



Zvýšení komfortu ochranných balistických vest

Diplomová práce

Studijní program: N3957 – Průmyslové inženýrství
Studijní obor: 3901T073 – Produktové inženýrství
Autor práce: **Bc. Ondřej Nádvorník**
Vedoucí práce: Ing. Hana Pařilová, Ph.D.





A comfort increasing of bulletproof vests

Master thesis

Study programme: N3957 – Industrial Engineering
Study branch: 3901T073 – Product Engineering

Author: **Bc. Ondřej Nádvorník**
Supervisor: Ing. Hana Pařilová, Ph.D.



Technická univerzita v Liberci
Fakulta textilní
Akademický rok: 2015/2016

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Ondřej Nádvorník**
Osobní číslo: **T14000492**
Studijní program: **N3957 Průmyslové inženýrství**
Studijní obor: **Produktové inženýrství**
Název tématu: **Zvýšení komfortu ochranných balistických vest**
Zadávající katedra: **Katedra hodnocení textilií**

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

1. Proveďte analýzu výroby ochranných vest v souvislosti s užitnými vlastnostmi v praktickém použití
2. Analyzujte místa na vestách, která se projevují jako diskomfortní
3. Pro firmu Argun Hradec Králové navrhnete inovaci stávajícího provedení ochranných vest

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy: **50 - 60 stran**

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

- HES, Luboš a Petr SLUKA. Úvod do komfortu textilií. Vyd. 1. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2005, 109 s. ISBN 80-7083-926-0.**
- HÜBSCHMANN, Karel. Kůže, orgán lidského těla. Praha: Academia, 1972. Nové obzory vědy.**
- KRUPICA, Dalibor. Studie využití prostředků balistické ochrany v SBS. Zlín, 2009. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta aplikované mechaniky. Vedoucí práce Ing. Ján Ivanka**

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Hana Pařilová, Ph.D.**

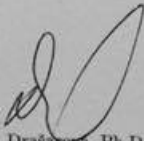
Katedra hodnocení textilií

Konzultant diplomové práce: **prof. Ing. Luboš Hes, DrSc.**

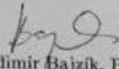
Katedra hodnocení textilií

Datum zadání diplomové práce: **30. března 2016**

Termín odevzdání diplomové práce: **5. května 2017**


Ing. Jana Drašarová, Ph.D.
děkanka




doc. Ing. Vladimír Bajzík, Ph.D.
vedoucí katedry

V Liberci dne 10. března 2017

Prohlášení

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

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

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

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

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

Datum:

Podpis:

PODĚKOVÁNÍ

Především bych rád poděkoval vedoucí mé diplomové práce paní Ing. Haně Pařilové, PhD. za odborné vedení a velikou dávku trpělivosti v průběhu dvou let, kdy tato práce vznikala. Dále panu prof. Ing. Luboši Hesovi DrSc, Dr.h.c. za ochotu konzultovat a zároveň veliký přínos, co se technické stránky mé práce týče. Dále bych chtěl poděkovat panu Bc. Petru Čermákovi a Ing. Zdeňce Lédrové za poskytnutí vzorků distančních pletenin, které byly testovány. Díky patří i Ing. Janě Grabmüllrové, Ing. Jitce Novákové a prof. Ing. Jakobovi Wienerovi, Ph.D. za pomoc při zpracovávání a ochotu konzultovat jakož i dalším lidem, kteří pomáhali při tvorbě této diplomové práce. Rodina a přátelé zaslouží dík za mentální podporu po celou dobu studia.

ANOTACE

Diplomová práce se zabývá uživatelským komfortem balistických vest. Byla zkoumána termoregulace dospělého člověka a hledán způsob jak ji zajistit i za předpokladu užívání neprodyšné balistické vesty. V krajních případech za nedostatečné termoregulace může dojít i ke kolapsům. Proto byl navržen oděv, který byl testován na schopnost vést kapalnou a plynnou vlhkost od lidského těla. Klíčem je, aby se vlhkost odpařovala vně balistické vesty a dostavil se tak chladicí efekt, čímž by byla zajištěna termoregulace.

KLÍČOVÁ SLOVA:

Komfort

Balistická vesta

Termoregulace

Vlhkost

Odpar

Chladicí efekt

ANNOTATION

The diploma thesis deals with user comfort of ballistic vests. The thermoregulation of the adult human was investigated and a way to ensure sufficient thermoregulation even with the use of an airtight ballistic vest was sought. In extreme cases collapse may occur due to insufficient thermoregulation. Therefore, a garment designed for the ability to conduct liquid and gaseous humidity from the human body was designed. The key is that moisture evaporates outside of the ballistic vest and thus comes to a cooling effect to ensure thermoregulation.

KEY WORDS:

Comfort

Ballistic vest

Termoregulation

Humidity

Evaporation

Cooling effect

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ:

KES	Kawabata evaluation systém
m	Metr
cm	Centimetr
mm	Milimetr
s	Sekunda
dT	Úbytek času
dU	Úbytek hmotnosti
kg	Kilogram
GPa	Gigapascal
Pa	Pascal
°C	Stupeň Celsia
K	Stupeň Kelvina
W	Watt
N	Newton
PES	Polyester
PAD	Polyamid
PESh	Nekonečné polyesterové vlákno
l	Litr
Prarop.	Paropropustnost

Obsah

Úvod.....	7
Cíl diplomové práce.....	7
Rešerše.....	8
1 Balistická vesta.....	11
1.1 Historie balistické vesty.....	12
1.2 Typy balistických vest.....	16
1.3 Princip fungování balistické vesty.....	18
1.4 Konstrukce balistické vesty.....	18
1.4.1 Vrstvy balistické vesty.....	20
2 Komfort.....	24
2.1 Termoregulace.....	25
2.1.1 Kolísání tělesné teploty.....	26
2.1.2 Tvorba a výdej tepla.....	27
2.1.3 Pot.....	31
2.3 Odvod kapalné vlhkosti z povrchu lidského těla.....	33
2.3.1 Kapilární vedení tekutin.....	34
2.3.2 Sušení.....	34
2.3.3 Vztlínání kapaliny do textilií.....	38
3 Charakteristika vzorků.....	39
3.1 Distanční pleteniny.....	39
3.1.1 Geometrické zaplnění distančních pletenin.....	40
3.1.2 Vlákná nekruhového průřezu.....	42
3.3 Testované vzorky.....	44
4 Experiment – paropropustnost, relativní výparný odpor.....	51
4.1 Propustnost vodních par.....	52
4.2 Permetest.....	54
4.3 Norma ISO11092.....	56
4.4 Postup měření.....	57
4.5 Výsledky měření.....	57
4.6 Vyhodnocení výsledků měření paropropustnosti a RET.....	64
5 Experiment – vedení kapalin distanční pleteninou.....	66

5.1 Princip měření	68
5.2 Výsledky měření odparu kapaliny z distančních pletenin.....	69
5.3 Vyhodnocení experimentu transportu kapaliny textilií.....	73
6 Experiment – test vzlínání	74
6.1 Norma ČSN 80 0828.....	75
6.2 Princip experimentu	75
6.3 Vyhodnocení výsledků experimentu sací výšky	77
7 Prototyp.....	77
7.1 Střih.....	78
7.2 Výroba prototypu	78
Závěr	80

Úvod

Tato práce se zabývá historií, konstrukcí a vrstvami, ze kterých se skládá balistická vesta. Neustálé vylepšování balistických vest, užívaných obranými složkami, je zaměřeno především na optimalizaci balistických plátů a střih vesty. Vylepšení balistické vesty z hlediska komfortu užívání je zatím nedostatečné. Balistické vesty jsou v podstatě neprodyšný oděv, zakrývající horní polovinu těla, který je při jejím používání velice diskomfortní. Nejproblematictější faktorem se jeví nedostatečná termoregulace organismu. Práce se snaží pro tento letitý, dosud neřešený problém najít vhodnou variantu řešení. Prvotní variantou řešení tohoto problému bylo přidání další vrstvy textilie pod stávající balistickou vestu. Tato vrstva by umožňovala vést kapalnou a plynnou vlhkost v ploše. Ukázalo se, že v případě přidání takovéto textilie vzniká následný problém. Tímto problémem je absence míst, na kterých se bude vlhkost odpařovat. Takovými místy by v tomto případě byly jen průramky, případně okraje vesty. Řešením zjištěného faktu by mohlo být vytvoření oděvu s rukávy umožňujícími odpar transportované vlhkosti. Balistické vesty se nenosí na holém těle, nýbrž na tričkách, případně blúzách. Nejméně komplikovanou formou vylepšení zmiňovaných vest, by tedy mělo být vyrobení takového oděvu, který by byl používán pod balistickou vestou a umožňoval by odvod potu z povrchu těla a jeho následný rychlý odpar hlavně v místech, kde je možná volná konvekce. Těmito místy jsou zejména rukávy. Existuje velké množství textilií používaných především k výrobě sportovních oděvů, kde výzkum byl již přímo zaměřen na odvod potu z těla a jeho následný rychlý odpar. Tyto textilie by tedy měly zmíněné požadavky splňovat. Konstrukce a složení vrstev zásadně ovlivňují možnosti úprav vesty z hlediska komfortu užívání. Dále se práce zabývá komfortem a termoregulací organismu. Právě zlepšení termoregulace je cílem této práce. Podstatou úpravy je výroba oděvu, který by byl nošen pod balistickou vestou a odváděl pot, který by se vypařoval vně balistické vesty. Příslušné textilie jsou testovány na přístroji Permetest, kde je testována schopnost vést vlhkost ve formě páry a stejné textilie jsou testovány na schopnost vést kapalnou vlhkost. Na základě výsledků

z jednotlivých měření byly vybrány textilie vhodné pro výrobu oděvu usnadňujícího termoregulaci. Vyroběný oděv slouží k lepší termoregulaci. Ochranu proti chemikáliím, případně extrémnímu horku tato práce neřeší.

Cíl diplomové práce

Cílem práce je najít způsob, jak zlepšit termoregulaci uživatelů ochranných balistických vest, pomocí změn stávajících materiálů, nebo přidáním dalších materiálů dovnitř případně vně vesty. Prostředkem k lepší termoregulaci je zajištění snížení tepelného a výparného odporu neprůstřelné vesty a zvýšení schopnosti odvádět kapalnou vlhkost z povrchu těla a její následné snazší odpaření. Použité materiály budou testovány na schopnost vést vlhkost ve formě kapaliny a plynu. Měření by mělo simulovat co nejnějněji budoucí podmínky použití vesty. Je důležité zaměřit se na vedení bez volné konvekce, protože při použití textilie pod balistickou vestou nebude odpar ve formě volné konvekce možný. Měření budou probíhat na přístroji Permetest, popřípadě na téže přístroji s aplikací větracích zařízení mimo měřící komoru, aby se simulovala schopnost vést páru bez volné konvekce. Textilie budou dále testovány na schopnost vést kapalnou vlhkost.

Rešerše

Práce se zabývá zvýšením komfortu užívání balistických vest z hlediska termoregulace uživatele. Předmětem inovace bude přidání textilie, která může vést parní a kapalnou vlhkost od lidského těla. Průběh takovýchto měření stanovuje několik norem. Celá řada absolventských prací se zabývá hodnocením komfortu a paropropustnosti, testování je ovšem povětšinou prováděno na tkaninách nebo zátažných pleteninách. Použití distančních pletenin na oděv zatím hodnoceno nebylo. Zde jsou popsány studentské práce, které se zabývají podobnou problematikou, a jejich závěry a poznatky je možné při měření v této práci použít.

Miroslava Reková – Vliv struktury vzorku na měření paropropustnosti dle normy ISO 11092

Práce se zabývá měřením hladkých a hrubých vzorků na přístroji Permetest. Proměřeno bylo 6 vzorků, 3 s hrubým povrchem a 3 hladké. Měření probíhalo standardně na jedné vrstvě a poté byly proměřeny dvě vrstvy textilie – takzvané dvojité měření. Dvojité měření bylo zařazeno kvůli lepší přesnosti měření zejména vzorků s hrubým povrchem. Drsnost povrchu byla zjišťována na přístroji KES.

Z výsledků práce vyplývá, že norma ISO 11092 je přesná na měření hladkých vzorků, u vzorků s drsným povrchem může docházet k nepřesnostem z důvodů narušení laminární vrstvy, nárůstu tlakové ztráty a vzrůstu přestupu tepla, což má za následek i vzrůst výparného odporu. [7]

Teoretické poznatky z práce, zejména z kapitol o termoregulaci a normě ISO 11 092, jsou důležité i pro zpracování této diplomové práce. Poznatky ze samotného měření se aplikovat nedají, protože tato práce bude vyhodnocovat normu ISO 11 092 pro distanční pleteniny. Tedy pleteniny obsahující dvě vrstvy osnovních nebo zátažných pletenin, spojených vlákny tvořícími dutinu, kde může docházet k vedení parní a kapalné vlhkosti.

Bc. Tereza Peichlová – Hodnocení polopropustnosti smart textilií pro sport

Práce se zabývá měřením paropropustností textilií používaných na sportovních oděvech. Autorka naráží na nedostatečné testování textilií, z kterých se následně vyrábí oděvy. Pokud testování probíhá, je dost časté, že vzorky jsou testovány v Asii, za nedostatečné kontroly podmínek testování, což vede k zavádějícím výsledkům, a zákazník tak může při koupi takového výrobku utrpět újmu, pokud uvedené hodnoty nejsou v souladu se skutečností. V práci bylo testováno několik skupin smart textilií (13 vzorků rozdělených do 6 skupin) a na základě výsledků byly stanoveny ideální podmínky pro laboratorní testování. Laboratoř by měla být schopna testovat nejen materiály, ale i celé oděvy.

Práce zevrubně popisuje jednotlivé normy, přístroje a podmínky, za kterých se testování podle zmíněných norem provádí. Především měření gravimetrické, které bude

prováděno i v této práci, je velice náchylné na podmínky měření. Ve většině případů má v asijských zemích vlhkost vzduchu jiné hodnoty, než v zemích evropských.

Měření na přístroji bude v této práci probíhat za standardních klimatizovaných podmínek. Velice důležitým poznatkem této práce je, že vzorky by při testování měly být v místnosti, kde bude probíhat měření, nejméně 24 hodin před testováním. Tento poznatek byl aplikován při měřeních prováděných v této práci.

Bc. Markéta Urbanová – Vliv povrchové struktury a textury úpletů na jejich tepelný a výparný odpor

Práce se zabývá testováním paroprostnosti a dalších kritérií hodnotících komfort při nošení pletenin. U pletenin je uvažováno jak nošení přímo na těle, tak i nošení jako druhá nebo třetí vrstva oděvu. Zkoumá se vliv žebrování na pletenině, jeho hloubka, tloušťka pleteniny a jemnost bavlněné příze.

Ačkoliv bylo v práci testováno primárně žebrování na pleteninách, jasně se ukazuje, že testování na rubní a lící straně vykazovalo různé hodnoty. V této práci je velice důležité testovat všechny vzorky stejným způsobem z hlediska orientace rubní a lící strany. Technická rubní a lící strana byla stanovena u všech vzorků před měřením. U standardních pletenin stoupal výparný odpor s plošnou hmotností vzorků. Poznatky z měření prováděných na žebrovaných pleteninách nejsou pro tuto práci směrodatné, protože tato práce se zabývá měřením hodnot paropropustnosti a relativního výparného odporu distančních pletenin, které využívají dvě vrstvy zátažných nebo osnovních pletenin prokázaných vlákny tvořícími dutinu mezi těmito dvěma vrstvami.

1 Balistická vesta

Slouží k uložení balistických plátů, které mají zajišťovat ochranu životně důležitých orgánů uživatele. V dnešním chápání je neprůstřelná vesta ochranný oblek, většinou více či méně pokrývající trup, zhotovený z pevných materiálů, který je odolný proti střelám z ručních palných zbraní a chrání také proti střepinám z granátů a min. Vesty také v různé míře odolávají útoku bodnou zbraní. Princip odolnosti spočívá v použití vláken s vysokou pevností v tahu. Většina běžných střel se při zásahu deformuje a rotuje, čímž na sebe zachytává vlákna a snaží se je při prostupu natáhnout, čemuž brání extrémní pevnost těchto vláken. Při dopadu projektilu na povrch Kevlarového (keramického) plátu ve vestě dojde k jeho zploštění. Účelem je dosáhnout deformace kulky ještě před vstupem do vrstvy Kevlarových vláken a rozložit kinetickou energii na větší plochu. [6] Většina materiálů má sníženou odolnost, pokud je namočena, protože voda působí jako mazivo pro projektily a navíc jako změkčovadlo polyamidů (Kevlarová vlákna) - snižuje pevnost a zvyšuje tažnost. Proto se vesty vyrábějí s vrstvami neprůstřelného materiálu s vodoodpudivou úpravou, popřípadě se Kevlarové pláty vkládají do nepromokavých vaků. Vesty se dále vybavují tzv. protišokovými vložkami. Je to vrstva nejbližší tělu a absorbuje kinetickou energii a rozloží ji na větší plochu povrchu těla. Tato vrstva se do balistické vesty umísťuje zejména proto, aby se zabránilo traumatickým poraněním a následné smrti z důvodu poranění vnitřních orgánů. Jako poslední vrstvu uvnitř balistické vesty nalezneme vložku proti noži, která chrání před zraněními ostrým i předměty.

V posledních letech se podařilo pomocí využití Kevlarových a dalších moderních vláken zajistit vysokou spolehlivost balistických vest. Ty se tak staly nedílnou součástí ozbrojených složek sátu. Výrobci se v současné době snaží kromě spolehlivosti balistických vest zapracovat i na komfortu jejich užívání. Největšími problémy, které policisté a vojáci často skloňovali, bylo nepohodlný střih vesty a zvýšené pocení uživatele při jejím nošení, zejména v oblasti podpaží a zad, okolo páteře a také břicha. První problém se pomocí změny v oblasti střihu vesty podařilo poměrně rychle vyřešit, druhý problém ovšem zatím vyřešen není. Při použití neprůstřelné vesty je většinou

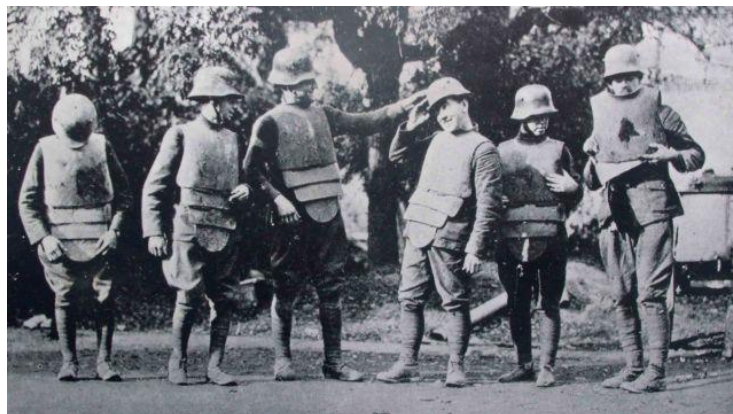
vyvíjena tělesná aktivita a rovněž je uživatel většinou vystaven stresové situaci. To zapříčiňuje zvýšení tělesné teploty. Následuje termoregulace, pomocí které se má vyrovnat rozdíl množství tepla vytvořeného organismem a množství tepla v okolí organismu. Důsledkem toho se člověk více potí, aby tak ochladil organismus, což ovšem pro uživatele neprůstředné vesty není komfortní, protože odpar je pod balistickou vestou prakticky nemožný. Nejčastějším problémem při používání neprůstředné vesty z hlediska komfortu nošení je tak tepelný a výparný odpor použitých materiálů, případně schopnost odvádět tekutou vlhkost z povrchu těla a zajistit její odpar mimo balistickou vestu. Pouhou jednoduchou úpravu materiálu komplikují Kevlarové pláty uvnitř vesty, které nesmí přijít do kontaktu s kapalinou, protože při navlhčení Kevlarových vláken se rapidně snižuje jejich pevnost a odolnost. Nelze tak pouze jednoduše zaměnit použité povrchové materiály, použít materiály prodyšnější a zvýšit tak celkovou paropropustnost. Z tohoto důvodu nepadá v úvahu použití moderních materiálů, jako jsou například membrány. Odvod vlhkosti od těla by mohly zajišťovat distanční pleteniny pro vedení tekuté vlhkosti v rovině, které by se umístily jako první vrstva, která je nejbližší tělu.

1.1 Historie balistické vesty

Historie ochrany proti střelným zbraním sahá daleko do minulosti, do doby, kdy se vojáci začali chránit před šípy nepřátel. Tato práce se ovšem bude zabývat moderním pojetím balistických vest, tedy moderní historií balistických vest, které velice připomínají vesty, jak je známe dnes.

V průběhu 80. let 19. století začal Dr. George Emery Goodfellow s výzkumem hedvábných vest. Tyto vesty fungovaly na principu středověkých prošíváných kabátů, které využívaly 18 až 30 vrstev tkaniny jako ochranu před šípy. Závěry Dr. Goodfellowa využil polský katolický kněz Casimir Zeglen a vyvinul neprůstřednou vestu z hedvábné tkaniny, která dokázala zastavit střely z ručních zbraní na černý prach. Takovou vestu měl na sobě dne 28. června 1914 rakouský arcivévoda František Ferdinand D'Este, vesta ho před smrtelným zraněním ovšem nemohla ochránit, protože arcivévoda byl zasažen do krku, který vesta nechránila. [11]

V období první světové války se objevují balistické vesty, jak je známe dnes. Pro pěchotu se používaly balistické vesty inspirované středověkým brněním, ocelové pláty byly schopné zastavit kulku letící až $820 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ vypálenou z kulometu Lewis, ovšem v boji se tyto vesty nebo spíš brnění nepoužívaly. Tato zbroj totiž vážila přes 15 kg a velmi tak snižovala pohyblivost. [11] Jako první začalo výrazněji používat balistické vesty letectvo, u něhož vznikla potřeba chránit posádku letadla, protože pancéřování letadel z daleka neodolávalo protiletadlové palbě ze země a výcvik pilotů byl značně dražší než výcvik pěchoty. Protože nebylo možné zvýšit pancéřování letadla, letadla by pak byla moc těžká, přišla na řadu balistická vesta. Nejdříve se používaly klasické plátové zbroje připomínající brnění. Tento oblek ale natolik snižoval pohyblivost, že se do bojového nasazení nedostal. Jak už bylo zmíněno výše, ke stejnému závěru dospěly i pozemní jednotky, které brnění také testovaly. V období mezi oběma světovými válkami se vývoj balistických vest zastavil a na balistickou vestu se hledělo jako na vývojový omyl a slepou uličku.



Obrázek 1 – němečtí vojáci s balistickými vestami z ocelových plátů [25]

Opětovné používání balistických vest v letectvu nastalo roku 1943. Německé protiletadlové kanony Flak, jejichž střepiny decimovaly posádky spojeneckých letadel, donutily spojence začít znovu obnovovat vývoj balistických vest. Protože zranění a krvácení členů posádky nebylo možné za letu efektivně ošetřit, bylo nutné vyvinout způsob ochrany a těmto zraněním předejít. Spojenecké letectvo začalo u posádek bombardérů B-17 používat vestu Flak Jacket vyráběnou společností Wilkinson Sword.

Tato vesta se tak stala jednou z prvních balistických vest, jak je známe dnes. Vesta byla konstruována z nylonových vláken tedy polyamid 6.6, a kovových destiček. Vesta obsahovala veliké množství kovových destiček, které měly sloužit jako hlavní ochranný prvek, a váha takové vesty byla proto poměrně vysoká. Samotné armádní předpisy je doporučovaly oblékat až těsně před dosažením cíle nebo silně bráněné oblasti. Vesta chránila trup a podbřišek, doplňovala se ocelovou přilbou. [10] Vesty měly především chránit posádku od dopadajících střepin šrapnelu, na přímé zastavení projektilů konstruovány nebyly. [11] Přestože vesty byly ještě značně nedokonalé, jejich nasazení bylo hodnoceno jako vhodné a úspěšné.



Obrázek 2 – Spojeneční piloti používající balistické vesty z nylonových vláken [27]

Kanadská armáda používala balistické vesty především u zdravotních složek. Ruská armáda vyvinula několik typů zbrojí, ovšem do výroby se dostal jen jeden SN-42 (číslovka 42 značí rok vzniku vesty). Zbroj se sestávala z dvou ocelových plátů chránících trup a třísla. Pláty byly 2mm silné a vážily 2,5 kg. Zbroj používala především pěchota přepravovaná na tancích. Zbroj dokázala zastavit projektily německých samopalů MP40 ráže 9mm a hojně se proto používala při střetech v zástavbě. Pro boj v otevřené krajině se vesta neosvědčila především kvůli své váze, která snižovala mobilitu vojáků. [11] Ve druhé světové válce se oproti první válce vsázelo na mobilitu

jednotek a rychlý přesun v otevřeném terénu. Balistické vesty tak našly svoje uplatnění při boji ve městech, v otevřených krajinách bylo jejich použití kvůli jejich váze problematické.



Obrázek 3 – Ruský voják používající vestu SN - 42[26]

Masivního nasazení se balistická vesta dočkala ve válce ve Vietnamu. Díky neustálému zlepšování vlastností nylonových vláken se balistické vesty staly takřka standardem. Používaly je především posádky vrtulníků, ale hojně je využívala také pěchota. Vesty používané ve Vietnamu výrazně ztratily na váze oproti vestám z konce druhé světové války a poskytovaly tak uživatelům značně vyšší uživatelský komfort. Jejich hlavním úkolem ovšem nebylo zastavování projektilů, jako tomu je nyní, nýbrž ochrana před střepinami. Hlavním materiálem těchto balistických vest byl nylon doplněný o pláty z ocele nebo jiných lehkých slitin. U letectva se používaly i vesty s jednolitým velkým plátem chránícím trup a hrudník. Tuto vestu pozemní jednotky nepoužívaly, pevný plát snižoval pohyblivost. Časem byl pevný plát rozdělen na několik částí.

Po vynálezu Kevlarových vláken, která patentovala na začátku 70. let firma DuPont, došlo k radikálním změnám v konstrukci balistických vest. [10] Kevlar byl okamžitě testován Úřadem pro vývoj ve Spojených státech jako lehký a tenký materiál, ze kterého je možné vyrobit balistické vesty pro skryté nošení. Kevlar byl rychle přijat a plošně využit v balistických vestách pro ochranné a armádní složky. Později byla do Kevlarových balistických vest přidávána protišoková vrstva, která má zmírnit následky předané energie při dopadu projektilu na balistický plát a zmírnit nebo zabránit

možnosti traumatických poranění vnitřních orgánů. [11] Dalším konstrukčním materiálem na trhu je Twaron a TwaronHighTenacity, Aramidová vlákna která jsou velmi podobná kevlaru. V roce 1985 bylo uvedeno na trh polyetylenové vlákno Spectra. Má ultra vysokou molekulární hmotnost, pevností převyšuje ocel a přitom plave na vodě. Z vlákna je vyráběn netkaný materiál SpectraShield. Je tvořen souběžně položenými vlákny Spectra zalitými v pružné pryskyřičné matici. Pokaždé dvě vrstvy s navzájem kolmo orientovanými vlákny jsou pak zality do velmi slabé polyetylenové fólie. Ta zaručuje i značnou odolnost materiálu proti otěru a vlhkosti. SpectraShield je charakteristický svou vynikající odolností proti opakovaným zásahům, střelám s vysokou rychlostí (*např. z pušky M-16* využívané armádou USA) a odolností proti šikmým zásahům. Nejnovější materiály jsou tenčí, lehčí a pevnější než Kevlarová vlákna, jsou ale také výrazně dražší. I proto zůstává nejvíce využívaným materiálem Kevlar. Většina současných vest má vpředu kapsu, díky které je použití štítu bezproblémové. Štíty se dělají z různých materiálů a v různých provedeních. Kov, keramické hmoty, keramicko-kovové sendviče, monolitní provedení, destičky. Hlavní úlohou štítu není střelu zastavit, ale zdeformovat tak, aby se do vlastního zastavení střely a pohlcení její energie mohl zapojit dostatečný počet vláken balistického panelu. Štít vestu navíc také vyztužuje, což má vliv na rozložení nárazu po dopadu střely na větší plochu těla, čímž je lépe fyziologicky snášen.

Druhů různých neprůstřelných vest je dnes velké množství. Běžné jsou vesty pro skryté nošení. Taktické vesty zásahových jednotek s velkým množstvím upínacích prvků pro zbraň, zásobníky, vesty s límcem a panelem chránícím podbřišek. Balistické vesty byly zásadně odlehčeny, což umožnilo jejich masivní používání. Armáda používá především velké taktické balistické vesty. Policie hojně využívá oba typy vest v závislosti na situaci.

1.2 Typy balistických vest

Balistické vesty se dělí do dvou skupin podle způsobu použití na vesty pro skryté nošení a vesty pro vrchní nošení. Nedá se říci, že by jedna skupina byla využívána výrazně víc než druhá. Vesty se dále liší podle tříd odolnosti. Liší se tedy podle způsobu použití od

vest s naprosto hladkým svrchním materiálem až po taktické vesty s celou řadou kapes, úchopů na zásobníky a karabiny apod.



Obrázek 4 – balistická vesta určená pro skryté nošení [23]

Jak napovídá název, balistické vesty pro skryté nošení jsou nošeny pod svrchním oděvem a jsou vyráběny tak, aby byly co nejhladší a nejtenčí. Jsou primárně určeny pro ochranu před kulkami z ručních zbraní a jako ochrana před útokem nožem. Nízkou možnost termoregulace ještě více snižuje fakt, že přes vestu se nosí další svrchní oděv. Nicméně vesta je daleko lehčí než taktická balistická vesta určená pro svrchní nošení. Hmotnost balistické vesty pro skryté nošení se pohybuje v rozmezí 1,5 – 2,5 kg, oproti tomu hmotnost taktické vesty může dosahovat až 15,5 kg. K této váze ještě musíme připočítat hmotnost zásobníků a dalšího vybavení, které většinou voják či policista nosí na vestě připevněné.



Obrázek 5 – taktická balistická vesta [24]

Taktické balistické vesty využívají především ozbrojené složky a speciální policejní jednotky. Balistická vesta se nosí na oděvu, který je určen jako svrchní. Tento oděv pak absorbuje pot a teplo z organismu. Neprodyšnost svrchních vrstev balistické vesty komplikuje použití neprodyšných materiálů, do kterých jsou vloženy balistické pláty. Vysoká hmotnost taktických vest, která může dosahovat až 15,5 kg, zvyšuje nároky na výkon organismu, který se následkem toho přehřívá. Termoregulaci organismu prostřednictvím pocení komplikuje nedostatečná plocha odparu. Výměnou používaného oděvu za oděv z moderních vláken by bylo možné dosáhnout lepší termoregulace. Na obrázku číslo 5 vidíme vestu s bočními pláty na rukách, která začala být používána během války v Iráku, kdy byli příslušníci americké armády často zraněni boční palbou nepřátel.

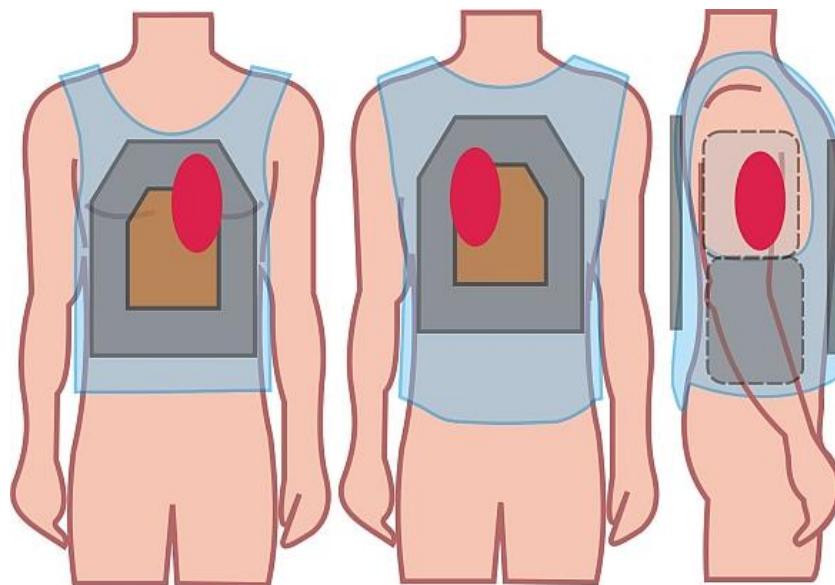
1.3 Princip fungování balistické vesty

Princip fungování balistické vesty spočívá v tom, že aktivní vrstva (balistická vložka, v dnešní době nejčastěji Kevlarová) využívá deformace projektilu při dopadu na těleso. Tato vrstva se opírá o pevnost a tažnost použitých vláken v balistické vrstvě. Tedy ve

vrstvě, která má zastavovat projektily. Projektil při letu rotuje, rotaci získá při vystřelení z hlavně. Pomocí rotace drží projektil snáze směr. Při dopadu na Kevlarovou vložku se hlava projektilu deformuje a Kevlarová vlákna se zachytávají na projektil a pomáhají zpomalit a zastavit jeho rotaci. Takto zastavený projektil předává svou kinetickou energii balistické vložce, případně antišokové vložce. Nezanedbatelné množství kinetické energie musí také absorbovat lidské tělo. U menších ráží s tím není větší problém, ale například u puškových nábojů by docházelo k vnitřním poraněním, proto se ještě před balistickou vložku umisťují keramické, ocelové nebo jiné pláty. Účelem těchto přídatných vložek/plátů je dosáhnout deformace vystřeleného projektilu ještě před vstupem do vrstvy Kevlarových vláken a dosáhnout tak rozložení kinetické energie.

1.4 Konstrukce balistické vesty

Balistická vesta se veskrze skládá ze čtyř hlavních materiálů, kterým je svrchní materiál, který se liší podle účelu použití. Dále pak ve vestě najdeme materiál, ve kterém by se měly zastavovat projektily neboli balistickou vložku. Nejpoužívanějším je Kevlar, ale najdeme i materiály na bázi keramických vláken, Twaron nebo Spectra vláken. Problém Kevlarových vláken je, že při kontaktu s kapalinou se značně snižuje jejich pevnost a roste tažnost, kapalina tak působí jako mazivo pro rotující projektil a schopnost zastavovat projektil je tak výrazně snížena. Proto se většinou Kevlarové pláty opatřují vodoodpudivou úpravou a často jsou vkládány do vodoodpudivých kapes. Dále pak ve vestě najdeme vrstvu chránící uživatele proti útokům ostrým předmětem, jako jsou nože a bajonety. Tato vložka je velice důležitá především pro policii případně pro vězeňskou službu, kde je pravděpodobnost napadení ostrým předmětem výrazně vyšší než u policistů případně vojáků. Poslední zásadní vrstvou je protišoková vrstva. Tato vrstva slouží jako absorbent kinetické energie předané projektillem. Energie se díky této vrstvě rozkládá do větší plochy v místě dopadu střely. Velikost energie závisí na ráži použitého náboje, při použití menší ráže např. 9mm jsou běžná poranění jako například zlomeniny žeber, u větších ráží může být průtlak tak veliký, že může způsobovat naprosto fatální poranění vnitřních orgánů a nositel vesty tak může utrpět smrtelná zranění, i když kulka neprojde vrstvou balistické vložky.



Obrázek 6 – nákres balistické ochrany těla [24]

Balistická ochrana je soustředěna především na vrchní polovinu těla, i když najdeme i vesty, které mají přidaný materiál pro chránění podbřišku. Na obrázku číslo 6 je znázorněna ochrana před střepinami a útokem bodnými zbraněmi světle modrou barvou, šedou barvou je zobrazený balistický plát, který by měl chránit před palnými zbraněmi. Hnědou barvou je pak znázorněná oblast, kde je garantované zastavení kulky. Červené pole označuje oblast srdce. Po válce v Iráku se začaly používat boční pláty, protože značné množství amerických vojáků umíralo na poranění střelami vedenými boční palbou. Tyto vložky jsou však u ozbrojených složek velice neoblíbené protože výrazně omezují v pohybu a značně zvyšují už tak dost velkou hmotnost balistické vesty. Jak je vidět na obrázku číslo 6 balistická vesta zakrývá značnou plochu těla, na které za standardních podmínek dochází k termoregulaci. Tyto oblasti jsou znázorněny na obrázku číslo 9 v kapitole o termoregulaci – podkapitola Pot.

1.4.1 Vrstvy balistické vesty

Balistická vesta se skládá z několika vrstev, díky kterým je balistická vesta „neprůstřednou“. Jedná se o 3 vrstvy – balistickou, antišokovou a vložku proti útokům ostrým předmětem. Balistická vložka je to vrstva z moderních vláken, které díky své vysoké pevnosti v tahu deformují a zastavují rotující projektil. Existuje celá řada

moderních vláken, v této práci bude ale rozebráno pouze vlákno v současné době nejpoužívanější tedy aramidové vlákno Kevlar.

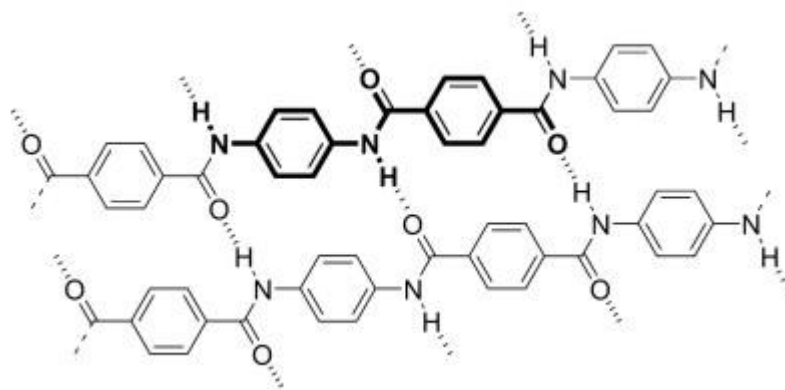
Aramidy

Aramidová vlákna jsou silná a žáruvzdorná syntetická vlákna. Mají dobrou chemickou odolnost a nejvyšší poměr pevnosti vůči hmotnosti vlákna. [14] Používají se v kosmickém průmyslu a pro armádní účely, především pro výrobu neprůstřelných vest. Název je zkratka slov aromatický a polyamid. Aromatické polyamidy byly prvně představeny v 60 - tých letech 19. století jako meta-aramidové vlákna vyráběná firmou DuPont pod obchodním názvem Nomex. Aramidová vlákna jsou definována jako vlákna vyrobená z polyamidu s dlouhým uhlovodíkovým řetězcem, jehož alespoň 85 % peptidických vazeb (-CO-NH-) spojuje dvě aromatická jádra. Světová produkce aramidových vláken byla v roce 2007 - 55 000 tun. Toto číslo se zvětšuje každým rokem přibližně o 5-10%. [12] Pro Aramidová vlákna je vstupní materiál ropa, její cena ovlivňuje také konečnou cenu hotového vlákna. Celý proces výroby je velmi drahý a náročný. Po vytažení filamentů ze speciální pece, jsou tato vlákna upravována a dále zakroucena do podoby tzv. Aramidových přízí. Z těchto přízí je poté na tkacích stavech tkána hustá, pevně stahovaná tkanina, ve většině případů v plátňové vazbě od přibližně 125 do 640 g.m⁻² ve žlutavé až oranžové barvě. [13] Hmotnost balistických vest se výrazně snížila už při přechodu z kovových plátů na nylonová vlákna. Při přechodu na vlákna Aramidová se ale podařilo výrazně zvýšit účinnost vesty. Nejznámějšími Aramidovými vlákny používanými v balistických vložkách jsou vlákna Kevlarová, která byla roku 1973 představena firmou DuPont.

Kevlarová vlákna

Para-aramidové syntetické vlákno Kevlar je registrovanou ochrannou známkou firmy DuPont. Je díky své pozoruhodné pevnosti (modul pevnosti je 3,6-4,1GPa, což je 5x pevnější než ocel při stejné hmotnosti) v kombinaci s vysokou teplotní odolností (Kevlar sublimuje při teplotách okolo 460°C) vyhledávaným materiálem v celé řadě náročných aplikací. Díky vysoké pevnosti při zachování nízké hmotnosti

nachází Kevlarová vlákna efektivní uplatnění při výrobě balistických pomůcek, zejména neprůstřelných vest, přileb, štítů a pancéřování. Výrobky, obsahující Kevlarová vlákna, poskytují účinnou ochranu proti pořezání a oděru, maximální pružnost a citlivost pro náročné požadavky uživatelů. Část pevnosti Kevlaru tkví v mezimolekulárních vazbách mezi karbonylovými skupinami a protony na sousedním řetězci a další část ve vazbách zvaných vodíkové můstky. Tyto interakce ovlivňují Kevlar více než van der Waalsovy síly a délka řetězce, která má na vlastnosti syntetických polymerů a vláken většinou významný vliv. Speciální péče je při výrobě věnována přítomnosti nečistot, obzvláště vápníku, které se mohou připlést do vazeb mezi řetězci a výrazně ohrozit vlastnosti materiálu. Strukturu Kevlaru tvoří relativně tuhé molekuly, které mají tendenci vytvářet většinou rovinné útvary. [9]



Obrázek 7 – chemická struktura Kevlaru [9]

Pro tuto práci je klíčová struktura Kevlarových vláken, která je zobrazená na obrázku 7. Vodíkové můstky, které způsobují pevnost Kevlarových vláken, totiž při kontaktu s vodou rapidně ztrácejí svoje klíčové schopnosti, pro které jsou využívány v balistických vestách. Z toho důvodu není možné jen uložit balistické pláty z Kevlarových vláken do jiné textilie, která by byla výrazně paropropustnější, ale je nutné kapalnou vlhkost odvést, aby se vypařovala na krajích vesty.

Antišoková vložka

Antišoková vložka je vložka, která je umístěná mezi tělem a balistickou vložkou, snižuje průhyb materiálu balistické vložky až o 40 procent a rozkládá jej na větší plochu, čímž snižuje jeho účinnost. Antišokové vložky se vyrábějí z balistických materiálů, jakými jsou aramidy, nebo polykarbonáty, případně se používají materiály, které nemají vlastnosti balistických materiálů, ale absorbují kinetickou energii, jako jsou například polyuretany. Tato vložka by měla uživatele vesty chránit před střepinami. Současně by antišoková vložka měla plnit funkci ochrany před tříštícím se balistickým vláknem v případě, že místo aramidů budou použity keramické pláty.

Vložka proti noži

Vložka proti noži je klasický doplněk balistické vesty, Kevlarová vlákna je velice jednouché proříznout nebo proseknout. Ostré předměty balistická vložka nezastavuje, proto se používá speciální vložka proti nožům a bajonetům. Vložky proti noži fungují na principu kovové sítky, většinou jsou z titanu.

Případná vrstva pro odvod potu by musela být na vnitřní straně vesty. Myšlenku přidat jednoduše jednu vrstvu, která by odváděla pot od těla, stejného tvaru, jako má vesta, na její vnitřní stranu komplikuje fakt, že tato vrstva by neměla plochy, kde by docházelo k odparu vlhkosti. Odpar by pak probíhal pouze v průramkách, průkrčníku a na spodním okraji vesty. Tato vrstva proto musí být opatřena rukávy a tvořit v podstatě tričko, které by mělo být nošeno pod vestou. Na rukávech by byla možná volná konvekce, a tudíž i rychlejší odpar. Tyto rukávy by mohly buďto přiléhat na ruce, anebo být volné a simulovat tak moderní Chillesuits používané především pro boje ve volné přírodě, kde mají přispět k lepšímu maskování jako na obrázku číslo 8, kde vidíme tento oděv na příslušníkovi britské armády.



Obrázek 8 – Chillie suit[28]

2 Komfort

Komfort je stav, který vystihuje psychické a fyzické pohodlí. Vnímání komfortu je u každého jedince různé. Na vnímání komfortu se podepisuje především vnější prostředí, návyky jedince, zdravotní stav, denní doba apod. Na vnímání vnějšího prostředí má největší vliv především nošený oděv. Vnímání komfortu rapidně ovlivňují použité materiály. Proto má v oblasti oděvnictví vnímání komfortu užívání velikou váhu a dá se v jistých případech srovnat i s designem koncového výrobku.

Komfort se dá dělit na: komfort sensorický, psychologický, termofyziologický a patafyzický. [1]

Senzorický komfort zahrnuje pocity člověka při kontaktu pokožky s hodnoceným materiálem, (měkkost, hřejivost, omak apod.). Jako sensor slouží při hodnocení tohoto typu komfortu především hmatové receptory. Rozložení a citlivost sensorů se různí podle částí těla. Komfort nošení oděvu ovlivní struktura textilie, použité materiály,

povrchové úpravy, schopnost absorpce a transportu kapalné vlhkosti, schopnost paroprůpustnosti, prodyšnosti apod. Sensorický komfort je podstatný pro balistické vesty. Vzhledem k tomu, že balistická vesta je oděv čistě funkční, jeho estetická hodnota je zanedbatelná, sensorický komfort při nošení především tuhost použitých materiálů je problémem.

Termofyziologický komfort zkoumá vnímání tepla pokožkou a termoregulační procesy. Oba extrémní stavy jak prochlazení, tak nedostatečná termoregulace a následné přehřívání organismu jsou stavy vážného diskomfortu. Pro účel této práce je termofyziologický komfort zásadní, je totiž největším problémem komfortu užívání balistických vest. Termoregulace organismu při nošení neprodyšné balistické vesty je nedostatečná a snadno dochází k přehřívání organismu. Termofyzický komfort bude zkoumán pomocí skin modelu umístěného v přístroji Permetest. Komfort bude vyhodnocen na základě výsledků měření relativní paroprůpustnosti a výparného odporu. Tím budou simulovány podmínky při nošení oděvu.

2.1 Termoregulace

Termoregulací nazýváme schopnost organismu udržovat stálou tělesnou teplotu, přestože produkce tepla, jeho příjem i ztráty, nepřetržitě kolísají. [1] Na teplotě závisí všechny biochemické pochody v organismu. Metabolické procesy se zrychlují nebo zpomalují podle toho, jestli se teplota zvyšuje, nebo snižuje. [2] Organismus člověka představuje samoregulační systém, jehož fyziologický mechanismus je zaměřen na udržení stálosti vnitřního prostředí na principu rovnováhy mezi množstvím tepla vytvořeného organismem a množstvím tepla odevzdaného do okolního prostředí.

Člověk si různými termoregulačními mechanismy udržuje stálou teplotu vnitřního prostředí, kolísající v rozmezí $\pm 4^{\circ}\text{C}$ okolo průměrné hodnoty $36 - 37^{\circ}\text{C}$. Kolísání je způsobeno vnitřními i vnějšími vlivy. [1]

Dosáhnout běžných podmínek při používání balistické vesty je značně obtížné, balistická vesta je poměrně těžká a prakticky neparoprůpustná, což zapříčiňuje špatnou termoregulaci organismu. Mimo to je většinou při nošení balistické vesty uživatel

vystaven zvýšené hladině stresu, která má za následek zvýšení tělesné teploty, nutnost termoregulace, a tudíž i snížení komfortu při užívání.

Pro termoregulaci při používání balistické vesty bude využit princip, při kterém se ochlazují zvířata – konkrétně sloni. Slon se neochlazuje na povrchu svého těla, kvůli jeho silné kůži. Slon pro termoregulaci využívá uši, které mají tenčí kůži než zbytek těla a zároveň jsou dobře prokrvené. Skrze uši slon odevzdá značné množství energie. Na podobném principu bude fungovat termoregulace pod balistickou vestou. Balistická vesta je neparopropustná. Proto je potřeba odvést kapalnou vlhkost ven z balistické vesty konkrétně na plochu, kterou představují rukávy oblečení, které bude uživatel nosit pod vestou, a umožnit její odpar pomocí volné konvekce.

Místa zakrytá balistickou vestou, kde se člověk nejvíce potí, jsou podél páteře a v podpaží, kde je sice stejné množství potních žláz jako jinde na těle, ale mají dvakrát větší průměr. Pot generovaný v těchto místech tedy bude potřeba odvést na kraj vesty, kde by se měl odpařit. K odparu by mělo docházet v průramcích a v rukávech zhotovených z vhodných textilií. Při pohybování rukou je možné využít úhlové rychlosti a zvýšit tak volnou konvekci podél textilií.

2.1.1 Kolísání tělesné teploty

Tělesná teplota není v průběhu dne vždy stejná, jako i fyzická a metabolická aktivita organismu roste a klesá.

Tělesnou teplotu ovlivňují následující faktory:

- denní doba (nejnižší je ve 4 hodiny ráno a nejvyšší pozdě odpoledne)
- aktivita organismu (aktivita zvyšuje metabolismus, a tím zvyšuje tvorbu tepla)
- sekrece některých hormonů (především u fyzické aktivity, nebo metabolické přeměny)

2.1.2 Tvorba a výdej tepla

Metabolismus vytváří tepelný výkon o hodnotě přibližně 1,1 W/kg váhy těla. Při zvýšené fyzické zátěži může tato hodnota vzrůst až na 10 W/kg váhy těla. Při nošení balistické vesty bude její uživatel s největší pravděpodobností vykonávat fyzickou zátěž a tvorba tepla je tak zvýšená. Termoregulace organismu je tedy zásadní, aby nedošlo k přehřívání jádra těla.

Tělesná teplota je udržována tvorbou a výdejem tepla. Jestliže je tvorba tepla vyšší než tepelné ztráty, teplota organismu se zvyšuje a naopak. Tvorba tepla probíhá hlavně v jádře těla, a to především v játrech a ve svalech. Většinou se teplo tvoří jako vedlejší produkt při metabolických dějích, může se však tvořit i cíleně: svalovou činností nebo zvýšením metabolismu účinkem metabolických hormonů. Výdej tepla je možný, pokud se teplo jádra odvádí cirkulující krví do kůže – slupky. Ztráty tepla slupkou velice úzce souvisejí s podmínkami v okolí organismu. [30] Výdej tepla může probíhat několika způsoby: sáláním, vedením, prouděním a odpařováním

Sáláním (radiací) – teplo se ztrácí v podobě infračervených paprsků, vyzařovaných všemi směry. Infračervené paprsky vyzařují všechny předměty, které mají vyšší teplotu, než je absolutní nula. Každé záření je neodmyslitelně spjato s transportem energie, pro záření platí zákony přímočarého šíření rychlostí světla, odrazu a lomu.

Záření představuje elektromagnetické vlnění šířící se prostorem o rychlosti $c = 300\,000\,000 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Toto záření, které má vlnový charakter o délce vlny λ , lze také přiřadit frekvenci záření f , a to dle Planckova vztahu. [1]

$$f = \frac{c}{\lambda} \quad (1)$$

f – frekvence záření [Hz]

c – rychlost světla

λ – vlnová délka [m]

Přenos tepla sáláním komplikuje neprodyšná balistická vesta s Kevlarovými vlákny vyznačujícími se výrazným tepelným odporem.

Vedením (kondukcí) – vedení tepla kondukcí lze sledovat buďto ustálením stavu soustavy nebo teplotní změnou v určitém čase a místě.[30] Z těla vychází poměrně malé množství tepla. Odvod tepla v podobě kinetické energie, kterou předávají molekuly těla okolí, s nímž jsou v kontaktu; židli, podložce, vzduchu, který tělo obklopuje. [17]Lidské tělo se skládá z několika celků, které navzájem tvoří komfortní teplotu okolo 36 - 37 °C. Teplota se v jednotlivých soustavách liší, nejnižší teplotu horní části těla mají prsty. Teplota prstů se pohybuje okolo 30 °C. Teplota prstů na nohou je ještě nižší. Je dána největší vzdáleností od srdce a jádra těla. Komfortní teplota prstů u nohou je okolo 26 °C. Pokud není teplota ve všech částech soustavy stejná, dochází k jejímu vyrovnávání pomocí kinetické energie částic soustavy. Ochlazování kondukcí bude u balistické vesty docházet především v předání části kinetické energie svrchnímu oděvu zhotovenému z distančních pletenin. Kondukcí je možná ztráta až 5% tělesné teploty. [30]

Fourierův zákon vyjadřuje úměrnost mezi tepelným tokem q [w.m⁻²], tepelnou vodivostí λ [W.m⁻¹K⁻¹] a teplotním gradientem $\Delta t/\Delta x$. [1]

Fourierův zákon vyjadřuje úměrnost mezi tepelným tokem q [w.m⁻²], tepelnou vodivostí λ [W.m⁻¹K⁻¹] a teplotním gradient $\Delta t/\Delta x$ [1].

$$q = -\lambda \frac{\Delta t}{\Delta x} \quad (2)$$

Velmi důležitým faktorem při hodnocení tepelného komfortu je tepelný odpor R plošných textilií, tenkých vzduchových vrstev a dalších plošných materiálů.

$$R = \frac{H}{\lambda} \quad (3)$$

R – tepelný odpor [m²K/W]

H – tloušťka [m]

λ - tepelná vodivost [W.m⁻¹K⁻¹]

Prouděním (konvekci) - teplo se nejdříve odvede do vrstvičky vzduchu kolem těla a pak se prouděním vymění ohřátý vzduch se studeným. Význam tohoto mechanismu stoupá např. ve větru. Je-li proudění vyvoláno rozdíly v měrných hodnotách vzduchu, je takové proudění nazýváno volné. Zcela opačně k této analogii je proudění vyvolané vnějším zásahem, například proudění vyvolané ventilátorem prouděním nuceným. Klíčem k využití distančních pletenin uvnitř balistických vest je schopnost, že vzduch v nich

může vykonávat volné proudění, neboli volnou konvekci. [17] Přenos tepla konvekcí je nejdůležitějším přenosem tepla mezi člověkem a okolím. Teplo je sdíleno částicemi tekutin o rychlosti v [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]. Mezi objektem s akumulovaným teplem a proudícím okolím se vytváří mezní vrstva o tloušťce δ , ve které se realizuje přenos tepla – teplotní spád. Při laminárním proudění tekutiny je mezní vrstva širší (voda z kohoutku) a klesá při turbulentním proudění (mořské vlny), kdy trajektorie jednotlivých částic nezachovávají svůj původní směr, ale vzájemně se mísí. Turbulentní proudění nastává v případech, kdy je Reynoldovo číslo Re vyšší než 2300. [1] Toto číslo je definováno vztahem:

$$Re = \frac{d v \rho}{\eta} = \frac{d v}{\nu} \quad (4)$$

Re – Reynoldsovo číslo

d – průměr potrubí [mm]

v – průměrná rychlost proudění [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]

ρ – hustota tekutiny [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]

η – dynamická viskozita tekutiny [$\text{Pa}\cdot\text{s}$]

ν – kinetická viskozita tekutiny [$\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$]

Teplený tok přenášený jakýmkoliv druhem proudění vyjadřuje Newtonův zákon [1].

$$q = \alpha_c (t_1 - t_2) \quad (5)$$

q – teplený tok [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$]

α_c – koeficient přestupu tepla [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\text{K}^{-1}$]

Volné konvekce přitom v experimentu budou využívat ve větší míře dutinné pleteniny s povrchovými vrstvami z osnovních pletenin, Distanční pleteniny z Coolmax vláken využívají kombinace vedení kapilárního a volné konvekce.

Odpařováním (evaporací) - nejúčinnější a nejdůležitější způsob. Jde o ochlazování lidského těla ztrátou tepelné vlhkosti prostřednictvím dýchání nebo pocení. Jde o jediný možný způsob výdeje tepla, jestliže teplota okolí je vyšší než teplota těla, odpařuje se pot vyloučený na kůži a svou přeměnou na páru odebírá změnou skupenství povrchu kůže určité množství tepla. Ochladí se krev v podkoží a proudí do hlubších tkání, významně závisí na vlhkosti vzduchu (v tropických pralesích s téměř 90% vlhkostí se pot neodpařuje). Kromě potu se odpařuje také tekutina ze sliznic a z plic, za normálních okolností se takto ztrácí kolem 450 – 800 ml tekutiny

denně (perspiratioinsensibilis). [18] Evaporace je přeměna kapalného skupenství na plynné. Molekuly kapaliny přecházejí nad plochu nad hladinou. Jde o odpar z povrchu kapaliny – z hladiny nebo z povrchu kapky. Kapalina při evaporaci odebírá teplo z okolí.

Velikost chladícího efektu je rovná tepelnému toku podle vztahu:

$$Q_{ch} = m^* \cdot L \quad (6)$$

m^* - odpařené množství [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$]

L – výparné teplo vody

Výparné teplo vody L , má při 20°C hodnotu $2\,400\,000\text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$. Toto velmi vysoké teplo umožňuje dosáhnout určité úrovně termofyzického komfortu i při vysoké teplotě vzduchu, pokud je vzduch dostatečně suchý, tj. pokud je relativní vlhkost vzduchu φ nižší než 60 – 70 %. Pokud φ převyšuje 90%, pak žádný stav komfortu při teplotě vzduchu nad 35°C není dosažitelný. [1] Při vysoké vlhkosti vzduchu nebude odpar z oblasti ramen a rukávů možný a termoregulace organismu nebude dosaženo.

V literatuře lze pro případ volné konvekce najít experimentální vztah:

$$Sh = 0,27 \cdot \sqrt[4]{Gr \cdot Sc} \quad (7)$$

ze kterého poté stanovíme hledaný součinitel přestupu hmoty (odparu) β_c pro případ volné hladiny kapaliny, vody, která nastává při konstantní rychlosti sušení.

Při vynucené konvekci je pak tento součinitel úměrný přibližně odmocnině z rychlosti proudění podél teplostěnné plochy.

Součinitel přenosu hmoty vztažený na rozdíl koncentrací při volné konvekci β_c lze stanovit z Sherwoodova bezrozměrného čísla

$$Sh = \frac{\beta_c L}{Dc} \quad (8)$$

L – délka vlhkosměnné hmoty [m]

Dc – součinitel difuze vodní páry do vzduchu [$\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$]

β_c – součinitel přenosu hmoty [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]

Hnací silou je zde rozdíl hustot $\Delta\rho$ resp. koncentrací vodní páry na povrchu vlhké textilie a v okolním vzduchu. Na povrchu textile s velkými póry zaplněnými vodou se

vyskytuje nejvyšší – nasycená koncentrace vodní páry, v jejím okolí je pak koncentrace vodních par nižší.

Volnou konvekci charakterizuje bezrozměrné Grasshofovo číslo Gr upravené pro přenos hmoty[33], dle vztahu:

$$Gr = \frac{g \Delta \rho L^3}{\rho_s v^2} \quad (9)$$

g – gravitační zrychlení [9,81 m.s⁻²]

v – kinematická viskozita vlhkého vzduchu [m².s⁻¹]

ρ_s – aritmetická střední hustota vodní páry [kg.m⁻³]

Vliv difuzní mezní vrstvy na přenos hmoty je pak dán tzv. Schmidtovým bezrozměrným číslem [33]

$$Sc = \frac{v}{Dc} \quad (10)$$

v – kinematická viskozita vlhkého vzduchu [m².s⁻¹]

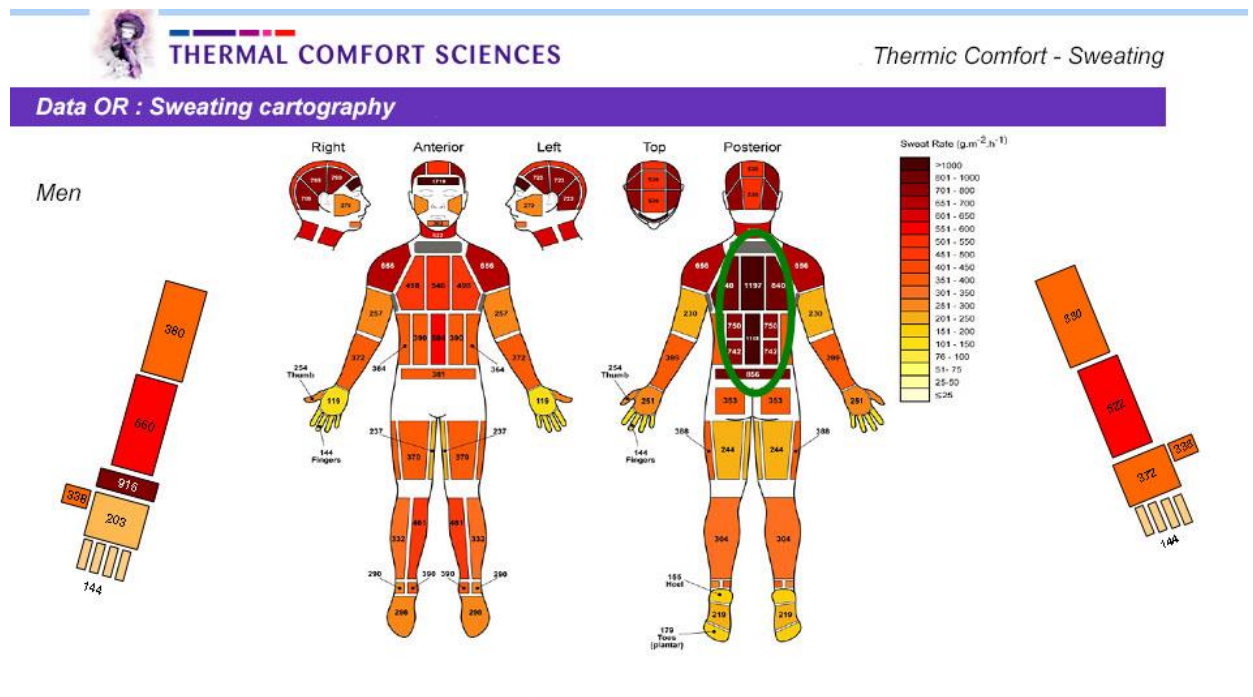
Dc – součinitel difuze vodní páry do vzduchu [m.s⁻²]

Schopnost odvádět teplo z těla sáláním a vedením je snížena použitím neprodyšných balistických vest. Proto je nutné pot transportovat na místa, kde by mohlo docházet k odpařování a konvekci. Princip inovace balistické vesty bude spočívat v aplikaci materiálů, které jsou schopné ochlazovat prouděním a odpařováním zároveň. Textilie vhodné vyřešit tento problém, by měly být 3D pleteniny, které by měly být aplikované na vnitřní straně balistické vesty a měly tak umožnit volnou konvekci uvnitř vesty a zároveň odpar kapalné vlhkosti.

2.1.3 Pot

Pot je produktem potních žláz, skládá se především z vody, iontů, kyseliny mléčné a močoviny, v horku vzniká u neaklimatizovaného člověka asi 1000 ml potu za hodinu. Odpařováním se ztrácí voda a ionty (denní ztráta soli je asi 15 – 30 g). Po 1 – 6 týdnech pobytu v horkém prostředí se zvýší sekrece potu na 2 – 3 litry za hodinu, což zvýší odvod tepla až 10x. Zvětšují se ztráty vody, ale působením aldosteronu se sníží ztráty soli na 3 – 5 g za den. Potní žlázy jsou inervovány sympatickými cholinergními

nervovými vlákny. Mohou však být také stimulovány adrenalinem, uvolněným do krve ze dřene nadledvinek během cvičení. To se uplatňuje především tehdy, když se tělo zbavuje nadbytečného tepla vzniklého svalovou prací. [18] Při používání balistické vesty se předpokládá fyzická aktivita a zvýšená míra stresu, z toho důvodu se tělo nadměrně potí. Vzhledem k zakrytí hlavních míst, kde dochází k ochlazování těla a termoregulaci balistickou vestou, může docházet k přehřívání organismu a v extrémních případech i kolapsu. Klíčem je odvádět pot vně balistické vesty tak, aby se odpařoval jinde na těle a tělo tak mohlo využívat jeho chladící efekt vzniklý při odparu.



Obrázek 9 – mapa oblastí s nevyšším výskytem pocení na těle muže

Na obrázku číslo 9 je znázorněná mapa oblastí, kde dochází na lidském těle k ochlazování pocením. Tato studie byla prováděna na mužském těle při běhu. Oblasti, kde dochází k největšímu pocení, jsou záda, především okolo páteře a v oblasti lopatek, ramena a hlava. [29] S výjimkou hlavy jsou všechny tyto oblasti zakryté balistickou vestou, která má velice nízkou relativní paropropustnost a vysoký výparný odpor. Balistická vesta znemožňuje odpar vlhkosti případně volnou konvekci, což vede k nemožnosti efektivně ochlazovat organismus, a tudíž i k problémům s přehříváním.

Použitím distančních pletenin by mělo být dosaženo odvodu potu od těla a následné odpaření.

2.3 Odvod kapalné vlhkosti z povrchu lidského těla

Lidský organismus v rámci své termoregulační činnosti produkuje tekutinu ve formě potu. Při teplotách kůže do 34°C uvolňuje lidské tělo do okolí asi 0,03 l.hod⁻¹ potu a nad tuto teplotu až 0,7 l.hod⁻¹. Přičemž pot nelze jednoduše odsát z lidské pokožky, ochlazovací efekt vznikne pouze při odpaření potu. [8] Tato práce zkoumá materiály schopné zajistit odvod kapalné vlhkosti do krajních částí vesty, kde by mělo dojít k jeho odpaření, aby nedošlo ke ztrátě ochlazovacího efektu. To by mělo za následek jenom zvýšené pocení ve snaze organismu opět se ochladit. Což by bylo velice zásadní, pokud se bere v úvahu fakt, že při použití balistických vest je uživatel vystaven fyzické aktivitě a stresu, a jeho organismus je tudíž nutně třeba ochladit pocením. U oblečeného člověka se transport vlhkosti řídí principy:

- difúzí
- kapilárně
- sorpčně

V porézním prostředí, jakým jsou textilie, je pára přenášena vedením (difúzí) otvory resp. kanály, které existují v jednotlivých oděvních součástech oděvu. Vlhkost prostupuje textilií ve směru nižšího parciálního tlaku vodní páry. Difuzní odpor jednotlivých oděvních vrstev různých kvalit a druhů se pak sčítá, přičemž značnou roli hraje i odpor vzduchových mezivrstev. Tento princip budou společně s volnou konvekcí vzduchu využívat především distanční pleteniny s povrchovými vrstvami z osnovních pletenin, které se vyznačují velkými otvory po celé své ploše. [1]

Kapilární odvod potu spočívá v tom, že kapalný pot ulpívající na kůži je v kontaktu s první textilní vrstvou a jejími kapilárními cestami vzlíná do její plochy všemi směry. Jde o tzv. knotový efekt [1]. Tento efekt budou v této práci využívat především distanční pleteniny vyrobené z Coolmax vláken, které byly navrženy tak, aby vedly kapalnou vlhkost lépe než standardní vlákenné útvary. Využívají k tomu kanálků podél vláken, tedy jakýchsi kapilár, které vlhkost transportují.

Sorpční proces předpokládá nejprve vnik vlhkosti či kapalného potu do neuspořádaných mezimolekulárních oblastí ve struktuře vlákna a následné navázání na hydrofilní skupiny v molekulové struktuře. Tento proces je nejpomalejší a je podmíněn použitím textilie alespoň částečně obsahující sorpční vlákna.[1] Pro správné fungování je důležité, aby byl oděv z distančních pletenin nošen jako vrstva nejbližší tělu a mohla tak probíhat difuze kapalného potu případně kapilární odvod potu od těla. Pak by totiž mohlo dojít k transportu na místa, kde by byl přísun okolního proudění a mohlo tak docházet k odparu a volné konvekci.

2.3.1 Kapilární vedení tekutin

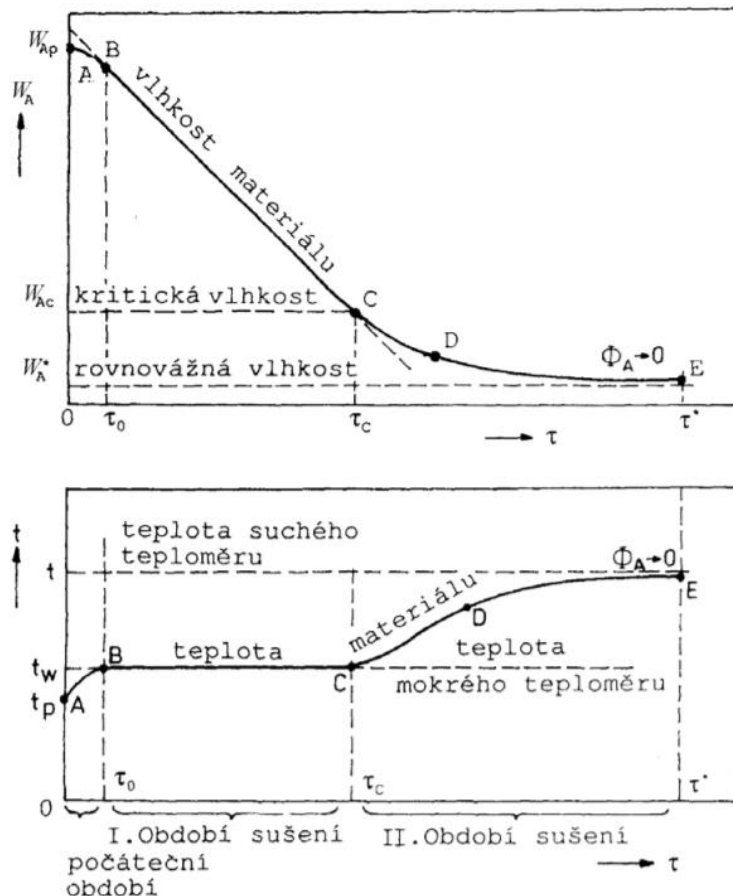
Kapilára je vlastně úzká trubice nebo úzký profil, který za určitých podmínek usnadní vedení kapaliny. Funguje na principu, že pokud jsou oba konce kapiláry otevřené a jeden je ponořen do kapaliny, hladina kapaliny v kapiláře je výš než hladina kapaliny, do níž je kapilára ponořena. Jde o to, že molekulové interakce mezi kapalinou a stěnami kapiláry jsou silnější než mezi molekulami kapaliny, a kapalina v kapiláře tudíž může mít hladinu výš než je hladina kapaliny mimo kapiláru. Takovýto jev se nazývá kapilární elevace. [19] Na tomto principu pracují především vlákna typu Coolmax, která vedou kapilárami pot od těla.

2.3.2 Sušení

Při sušení se odstraňuje kapalina obsažená v sušeném materiálu odpařováním do proudu vzduchu. Pokud je voda z povrchu materiálu odpařena, dochází k difuzi vody uvnitř materiálu směrem k jeho povrchu a následném dalším odpařování. Rychlost migrace vody na povrch textilie pak určuje rychlost celého procesu sušení.

Sušení probíhá ve třech fázích. V první fázi se začne materiál ohřívat až do teploty, kdy se začne z materiálu odpařovat voda – teplota vlhkého teploměru. Začne klesat koncentrace vody v materiálu, v grafu na obrázku 10 je to proces probíhající mezi body A a B. Odpařování vody z povrchu se začne postupně zpomalovat, jak se bude teplo z okolního vzduchu spotřebovávat na ohřev textilie. Druhá fáze probíhá za konstantní sušící rychlosti. Teplota materiálu se nemění a všechno teplo dodávané vzduchem se

spotřebovává na odpařování nevázané vody z povrchu. Rychlost sušení závisí na teplotě, vlhkosti a hmotnostním průtoku vzduchu, není ovšem závislá na druhu, výšce vrstvy a okamžité vlhkosti materiálu. V okamžiku dosažení bodu C přestane textílii pokrývat vodí film, do kontaktu se vzduchem se dostávají první částice textílie a rychlost sušení se začne snižovat. Materiál se začne ohřívát a jeho teplota se zvýší nad teplotu vlhkého teploměru (v grafu bod D). V bodě E dosáhne teplota materiálu téměř teploty sušícího vzduchu a vlhkost materiálu je prakticky rovna vlhkosti vzduchu. Materiál nelze v daném prostředí více sušit. [32] Účinnost oděvu vyrobeného z distančních pletenin bude zásadně záviset na destinaci budoucího použití. V oblastech s vysokou vlhkostí vzduchu nebude docházet k odpařování potu obsaženého v textílii a termoregulace nebude dostatečná.



Obrázek 10 – graf závislosti času, teploty a koncentrace vody v materiálu na sušící proces [32]

Koncentraci vody v materiálu – W_a můžeme vyjádřit pomocí jejího relativního hmotnostního zlomku:

$$W_a = \frac{m_A}{m_C} \quad (11)$$

W_a – koncentrace vody v materiálu
 m_A – hmotnost vody [kg]
 m_C – hmotnost suchého materiálu [kg]

Vlhkost vzduchu vyjadřujeme relativním vlhkostním zlomkem

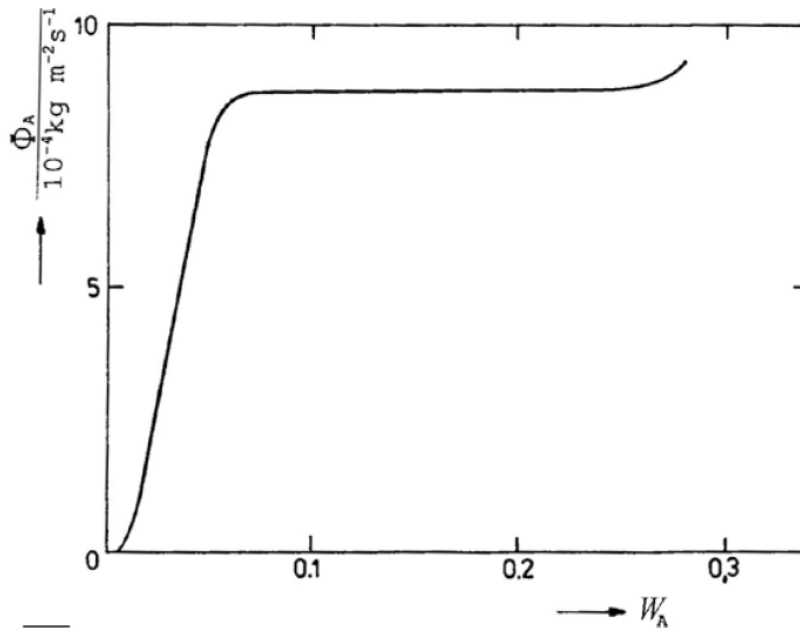
$$U_a = \frac{m_A}{m_B} \quad (12)$$

U_a – vlhkost vzduchu
 m_A – hmotnost vodních par [kg]
 m_B – hmotnost vzduchu bez vodních par [kg]

Rychlost sušení závisí na mnoha faktorech, jak bylo popsáno výše, ale můžeme ji vyjádřit pomocí jednoduchého vztahu:

$$\varphi_A = k_U (U_{AW} - U_A) \quad (13)$$

φ_A – rychlost sušení
 k_U – koeficient přestupu hmoty
 U_{AW} – vlhkost vzduchu na fázovém rozhraní mezi vzduchem a vlhkým materiálem
 U_A – střední hodnota vlhkosti vzduchu



Obrázek 11 – graf závislosti rychlosti sušení na koncentraci vlhkosti v materiálu [32]

Sušení textilií je zásadní pro termoregulaci. Pouze pot, který se vysouší a je v kontaktu s tělem, má chladicí efekt. Sušení v tomto případě bude probíhat v prostoru ramen a rukávů zhotoveného oděvu. Rukávy oděvu se budou postupně rozšiřovat směrem od průramků, aby byla zvětšena plocha rukávu. Toto má dva důvody, zvětšení rukávů reflektuje nejnovější trendy v odívání vojáků tzv. Chillie suits, které se snaží deformovat postavu nositele viz. obrázek číslo 8. Druhým důvodem je rychlejší odparu. Protože intenzita odpařovaného množství je závislá na ploše oparu a součiniteli odparu konvekci, který se přibližně rovná odmocnině z rychlosti proudění. Rukávy jsou pro odpar vhodné místo. Plochu odparu můžeme snadno zvětšit změnou standardního střihu a rychlost proudění se zvětšuje při pohybu rukou vojáka. Je nutné ovšem dodat, že hnací silou odparu je rozdíl v nasyceném parciálním tlaku a parciálním tlaku okolí, do kterého se kapalina odpařuje. Z tohoto důvodu musí být, tento oděv používán v podnebí, kde je suchý vzduch. Při použití ve vlhkém podnebí by nebylo možné odpar zajistit.

$$M = S \beta (p_{nas} - p_{okol}) \quad (14)$$

S – plocha odparu [m^2]

β – součinitel odparu konvekci

p_{nas} – nasycený parciální tlak [Pa]

p_{okol} – parciální tlak okolí [Pa]

$$\beta \approx \sqrt{v} \quad (15)$$

v – rychlost okolního proudění [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]

2.3.3 Vztlínání kapaliny do textilií

Ke vztlínání kapaliny do textilie dochází při kontaktu kapaliny a textilie, kdy molekuly vody pronikají do vláknenné struktury a vlastně tak překonávají sílu gravitační. Vztlínání do kapiláry se liší od vztlínání do textilie faktem, že kapilára je uzavřený prostor, voda nemá kudy z kapiláry unikát. Textilie takto uzavřený prostor není. Velice důležitým faktorem vztlínání kapaliny do textilie je povrchové napětí, které lze popsat pomocí smáčecího úhlu.

Kapalina, která se dostane do kontaktu s kapilárou, do ní samovolně proniká, dokud se neustaví rovnováha. Tento proces se nazývá vztlínání. Vztlínání probíhá jen tehdy, je-li povrch kapiláry kapalinou smáčen. O sací výšce (výšce, do které kapalina vyvztlíná v nekonečném čase) rozhoduje rovnováha mezi silou gravitační a silou vztlínání. Při vztlínání do textilií je část povrchu útvaru vždy tvořena vlákny a část kapalinou. [22]

Níže uvedené rovnice jsou platné pro zjednodušení uvedené pro kruhové kapiláry

$$F_G = m g = S H \rho g = \pi R_K^2 H \rho g \quad (16)$$

F_G – Gravitační síla [N]

m – hmotnost [kg]

g – gravitační zrychlení [$9.81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$]

S – plocha podstavy válcové kapiláry [m^2]

R_K – poloměr podstavy válcové kapiláry [m]

H – sací výška [m]

ρ – hustota kapaliny [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]

$$F_p = O \sigma_{GL} \cos(\theta) = 2\pi R_K \sigma_{GL} \cos(\theta) \quad (17)$$

F_p – síla vztlínání [N]

O – obvod podstavy válcové kapiláry [m]

σ_{GL} – mezi povrchové napětí kapalina vzduch [$\text{n}\cdot\text{m}^{-1}$]

θ – kontaktní úhel

Tato vlastnost je důležitá pro použité distanční pleteniny, jejich schopnost vést kapalnou vlhkost i proti směru gravitační síly je zásadní především v oblasti podpaží a zad, kde je počítáno s transportem kapaliny do oblastí průkrčníku a rukávů.

3 Charakteristika vzorků

Inspirací zlepšení komfortu balistické vesty byly batohy. Batoh při nošení zakývá záda – plochu, kde dochází k největšímu pocení a ochlazování těla. Aby byly batohy komfortnější, výrobci je opatřují vrstvou distančních pletenin, které mají umožnit volnou konvekci vzduchu v prostoru zad, a tudíž i lepší termoregulaci organismu. Oděv nošený pod balistickou vestou by mohl být vytvořen z distančních pletenin a umožňovat tak přísun vzduchu z okolí pod balistickou vestu. Zároveň by tento oděv měl být schopen vést kapalnou vlhkost z povrchu těla a jejím následným odparem tělo ochlazovat. Jako materiály, které by tedy měly být použity, jsou distanční pleteniny. Důvodem použití by měla být schopnost větší prodyšnosti, schopnost transportovat kapalnou i plynnou vlhkost a způsobit tak snazší odpar, což by mělo za výsledek zvýšení celkového komfortu při užívání vesty.

3.1 Distanční pleteniny

Tyto pleteniny se vyrábí na dvoulůžkových osnovních strojích. Na lící a rubní straně výrobku mohou být použity stejné nebo odlišné osnovní pletařské vazby, které vytváří povrch pleteniny. K jejich výrobě se zpravidla používají syntetické multifily. Tyto dvě povrchové pleteniny jsou pak v kolmém směru vzájemně spojeny další pletařskou vazbou či vazbami. K tomuto účelu se používá syntetický monofil. Termickou stabilizací pak lze dosáhnout stabilních mechanických vlastností (stlačitelnost, pružnost, ohebnost). [3] Díky svojí konstrukci distanční pleteniny vynikají skvělou vodivostí kapalně vlhkosti, vzduchu, schopností termoregulace a odpružení tlaku. Distanční pleteniny použité v této práci využívají jak pletenin osnovních, tak pletenin zátažných jako povrchové pleteniny. Zásadní rozdíl v použitých distančních pleteninách pro výzkum vázaný k této práci je použití speciálních vláken. Osnovní pleteniny využívají

polyesterová nebo polyamidová vlákna. Distanční pleteniny, které mají povrchové pleteniny zátažné, využívají vlákna typu Coolmax, Thermocool a Thermolight.

Osnovní pletenina vzniká provazováním soustavy nití ve směru sloupku. Vazby zátažných pletenin se rozlišují podle počtu vazeb (řetízek, trikot, sukno, satén, samet, atlas). Zátažná pletenina vzniká postupným provazováním nití v řádcích. Vazby zátažných pletenin mohou být jednolící, oboulící, obourubní a interloková. Osnovní pleteniny mají vzorky dodané firmou Tebo, zátažné pleteniny obsahují vzorky od firmy Sintex.

3.1.1 Geometrické zaplnění distančních pletenin

Jedná se o výpočet procentuálního zastoupení polymeru v celkovém objemu zkoumané textilie. Čím menší je geometrické zaplnění vzorků, tím lepší by měla být paropropusnost a nižší výparný odpor. Hodnotu geometrického zaplnění získáme, když plošnou hmotnost textilie vydělíme tloušťkou textilie. Hmotnost jednoho m³ vydělíme hustotou použitého polymeru a získáme procentuální zastoupení polymeru v objemu 1 m³. Procentuální zastoupení vzduchu v textilií je možné vypočítat odečtením G od 100%

$$G = \frac{\frac{AM}{h}}{\delta_{polymeru}} \quad (18)$$

G – geometrické zaplnění
 AM – plošná hmotnost [kg/m²]
 δ - hustota [kg/m³]

$$\varepsilon = 1 - G \quad (19)$$

ε - procentuální zastoupení vzduchu v pletenině
 G – geometrické zaplnění textilie

tabulka 1 – výpočet geometrického zaplnění vzorků

Vzorek č.	tloušťka [m]	Plošná hmotnost [kg/m ²]	hustota polymeru [kg/m ³]	G	$\varepsilon = 1-G$
1	0,0031	0,273	1350	0,07	0,93
2	0,00215	0,232	1350	0,08	0,92
3	0,00395	0,265	1100	0,06	0,94
4	0,0035	0,304	1100	0,08	0,92
5	0,00235	0,457	1350	0,14	0,86
6	0,00245	0,401	1350	0,12	0,88
7	0,00287	0,263	1350	0,07	0,93
8	0,0026	0,261	1350	0,07	0,93

Nejmenší geometrické zaplnění má textilie číslo 3. Geometrické zaplnění by mělo mít vliv na výparný odpor textilie. Vliv ale má i struktura vnějších pletenin, jejich zakrytí, způsob provázání, které tvoří dutinu distanční pleteniny atd., takže se nedá tvrdit pouze na základě geometrického zaplnění, že textilie číslo 3 musí být nejvhodnější distanční pleteninou z hlediska výparného odporu.

3.1.2 Transportní plocha v rovině textilie

Z důvodů měření schopnosti textilie vést kapalnou vlhkost ve své ploše je nutné vyjádřit matematicky velikost transportní plochy, kterou bude kapalina procházet. Všechny vzorky měly při měření stejnou velikost, a to je 220 x 35 mm. Transportní plochu vypočítáme jako plochu řezu vzorkem

$$TP = S \cdot \varepsilon = h \cdot \check{s} \cdot \varepsilon \quad (20)$$

TP – transportní plocha v rovině textilie [m²]

h – tloušťka vzorku [m]

S – plocha průřezu textilu [m]

ε – porozita

\check{s} – šířka vzorku [m]

tabulka 2 – tabulka vpočtu transportní plochy v rovině textilie

vzorek	šířka vzorku [mm]	Tloušťka vzorku [mm]	porozita ϵ	TP [mm ²]
č.1	35	3,10	0,93	101,42
č.2	35	2,15	0,92	69,24
č.3	35	3,95	0,94	129,82
č.4	35	3,50	0,92	112,83
č.5	35	2,35	0,86	70,40
č.6	35	2,45	0,88	75,35
č.7	35	2,85	0,93	92,98
č.8	35	2,60	0,93	84,23

Textilie s větší transportní plochou v rovině textilie by měly vykazovat větší rychlost transportu kapaliny textilií v experimentu v kapitole 5, kdy se měří schopnost distančních pletenin vést kapalnou vlhkost.

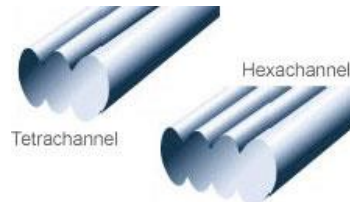
3.1.3 Vlákna nekruhového průřezu

Moderní sportovní oblečení je navrhováno tak, aby materiál, z kterého jsou oděvy zhotoveny, dobře vedly pot od lidského těla a umožňoval jeho rychlý odpar. Sportovci tak mají pocit sucha, při případném přerušení výkonu nedochází k nastydnutí. Moderní sportovní materiály využívají speciálních vláken, aby byly dosaženy výše popsané požadavky. Sportovní vlákna, která budou testována pro možnost používání na oděv nošený pod balistickou vestu, jsou typu Coolmax, Thermolite a Thermocool.

Coolmax

Vlákna Coolmax byla vyvinuta v roce 1986 firmou DuPont, cílem bylo vyvinout polyesterová vlákna, která by se vyznačovala větší paropropustností a schopností vést vlhkost v porovnání s v té době nejčastěji používanými vlákny – vlákny bavlněnými. Coolmax vlákna nemají klasický kruhový nebo oválný průřez, ale mají „obláčkovitý“ průřez, který umožňuje vláknům využívat kapilárního efektu k odvodu vlhkosti podél celé délky vláken od lidské pokožky. Standardně mají 4 nebo 6 kanálků, kterými je odváděna vlhkost, vlákna tedy vlhkost pohlcují, nesají jí. Tato vlákna byla vyvinuta pro

využité v oděvnictví pro výrobu oděvů určených k extrémním sportům, kdy dochází k velké fyzické námaze a tím pádem i k zvýšenému ochlazení organismu pomocí pocení. Cílem bylo zajistit odvod potu od lidské pokožky a umožnění rychlejšího odpaření potu, uživatel se tak cítí výrazně chladněji. [15]



Obrázek 12 - průřez coolmax vláknem

Thermolite

Thermolite je syntetické duté polyesterové vlákno, které využívá vzduchu uvnitř vlákna jako prostředku ke zlepšení svých izolačních vlastností. Nejčastěji se využívá pro sportovní oblečení. Charakteristickou vlastností tohoto velmi lehkého vlákna je jeho rychlý odvod vlhkosti od pokožky, přičemž zároveň vlákno rychle usychá. Doba schnutí vlákna by měla být až o 50% rychlejší než je doba schnutí bavlněných vláken. [20]

Thermocool

Jde o unikátní směs dutých vláken opletených vláknem s kanálkovým povrchem. V podstatě kombinuje vlákna Coolmax a Thermolite. Tato vlákna jsou konstruována tak, že mají zvětšený povrch pro odpar, na povrchu je dále mnoho násobný počet kanálků, které výjimečně odvádějí vlhkost od pokožky. [21]

Materiály dodaly dva výrobci z České republiky – Tebo z Nové Včelnice a Sintex z České Třebové. Oba dodavatelé vsází při výrobě distančních pletenin na jiný princip. Distanční pleteniny vyrobené ve firmě Tebo mají povrch z osnovních pletenin a jsou zhotovené z polyesterových případně polyamidových monofilních nekonečných vláken, kdežto firma Sintex při výrobě distančních pletenin sází na povrch ze zátažných pletenin a používá polyesterová vlákna typu Coolmax, Thermolite a Thermocool.

Všechny vzorky byly před testováním vyprány.

3.2 Testované vzorky

Textilie č. 1

Výrobce: TEBO

Obchodní název: TEBO BOB

Plošná hmotnost: 273 g.m⁻²

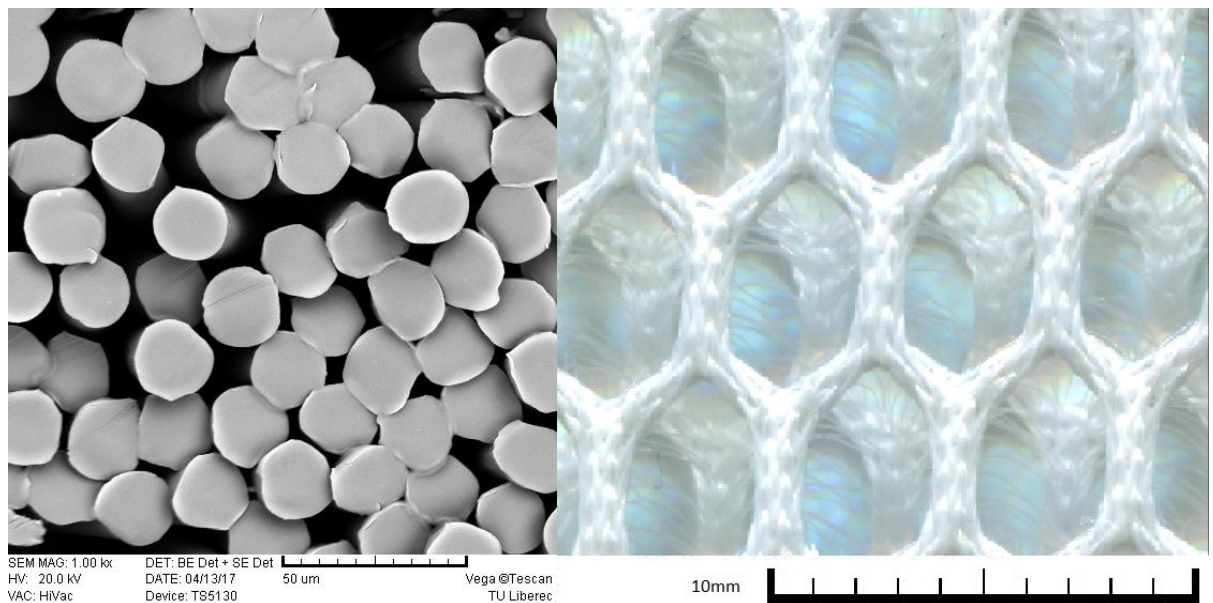
Materiálové složení: 100% PES

Tloušťka vzorku: 3,1 mm

Geometrická porozita: 0,07

Povrchové úpravy: bez povrchových úprav

Svrchní pletenina: osnovní



Obrázek 13 – příčný řez vláknů a struktura povrchu textilie č. 1

Textilie č. 2

Výrobce: TEBO

Obchodní název: TEBO BFN

Plošná hmotnost: 232 g.m⁻²

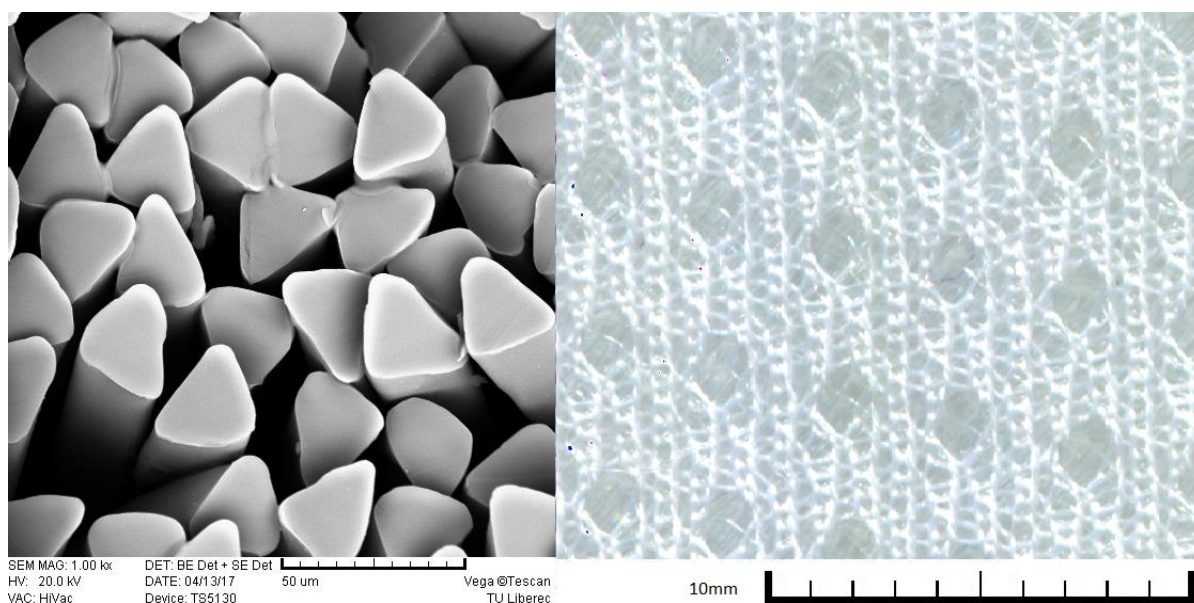
Materiálové složení: 100% PES

Tloušťka vzorku: 2,15 mm

Geometrická porozita: 0,08

Povrchové úpravy: bez povrchových úprav

Svrchní pletenina: osnovní



Obrázek 14 – příčný řez vlákny a struktura povrchu textilie č. 2

Textilie č. 3

Výrobce: TEBO

Obchodní název: TEBO AC

Plošná hmotnost: 265 g.m⁻²

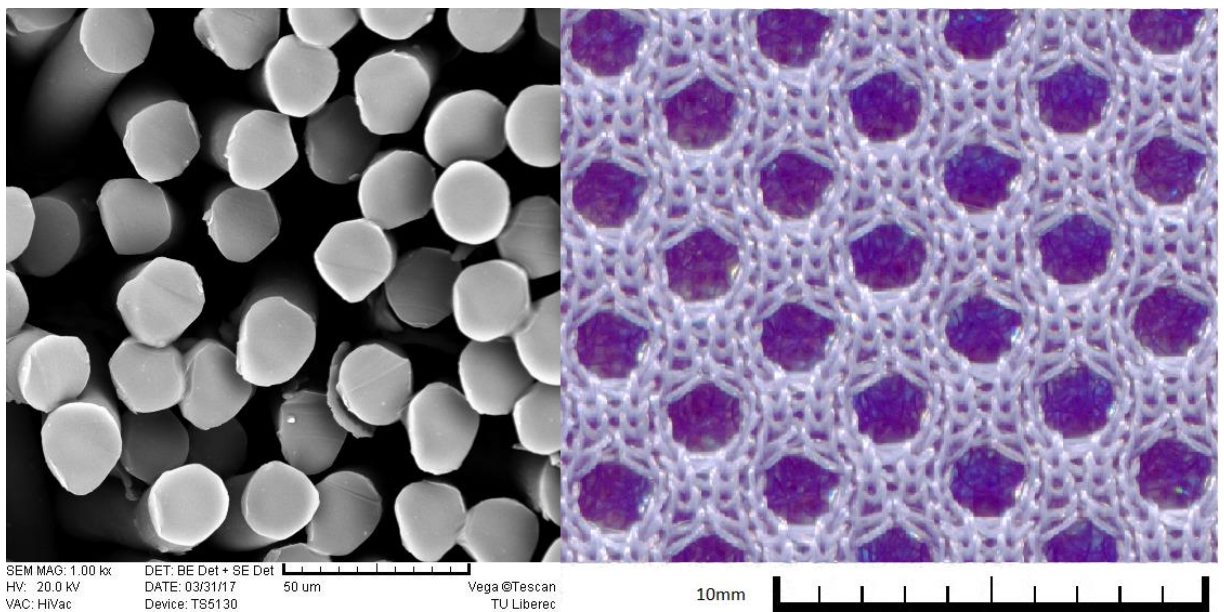
Materiálové složení: 100% PAD

Tloušťka vzorku: 3,95 mm

Geometrická porozita: 0,06

Povrchové úpravy: bez povrchových úprav

Svrchní pletenina: osnovní



Obrázek 15 – příčný řez vlákny a struktura povrchu textilie č. 3

Textilie č. 4

Výrobce: TEBO

Obchodní název: TEBO AX

Plošná hmotnost: 304 g.m^{-2}

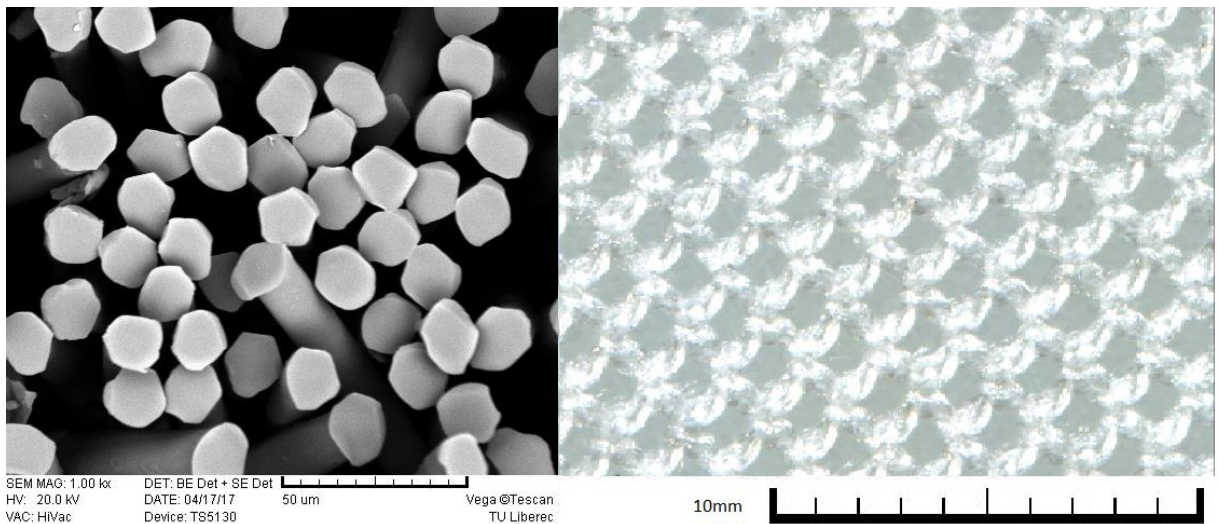
Materiálové složení: PAD 100%

Tloušťka vzorku: 3,5 mm

Geometrická porozita: 0,08

Povrchové úpravy: bez povrchových úprav

Svrchní pletenina: osnovní



Obrázek 16 – příčný řez vlákny a struktura povrchu textilie č. 4

Textilie č. 5

Výrobce: Sintex

Obchodní název: 3D Coolmax

Plošná hmotnost: 457 g.m⁻²

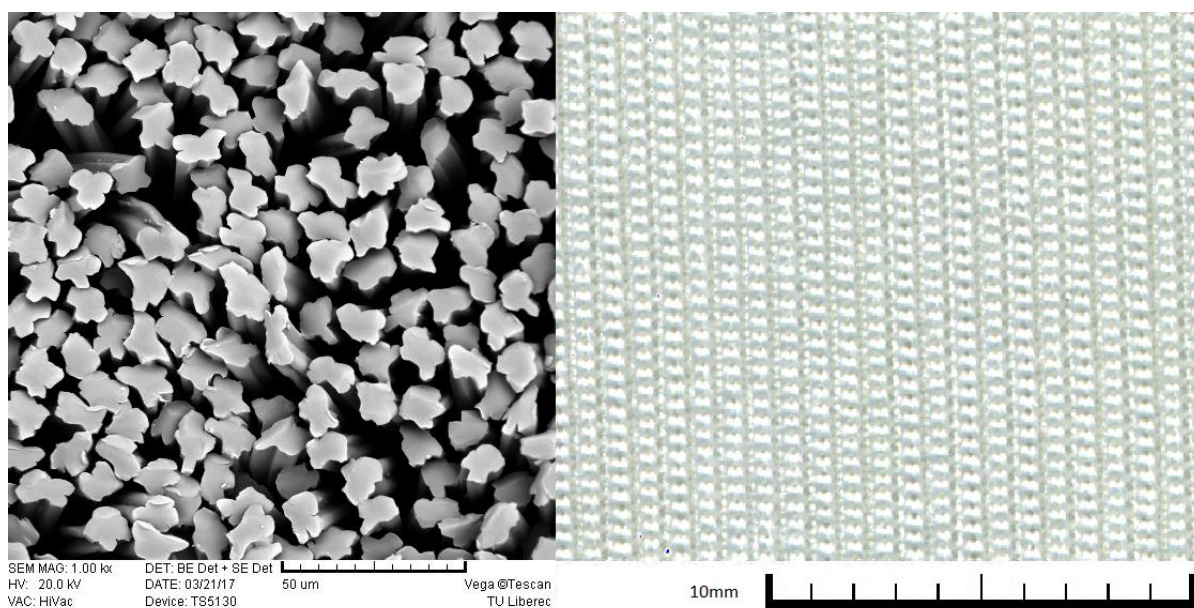
Materiálové složení: 100% PES Coolmax

Tloušťka vzorku: 2,35 mm

Geometrická porozita: 0,14

Povrchové úpravy: bez povrchových úprav

Svrchní pletenina: zátažná



Obrázek 17 – příčný řez vláknů a struktura povrchu textilie č. 5

Textilie č. 6

Výrobce: Sintex

Obchodní název: PES termolite příze

Plošná hmotnost: 401 g.m⁻²

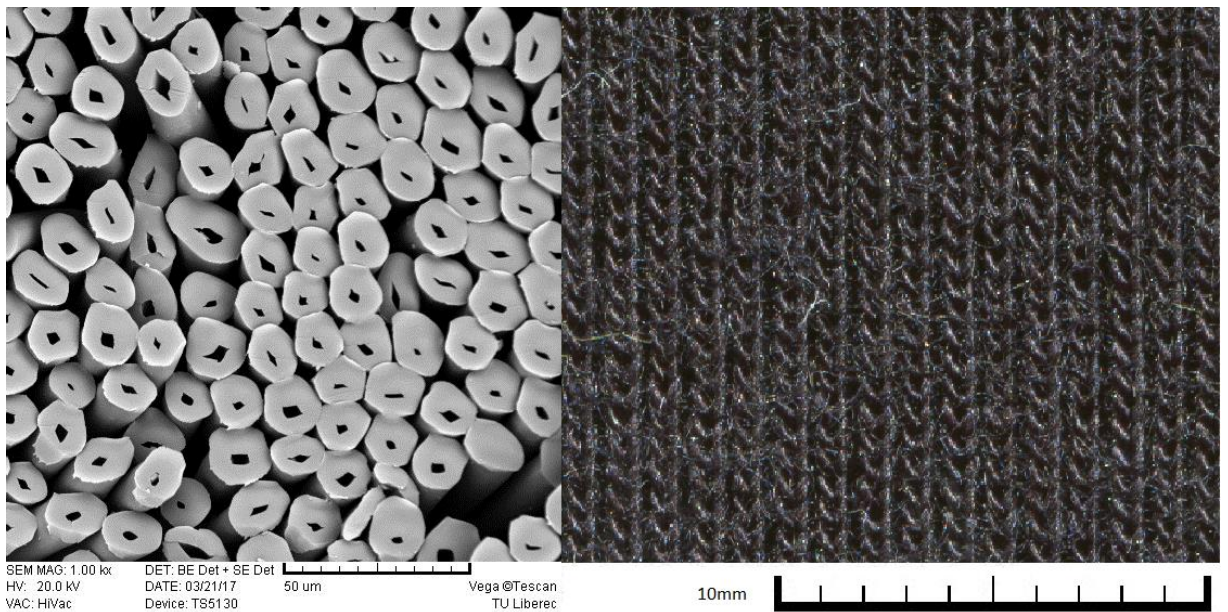
Materiálové složení: 23% PESH, 42% PES Thermolite, 35%PES monofil

Tloušťka vzorku: 2,45 mm

Geometrická porozita: 0,12

Povrchové úpravy: bez povrchových úprav

Svrchní pletenina: zátažná



Obrázek 18 - příčný řez vlákny rubní strany a struktura povrchu textilie č. 6

Textilie č. 7

Výrobce: Sintex

Obchodní název: PES Thermocool hedvábí

Plošná hmotnost: 263 g.m⁻²

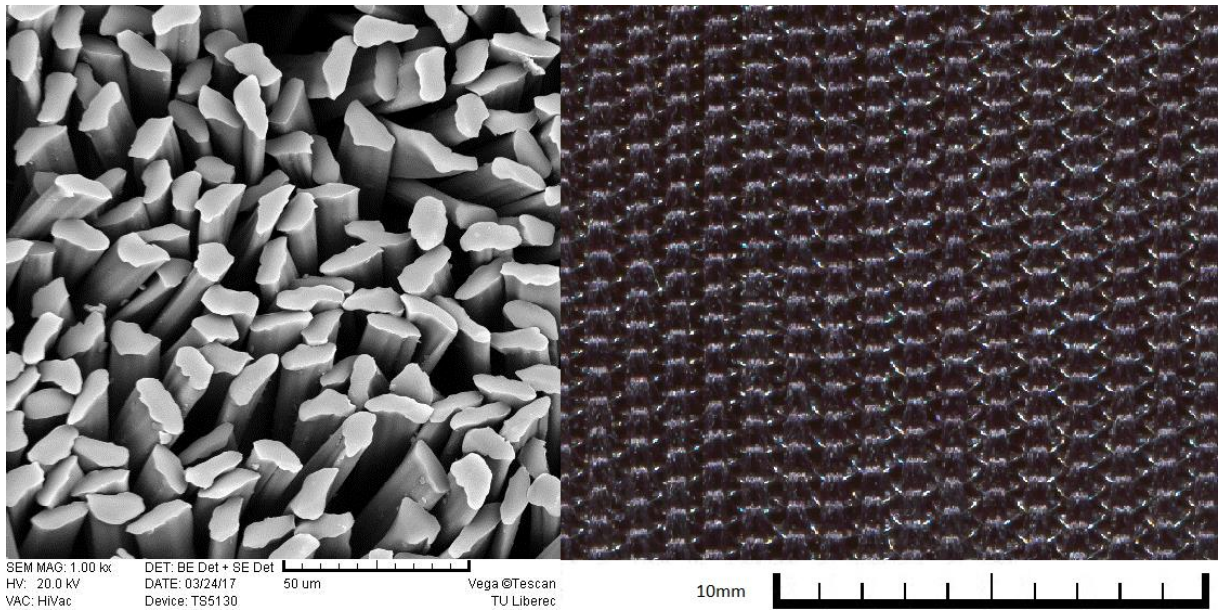
Materiálové složení: 32% PESH, 22% PES Thremocool, 46% PES Monofil

Tloušťka vzorku: 2,85 mm

Geometrická porozita: 0,07

Povrchové úpravy: bez povrchových úprav

Svrchní pletenina: zátažná



Obrázek 19 - příčný řez vlákny rubní strany a struktura povrchu textilie č. 7

Textilie č. 8

Výrobce: Sintex

Název: PES Coolmax hedvábí

Plošná hmotnost: 261 g.m⁻²

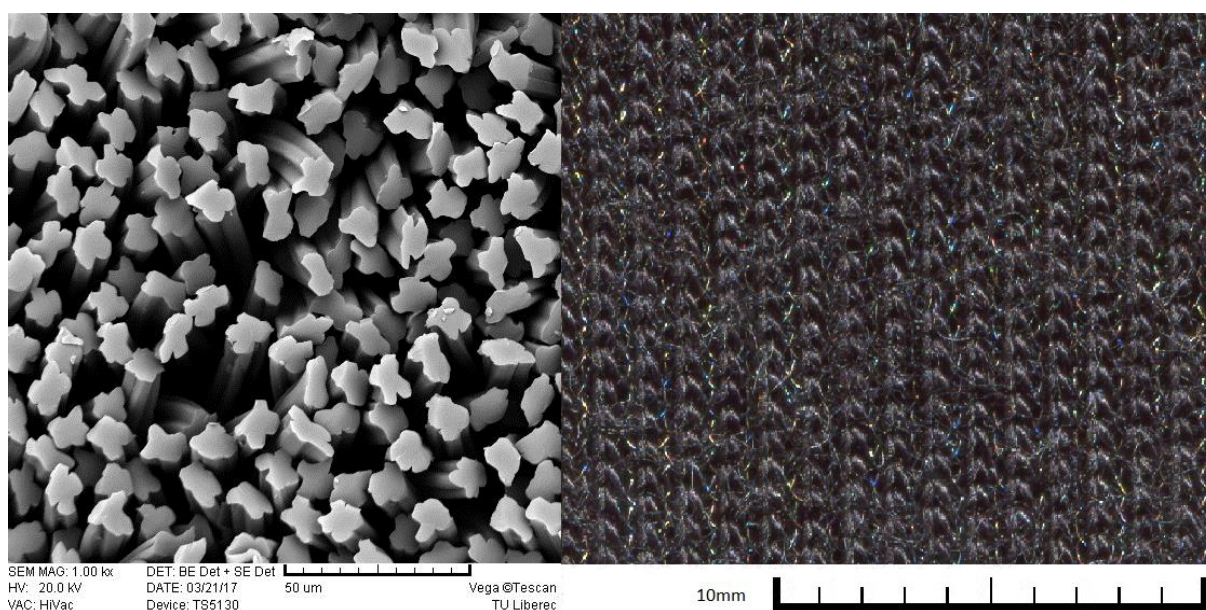
Materiálové složení: 32% PESH, 22% PES Coolmax, 46% PES monofil

Tloušťka vzorku: 2,6 mm

Geometrická porozita: 0,07

Povrchové úpravy: bez povrchových úprav

Svrchní pletenina: zátažná



Obrázek 20 – příčný řez vláknů rubní strany a struktura povrchu textilie č. 8

4 Experiment – paropropustnost, relativní výparný odpor

Podstatou experimentu je navrhnout použití vhodných materiálů tak, aby se zajistilo snížení tepelného a výparného odporu balistické vesty, který je kvůli potřebě chránit Kevlar před vlhkem enormně vysoký. Použití materiálů jako jsou například membrány, není možné, protože ač by se díky použití membrán mohl podařit odvod kapalně vlhkosti z povrchu těla, nastal by problém kam ho odvést posléze tak, aby se kapalná vlhkost nedostala do kontaktu s balistickou vložkou a neměla tak neblahý vliv na Kevlarová vlákna. Klíčem tedy bylo použití textilií, které jsou schopné vést vlhkost ve

formě plynu nebo kapaliny v ploše, nikoli jen po své šířce (nejkratší vzdálenost), ale umožnit vlhkosti vstup do textilie a poté transportovat tuto vlhkost do míst, kde je její odpar nejsnazší. Transport kapalné vlhkosti by byl založen na schopnosti volné konvekce uvnitř použité textilie. Vlhkost by se pak odpařovala na volných okrajích, jako jsou průramky, krční límec a pasový límec. Tyto požadavky přesně splňují distanční pleteniny. Distanční pleteniny se podařilo získat od dvou firem, působících v České republice. Zásadní rozdíl mezi produkty těchto firem je ten, že produkty firmy Tebo se opírají především o strukturu distanční pleteniny a používají standardní syntetická vlákna, kdežto distanční pleteniny firmy Sintex sází na použití vláken typu Coolmax, Thermolie a Thermocool. Experiment bude hodnotit textilie z hlediska relativní paropropustnosti a výparného odporu. Na základě těchto kritérií by mělo dojít k doporučení materiálů vhodných k aplikaci na vnitřní stranu balistické vesty. Měření na přístroji Permetest bude probíhat za standardních podmínek klasifikovaných normou ISO 11092. Jde v podstatě o simulaci podmínek, kdy je organismus člověka v klidové poloze např. sezení. Norma ISO 11092 je nastavená především pro materiály, které budou používány jako svrchní vrstva, protože v měřící komoře proudí vzduch o rychlosti $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. To ovšem tak úplně neplatí pro celkové využití materiálu, který by měl být použit pro zvýšení komfortu při nošení vesty. Výsledky naměřené podle normy ISO 11092 budou platit například pro rukávy nebo oblasti ramen, ale nebudou platit pro textilií, která zakrývá trup. Proto bylo nutné nastavit další měření na přístroji Permetest tak, aby co nejpřesněji simulovalo vlastnosti textilií, které budou zakryty balistickou vestou. Zásadní rozdíl mezi těmito měřeními je, že do měřící komory nebude vháněn vzduch pomocí ventilátoru, který je při tomto měření vypnutý, ale budou aplikovány ventilátory vnější, které budou ovívat textilie z vnější strany měřící komory a to právě rychlostí 1 a $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

4.1 Propustnost vodních par

Tento parametr je nenormalizovaný, ale důležitý. Hodnotu 100% propustnosti představuje tepelný tok vyvozený odparem z volné hladiny o průměru stejném, jako je průměr vzorku. Po zakrytí této hladiny měřeným vzorkem se tepelný tok sníží. [1]

$$P = 100 \left(\frac{q_v}{q_o} \right) \quad (21)$$

P - relativní propustnost pro vodní páry [%]

q_v - tepelný tok procházející měřicí hlavicí zakrytou vzorkem [W/m²]

q_o - tepelný tok procházející měřicí hlavicí nezakrytou vzorkem [W/m²]

Relativní paropropustnost určuje schopnost vést vlhkost od povrchu těla. Hodnota se pohybuje v rozmezí od 0 do 100. Při hodnotě 0 textilie páru nepropouští a při použití na oděv bude pod takovou textilií uživatel mokry a takový oděv bude nekomfortní.

Výparný odpor

$$Ret = (P_m - P_a) (q_v - q_o) \quad (22)$$

Ret - výparný odpor zkoušeného vzorku [m². Pa/ W]

P_m - nasycený parciální tlak vodní páry na povrchu měřicí hlavice [Pa]

P_a - parciální tlak vodní páry ve vzduchu ve zkušebním prostoru [Pa]

q_v - plošná hustota tepelného toku procházející měřicí hlavicí zakrytou měřeným vzorkem [W/m²]

q_o - plošná hustota tepelného toku procházející měřicí hlavicí nezakrytou měřeným vzorkem [W/m²].

Hodnota udává velikost odporu textile proti prostupu tepla.

Tyto dvě vlastnosti budou měřeny na přístroji Permetest. Balistická vesta sama o sobě má nulovou paropropustnost a vysoký výparný odpor. Z toho důvodu je nutné přidat vrstvu, která by byla paropropustná a měla nízký výparný odpor. Tak by bylo možné zvýšit komfort uživatele vesty. Touto vrstvou budou distanční pleteniny, které budou nošeny jako vrstva nejbližší tělu.

Vliv struktury a použitých vláken na výparný odpor

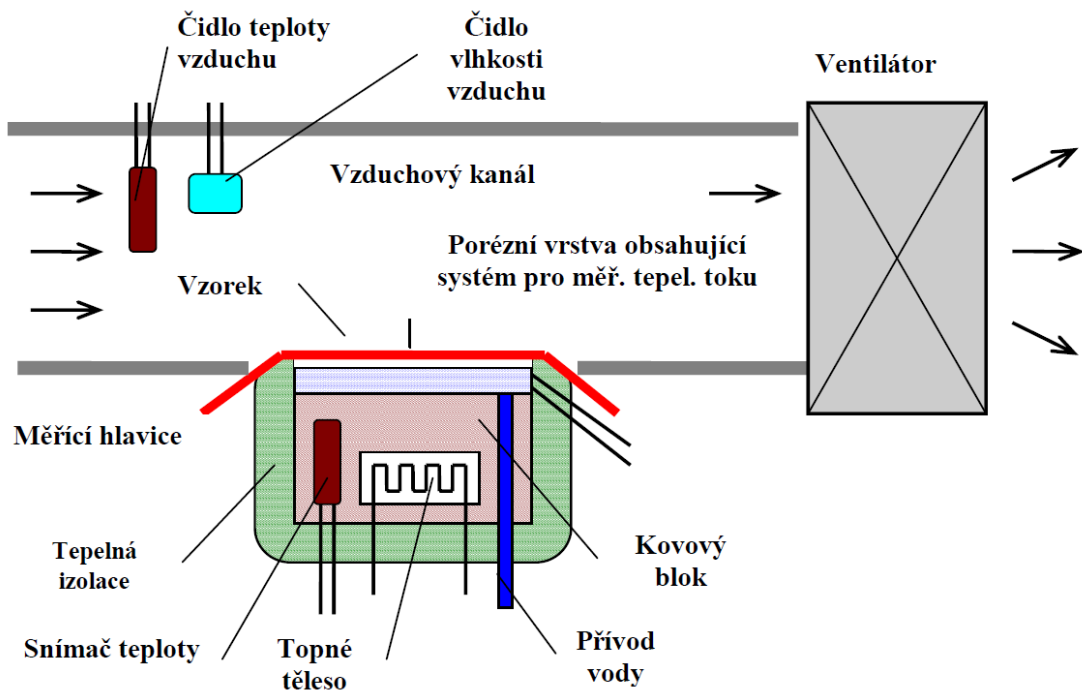
Tímto tématem se zabývala ve své bakalářské práci v roce 2010 paní Reková. Obecně lze tvrdit, že čím složitější vazbu tkanina nebo pletenina má, tím větší bude její výparný odpor. Výparný odpor ovlivní i jemnost použitých vláken, čím jemnější jsou vlákna, tím

nižší bude výsledný výparný odpor. Výparný odpor zvýší například flotáže ve tkanině. [7] S tímto závěrem paní Rekové vycházejícího z její bakalářské práce se dá souhlasit. Protože základem inovace balistické vesty bude zlepšit její paroprůstnost a současně negativně neovlivnit funkci Kevlarové balistické vložky, byly jako nejvhodnější materiály zvoleny distanční pleteniny (někdy nazývané i 3D pleteniny). V této práci budou testovány distanční pleteniny s povrchovými plochami z osnovních i zátažných pletenin. Distanční pleteniny z osnovních pletenin s většími otvory by měly mít menší výparný odpor. Vzorky těchto distančních pletenin se podařilo získat od společností Tebo z Nové Včelnice a Sintex z České Třebové.

4.2 Permetest

Přístroj Permetest měří prostupnost zkoumané textilie vodními parami. Princip fungování přístroje spočívá v měření tepelného toku q procházejícího membránou simulující funkci lidské pokožky. Povrch membrány je porézní a je zvlhčován, čímž je simulována funkce ochlazování lidského organismu pocením. Na povrch membrány se potom přes separační folii přikládá zkoumaná textilie, která je současně ofukována. [1] Přístroj měří relativní propustnost vodní páry $p[\%]$, což je nenormalizovaný, ale velmi praktický parametr, kde 100% představuje tepelný tok q_0 vyvozený odparem z volné vodní hladiny o stejném průměru jako je měřený vzorek. Zakrytí této hladiny vzorkem se pak tepelný tok sníží na hodnotu q_v . [1] Pro měření, která budou mít vypovídající hodnotu z hlediska použití pletenin uvnitř balistické vesty, je nutné měřit na přístroji i nestandardně. Ve standardním případě totiž přístroj simuluje stav, kdy je zkoumaná textilie textilií svrchní podle normy ISO11092. Ovšem textilie zkoumané v této práci budou použity jako svrchní pouze částečně. Respektive jako svrchní bude sloužit jen ta část textilie, která bude vně vesty, jedná se tedy o rukávy, na kterých by mělo docházet k odparu kapané vlhkosti generované zejména v podpaží. Pro simulaci stavu, kdy textilie neslouží jako svrchní, bude větrání v měřicí komoře Permetestu vypnuté a měření bude probíhat za přítomnosti vnějších ventilátorů, které budou instalovány tak, aby ovívaly textilie prouděním o rychlosti $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ a $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Při měření výparného odporu a paropropustnosti je měřicí hlavice (skin model) udržován pomocí tepelné topné spirály na teplotě okolního vzduchu (20 - 23 °C), který je do přístroje nasáván ventilátorem. Tímto jsou zajištěny izotermické podmínky měření. Při samotném měření se pak vlhkost v porézní vrstvě mění v páru, která přes separační folii prochází vzorkem. Konkrétní výparný odpor je pak měřen speciálním snímačem a jeho hodnota je přímo úměrná paropropustnosti měřené textilie, anebo nepřímo úměrná jejímu výparnému odporu. V obou případech se nejdříve měří tepelný tok bez vzorku a poté se vzorkem a přístroj registruje odpovídající tepelné toky q_0 a q_v . Vzorek se zachytí do obvodových čelistí a následně pak vzorkem prochází vodní pára a počítač zaznamenává množství páry, která prošla směrem z lící strany skrz zkoumaný vzorek pleteniny. [1] Vzorek je nutné po vložení do čelistí několikrát zrelaxovat stlačením spodního dílu, aby se odstranily případné sklady. Po měření je nutné nechat textilií nějakou dobu v klidu, aby další měření nebylo ovlivněno nasyceností vzorku vlhkostí.



Obrázek 21 – měřicí komora přístroje Permetest

Takto funguje měření podle normy ISO11092. Což je v praxi problematické, protože pleteniny nebudou využívány jako svrchní oděv, jak předpokládá tato norma. Pro měření s přidavnými ventilátory musí pletenina z přístroje vyčnívat na každé straně o 15 cm. Tato plocha bude ovívána ventilátory, které jsou nastaveny tak aby na krajích textilie proudil vzduch o rychlosti $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ a $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ při současně vypnutém vnitřním větrání v měřicí komoře. Takto bude simulováno měření výparného odporu a paropropustnosti v oblastech, jako jsou oblasti hrudníku.

4.3 Norma ISO11092

Norma popisuje zjišťování fyziologických vlastností – měření tepelného a výparného odporu za stálých podmínek. Předmětem normy jsou jednotlivé metody pro měření tepelného a výparného odporu za stacionárních podmínek. Je vhodná pro měření textilních materiálů i koncových výrobků. [30] ISO je mezinárodní systém norem. Evropa přijala normu ISO 11092 coby EN 31092. V České republice se používá ČSN EN 31092.

Zkušební zařízení

Skládá se ze tří částí, měřicí jednotky s možností tepelné regulace a přívodem vody, která bude přeměněna na páru, tepelného chrániče a měřicí komory.

Měřicí jednotku tvoří kovová porézní deska o tloušťce 3mm s minimální plochou $0,04 \text{ cm}^2$, kovový vodící blok s elektrickým ohříváním. Porézní deskou vedou kanálky, které přivádí vodu na její povrch. Povrchová teplota měřicí jednotky musí být konstantní, to je zjištěno regulátorem teplot s teplotním čidlem. Rychlost odpařování musí být konstantní, to je zajištěno spínačem hladiny.

Teplotní chránič musí mít dobrou tepelnou vodivost a musí mít minimální tloušťku 15mm. Tento požadavek splňují kovy. Teplota měření na teplotním chrániči musí být stejná jako na teplotním čidle.

Zkušebním prostorem konstantně proudí klimatizovaný vzduch rychlostí okolo 1 m/s . Měřicí komora by měla být umístěna 15 cm nad měřícím stolem. [30]

Problémem této normy je, že uvažuje testovaný materiál jako svrchní, pokud nebude materiál používaný jako svrchní, nebude docházet ke kontaktu s proudícím vzduchem, jak je tomu v měřicí komoře. Pro získání hodnot, kdy nebude materiál využitý jako svrchní, byl v měřicí komoře vypnut ventilátor a ventilátory byly instalovány vně měřicí komory.

4.4 Postup měření

Permetest je připojen na počítač a ovládám pomocí programu PERMETEST. Před samotným měřením je nutno přístroj kalibrovat. Nejprve bez vzorku jen se skin modelem a separační folií a poté s referenční textilií. Všechny distanční pleteniny byly měřeny třikrát standardní metodou a poté třikrát bez zapnutého ventilátoru vhánějícího vzduch do měřicí komory ale s aplikací vnějšího větráku, který byl umístěn, tak aby ovíval měřenou distanční pleteninu rychlostí vzduchu 1 m.s^{-1} a 2 m.s^{-1} . Současně bylo vypnuto větrání uvnitř měřicí komory, tím byla simulována situace, kdy se osoba pohybuje. Standardní způsob měření zaznamenává hodnoty pro klidový režim, jako je sezení. Praktické použití balistických vest se ovšem v drtivé většině případů neděje při klidovém režimu.

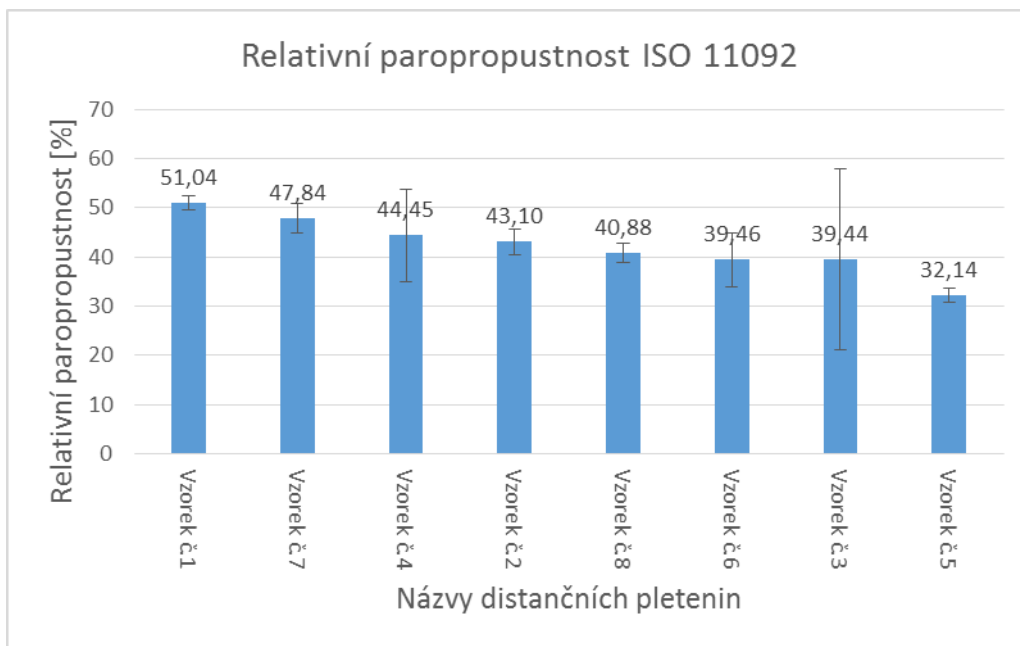
4.5 Výsledky měření

Všech 8 distančních pletenin bylo měřeno vždy 3x za stejných podmínek nejprve za podmínek normy ISO11092 a poté s aplikací vnějšího větrání. U každého měření byl vypočítán rozptyl, směrodatná odchylka, variační koeficient a 95% interval spolehlivosti. Jak je patrné z výsledků v příloze č.1 a na grafech jednotlivých experimentů, některé výsledky jsou zatíženy značnou chybou způsobenou rozptylem naměřených hodnot. Pro přesnější výsledky by bylo potřeba provést mnohem více měření, než kolik jich bylo vykonáno k účelu této práce.

Tabulka 2 - výsledky měření experimentů na přístroji Permetest

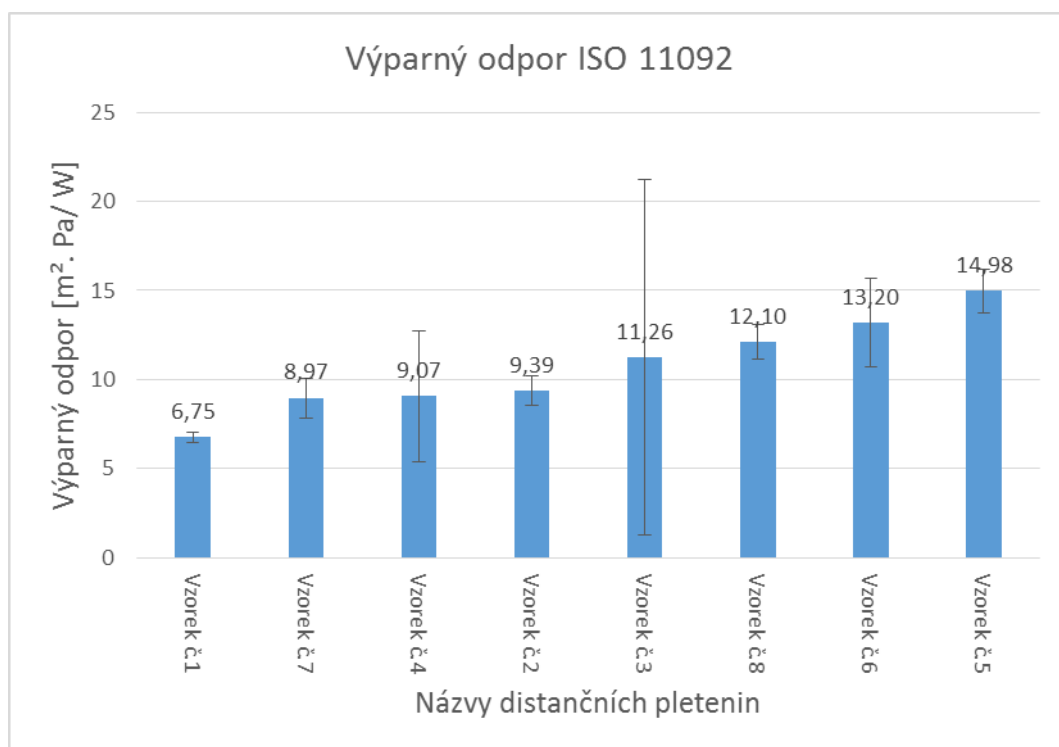
	ISO 11092		externí ventilátory 2m.s ⁻¹		externí ventilátory 1m.s ⁻¹	
	Relativní paroprop. [%]	Výparný odpor [m ² . Pa/ W]	Relativní paroprop. [%]	Výparný odpor [m ² . Pa/ W]	Relativní paroprop. [%]	Výparný odpor [m ² . Pa/ W]
textlie č.1	51,04	6,75	50,40	7,70	41,80	12,29
textlie č.2	43,10	9,39	45,70	7,80	36,45	14,23
textlie č.3	39,44	11,26	38,90	10,10	36,89	14,94
textlie č.4	44,45	9,07	41,40	11,10	43,94	11,17
textlie č.5	32,14	14,98	30,00	16,80	33,32	15,19
textlie č.6	39,46	13,20	38,42	17,90	29,90	19,56
textlie č.7	47,84	8,97	48,03	9,10	47,40	15,22
textlie č.8	40,88	12,10	44,23	15,10	32,50	18,86

Při pohledu na tabulku výsledků je patrné, že v prvních dvou měření měla nejvyšší relativní paropropustnou a současně nejnižší výparný odpor textilie č. 1. Při posledním měření, kdy byl vzduch okolního proudění nejmenší, měla nejnižší paropropustnost textilie číslo 7. Tato textilie měla současně ve stejném měření vysokou hodnotu výparného odporu. Jak ovšem můžeme vidět z grafu na obrázku číslo 27, bylo toto měření ovlivněno výrazným rozptylem, který může být způsobem nasycením textilie vodními parami mezi jednotlivými měřeními. Rozmezí měření po započítání intervalu spolehlivosti bylo od 27,53 do 2,91 [m².Pa.W⁻¹] viz příloha číslo 1. Textilie číslo 4 měla také poměrně nevyrovnané výsledky jednotlivých měření. Interval spolehlivosti těchto měření se pohybuje u paropropustnosti od 35,04 do 53,86 [%] a u výparného odporu od 5,37 do 12,76 [m².Pa.W⁻¹]. Protože stejně důležitou vlastností pro textili, která bude použita na výrobu oděvu, je nejen vedení parní vlhkosti, ale i vedení kapalné vlhkosti, budou všechny textilie testovány na schopnost vést kapalnou vlhkost. Měření na přístroji Permetest udává spíše vedení vodních par.



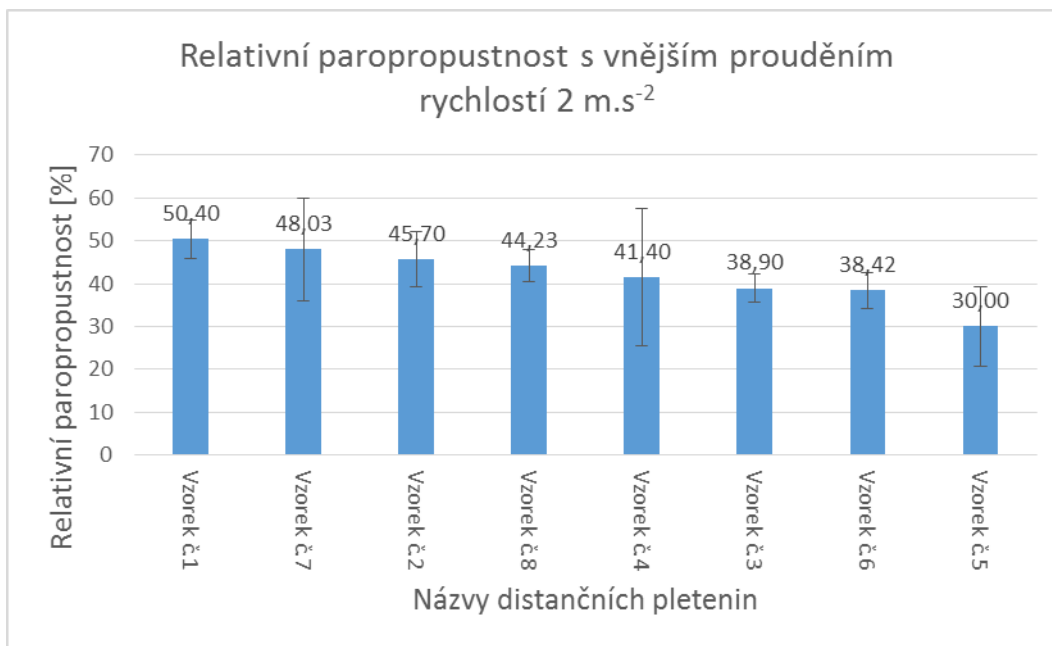
Obrázek 22 - Graf srovnání výsledků měření relativní paropropustnosti podmínky ISO 11092

Výsledky měření vyznačené v grafu na obrázku číslo 22 jasně ukazují velice dobré hodnoty pro relativní paropropustnost textilií číslo 1 a 7. Textilie číslo jedna měla, relativní paropropustnost na úrovni výsledků měření 51,04 [%] s intervalem spolehlivosti od 49,67 do 52,40 [%]. Vzorek číslo 7 měl relativní paropropustnost 47,84 [%] s intervalem spolehlivosti od 44,76 do 50,92 [%]. Všechny textilie s výjimkou textilie číslo 5 vykazovaly hodnoty okolo 40% relativní paropropustnosti, což jsou vysoké hodnoty. Zároveň byla všechna měření ovlivněna jen malou relativní chybou, kdy největší je u měření textilie číslo 3. viz příloha číslo 1.



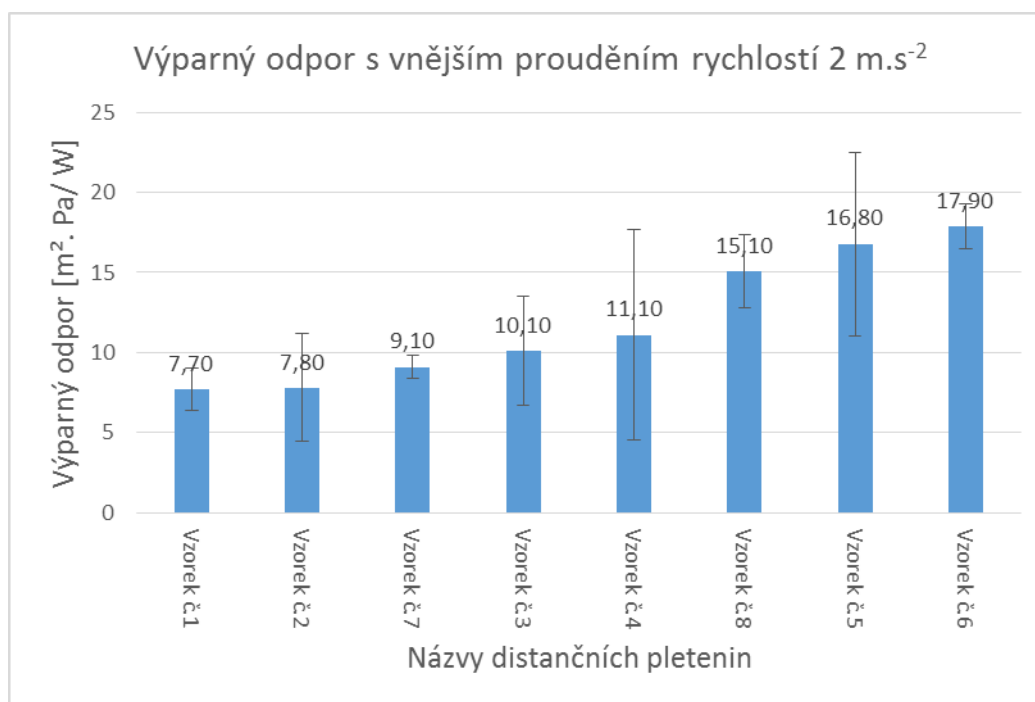
Obrázek 23 - Graf srovnání výsledků měření výparného odporu podmínky ISO 11092

Nejlepší hodnoty výparného odporu byly opět naměřeny na textiliích číslo 1 a 7. Čtyři textilie zaznamenaly hodnoty výparného odporu nad $10 \text{ m}^2 \cdot \text{Pa} \cdot \text{W}^{-1}$. Problémem měření podle normy ISO 11092 je, že je při něm uvažováno použití textilií jako svrchního materiálu. Tyto hodnoty tedy budou platit pro textilií v oblasti rukávů. Nejvhodnější textilií pro výrobu rukávů na základě relativní parpropustnosti a výparného odporu tedy je textilie číslo 1 od firmy Tebo.



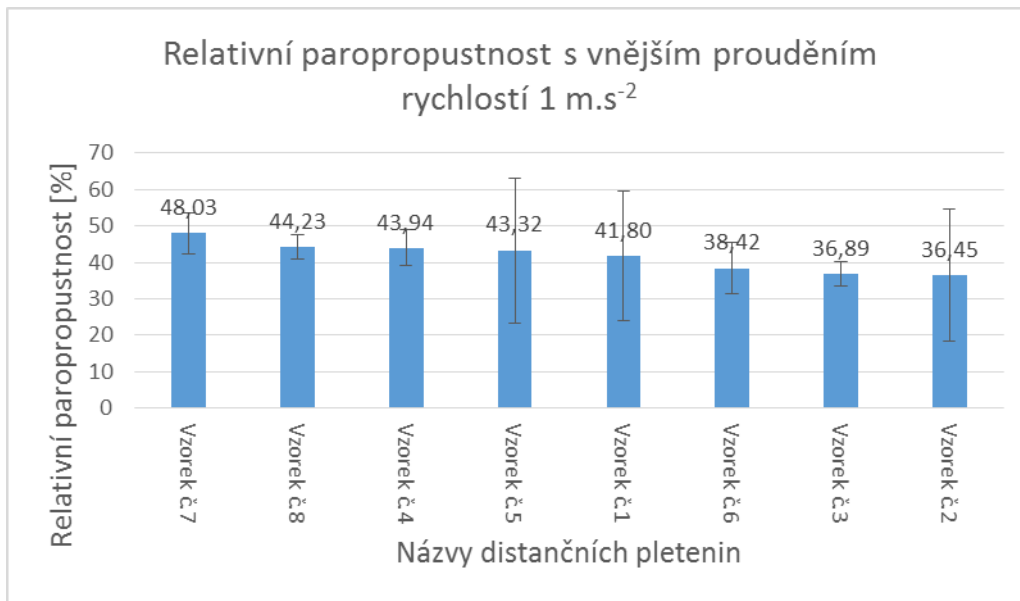
Obrázek 24 - Graf srovnání výsledků měření relativní paropropustnosti s aplikací vnějších ventilátorů

Pro textilie použité z vnitřní strany vesty bylo nutné vypnout odvětrávání měřicí komory a aplikovat vnější ventilátory, aby tak byla nasimulována situace, kdy je na rukávech možná volná konvekce, ale v měřicí komoře není možný přívod vzduchu. Výsledky měření při aplikaci vnějších ventilátorů s rychlostí proudění vzduchu $2\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ naměřeného na volných koncích textilie vykazuje podobné výsledky jako měření podle normy ISO11092. Největší rozdíl byl naměřen na textiliích číslo 4 a 5, kdy došlo ke snížení hodnot relativní paropropustnosti o 6%. Některé textilie zaznamenaly lepší relativní paropropustnost, než jakou vykazovaly při měření podle normy ISO 11092. Výsledky měření paropropustnosti textilie číslo 8 jsou o 8% vyšší než u měření prováděného podle normy ISO 11 092, tudíž textilií lépe proudí parní vlhkost, než jakých bylo naměřeno při měření podle normy ISO 11092. Chyba měření se pohybuje v hodnotách od: 40,47 do 47,98 [%]



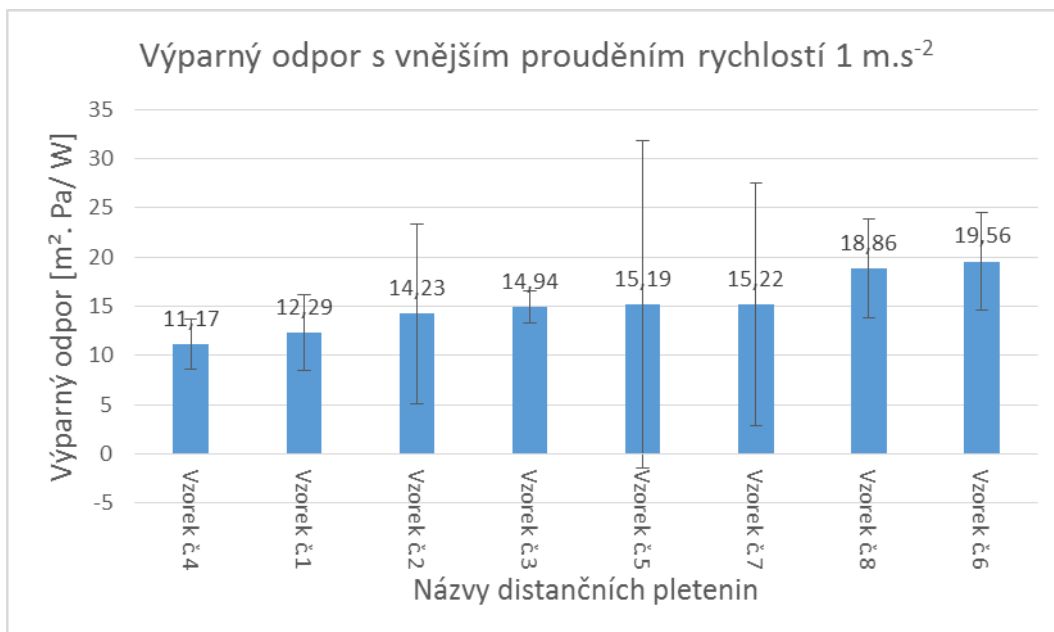
Obrázek 25 – Graf srovnání výsledků měření výparného odporu s aplikací vnějších ventilátorů

V tomto měření byly zaznamenány největší rozdíly u textilií číslo 4, kdy rozdíl mezi měřením s aplikací vnějších ventilátorů a měřením podle normy ISO 11092 zaznamenal nárůst výparného odporu o 22%. Výsledky tohoto měření jsou ovšem zatíženy významným rozptylem a interval spolehlivosti je poměrně široký, jak je vidět v grafu na obrázku číslo 25. U textilie číslo 6 byl rozdíl ještě větší, 35% nárůst výparného odporu oproti měření podle normy ISO11092. Obě tyto textilie ovšem vykazovaly veliký rozptyl měření viz Příloha č.1, výsledek je tak ovlivněn chybou znázorněnou na chybových úsečkách na obrázku číslo 25.



Obrázek 26 - Graf srovnání výsledků měření relativní paropropustnosti s aplikací vnějších ventilátorů

V měření při aplikaci vnějších ventilátorů, které zajišťují proudění větru o rychlosti 1 m.s⁻¹, byly výsledky už velice jednodušší na hranici nad 40% Relativní paropropustnosti už přesáhly pouze 3 textilie, a to textilie 7, 4 a 1. Textilie číslo 1 vykazovala pokles relativní paropropustnosti o 18%.



Obrázek 27 - Graf srovnání výsledků měření výparného odporu s aplikací vnějších ventilátorů

Relativní odpor měřený při aplikaci vnějších ventilátorů měl poměrně vysoké hodnoty u všech měřených textilií, ani jedné textilii nebyly naměřeny hodnoty pod hranici 10 m².Pa.W⁻¹. Výparný odpor textilie číslo 7 se oproti měření podle normy ISO 11092 zvýšil o 70%. Měření ovšem vykazovala rozptýl hodnot a chybové rozpětí tohoto měření je v rozmezí od 2,91 do 27,53 m².Pa.W⁻¹ viz Příloha č. 1. Tak veliký rozptýl hodnot měření je možné přičítat nasycení textilie vodními parami, které bylo nedostatečně zrelaxováno mezi jednotlivými měřeními.

Na základě výsledků všech měření prováděných na přístroji Premetest by byla pro případné použití na výrobu oděvu pod balistickou vestu vybrána textilie číslo 7, která měla nejmenší výkyvy mezi jednotlivými měřeními.

4.6 Vyhodnocení výsledků měření paropropustnosti a RET

Experiment se skládal ze tří různých měření, které se snažily co nejděleji simulovat reálné podmínky při použití distančních pletenin pod balistické vesty. Nejlepší výsledky v měřeních podle normy ISO 11 092 zaznamenala textilie číslo 1 od firmy Tebo. Tato distanční pletenina je tudíž nejvhodnějším materiálem pro místa, kde může docházet k volné konvekci, jako jsou prostory ramen a rukávy budoucího oděvu, které nejsou přímo zakryty balistickou vestou. V měřeních s vnějšími ventilátory dosahovala

nejlepších výsledků paropropustnosti textilie číslo 7 od firmy Sintex. Tato textilie je tedy nejvhodnější k použití z hlediska paropropustnosti na místa, která budou přímo zakryta balistickou vestou.

Výsledky měření výparného odporu kopírují výsledky měření paropropustnosti.

Pokud by bylo uvažováno o vytvoření prototypu pouze na základě měření na přístroji Permetest, jako nejvhodnější pro výrobu oděvu z jednoho materiálu by byla vyhodnocena distanční pletenina číslo 7, která zaznamenala nejkonzistentnější výsledky měření viz příloha č.1.

4.6.1 statistické vyhodnocení výsledků

Všech 8 vzorků bylo třikrát testováno třemi různými způsoby na přístroji Permetest (podle normy ISO11 092, s aplikací ventilátorů vně měřící komoru o rychlosti proudění 1 a 2 m.s⁻¹). Všechny výsledky byly statisticky zpracovány a u každého měření byl určen: aritmetický průměr, rozptyl, směrodatná odchylka, variační koeficient a interval spolehlivosti. Jednotlivé výsledky jsou k nalezení v příloze číslo 1 a graficky znázorněny na obrázcích číslo 22 – 27.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i \quad (23)$$

\bar{x} - aritmetický průměr

n – velikost výběru

x_i - měření

$$\text{Var}(X) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (24)$$

Var (X) – rozptyl

n – velikost výběru

x_i – měření

\bar{x} - aritmetický průměr

$$\sigma = \sqrt{\text{Var}(X)} \quad (25)$$

σ – směrodatná odchylka
 $\text{Var}(X)$ – rozptyl

$$v_x = \frac{\sigma}{\bar{x}} \quad (26)$$

v_x – variační koeficient
 σ – směrodatná odchylka
 \bar{x} – průměr

$$IS = \left(\bar{x} \pm Z \alpha \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right) \quad (27)$$

IS – interval spolehlivosti
 \bar{x} – aritmetický průměr
 Z – koeficient
 A – počet stupňů volnosti
 σ – směrodatná odchylka
 n – velikost výběru

5 Experiment – vedení kapalin distanční pleteninou

Aby bylo dost podkladů pro výběr textilie, bylo nutné změřit i schopnost textilie vést kapalnou vlhkost a simulovat tak situaci, kdy bude muset textilie vést pot vylučovaný na těle nositele vesty. Schopnost vést páru je velice důležitá pro materiál, který bude v závěru práce doporučen pro nošení pod balistickou vestu. Neméně důležitým aspektem je ovšem i schopnost vést kapalnou vlhkost. Protože cílem vrstvy pod balistickou vestou bude rychle vést pot na místa, kde dojde ke snadnějšímu odparu vlhkosti, aby tak bylo dosaženo většího komfortu při používání balistické vesty. Předmětem vylepšení, který přináší tato práce, bude navržení oděvu s rukávy, na kterých může docházet k odparu volnou konvekcí. Obecně se dá uvažovat, že textilie s menším zakrytím v povrchových pleteninách budou lépe odpařovat a transportovat kapalnou vlhkost.

Měření v podstatě simuluje vylučování potu v oblasti podpaží. Vzhledem k tomu, že pro takové měření není stanovena žádná norma, byla měření prováděna za podmínek, které co nejlépe simulovaly podmínky vedení tekutin v této oblasti. Textilie byla vložena do nádoby, která sloužila jako zásobník kapaliny. Vzorek byl plně nasycen kapalinou, protože předpokládáme dokonalé zpocení v této oblasti. Volný konec textilie simuloval rukáv. Na rozhraní prostředí docházelo k transportu kapaliny z nádoby, a tudíž i k úbytku hmotnosti zásobníku. Tato hmotnost byla zaznamenávána v předem stanovených časových intervalech. Nádoba musela být během měření zakryta, aby nedocházelo k odparu z volné hladiny.

Pokud by toto měření mělo někdy v budoucnu sloužit pro případné stanovení normy pro dokonalou simulaci transportu potu z podpaží, bylo by nutné zásobník konstantně doplňovat tekutinou, aby nedocházelo po snížení hladiny v zásobníku k nutnosti vzlínání. Toto nebylo při měření prováděném v této práci možné a po úbytku kapaliny v zásobníku musela textilie vzlínat kapalinu pro pozdější transport do prostoru volného konce simulujícího rukáv.

Měření transportovaného množství bylo nejpřesnější na začátku experimentu, kdy hladina ještě neklesala. Klesáním hladiny se prodlužovala délka vedení a měření tak bylo ovlivněno schopností textilie vzlínat kapalinu do místa, kde mohlo docházet k volnému odparu. Z prvních 60 vteřin, kdy textilie ještě nemusela vzlínat kapalinu k transportu, byl vypočítán koeficient a .

$$a = \frac{dU}{dT} [g/s] \quad (28)$$

a – směrnice úbytku hmotnosti
 dU - úbytek hmotnosti zásobníku [g]
 dT - změna času [s]

Tento koeficient udává změnu hmotnosti zásobníku za jednotku času. Tedy v podstatě rychlost transportu kapaliny. Všechny vzorky byly do nádoby umístěny tak, aby volný konec měl u všech měření konstantní délku. Měření probíhalo za konstantní okolní teploty a vlhkosti vzduchu.

Nádoba byla plně naplněna, hmotnost kapaliny v nádobě při začátku měření byla 466g, což odpovídá spodní hranici hmotnosti vyloučeného potu dospělého muže při běhu trvajícím 1 hodinu. [31]

Použitá metoda gravimetrického testování integruje transport a odpar volnou konvekcí, i když je tato metoda jednoduchá, jeví se jako originální, protože současně hodnotí dva mechanismy. Příště by tato metoda měla být použita i s přídavným prouděním zajištěným ventilátory.

5.1 Princip měření

každý pozorovaný vzorek byl vložen do nádoby, která obsahovala roztok vody smíšené s kuchyňskou solí v poměru 2 g.l^{-1} , aby se tak mohla nasimulovat schopnost distančních pletenin vést lidský pot. Nádoba s roztokem byla umístěná na váhu a s postupem času byl zaznamenáván úbytek kapaliny. Nádoba byla naplněna až po okraj a přikryta fólií, aby se zamezilo odparu vodních par z volné hladiny. Tento experiment byl poté opakován se všemi vzorky, které byly schopny vzlínat kapalinu bez dokonalého nasycení, za přesně stejných podmínek jen s tím rozdílem, že na kraji nádoby byl vzorek ještě přelepen 2,5 cm širokou páskou, aby se zmenšila plocha odparu a zvětšila se nutná vzdálenost transportu kapaliny k místu, které zaručuje volný odpar. Volný konec měřeného vzorku visel svisle z měřicí nádoby, aby mohlo docházet k odparu pomocí volné konvekce. Obecným předpokladem je, že vlákna, která mají po své délce kapiláry, by měly vést kapalnou vlhkost rychleji než vlákna ostatní. Textilie 5 až 8 by tedy v tomto testu měly prokázat lepší vedení kapalně vlhkosti.

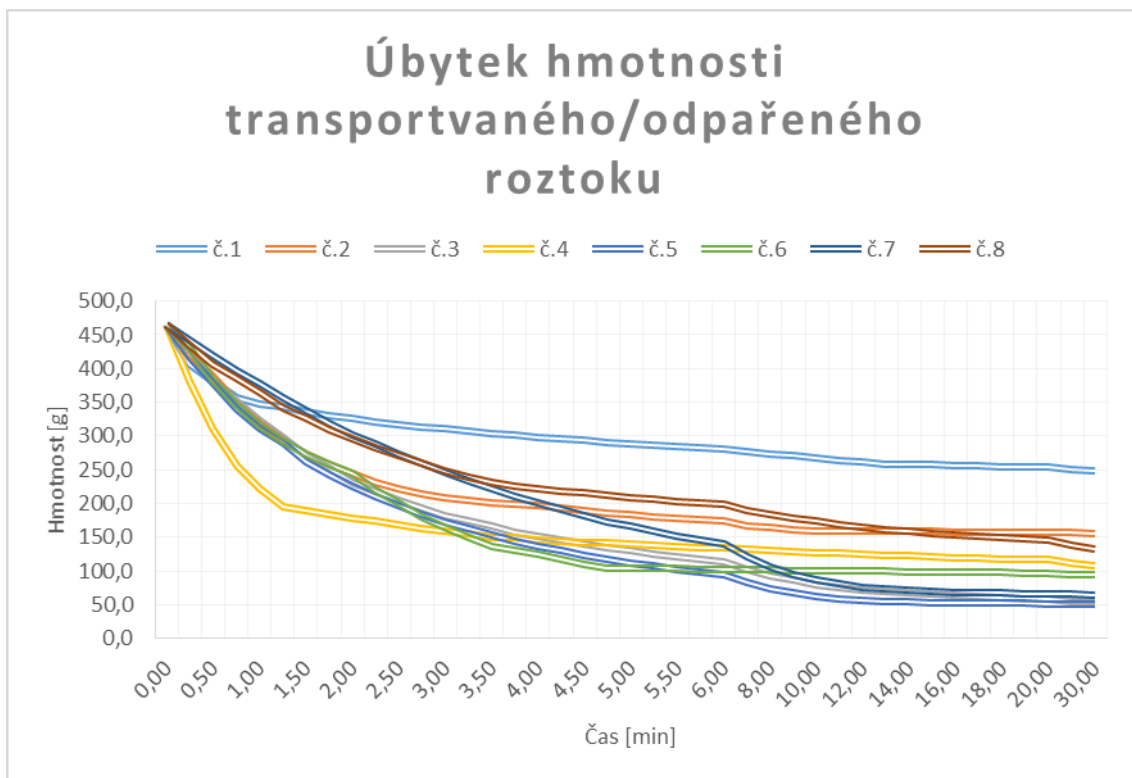


Obrázek 28 – měření vedení kapaliny distanční pleteninou

5.2 Výsledky měření odparu kapaliny z distančních pletenin

Výsledkem byl poznatek, že distanční pleteniny zhotovené z materiálů se speciálními vlákny lépe vedou kapalnou vlhkost v porovnání s distančními pleteninami s vlákny klasickými s výjimkou textilie číslo 4, která měla rychlost transportu největší. Zajímavým zjištěním bylo také, že veliké množství roztoku odkapávalo z volně visícího okraje, čili nedocházelo pouze k odparu z pleteniny. Proto bylo možné transportovat a částečně odpařit téměř půl litru kapaliny za pouhých 30 min.

Dalším a velice důležitým poznatkem bylo, že v případě některých materiálů kapalina nevzlíná. Pokud byl vzorek plně nasycen kapalinou, byl schopen kapalinu transportovat, pokud ovšem nasycen nebyl a kapalina měla ve vzorku vzlínat, experiment nefungoval.



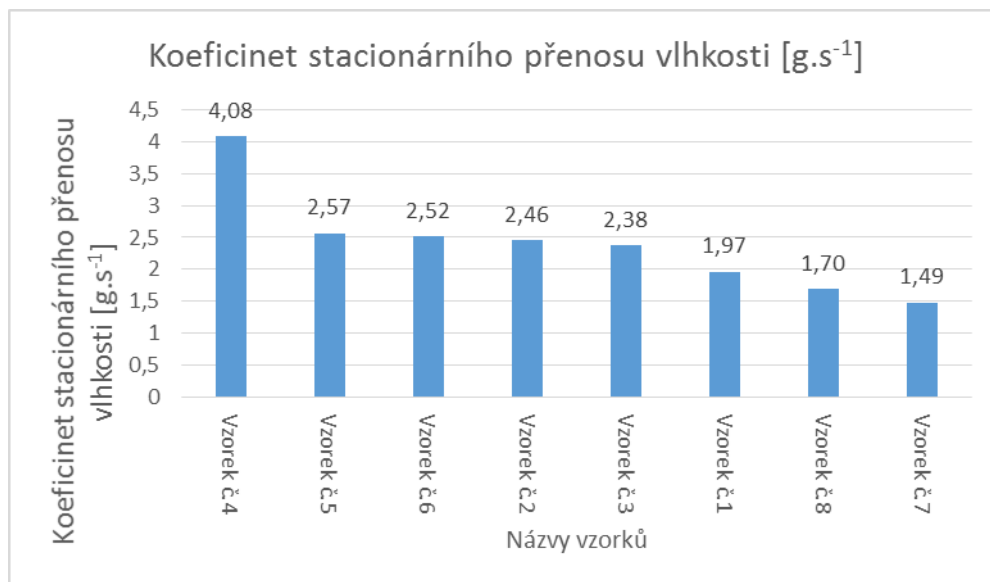
Obrázek 29 – Graf úbytku hmotnosti odpařeného/ transformovaného roztoku z nádoby

Textilie číslo 4 transportovala 466g roztoku nejrychleji, jak je vidět na obrázku číslo 29. Rychlost transportu je vypočítána v tabulce číslo 3 jako podíl úbytku hmotnosti transportované kapaliny za jednotku času.

Tabulka 3 – tabulka dílčích výsledků měření koeficientu transportu kapaliny textilií

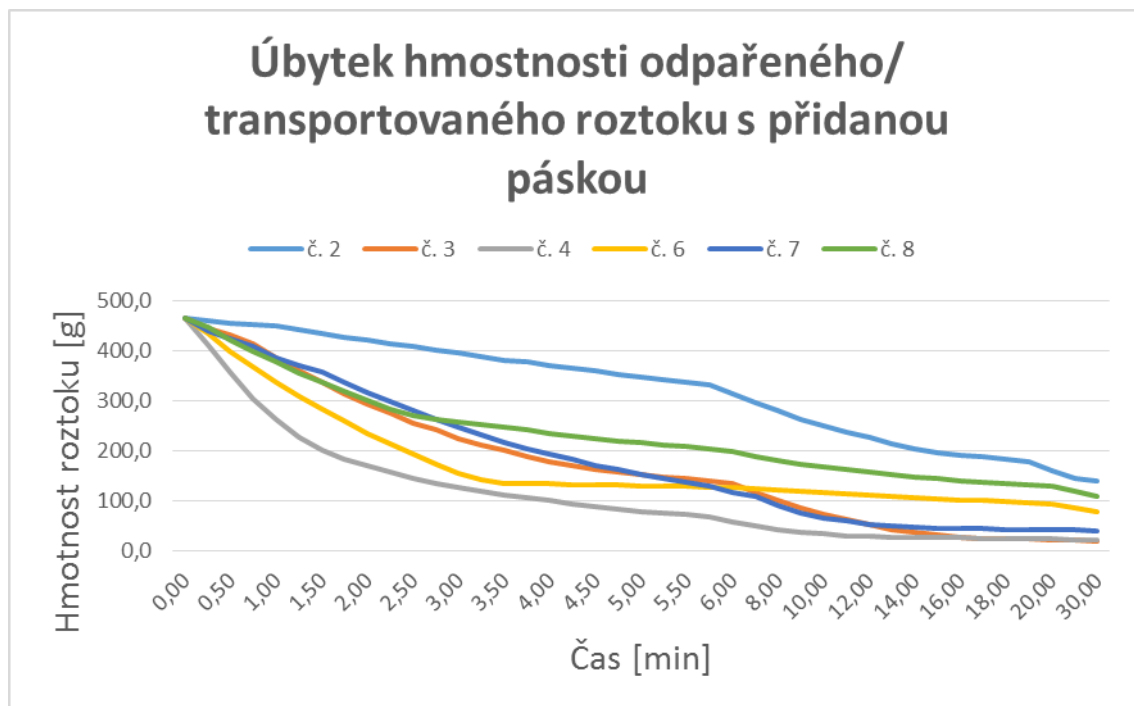
Vzorek	U ₁	U ₂	dU [g]	dT [s]	dU/dT [g/s]
č.1	466,0	348	118,0	60	1,967
č.2	466,0	318,7	147,3	60	2,455
č.3	466,0	323	143,0	60	2,383
č.4	466,0	221,3	244,7	60	4,078
č.5	466,0	312	154,0	60	2,567
č.6	466,0	315	151,0	60	2,517
č.7	466,0	376,8	89,2	60	1,487
č.8	466,0	364	102,0	60	1,700

Textilie číslo 4 měla největší koeficient transportu kapaliny. Směrnice přímkou znázorňující prvních 60 vteřin měření byla nejstrmější a v tomto časové úseku tedy textilie transportovala největší množství kapaliny.



Obrázek 30 – graf výše koeficientu stacionárního přenosu vlhkosti

Graf na obrázku číslo 30 jasně ukazuje, že textilie číslo 4 měla o 40% lepší schopnost vést kapalnou vlhkost. Ostatní textilie zaznamenaly srovnatelné výsledky pohybující se přibližně od 2,5 do 2 [g.s⁻¹]. Zajímavé je, že textilie s nejlepšími výsledky v měřeních paropropustnosti a výparného odporu – textilie číslo 7 – měla nejhorší schopnost vést kapalnou vlhkost.



Obrázek 31 - Graf úbytku hmotnosti odpařeného transformovaného roztoku z nádoby pomocí vzorků s přídavným páskem

Měření rychlosti transportu kaplany s přidaným 2,5 cm silným proužkem na rozhraní nádoby s roztokem nepřineslo žádné překvapivé výsledky. V grafu jsou znázorněny výsledky 6 vzorků, které byly schopny vzlítnat kapalinu. V testu nejrychleji transportovala kapalinu opět textilie číslo 4. Test s přidanou páskou tak dopadl obdobně jako test předchozí. Při porovnání tabulek číslo 3 a 4 je patrné, že koeficient schopnosti vést kapalinu byl u všech textilií nižší než při měření bez přidané pásky, v průměru všech textilií se koeficient snížil o 30%. Nejvíce pak u textilie číslo 2, nejmenší vliv měla přídavná páska na textilii číslo 7, schopnost vést kapalinu, byla snížena o 10%. Schopnost vést kapalinu u textilie číslo 4, která měla shodně s předchozím měřením nejstrmější směrnici v grafu, byla snížena o 17%, jak je vidět v tabulce číslo 4. Tato textilie přesto zaznamenala v první minutě nejrychlejší úbytek transportované kapaliny. Výsledky jsou zaznamenány v příloze číslo 3.

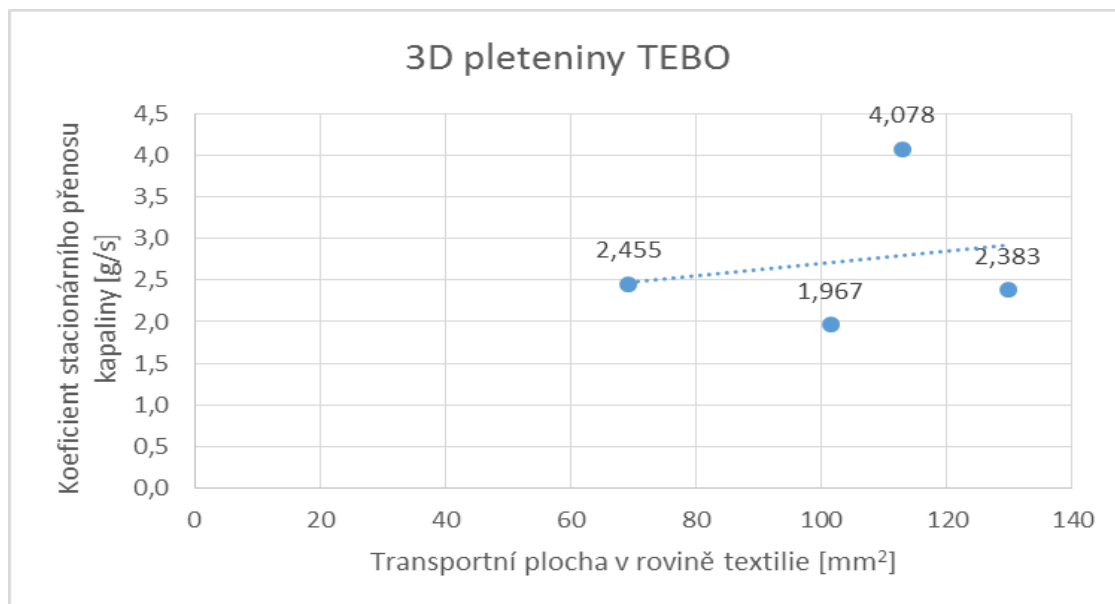
tabulka 4 - dílčí výsledky měření koeficientu transportu kapaliny textilií s přídatnou páskou

Vzorek	U_1 [g]	U_2 [g]	dU [g]	dT [s]	dU/dT [g/s]
č. 2	466	449,4	16,6	60	0,28
č. 3	466	385,5	80,5	60	1,34
č. 4	466	261,7	204,3	60	3,41
č. 6	466	337,1	128,9	60	2,15
č. 7	466	385	81,0	60	1,35
č. 8	466	378,1	87,9	60	1,47

5.3 Vyhodnocení experimentu transportu kapaliny textilií

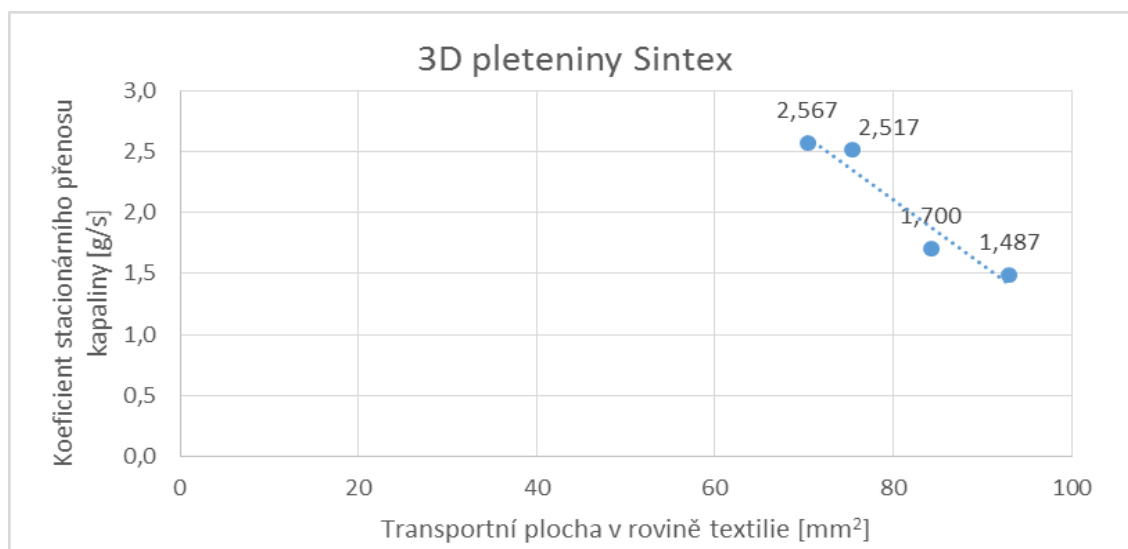
Schopnost transportovat kapalinu textilií je zásadní pro textilií, která bude použita na vnitřní straně balistické vesty, kde se počítá s transportem kapalné vlhkosti na místa umožňující odpar volnou konvekcí. Schopnost nejrychleji transportovat kapalinu vykazovala textilie číslo 4, tato textilie je tak nejvhodnější pro případné použití uvnitř balistické vesty.

Vztah mezi transportní plochou v rovině textilie a stacionárním koeficientem přenosu kapaliny se nepodařilo prokázat.



Obrázek 32 – graf vztahu koeficientu stacionárního přenosu kapaliny a transportní plochy v rovině textilie

V grafu na obrázku 32 vidíme mírnou vzrůstající tendenci koeficientu stacionárního přenosu kapaliny vztaženého na transportní plochu v rovině textilie, dalo by se tak tvrdit, že u distančních pletenin vyrobených firmou TEBO, využívající standardní polyesterová nebo polyamidová vlákna, se zvětšením transportní plochy v rovině textilie zvětšil i koeficient transportu.



Obrázek 33 - graf vztahu koeficientu stacionárního přenosu kapaliny a transportní plochy v rovině textilie

Z grafu na obrázku 33 vyplývá opačná tendence vztahu koeficientu stacionárního přenosu kapaliny k transportní ploše v rovině textilie. U těchto pletenin vyrobených firmou Sintex využívajících speciálních typů vláken (Coolmax, Thremorlie, Thermocool) se schopnost transportovat kapalinu rapidně snižovala s rostoucí transportní plochou v rovině textilie. Hypotézu, že textile s větší transportní plochou budou rychleji transportovat kapalinu, se tedy nepodařilo prokázat.

6 Experiment – test vzlínání

Experiment pro zjištění sací výšky neboli vzlínavosti kapaliny do textilie musel být do práce zařazen, protože při předchozím experimentu, kdy se měřila schopnost distanční pleteniny transportovat kapalnou vlhkost, bylo zjištěno, že některé vzorky dokázaly

velice dobře kapalinu transportovat, ovšem pouze ve stavu, kdy byly kapalinou plně nasyceny. Pokud k nasycení vzorku nedošlo, vzorek nebyl schopen vzlínat kapalinu, a tudíž ji ani transportovat z nádoby, do které byl umístěn. Toto by samozřejmě byl problém pro případné použití uvnitř vesty, kde se počítá s transportem vlhkosti skrz průramky do rukávů, kde by mělo dojít k odpařování. Takže ačkoliv určité textilie měly velice dobré výsledky ve schopnosti vést vlhkost ve formě par, a dokonce i velice dobré výsledky v testu transportu kapalně vlhkosti (při nasycení vzorku), schopnost vzlínat je neméně důležitá pro případné budoucí použití materiálu pod balistickou vestu.

6.1 Norma ČSN 80 0828

Norma hodnotí savost – schopnost textilie přijímat kapalinu a sací výšku – míru schopnosti plošné textilie přijímat svým průřezem při stavové teplotě kapalinu vzlínáním.

Zařízení, na kterém se měří, je hrazda na šest vzorků textilie s průhlednou čelní stěnou a zásobníkem na destilovanou vodu. Používá se i barvivo pro snazší odečtení výšky vzlínání. Sací výška se odečítá měřítkem s milimetrovým dělením. Pro testování se používají vzorky o rozměru 250 x 10 mm. Vzorky je nutné před zkouškou klimatizovat. Vzorky se upevní do rámu a ponoří se do zásobníku s vodou tak, aby byly ponořené 2mm vzorku.

Při měření sací výšky nebylo možno dodržet podmínky normy, protože školní laboratoř nedisponovala příslušným vybavením. Byla použita hrazda na 4 vzorky a zásobník na vodu. Vzorky byly ponořeny do kapaliny a testovány po dobu 8 minut, kdy se výsledky při odečtu sací výšky ustálily a textilie dál kapalinu nevzlínaly.

6.2 Princip experimentu

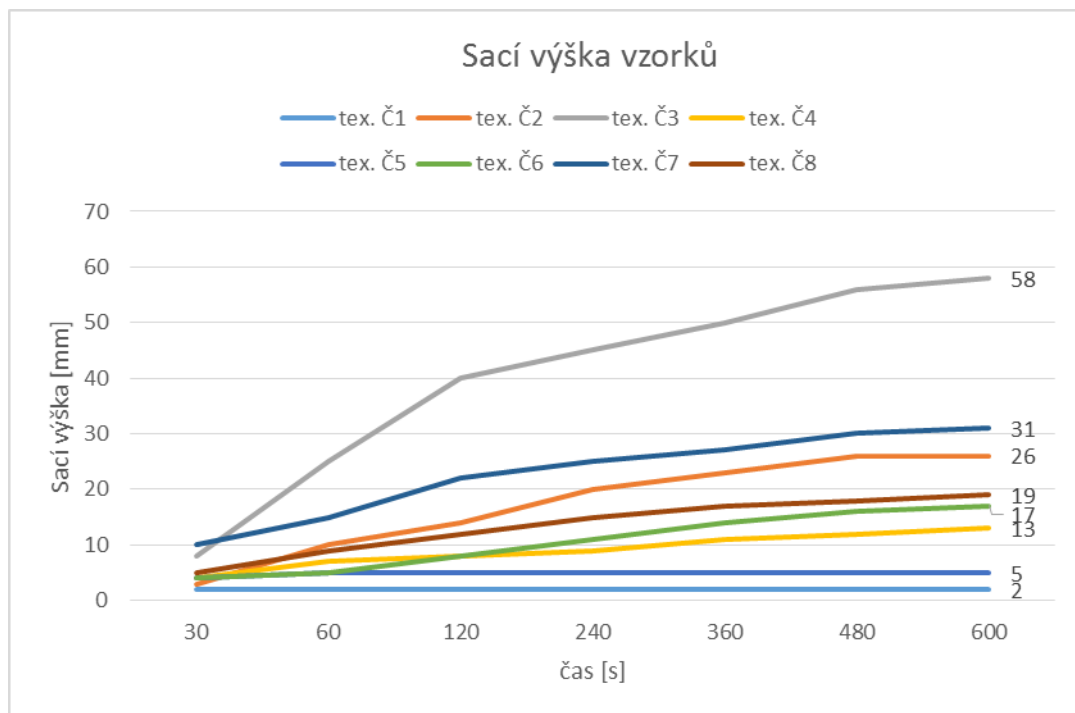
Všech 8 textilií bylo nastříháno na stejně veliké vzorky a umístěno nad zásobník, v kterém se nacházela voda. Vzorky byly umístěny tak, aby se všechny dotýkaly kapaliny ve stejné výšce, nedotýkaly se stěn zásobníku ani samy sebe navzájem. Po uplynutí předem stanovených časových úseků se měřila sací výška na jednotlivých distančních pleteninách. Z počátku testu byla frekvence měření častější, ale s přibývajícím časem nebylo nutné textilie měřit tak často, protože rozdíly byly už minimální.

Výsledky testu vzlínání

tabulka 5 – tabulka výsledků testu sací výšky

čas [s]	Sací výška [mm]							
	tex. Č1	tex. Č2	tex. Č3	tex. Č4	tex. Č5	tex. Č6	tex. Č7	tex. Č8
30	2	3	8	4	4	4	10	5
60	2	10	25	7	5	5	15	9
120	2	14	40	8	5	8	22	12
240	2	20	45	9	5	11	25	15
360	2	23	50	11	5	14	27	17
480	2	26	56	12	5	16	30	18
600	2	26	58	13	5	17	31	19

Jednotlivé výsledky byly odečítány v předem stanovených časových úsecích, tyto hodnoty byly poté zaznamenány do výše zmíněné tabulky.



Obrázek 34 - Graf výsledků měření sací výšky jednotlivých vzorků

Nejlepší výsledek zaznamenala textilie číslo 3, u které byla naměřena sací výška 58 mm. Textilie číslo 7 měla sací výšku 31 mm, což byl druhý nejlepší výsledek. Třetí nejlepší výsledek byl naměřen na vzorku textilie číslo 2. Na této textilii byla naměřena sací výška 26 mm.

Test sací výšky potvrdil to, co bylo mimoděk zjištěno v testu transportu kapaliny. Textilie číslo 1 a 5 nebyly v podstatě schopny vzlínat kapalinu.

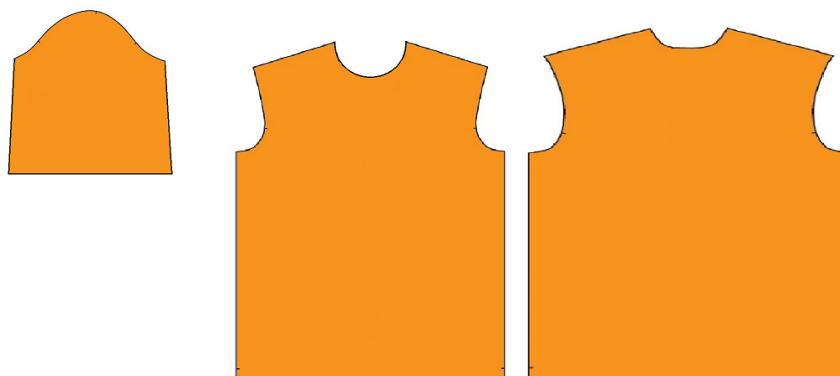
6.3 Vyhodnocení výsledků experimentu sací výšky

Z grafu na obrázku číslo 32 jasně vyplývá, že textilie číslo 1 a 5 nebyly schopny vzlínat kapalinu. Tyto textilie tedy nejsou vhodné pro případné použití uvnitř balistické vesty. Pokud by nebylo dosaženo plného nasycení v potním místě, textilie by nemusela být schopna transportovat kapalnou vlhkost. Tyto dvě textilie proto nebyly nadále testovány na schopnost vést kapalinu s prodlouženou délkou vedení.

7 Prototyp

Výroba oděvu určeného pro nošení pod balistickou vestou je inspirována novým trendem v odívání vojáků tzv. Chillie suits. Tedy oblečením, které deformuje torzo postavy vojáka tím, že ho dělá objemnějším. Z toho důvodu je pak složitější zasáhnout tělo vojáka, protože střelec není schopen rozpoznat, kde se tělo nachází. Budoucí oděv může mít dlouhé nebo krátké rukávy s ohledem na účel použití. Rukávy jsou zhotoveny tak, aby deformovaly siluetu a zároveň měly co největší plochu, kde by mohlo docházet k odparu.

7.1 Střih



Obrázek 35 – střih prototypu oděvu pro nošení pod balistickou vestu

Střih je velice jednoduchý, skládá se v podstatě ze čtyř dílů. Předního dílu, zadního dílu a dvou rukávů, u kterých byl upraven tvar, aby se od průramku postupně rozšiřovaly a zajistila se tak co největší plocha, na které by mohlo docházet k odparu volnou konvekcí.

Rozměry: obvod hrudi, obvod sedu, délka zad, délka oděvu, délka rukávu, obvod krku, šíře ramen, dolní šíře rukávu

7.2 Výroba prototypu

Prototyp může být vyroben z distanční pleteniny číslo 4, na které byl naměřen nejrychlejší transport kapaliny. Případně by mohl být vyroben z textilie číslo 7, která vykazovala nejlepší vedení parní vlhkosti. Jednotlivé prototypy by bylo ideální testovat v provozu a odstranit případné konstrukční nedostatky, případně vyhodnotit, která ze zmíněných textilií vyhovuje pro skutečný provoz více. Textilie by měly být v barvě používané v armádním prostředí. Tuto barvu ovšem není možno na distanční pleteniny tisknout, protože by došlo k dramatickému snížení paropropustnosti. Případné zbarvení distančních pletenin musí být zajištěno už ve fázi polymeru.

Soupis operací pro výrobu prototypu

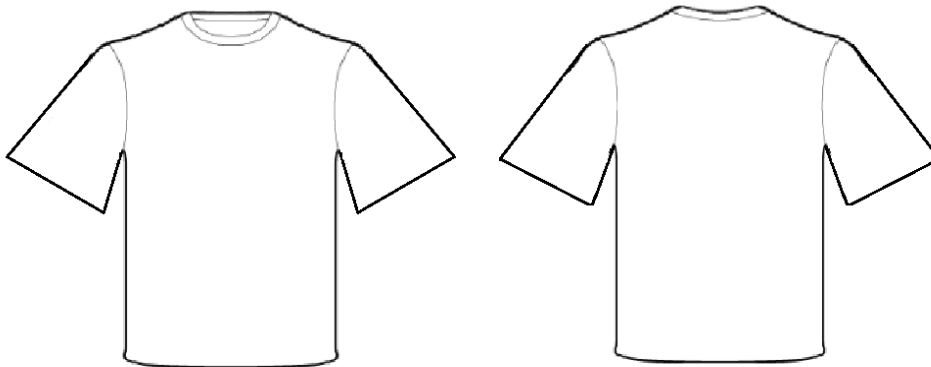
Výroba oděvu není složitá, v podstatě se jedná o tričko. I když výroba složitá není, má jasně stanovené postupy a ty jsou popsány níže:

VYCHYSTÁNÍ:

1. Přední díl trička
2. Zadní díl trička
3. Rukáv
4. Nápletový lem

MONTÁŽ

1. Sešít nápletový lem
2. Sešít náramenice
3. Všíť rukávy do průramku
4. Všíť nápletový lem do průkrčníku
5. Sešít boční šev společně s rukávovým
6. Zapravit dolní kraj rukávů
7. Zapravit dolní kraj trička
8. Vyžehlit tričko
9. Adjustace



Obrázek 36 – technický nákres prototypu

Prototyp byl vyroben v jednom vyhotovení na základě údajů uvedených v podkapitole 7.1 střih. Obrázek 36 zobrazuje technický nákres a podobu prototypu, který má usnadnit termoregulaci uživatelů balistických vest.

8 Závěr

Cílem práce bylo zvýšení komfortu ochranných balistických vest. Tato problematika byla zpracována na základě spolupráce s firmou Argun s.r.o. V Práci byla provedena analýza výroby balistických vest, dále byly rozebrány jednotlivé vrstvy vesty a jejich funkce. Ve spolupráci se zadavatelem požadavku na optimalizaci komfortu balistických vest, byl komfort užívání balistické vesty analyzován a jako nejpálčivější problém, byla označena nedostatečná termoregulace uživatelů. Balistická vesta je neprodyšný oděv, zakrývající vrchní polovinu těla tedy tu část těla, kde dochází k nejméně výraznější termoregulaci. Potíž je v tom, že při zvýšené aktivitě a míře stresu má tělo potřebu ochlazovat organismus, ale největší plochy kde dochází k nejméně efektivnějšímu chlazení organismu odparu potu, jsou zakryté balistickou vestou a odpar zde není možný.

Tato práce navrhuje výrobu oděvu, který by měl schopnost vést kapalnou a plynnou vlhkost ve své ploše a umožňoval tak odvod vlhkosti vně balistickou vestu a díky následnému odparu zajistit chladící efekt. Místa kde by docházelo k odparu, by měly být rukávy, jejíž plocha byla zvětšena, aby byla zvýšena plocha odparu. Současně by zvětšení rukávů mělo deformovat postavu nositele a kopírovat tak nejnovější trend v odívání vojáků tzv. Chillie suits, kdy se díky velikému vizuálnímu objemu oděvu nedá přesně určit, kde se nachází tělo vojáka.

Aby bylo možné vyhodnotit ideální textilii pro výrobu oděvu, musely být textilie testovány na schopnost vést kapalnou a plynnou vlhkost. Testování paropropustnosti a výparného odporu bylo testováno na přístroji Permetest. Při měření bylo zjištěno, že norma ISO 11092 (ČSN EN 31092), podle které se standardně na přístroji Permetest pracuje, uvažuje použití testované textilie jako svrchního oděvu. Z toho důvodu bylo pro účely této práce nutné sestavit vlastní model měření tak, aby bylo možné simulovat stav, kdy je textilie nošena pod svrchním oděvem, kde není možný přívod vzduchu. Odvětrávání vzorku bylo přesunuto z měřicí komory ven a po dobu měření byly ovívány volné konce měřené textilie vně měřicí komory. Aby docházelo k co nejméně simulaci skutečných podmínek.

Měření schopnosti vést kapalnou vlhkost nestanoví žádná norma, a proto byl sestaven nový model testování a textilie byla testována gravimetricky. Podstatou testování je

měření úbytku hmotnosti kapaliny v zásobníku, do kterého je vložena testovaná textilie. Textilie byla do zásobníku umístěna tak, aby jedna polovina textilie absorbovala kapalinu ze zásobníku a druhá polovina volně visela přes okraj nádoby. V délce textilie tedy docházelo k transportu kapaliny a na volném okraji k jejímu odparu. V rámci vypracování této diplomové práce byl tedy navržen a prakticky vyzkoušen nový způsob testování vedení kapaliny textilií a odparu volnou konvekcí. Na základě všech měření byly vybrány vhodné textilie pro výrobu oděvu. Vhodnou textilií z hlediska vedení parní vlhkosti byla 3D pletenina PES Thermocool hedvábí od firmy Sintex využívající Thermocool vlákna, která fungují na principu kombinace dvou typů vláken využívajících vedení vlhkosti kapilárami po délce vláken obláčkového tvaru a dutých vláken. V měření schopnosti transportovat kapalnou vlhkost vykazovala nejrychlejší úbytek kapaliny z měřicí nádoby textilie TEBO BFN využívající polyesterová vlákna. Tato textilie měla druhou nejvyšší efektivní transportní plochu v rovině textilií danou šířkou, tloušťkou a geometrickým zaplněním distanční pleteniny což mělo vliv na její schopnost transportovat kapalnou vlhkost.

Na základě závěrů z provedených experimentů a návrhu střihu byl vyroben prototyp. Tento prototyp bude prakticky testován.

Použitá literatura

1. HES, Luboš a Petr SLUKA. *Úvod do komfortu textilií*. Vyd. 1. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2005, 109 s. ISBN 80-7083-926-0.
2. HÜBSCHMANN, Karel. *Kůže, orgán lidského těla*. Praha: Academia, 1972. Nové obzory vědy.
3. HAVLOVÁ, Marie a Hana PAŘILOVÁ. *Typologie pletenin: názvoslovný katalog*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2013. ISBN 978-80-7372-940-0.
4. Přístroje na měření katedra KOD TUL [citováno 12.8.2015] dostupné z: <<http://www.kod.tul.cz/predmety/OM/cvi%C4%8Den%C3%AD/ALAMBETA1.pdf>>
5. Hes L., Doležal I.: New Method and Equipment for Measuring Thermal Properties of Textiles, J. Text. Mach. Soc. Japan 42, 1989, T124-128,
6. Neprůstřelná vesta ARGUN [citováno 12.8.2015] dostupné z: <www.argun.cz>
7. REKOVÁ, Miroslava. Vliv struktury vzorku na měření paropropustnosti podle normy ISO 11092. Liberec, 2010. Bakalářská práce. Technická Univerzita Liberec. Fakulta textilní. Vedoucí práce prof. Ing. Luboš Hes, DrSc., Dr.h.c.
8. HORNÍČEK, Petr. Odvod vlhkosti a tepla z povrchu lidského těla. Liberec, 2002. Diplomová práce. Technická Univerzita Liberec. Fakulta textilní. Vedoucí práce prof. Ing. Luboš Hes, DrSc., Dr.h.c.
9. Kevlarová vlákna [citováno 22.8.2015] dostupné z: <<http://technologie.specwar.info/kevlar/>>
10. Neprůstřelné vesty [citováno 7.8.2016] dostupné z: <http://www.valka.cz/10353-Neprustrelne-vesty>
11. KRUPICA, Dalibor. Studie využití prostředků balistické ochrany v SBS. Zlín, 2009. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta aplikované mechaniky. Vedoucí práce Ing. Ján Ivanka
12. Aramid [citováno 28.8.2016] dostupné z: <<https://en.wikipedia.org/wiki/Aramid>>
13. Nošení neprůstřelné vesty aneb jak na to – střelci [citováno 20.8.2016] dostupné z: <<http://www.strelci.com/?p=320>>
14. Historie použití vest [citováno 5.8.2016] dostupné z: <<http://www.strelci.com/?p=142>>
15. Coolmax [citováno 1.9.2016] dostupné z: <<https://en.wikipedia.org/wiki/Coolmax>>
16. Obrázek coolmax vlákna [citováno 4.9.2016] dostupné z <<http://www.rockpoint.cz/prehled-materialu/?w=3857&l=c>>
17. Proudění tepla autor Ing. Marek Pokorný ČVÚT [citováno 5.8.2016] dostupné z: <http://people.fsv.cvut.cz/www/wald/Pozarni_odolnost/e-text/specialiste/1/1-3_Proudeni_tepla.pdf>

18. Termoregulace [citováno 10.8.2016] dostupné z: <http://www.profmartinik.cz/wp-content/soubory/termoregulace.pdf> >
19. Kapilára [citováno 25.8.2016] dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Kapil%C3%A1ra>>
20. M Manshahia & A Das. High active sportswear – A critical review. Indian Journal of Fibre & Textile Research. 2014, roč. 38, č. 4, s 441-449, ISSN 0975- 1025
21. Thremocool vlákna [citováno 12.3.2017] dostupné z: <https://www.alpinepro.cz/thermo-cool-2>
22. Vzlínání kapaliny do plošné textilie - Ing. Jakub Wiener, PhD. [citováno 12.3.2017] dostupné z: <http://centrum.tul.cz/centrum/sekceB/publikace/2003/121.pdf>
23. Obrázek balistické vesty: [citováno 4.4.2017] dostupné z <http://shop.rive.cz/pujcovna/125-balisticka-vesta-modularni-neskryte-noseni.html>
24. Obrázek balistické vesty [citováno 4.3.2017] dostupné z <http://www.armadninoviny.cz/balisticka-ochrana-trupu-pro-vojenske-ucely.html>
25. Balistické vesty 1. světové války [citováno 3.3.2017] dostupné z <http://www.militaryrange.com/balisticka-ochrana-prvni-svetova-valka/>
26. Balistické vesty používané v 2. světové válce [citováno 2.12.2016] dostupné z <https://wretchedshekels.wordpress.com/tag/world-war-ii/>
27. Obrázek balistické vesty používané piloty [citováno 13.11.2016] dostupné z <http://www.alamy.com/stock-photo-body-armor-ww2-usaaf-aircrew-wearing-body-armor-flak-vests-62244981.html>
28. Ghillie suit [citováno 13.11.2016] dostupné z <https://www.thesun.co.uk/archives/news/871712/bigfoot-prankster-run-over-twice/>
29. A review of garment ventilation strategies for structural firefighter protective clothing Meredith McQuerry, Emiel Den Hartog, Roger Barker and Kevin Ross Textile research journal, Textile Research Journal, vol. 86, 7: pp. 727-742. , First Published July 22, 2015.
30. Urbanová, Markéta. Vliv povrchové struktury a textury úpletů na jejich tepelný a výparný odpor. Liberec, 2015. Diplomová práce. Technická Univerzita Liberec. Fakulta textilní. Vedoucí práce prof. Ing. Luboš Hes, DrSc., Dr.h.c.
31. RŮŽIČKOVÁ, Dagmar. *Oděvní materiály*. Liberec: Technická univerzita, 2003. ISBN 80-7083-682-2.
32. HOLEČEK, Oldřich. *Sušení* [online citováno 19.4.2017] dostupné z: <http://uchi.vscht.cz/uploads/pedagogika/labchi/S.pdf>
33. Goldstein R.J.: natural convection mass transfer adjacent to horizontal plates. International Journal of Heat and mass transfer, vol. 16, issue 5, May 1976, pages 1025-1035

Příloha A: Výsledky měření na přístroji Permetest

Textilie číslo 1						
	ISO 11092		Vnější ventilátory 2 m/s		Vnější ventilátory 1 m/s	
	Relativní parop. [%]	Výparný odpor [m2.Pa/W]	Relativní parop. [%]	Výparný odpor [m2.Pa/W]	Relativní parop. [%]	Výparný odpor [m2.Pa/W]
Měření 1	51,60	6,61	52,28	7,3	34,26	14,07
Měření 2	50,50	6,84	50,3	7,5	42,53	11,29
Měření 3	51,01	6,79	48,62	8,3	48,62	11,50
statistická analýza výsledků						
Arit prům.	51,04	6,75	50,40	7,70	41,80	12,29
Rozptyl	0,30	0,01	3,36	0,28	51,95	2,40
Směrodatná odchylka	0,55	0,12	1,83	0,53	7,21	1,55
Variační koeficient	0,01	0,02	0,04	0,07	0,17	0,13
Velikost výběru	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Intervalový odhad (95%)	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30
Chybové rozpětí	1,37	0,30	4,55	1,31	17,91	3,85
Horní limita	52,40	7,05	54,95	9,01	59,71	16,13
Dolní limita	49,67	6,45	45,85	6,39	23,90	8,44

Textilie číslo 2						
	ISO 11092		Vnější ventilátory 2m/s		Vnější ventilátory 1 m/s	
	Relativní parop. [%]	Výparný odpor [m2.Pa/W]	Relativní parop. [%]	Výparný odpor [m2.Pa/W]	Relativní parop. [%]	Výparný odpor [m2.Pa/W]
Měření 1	44,31	9,01	48,52	6,83	33,46	15,31
Měření 2	42,47	9,60	43,4	9,37	31,06	17,24
Měření 3	42,53	9,55	45,18	7,3	44,82	10,14
statistická analýza výsledků						
Arit prům.	43,10	9,39	45,70	7,80	36,45	14,23
Rozptyl	1,09	0,11	6,76	1,83	54,02	13,48
Směrodatná odchylka	1,05	0,33	2,60	1,35	7,35	3,67
Variační koeficient	0,02	0,03	0,06	0,17	0,20	0,26
Velikost výběru	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Intervalový odhad (95%)	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30
Chybové rozpětí	2,60	0,81	6,46	3,36	18,26	9,12
Horní limita	45,70	10,20	52,16	11,16	54,71	23,35
Dolní limita	40,51	8,57	39,24	4,44	18,19	5,11

Textilie číslo 3						
	ISO 11092		Vnější ventilátory 2m/s		Vnější ventilátory 1 m/s	
	Relativní parop. [%]	Výparný odpor [m2.Pa/W]	Relativní parop. [%]	Výparný odpor [m2.Pa/W]	Relativní parop. [%]	Výparný odpor [m2.Pa/W]
Měření 1	30,87	15,90	37,54	11,28	35,81	15,61
Měření 2	43,92	8,90	40,23	8,11	36,42	14,97
Měření 3	43,53	8,99	38,93	10,91	38,45	14,25
statistická analýza výsledků						
Arit prům.	39,44	11,26	38,90	10,10	36,89	14,94
Rozptyl	55,12	16,13	1,81	3,00	1,91	0,46
Směrodatná odchylka	7,42	4,02	1,35	1,73	1,38	0,68
Variační koeficient	0,19	0,36	0,03	0,17	0,04	0,05
Velikost výběru	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Intervalový odhad (95%)	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30
Chybové rozpětí	18,44	9,98	3,34	4,31	3,43	1,69
Horní limita	57,88	21,24	42,24	14,41	40,33	16,63
Dolní limita	21,00	1,29	35,56	5,79	33,46	13,25

Textilie číslo 4						
	ISO 11092		Vnější ventilátory 2m/s		Vnější ventilátory 1 m/s	
	Relativní parop. [%]	Výparný odpor [m2.Pa/W]	Relativní parop. [%]	Výparný odpor [m2.Pa/W]	Relativní parop. [%]	Výparný odpor [m2.Pa/W]
Měření 1	48,67	7,35	47,1	11,35	41,79	12,29
Měření 2	41,35	9,90	34,37	11,55	44,36	10,93
Měření 3	43,32	9,95	42,53	7,4	45,66	10,29
statistická analýza výsledků						
Arit prům.	44,45	9,07	41,40	11,10	43,94	11,17
Rozptyl	14,35	2,21	41,59	6,98	3,88	1,04
Směrodatná odchylka	3,79	1,49	6,45	2,64	1,97	1,02
Variační koeficient	0,09	0,16	0,16	0,24	0,04	0,09
Velikost výběru	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Intervalový odhad (95%)	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30
Chybové rozpětí	9,41	3,69	16,02	6,56	4,89	2,54
Horní limita	53,86	12,76	57,42	17,66	48,83	13,71
Dolní limita	35,04	5,37	25,38	4,54	39,04	8,63

Textilie číslo 5						
	ISO 11092		Vnější ventilátory 2m/s		Vnější ventilátory 1 m/s	
	Relativní parop. [%]	Výparný odpor [m2.Pa/W]	Relativní parop. [%]	Výparný odpor [m2.Pa/W]	Relativní parop. [%]	Výparný odpor [m2.Pa/W]
Měření 1	32,60	14,69	28,7	18,71	46,03	10,13
Měření 2	32,35	14,71	34,2	14,24	34,30	22,80
Měření 3	31,46	15,54	27,1	17,45	49,64	12,64
statistická analýza výsledků						
Arit prům.	32,14	14,98	30,00	16,80	43,32	15,19
Rozptyl	0,36	0,24	13,87	5,31	64,32	45,01
Směrodatná odchylka	0,60	0,49	3,72	2,30	8,02	6,71
Variační koeficient	0,02	0,03	0,12	0,14	0,19	0,44
Velikost výběru	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Intervalový odhad (95%)	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30
Chybové rozpětí	1,49	1,21	9,25	5,73	19,92	16,67
Horní limita	33,63	16,19	39,25	22,53	63,25	31,86
Dolní limita	30,65	13,77	20,75	11,07	23,40	-1,48

Textilie číslo 6						
	ISO 11092		Vnější ventilátory 2m/s		Vnější ventilátory 1 m/s	
	Relativní parop. [%]	Výparný odpor [m2.Pa/W]	Relativní parop. [%]	Výparný odpor [m2.Pa/W]	Relativní parop. [%]	Výparný odpor [m2.Pa/W]
Měření 1	41,52	12,31	36,72	18,24	36,54	20,88
Měření 2	39,76	13,02	40,14	17,2	41,76	17,25
Měření 3	37,11	14,27	38,4	17,72	36,97	20,54
statistická analýza výsledků						
Arit prům.	39,46	13,20	38,42	17,90	38,42	19,56
Rozptyl	4,93	0,98	2,92	0,32	8,40	4,02
Směrodatná odchylka	2,22	0,99	1,71	0,56	2,90	2,00
Variační koeficient	0,06	0,08	0,04	0,03	0,08	0,10
Velikost výběru	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Intervalový odhad (95%)	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30
Chybové rozpětí	5,52	2,47	4,25	1,40	7,20	4,98
Horní limita	44,98	15,67	42,67	19,30	45,62	24,54
Dolní limita	33,95	10,73	34,17	16,50	31,22	14,58

Textilie číslo 7						
	ISO 11092		Vnější ventilátory 2m/s		Vnější ventilátory 1 m/s	
	Relativní parop. [%]	Výparný odpor [m2.Pa/W]	Relativní parop. [%]	Výparný odpor [m2.Pa/W]	Relativní parop. [%]	Výparný odpor [m2.Pa/W]
Měření 1	48,47	8,74	47,25	9,41	49,34	9,50
Měření 2	46,41	9,49	53,17	9,03	45,35	17,91
Měření 3	48,64	8,67	43,67	8,86	49,41	18,25
statistická analýza výsledků						
Arit prům.	47,84	8,97	48,03	9,10	48,03	15,22
Rozptyl	1,54	0,21	23,02	0,08	5,40	24,57
Směrodatná odchylka	1,24	0,45	4,80	0,28	2,32	4,96
Variační koeficient	0,03	0,05	0,10	0,03	0,05	0,33
Velikost výběru	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Intervalový odhad (95%)	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30
Chybové rozpětí	3,08	1,13	11,92	0,70	5,77	12,31
Horní limita	50,92	10,10	59,95	9,80	53,81	27,53
Dolní limita	44,76	7,84	36,11	8,40	42,26	2,91

Textilie číslo 8						
	ISO 11092		Vnější ventilátory 2m/s		Vnější ventilátory 1 m/s	
	Relativní parop. [%]	Výparný odpor [m2.Pa/W]	Relativní parop. [%]	Výparný odpor [m2.Pa/W]	Relativní parop. [%]	Výparný odpor [m2.Pa/W]
Měření 1	40,02	12,55	44,15	14,68	44,97	19,08
Měření 2	41,58	11,89	45,78	14,46	44,98	16,74
Měření 3	41,03	11,87	42,76	16,16	42,75	20,75
statistická analýza výsledků						
Arit prům.	40,88	12,10	44,23	15,10	44,23	18,86
Rozptyl	0,63	0,15	2,28	0,85	1,65	4,06
Směrodatná odchylka	0,79	0,39	1,51	0,92	1,28	2,01
Variační koeficient	0,02	0,03	0,03	0,06	0,03	0,11
Velikost výběru	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Intervalový odhad (95%)	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30
Chybové rozpětí	1,97	0,96	3,76	2,30	3,19	5,00
Horní limita	42,84	13,06	47,98	17,40	47,42	23,86
Dolní limita	38,91	11,14	40,47	12,80	41,04	13,85

Příloha B: Tabulky gravimetrického měření úbytku hmotnosti

	č.1	č.2	č.3	č.4	č.5	č.6	č.7	č.8
čas [min]	hmotnost [g]							
0,00	466,0	466,0	466,0	466,0	466,0	466,0	466,0	466,0
0,25	407,0	421,0	417,0	381,0	416,8	431,0	443,0	435,0
0,50	381,0	390,0	382,0	311,0	379,0	383,0	420,0	407,0
0,75	356,0	349,1	352,0	256,0	340,0	345,0	397,0	386,0
1,00	348,0	318,7	323,0	221,3	312,0	315,0	376,8	364,0
1,25	343,0	294,0	297,0	196,0	289,6	293,0	356,0	342,4
1,50	336,0	273,0	272,0	189,3	262,0	273,0	337,0	325,6
1,75	330,0	258,0	252,0	184,1	242,0	257,4	318,0	310,0
2,00	326,0	243,8	232,0	178,8	226,0	244,0	302,0	296,0
2,25	321,6	231,1	218,0	173,8	209,8	220,0	287,9	282,0
2,50	317,8	222,1	205,0	168,6	196,5	200,0	273,4	270,4
2,75	314,0	214,8	193,0	163,5	183,0	180,0	258,9	259,7
3,00	310,7	208,7	182,0	159,2	173,1	165,0	246,7	247,8
3,25	307,0	205,0	174,0	155,1	162,0	149,3	233,0	238,8
3,50	304,5	201,6	166,0	150,0	153,0	136,4	222,1	230,7
3,75	301,6	198,8	158,0	148,8	144,4	130,4	210,4	225,9
4,00	298,8	196,6	151,0	146,6	136,7	125,8	200,1	222,0
4,25	296,2	193,3	145,0	144,5	129,7	116,8	190,8	218,7
4,50	293,8	189,9	140,0	142,9	123,7	109,0	181,0	215,7
4,75	291,2	186,2	134,0	141,1	117,9	104,4	173,2	212,6
5,00	289,3	183,5	130,0	139,5	112,2	103,6	165,8	209,4
5,25	287,1	180,9	125,0	137,9	107,1	103,4	158,2	206,5
5,50	285,0	178,6	121,0	136,1	102,9	103,2	151,4	203,6
5,75	283,2	176,7	117,0	134,7	98,7	103,0	145,9	200,6
6,00	281,4	174,8	113,0	134,0	94,8	102,3	139,6	198,4
7,00	276,5	167,6	102,0	132,0	82,5	101,9	120,4	190,2
8,00	273,3	164,2	93,0	130,4	73,7	101,5	105,6	183,4
9,00	270,3	160,2	86,0	128,9	67,2	101,0	95,1	178,0
10,00	266,9	159,2	80,0	127,3	62,7	100,6	87,1	173,5
11,00	264,1	158,8	76,0	126,0	58,7	100,2	81,0	169,2
12,00	261,0	158,6	72,5	124,6	56,8	99,8	76,1	165,4
13,00	257,7	158,5	69,8	123,4	55,4	99,4	73,8	161,7
14,00	257,3	158,4	67,6	122,1	54,4	99,0	71,3	158,6
15,00	257,1	158,3	65,4	121,1	53,4	98,5	69,5	155,6
16,00	256,3	157,9	63,5	119,9	52,8	98,0	68,5	153,1
17,00	255,7	157,7	61,9	119,1	52,4	97,9	67,6	151,0
18,00	254,8	157,3	60,4	118,2	52,1	97,4	66,9	149,1
19,00	254,1	157,1	59,0	117,3	51,8	97,1	66,5	147,3
20,00	253,3	156,8	57,8	116,5	51,6	96,7	66,1	145,6
25,00	250,5	156,9	53,8	112,5	51,3	95,1	65,5	138,4
30,00	248,5	155,1	54,0	108,3	51,1	93,7	64,8	132,3

	č. 2	č. 3	č. 4	č. 6	č. 7	č. 8
čas [min]	Hmostnost [g]					
0,00	466,0	466	466,0	466	466	466
0,25	460,0	444,1	411,0	435	440	449
0,50	456,0	431,5	358,0	398	425	423
0,75	453,0	415,1	303,4	369,4	409,2	400,1
1,00	449,4	385,5	261,7	337,1	385	378,1
1,25	442,7	360,6	226,8	309	372	356,2
1,50	435,4	336,2	200,4	284,3	357	337,3
1,75	428,5	314	182,6	260,3	338	319
2,00	421,5	293,4	170,2	235	317,4	301,6
2,25	414,3	276,4	157,3	213,1	299	284
2,50	408,2	256,4	145,3	193,3	280,3	271
2,75	401,6	241,5	134,2	174,1	263	263,1
3,00	395,3	224,3	125,7	155,8	247,1	257,8
3,25	389,2	212,2	119,3	141,6	232	251,7
3,50	382,2	200,3	112,0	135,2	217	246,2
3,75	377,3	189,1	105,4	134,2	204	241,1
4,00	371,1	178,2	100,1	133,3	193	235,7
4,25	365,2	169,6	93,6	132,6	182	230,4
4,50	359,7	163,4	88,2	131,8	171,1	225,5
4,75	353,9	158,2	82,3	131,1	162	219
5,00	348,2	153	78,4	130,2	153,3	216,3
5,25	342,7	148,5	75,4	129,4	145	211,9
5,50	337,7	143,7	72,7	128,6	137,1	207,9
5,75	332,2	138,5	67,4	127,8	129,9	204,5
6,00	313,2	134,4	58,3	127,2	117,4	197,7
7,00	295,1	117,2	50,0	124,2	108,3	189,1
8,00	279,9	101,3	43,0	121,4	89,5	180,8
9,00	264,0	86,4	37,3	118,6	74,1	173,6
10,00	250,9	73,7	33,3	116	66,1	167,3
11,00	237,0	62	30,1	113,2	59	161,5
12,00	225,8	51,7	28,4	110,7	53,3	156,5
13,00	214,6	43,1	27,1	108	49,3	151,9
14,00	204,2	36,1	26,4	106,1	46,3	147,9
15,00	196,1	30,6	25,8	104,1	44,8	144,1
16,00	191,7	26,5	25,3	102	43,7	140,4
17,00	187,1	24,7	25,0	100,1	43,4	136,8
18,00	183,2	23,6	24,7	98,3	43	134
19,00	178,1	23	24,5	96,4	42,9	131,2
20,00	160,0	22,5	23,3	94,4	42,5	128,8
25,00	144,5	20,5	22,5	86,1	40,9	117,9
30,00	139,2	19,3	22,3	78	39,4	108,9

Příloha C: Řezy vlákny lícních stran textilie 6, 7 a 8

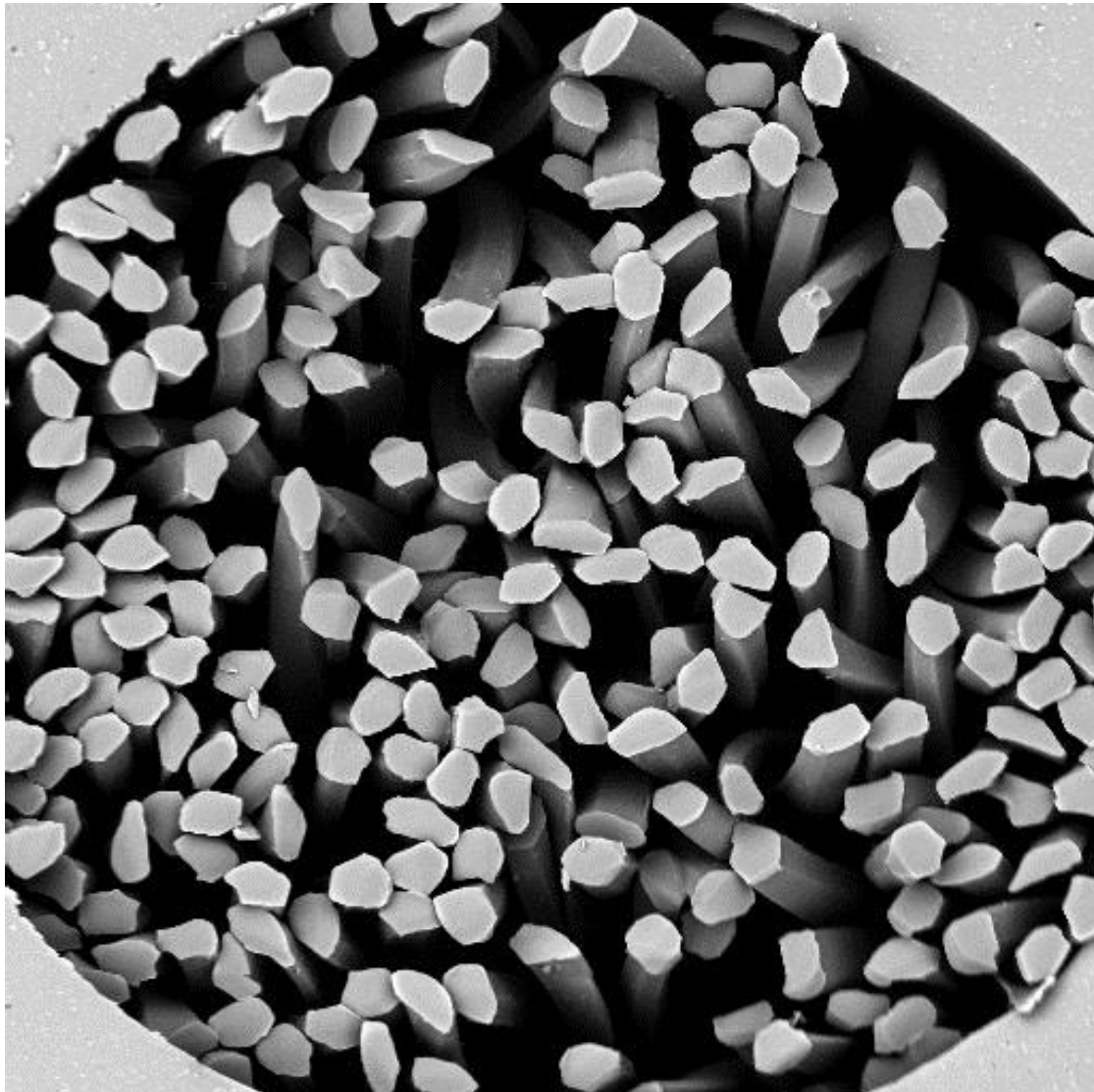


SEM MAG: 350 x
HV: 20.0 kV
VAC: HiVac

DET: BE Det + SE Det
DATE: 03/21/17
Device: TS5130

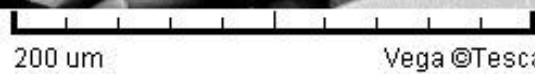
200 um

Vega ©Tescan
TU Liberec



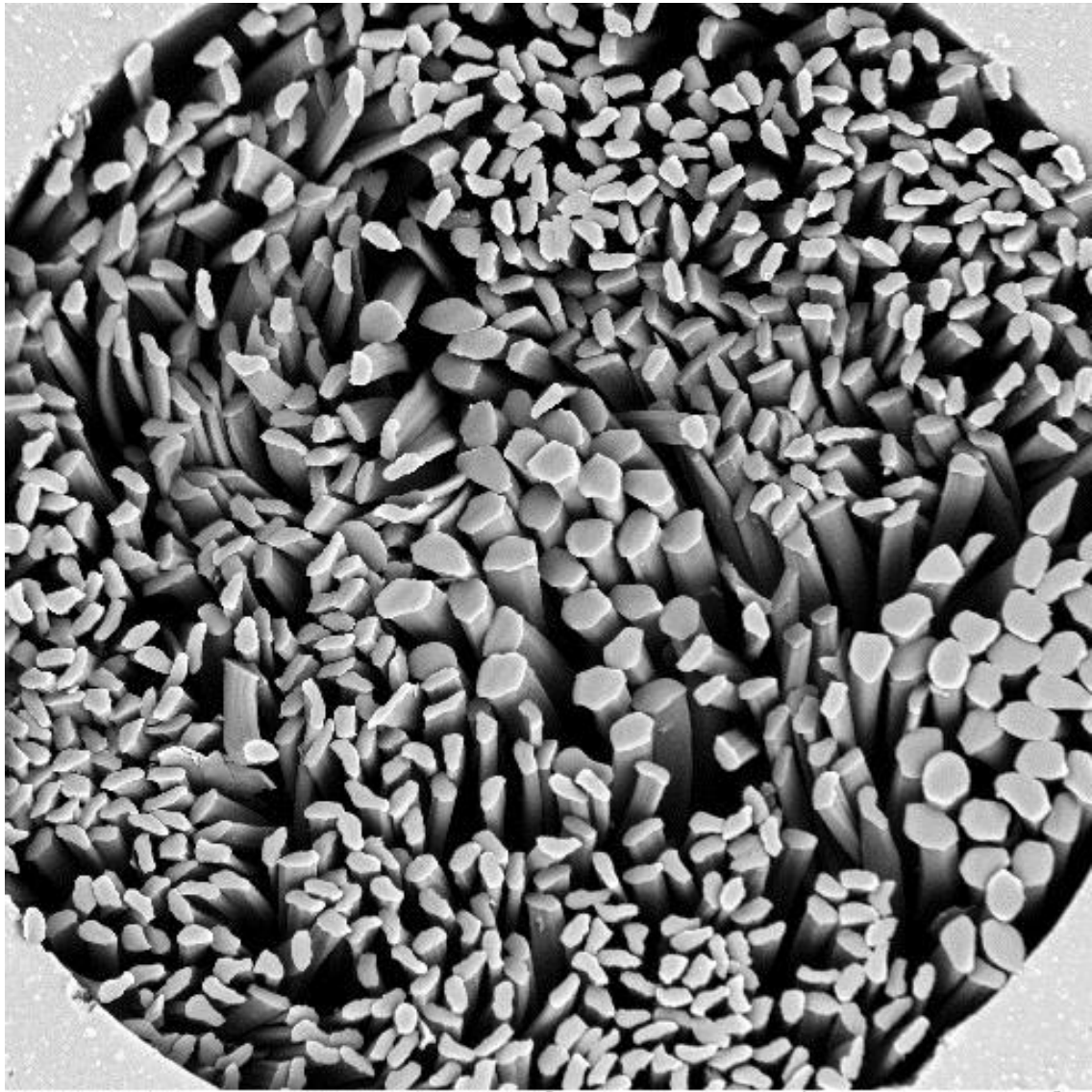
SEM MAG: 350 x
HV: 20.0 kV
VAC: HiVac

DET: BE Det + SE Det
DATE: 03/21/17
Device: TS5130



200 um

Vega ©Tescan
TU Liberec



SEM MAG: 350 x
HV: 20.0 kV
VAC: HiVac

DET: BE Det + SE Det
DATE: 03/21/17
Device: TS5130

200 um
Vega ©Tescan
TU Liberec