměnlivosti obvodových rozměrů tzv. plnosti a polohy a tvaru části těla. Spolu s nevhodnou délkou oděvu dochází k příčnému tlaku v oblasti sedu, který může způsobit poškození oděvu.



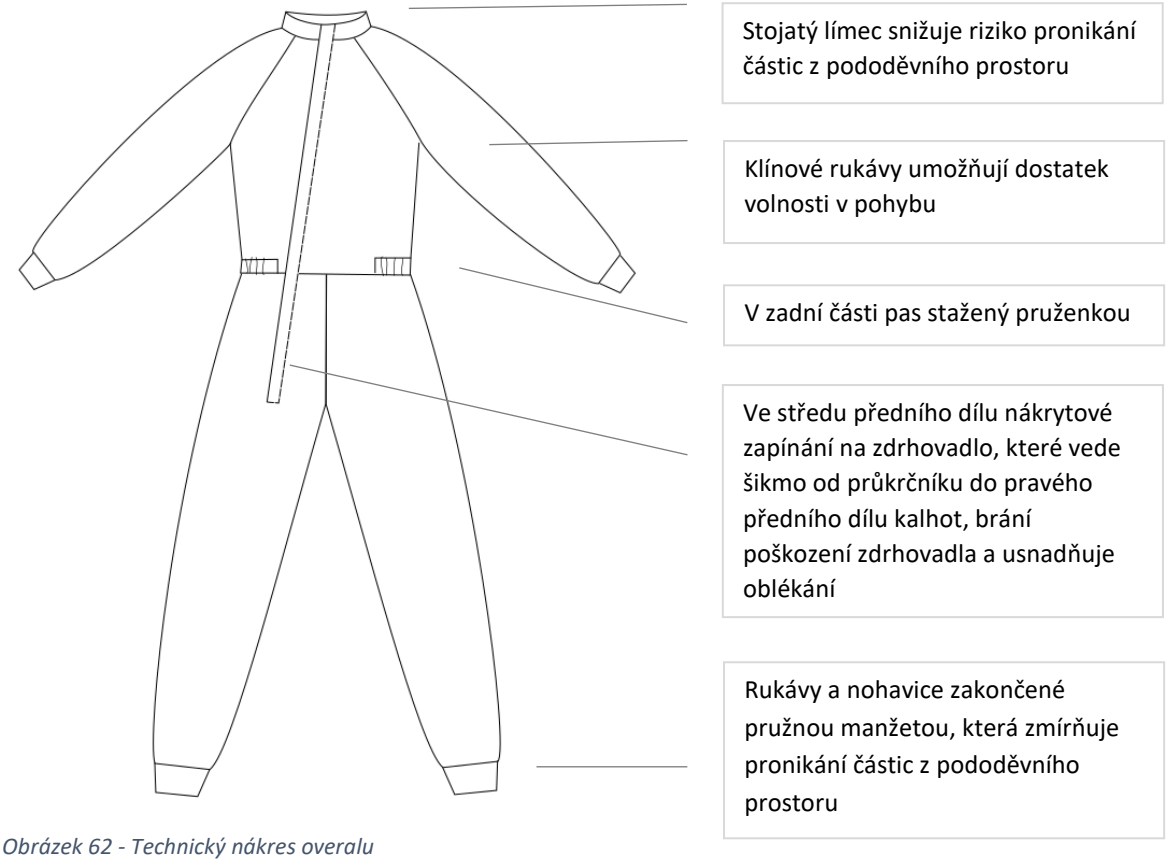
Obrázek 60 - Poškození oděvu



Obrázek 61 - Poškození zdrhovadla

V tomto případě jsou použita spirálová zdrhovadla, která mají vysokou pevnost v ohybu a vysokou příčnou pevnost. I přesto dochází k jeho poškozování, např. k prodření, či odlepení zpevňovací folie u dolního okraje, nebo vytržení pinu z tkanice v dolní zarážce vlivem již zmíněného příčného tlaku, který je vyvíjen při sezení.

Navrhovaným řešením je jednodílný overal volného střihu s klínovými rukávy, které zajistí dostatek volnosti v pohybu.



Obrázek 62 - Technický nákres overalu

6 Závěr práce

Čisté prostory jsou prostředí, kde je řízena koncentrace částic ve vzduchu podle určitých limitů. Částice jsou do prostředí emitovány lidmi, technologií, údržbou a zařízením. Od oděvu určeného do čistých prostor se očekává, že zabezpečí zachování odpovídající čistoty v čistém prostředí. Proto jsou požadavky na oděvy do čistých prostor směřovány na vlastnosti bránící kontaminaci. Vlastnosti jako je filtrační schopnost - nepropustnost částic (prachové částice, bakterie … 0,5 - 5 µm), minimální úlet částic, trvalé antistatické vlastnosti, trvanlivost těchto efektů v údržbě, odolnost vůči stárnutí, či možnost dekontaminace a sterilizace (opakované), však mnohdy stojí proti sobě s fyziologickými vlastnostmi, které mají zajistit přijatelné podmínky pracovní pohody pracovníků.

Cílem bakalářské práce bylo navrhnout optimalizaci pracovního oděvu ve výrobní společnosti, jejíž výroba je situována v čistém prostředí třídy ISO 7. Stávající pracovní oděv je dvoudílný a jeho konstrukční řešení má za následek nedostatečnou volnost pohybu pracovníka a poškozování oděvu vlivem namáhání. Zároveň byla snaha zjistit, zda by změna materiálu pomohla ke zlepšení fyziologických vlastností oděvů. Požadavky na bariérové vlastnosti oděvů ovlivňují oděvní komfort a tím i pracovní pohodu pracovníka. Proto byly otestovány různé typy tkanin poskytnuté výrobcem oděvů do čistých prostor z hlediska jejich oděvního komfortu a na základě naměřených výsledků byly tyto tkaniny porovnány.

K provedení experimentu byly vybrány čtyři tkaniny, určené pro výrobu oděvů do čistého prostředí se stejným materiálovým složením lišící se pouze podílem uhlíkového vlákna, a s různou vazbou a plošnou hmotností (VZORKY 1 – 4). Testovanými vlastnostmi byly prodyšnost textilií, propustnost vodních par a tepelný odpor.

Na začátku experimentu byla změřena tloušťka všech testovaných materiálů. Tato geometrická vlastnost nemá přímý vliv na oděvní komfort, ale přímo ovlivňuje některé vlastnosti, které určují oděvní komfort plošných textilií.

Při měření prodyšnosti byly mezi zkoušenými vzorky výsledné hodnoty lišící se až o třetinu. Nejnižší prodyšnost byla zjištěna vzorku 2 s nejvyšší plošnou hmotností. Jeho strukturu a nižší pórovitost je možné vypozorovat ze snímku zhotoveného při mikroskopickém zvětšení. Naopak nejvyšší prodyšnost vykazoval vzorek 1 s nejmenší plošnou hmotností. V porovnání se vzorkem číslo 4, který má stejnou plošnou hmotnost a menší dostavu osnovy, se vzorky od sebe lišily typem vazby.

Propustnost vodních par u všech testovaných vzorků lze zařadit do kategorie „velmi dobrá propustnost par“. Vynikající hodnoty zjištěné u vzorků jsou zřejmě způsobeny tloušťkou, porozitou a materiálovým složením textilie. Nejlepších výsledků bylo dosaženo u vzorků číslo 1 a číslo 4 se stejnou, nejmenší plošnou hmotností a nejmenší tloušťkou ve srovnání se zbývajícími vzorky.

Poslední testovaný tepelný odpor Rct charakterizuje odpor proti prostupu tepla vzorkem a je nejvíce ovlivněn strukturou vazby, tloušťkou tkaniny a materiálovým složením. Nejméně tepelně izolační schopnost vykazoval vzorek 4 díky tloušťce a menší pórovitosti mezi jednotlivými vlákny osnovních a útkových nití. Vzduch uzavřený v pórech textilie má mnohem větší podíl na tepelné izolaci než vlastní vlákna.

Z výsledků vyplývá, že všechny materiály se jeví z hlediska fyziologického komfortu jako optimální. Nejlepších výsledků však bylo dosaženo u materiálů 1 a 4 s nejnižší plošnou hmotností a tloušťkou. Materiály se od sebe lišily typem vazby, která do určité míry ovlivňuje všechny testované vlastnosti. Proto by byly tyto tkaniny doporučeny jako nejvhodnější materiály k výrobě oděvů do čistých prostor dané třídy čistoty.

Dalším z návrhů na optimalizaci je konstrukční řešení. Vzhledem k nestálé snaze snižovat koncentraci částic ve vzduchu v čistém prostředí, se nabízí volba jednodílného overal. Současný oděv pro dané čisté prostory je dvoudílný. U takto konstrukčně řešeného oděvu nelze dostatečně zabránit pronikání částic z pododěvního prostoru. Změnou konstrukčního řešení se sníží riziko vzniku poškození, ke kterým dochází u současného dvoudílného oděvu, a volba klínových rukávů umožní mnohem lepší usazení výrobku na ramenou a v horní části trupu obecně.

Pocit diskomfortu pracovníků by se mohl řešit i vhodnějším pododěvem, neboť právě první vrstva je v přímém kontaktu s pokožkou uživatele a má zásadní vliv na tepelný režim během právě vykonávané činnosti.[16] K tomu efektivní spodní prádlo v kombinaci s oblečením do čistých prostor může poskytnout další snížení disperze. Vytvořit „předbariéru“ a snížit tak počet částic uvolňovaných z pokožky uživatele. Zvyšováním počtu vrstev oděvů a tím i počtu vzduchových mezivrstev, vzrůstá ale tepelná izolace a zhoršuje se komfort oděvu. Z tohoto důvodu bych doporučovala tento problém vícevrstvých souborů textilií rozvinout dalším rozborem a měřením.

Použítá literatura

[1] **Rubina Aleš**. Vzduchotechnické systémy pro čisté prostory operačních sálů. Brno : Společnost pro techniku prostředí, 2008. ISBN: 978-80-02-02065-3

[2] **Státní úřad pro kontrolu léčiv**. Výroba sterilních léčivých přípravků. sukl.cz. [Online] 1. 3. 2009. http://www.sukl.cz/leciva/vyr-32-dopl-1-verze-1.

[3] **Whyte, William**. Cleanroom Technology. West Sussex : Wiley, 2010. ISBN: 978-0-470-74806-0

[4] **ČSN EN ISO 1644-1**. Čisté prostory a příslušné řízené prostředí – Část 1:Klasifikace čistoty vzduchu. Brussels: European committee for standardization, May 1999.

[5] **ČSN EN ISO 1644-5**. Čisté prostory a příslušné řízené prostředí – Část 5:Provozování. Brussels: European committee for standardization, May 1999.

[6] **Mathauserová, Zuzana**. Čisté prostory. szu.cz. [Online] 23.11.2019. http://www.szu.cz/uploads/documents/cpl/Materily_ze_seminaru/Materialy_2009/mathauserova-19.3.pdf.

[7] **Státní úřad pro kontrolu léčiv**. Čisté prostory. sukl.cz. [Online] 1. 3 2009. http://www.sukl.cz/leciva/vyr-32-dopl-1-verze-1.

[8] **Státní úřad pro kontrolu léčiv**. Řízení rizik pro jakost. sukl.cz. [Online] 1. 8 2008. http://www.sukl.cz/leciva/doplnek-20.

[9] **VWR**. Oděvy. Vwr.com. [Online] 23. 11. 2019. https://cz.vwr.com/store/category/odevy/548450.

[10] **Tichý, David**. Návrh klimatizace čistého pracoviště pro elektrotechnický průmysl. Diplomová práce na Vysokém učení technickém v Brně. Brno : Fakulta stojního inženýrství, 2008.

[11] **SNDI**. Oděvy a příslušenství. http://cleanroom.elis.com/cs/. [Online] 15. 11. 2019 http://cleanroom.elis.com/cs/odevy/odevy-a-prislusenstvi.

[12] **Dastex**. Měření vzdušných bakterií produkovaných lidmi uvnitř Body Boxu. [Online] listopad 2015. https://www.hpcimedia.com/images/PDF/DASTEX.pdf.

[13] **Cleanroom Technology**. Ochranné oděvy od A po Z. www.cleanroomtechnology.com. [Online] 20. 11. 2019. https://www.cleanroomtechnology.com/news/article_page/A_to_Z_guide_to_protective_garments/148566

[14] **Sataton.** Testování textilií. www.sntatomall.com. [Online] 23. 11. 2019 https://www.satatonmall.com/p/helmke-drum-tester.html

[15] **Militký, Jiří**. Textilní materiály. Liberec : TUL - katedra textilních materiálů, 2002. ISBN 80-7083-644-X.

[16] **Hes, L.** Úvod do komfortu textilií. Liberec : Technická univerzita v Liberci, 2005. ISBN80-7083-926-0.

[17] **Oděvní komfort, fyziologie odívání**. Zpracovatelské a užitné vlastnosti oděvních materiálů – skripta. Liberec : TUL – katedra oděvnictví, 2019.

[18] **Burianová, L.** Fyzika - skripta. Liberec : TUL. 2017

[19] **Havrdová, M**. Příspěvek k hodnocení prodyšnosti oděvních tkanin. Disertační práce. Liberec : TUL, Katedra hodnocení textilií, 2004.

[20] **Militský, Jiří**. Textilní zkušebnictví - skripta. Liberec : TUL - katedra textilních materiálů. 2018.

[21] **Netkané textilie**. Liberec : TUL - textilní fakulta. 2018. skripta

[22] **Havelka, A**. Šicí nitě - skripta. Liberec : TUL. 2018

[23] **Mirka Dostalová, Mária Křivánková**. Základy textilní a oděvní výroby. Liberec : TUL, Katedra textilních struktur, 2001. ISBN 80–7083–504–4.

[24] **Neckář, Bohuslav**. Přednášky z předmětu struktura a vlastnosti vláken. Liberec : TUL, katedra textilních technologií.

[25] **Sitková, Pavla**. Obecná pravidla pro vstup do čistých prostor. SOP Čisté prostory. Přerov : Olympus Medical, 2019.

[26] **ESC**. Doporučené používání oděvů pro čisté prostředí. www.e-s-c.com. [Online] 8. listopad 2019. https://www.e-s-c.com/wp-content/uploads/2018/03/ESC_Cleanroom_Recommended_Garment_Use.pdf.

[27] **Sapai**. Praní prádla pro čisté prostory. www.sapai.vn. [Online] 30. listopadu 2019. http://www.sapai.vn/laundry-services-for-cleanroom

[28] **ČSN EN ISO 50 84** (80 0844):1998 – Textilie – Zjišťování tloušťky textilií a textilních výrobků

[29] **ČSN EN 11092** (800819):2014 - Textilie - Fyziologické účinky - Měření tepelného odporu a výparného odporu za stálých podmínek (zkouška pomocí vyhřívané desky simulující efekt pocení)

[30] **ČSN EN ISO 9237** (80 0817):1996 – Textilie – Zjišťování prodyšnosti plošných textilií

[31] **ČSN EN ISO 139** (80 0056):2005 – Textilie – Normální ovzduší pro klimatizování a zkoušení

[32] **Musilová, B**. Konstrukce oděvů –skripta, Liberec : TUL. 2018

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Příklad rizikového diagramu znázorňujícího hlavní zdroje mikrobiální a částicové kontaminace v čistých prostorách [3] 16
Obrázek 2 - Rukavice [9] 19
Obrázek 3 - Návleky na boty [9] 19
Obrázek 4 - Overal [9] 19
Obrázek 5 - Plášť [9] 19
Obrázek 6 - Dvoudílný oděv [9] 19
Obrázek 7 - Ochranné brýle [9] 19
Obrázek 8 - Kukla [9] 19
Obrázek 9 - Rouška [9] 19
Obrázek 10 - Boty [9] 19
Obrázek 11 - Čepice [9] 19
Obrázek 12 - Oděv třídy ISO 8 [8] 20
Obrázek 13 - Oděv třídy ISO 7-6 [8] 20
Obrázek 14 - Oděv třídy ISO 6-4 [8] 20
Obrázek 15 - měřící zařízení Bio Track v Body Boxu [12] 21
Obrázek 16 - Boby Box [12] 21
Obrázek 17 - testovací zařízení buben Helmke [14] 23
Obrázek 18 - PES multifil s aditivem (uhlíková čerň)[9] 25
Obrázek 19 - PES multifil - vetkané kovové vlákno[9] 25
Obrázek 20 - Zjišťování prodyšnosti plošných textilií a vrstev [16] 27
Obrázek 21 - prostup vodní páry na základě rozdílných parciálních tlaků [16] 28
Obrázek 22 - ztráta tepla kondukcí [17] 29
Obrázek 23 - Ztráta tepla konvekcí [17] 30
Obrázek 24 - Ztráta tepla evaporací [17] 31
Obrázek 25 - Řez tkaninou z multifilu 32
Obrázek 26 - Vlákno multifil 32
Obrázek 27 - Netkaná textilie 32
Obrázek 28 - Pružné manžety na rukávech [9] 36
Obrázek 29 - Stojatý límec [9] 36
Obrázek 30 - Stahovací spona [9] 37
Obrázek 31 - Zdrhovadlo [9] 37
Obrázek 32 - Spínací patentky [9] 37
Obrázek 33 - Dvojitý hřbetový šev 38
Obrázek 34 - Přeplátovaný šev 38
Obrázek 35 - Lemovací šev 38
Obrázek 36 - Obrubovací šev 38
Obrázek 37 - primární otvor prokládací pračky na praní [27] 40
Obrázek 38 - Sekundární otvor pračky do čistého prostředí [27] 40
Obrázek 39 - Skládání, balení oděvů v čistém prostředí [27] 40
Obrázek 40 - Kalhoty ISO 7 43
Obrázek 41 - Blůza ISO 7 43
Obrázek 42 - Obuv ISO 7 43
Obrázek 43 - Plášť ISO 8 43

Obrázek 44 - Vzorek 1 - 40x zvětšeno 49
Obrázek 45 - Vzorek 1, podsvícení - 40x zvětšeno 49
Obrázek 46 - Vzorek 2 - 40x zvětšeno 49
Obrázek 47 - Vzorek 2, podsvícení - 40x zvětšeno 49
Obrázek 48 - Vzorek 3 - 40x zvětšeno 49
Obrázek 49 - Vzorek 3, podsvícení - 40x zvětšeno 49
Obrázek 50 - Vzorek 4 - 40x zvětšeno 49
Obrázek 51 - Vzorek 4, podsvícení - 40x zvětšeno 49
Obrázek 52 - Přístroj SDL M021S 52
Obrázek 53 - Schéma měřicí jednotky s řízením teploty a přívodu vody 56
Obrázek 54 -Schéma tepelného chrániče s řízením teploty 56
Obrázek 55 - Vzorek 1 62
Obrázek 56 - Vzorek 3 62
Obrázek 57 - Vzorek 4 62
Obrázek 58 - poškození oděvů 63
Obrázek 59 - Příčný tah v oblasti zad 63
Obrázek 60 - Poškození oděvu 64
Obrázek 61 - Poškození zdrhovadla 64
Obrázek 62 - Technický nákres overalu 64

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Srovnání klasifikace tříd čistoty ISO 14644-1 a FS 209 [3] 11
Tabulka 2 - Třídy čistoty a odpovídající koncentrace částic [3]] 12
Tabulka 3 - Klasifikace tříd čistoty podle počtu maximálně přípustných částic dle vyhlášky č. 84/2008 Sb. [6] 14
Tabulka 4 - Použití oděvů podle třídy čistoty [11] 20
Tabulka 5 – Výsledky měření částic a bakterií metodou Body Box [12] 22
Tabulka 6 - Měrný elektrický odpor R_E [Ωm] při 65 [%] relativní vlhkosti a [20°C] [15] 24
Tabulka 7 - parametry tkanin pro oděvy do ČP 43
Tabulka 8 - cyklus výměny oděvů do ČP 44
Tabulka 9 - Ověřované parametry čistých prostor při monitoringu a jejich frekvence 45
Tabulka 10 - Parametry třídy čistoty ISO 7, ISO 8 45
Tabulka 11 - koncentrace pevných částic ve vzduchu - rok 2019 46
Tabulka 12 - mikrobiologická kontaminace - spady, rok 2019 46
Tabulka 13 Tabulka testovaných textilií 48
Tabulka 14 - tloušťka testovaných textilií 51
Tabulka 15 - Základní statistická charakteristika - Tloušťka textilií 51
Tabulka 16 - Rychlost průtoku vzduchu 53
Tabulka 17 - Základní statistická charakteristika - rychlost průtoku vzduchu 54
Tabulka 18 - Odolnost vůči vodním parám 57
Tabulka 19 - Základní statistická charakteristika - odolnost vůči vodním parám 57
Tabulka 20 - Propustnost vodních par 58
Tabulka 21 - Tepelná odolnost 60
Tabulka 22 - Základní statistická charakteristika - Tepelná odolnost 60
Tabulka 23 - Porovnání výsledků měření 61

Seznam grafů

Graf 1 - Porovnání vzorků 1-4 prodyšnost 54
Graf 2 - Porovnání vzorků 1-4 propustnost vodních par 58
Graf 3 - Porovnání vzorků 1-4 tepelná odolnost 60

Seznam rovnic

(1) Maximální povolená koncentrace částic..... 13
(2) Rovnice pro výpočet prodyšnosti..... 28
(2) Staovení výparného odporu..... 29
(4) Rovnice pro výpočet kondkce..... 30
(5) Rovnice pro výpočet radiace..... 30
(6) Rovnice pro výpočet konvekce..... 32
(7) Rovnice pro výpočet evaporace..... 32
(8) Rovnice pro výpočet respirace..... 32
(9) Podíl plochy zakryté osnovními nitěmi..... 35
(10) Podíl plochy zakryté útkovými nitěmi..... 35
(11) Celkové zarytí tkaniny..... 35
(12) Zakrytí osnovy – Köchlinův vztah..... 35
(13) Zakrytí útku – Köchlinův vztah..... 35
(14) Cover faktor tkaniny..... 35
(15) Stanovení porozity z podílu měrných hmotností..... 36
(16) Stanovení porozity z podílu objemů..... 36
(17) Stanovení porozity z plošného zakrytí textilie..... 36
(18) Rovnice pro výpočet prodyšnosti..... 53
(19) Rovnice pro výpočet propustnosti vodních par..... 58

Seznam příloh

Příloha 1

Vzorky testovaných textilií - počet stran: 1

Příloha č. 1 - Vzorky měřených textilií