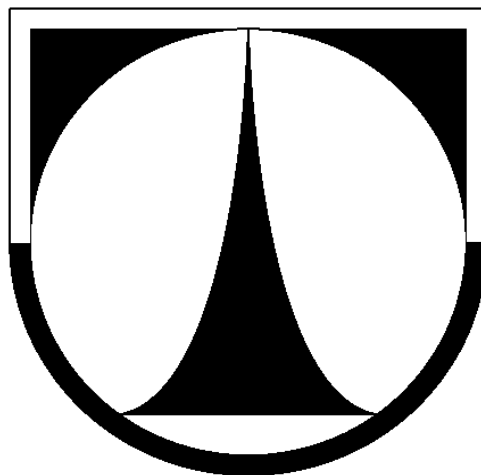


**TECHNICKÁ UNIVERSITA V LIBERCI**  
**FAKULTA TEXTILNÍ**



**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

2001

RENATA PÁLENÍKOVÁ

# TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

## FAKULTA TEXTILNÍ KATEDRA ODĚVNICTVÍ

obor: 3113-8 Oděvní technologie  
zaměření: projektování konfekčních výrobků

**Téma: Studie zjišťování vlivu proudění vzduchu na  
fyziologické vlastnosti oděvů**

**Theme: The influence of air flow on the physiological  
characteristics of clothes**

Jméno: RENATA PÁLENÍKOVÁ

KOD - 456

Vedoucí práce: Doc. Dr. Ing. Zdeněk Kůs

Počet stran textu: 80

Počet obrázků: 9

Počet tabulek: 4

Počet příloh: 8

Téma:        **STUDIE ZJIŠŤOVÁNÍ VLIVU PROUDĚNÍ  
VZDUCHU NA FYZIOLOGICKÉ VLASTNOSTI ODĚVŮ**

**ANOTACE**

Tato práce se zabývá problematikou vlivu proudění vzduchu na fyziologické vlastnosti oděvů. Jsou zde popsány jednotlivé fyziologické vlastnosti, problém ohřívání a ochlazování těles a odvod tepla i vlhkosti z organismu. Práce je zaměřená zejména na studii proudění vzduchu a na základě všech těchto poznatků podává návrh experimentu pro zjišťování vlivu proudění vzduchu na fyziologické vlastnosti oděvních materiálů.

Theme:        **THE INFLUENCE OF AIR FLOW ON THE  
PHYSIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF CLOTHES**

**ABSTRACT**

The study researched the way that flowing air affects the physiological properties of clothes. Particular physiological characteristics are described, the problems of body heating up and cooling down and the drainage of moisture and heat away. The study is focused on the influence of flowing air, and summing up the results, a proposal for an experiment is given to find out the influence of air flow on the physiological characteristics of clothing materials.

Místopřísežně prohlašuji, že diplomovou práci jsem vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci 9.10.2001

Podpis

Touto cestou bych chtěla poděkovat vedoucímu diplomové práce Doc. Dr. Ing. Zdeňku Kůsovi za odborné vedení a cenné rady a Prof. Ing. Josefu Olehlovi CSc. za poskytnuté konzultace, materiály a důležité informace.

## **Prohlášení**

Byla jsem seznámena s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121 /2000 o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé DP a prohlašuji, že **s o u h l a s í m** s případným užitím mé diplomové práce (prodej, zapůjčení, apod.).

Jsem si vědoma toho, že užít své diplomové práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených universitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

Datum: 9.1.2001

Podpis:

Použité zkratky:

a	$[\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}]$	teplotní vodivost
c	$[\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot ^\circ\text{C}^4]$	koeficient sálání
c	$[\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$	měrné teplo
d	[m]	průměr průtočného průřezu
g	$[\text{m} \cdot \text{s}^{-2}]$	tíhové zrychlení
grad T	$[\text{K} \cdot \text{m}^{-1}]$	gradient teploty
h	[m]	tloušťka
k	$[\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}]$	součinitel prostupu tepla
k	[m]	absolutní drsnost stěn potrubí
l	[m]	délkový rozměr
$m_k$	$[\text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{Pa}^{-1}]$	permeabilita kůže
$p_k$	[Pa]	parciální tlak vodních par na povrchu kůže
$p_t$	[Pa]	parciální tlak na povrchu textilie
$\Delta p_c$	[Pa]	celkový tlak ventilátoru
$\Delta p_z$	[Pa]	celková tlaková ztráta
$P_t$	[W]	výkon ventilátoru
P	[W]	příkon ventilátoru
q	$[\text{W} \cdot \text{m}^{-2}]$	hustota tepelného toku
Q	[J]	množství přivedeného tepla
Q	[W]	tepelný tok
$Q_{ov}$	$[\text{J} \cdot \text{s}^{-1}]$	tepelné ztráty na ohřev vdechovaného vzduchu
$Q_{ev}$	$[\text{J} \cdot \text{s}^{-1}]$	celkové energetické výdaje
$Q_{tt}$	$[\text{J} \cdot \text{s}^{-1}]$	tvorba tepla v organismu
$Q_{tz}$	$[\text{J} \cdot \text{s}^{-1}]$	vnější tepelné zatížení
$Q_s$	$[\text{J} \cdot \text{s}^{-1}]$	tepelné ztráty sáláním
$Q_s$	$[\text{J} \cdot \text{s}^{-1}]$	teplo sdílené sáláním
$Q_{pr}$	$[\text{J} \cdot \text{s}^{-1}]$	tepelné ztráty prouděním
$Q_{ved}$	$[\text{J} \cdot \text{s}^{-1}]$	tepelné ztráty vedením

$Q_{od}$	$[J \cdot s^{-1}]$	tepelné ztráty odpařováním vlhkosti z povrchu pokožky
$Q_{odc}$	$[J \cdot s^{-1}]$	tepelné ztráty odpařováním vlhkosti z horních cest dýchacích
$Q_{op}$	$[J \cdot s^{-1}]$	tepelné ztráty odpařováním potu
$Q_{ov}$	$[J \cdot s^{-1}]$	tepelné ztráty na ohřev vydechovaného vzduchu
$\Delta Q$	$[J \cdot s^{-1}]$	deficit tepla
$Q_v$	$[m^3 \cdot s^{-1}]$	objemový průtok ventilátoru
$R$	$[W^{-1} \cdot K \cdot m^2]$	plošný tepelný odpor
$R_p$	$[m \cdot K^{-1}]$	plynová konstanta vodní páry
$s_i$	$[J]$	měrné skupenské výparné teplo
$S$	$[m^2]$	plocha
$T, \vartheta$	$[K]$	teplota
$U$	$[m]$	obvod
$v$	$[m \cdot s^{-1}]$	rychlostní koeficient přenosu páry
$V$	$[m^3 \cdot s^{-1}]$	průtok ventilátoru
$w$	$[m \cdot s^{-1}]$	střední rychlost proudění
$Gr$	$[-]$	Grashofovo číslo
$Nu$	$[-]$	Nussetovo číslo
$Pr$	$[-]$	Prandtlovo číslo
$Re$	$[-]$	Reynoldsovo číslo
$\alpha$	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$	součinitel přestupu tepla
$\gamma$	$[K^{-1}]$	objemová roztažnost
$\lambda$	$[-]$	součinitel tření
$\lambda$	$[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$	koeficient tepelné vodivosti
$\xi$	$[-]$	bezrozměrný součinitel vřazeného odporu
$\rho$	$[kg \cdot m^{-3}]$	měrná rychlost proudící tekutiny
$\tau$	$[s]$	čas
$\nu$	$[m^2 \cdot s^{-1}]$	kinematická viskozita
$\eta_c$	$[-]$	účinnost ventilátoru





# OBSAH

1. ÚVOD.....	13
2. CÍL.....	14
3. FYZIOLOGIE A HYGIENA ODÍVÁNÍ .....	15
3.1. Oděvní komfort .....	16
3.1.1. Fyziologický komfort .....	16
3.1.2. Senzorický komfort.....	20
3.1.3. Patofyziologické vlivy .....	20
3.2. Fyziologicko – hygienické vlastnosti .....	21
3.2.1. Hydromechanické vlastnosti .....	23
3.2.2. Tepelně – izolační vlastnosti.....	27
4. ZÁKLADY TERMOREGULACE ČLOVĚKA .....	30
4.1. Termoregulace .....	31
4.1.1. Chemická termoregulace.....	31
4.1.2. Fyzikální termoregulace .....	31
4.2. Vliv vysokých a nízkých teplot na termoregulaci .....	33
5. MIKROKLIMA, ODĚVNÍ KLIMA, ODĚVNÍ MEZIVRSTVA .....	34
5.1. Teplota vzduchu pod oděvem .....	35
5.2. Obsah oxidu uhličitého pod oděvem .....	35
5.3. Vlhkost vzduchu pod oděvem .....	35
5.3.1. Kapilární odvod vlhkosti .....	36
5.3.2. Migrační odvod vlhkosti.....	37
5.3.3. Difúzní odvod vlhkosti .....	38
5.3.4. Sorpční odvod vlhkosti .....	39
6. OHŘÍVÁNÍ A OCHLAZOVÁNÍ TĚLES.....	39
6.1. Kondukce (vedení) .....	40
6.2. Konvekce (proudění) .....	42
6.3. Radiace (záření, sálání) .....	45
6.4. Evaporace (odpařování potu) .....	46
6.5. Respirace (dýchání) .....	47
7. PROUDĚNÍ VZDUCHU .....	48
7.1. Ochlazování proudem vzduchu .....	51
7.2. Proudění vzduchu vzduchovody .....	52
7.3. Tlakové ztráty při proudění tekutin potrubím .....	53
7.3.1. Tlakové ztráty třením .....	53
7.3.2. Tlakové ztráty místní .....	54
7.3.3. Celková tlaková ztráta.....	55
8. VENTILÁTORY.....	59
8.1. Zařazení ventilátorů .....	60
8.2. Základní rozdělení ventilátorů .....	60

8.3.	Další rozdělení ventilátorů .....	62
8.4.	Charakteristiky ventilátoru .....	64
9.	<i>TERMOELEKTRICKÝ SNÍMAČ HUSTOTY TEPELNÉHO TOKU</i> .....	65
10.	<i>EXPERIMENT</i> .....	67
10.1.	Návrh a popis experimentu .....	67
10.2.	Výpočty .....	69
11.	<i>ZÁVĚR</i> .....	70
12.	<i>LITERATURA</i> .....	71
13.	<i>PŘÍLOHA</i> .....	72





# 1. ÚVOD

Jednou z funkcí oděvu je ochrana lidského organismu proti okolnímu prostředí. Již z tohoto požadavku na oděv vyplývá, že je potřeba věnovat stále více pozornosti fyziologickým vlastnostem oděvu. Tzn. zajistit spotřebiteli nejen estetickou hodnotu, ale především užitnou hodnotu, a to tak, aby oděv splňoval základní parametry reprezentační, trvanlivostní a fyziologické.

Výzkum fyziologie a hygieny odívání je dán potřebami a požadavky textilního průmyslu na poskytování informací a podkladů pro oblast projektování, konstrukce a technologie nových textilních materiálů s využitím ekonomicky výhodnějších syntetických materiálů při současném zlepšení fyziologicko – hygienických vlastností zaručujících optimální vhodnost textilie pro dané účely.

Fyziologie odívání se především zabývá soustavou **organismus – oděv – prostředí**, které jsou provázány zákonitostmi a vazbami v jeden celek. Pro přesnější a správnější vyhodnocování úlohy a vlastností oděvu je zapotřebí zohlednit nejen vnější projevy soustavy organismu a to hlavně tvorbu, příjem a výdej tepla a celou termoregulaci, ale také stav prostředí, který je definován vlhkostí, teplotou, rychlostí proudění vzduchu, prašností, hlučností, atd..

## 2. CÍL

Cílem této práce je provést studii o vlivu proudění vzduchu na fyziologické vlastnosti oděvních materiálů, které jsou určeny pro použití do extrémních teplot. Proto se práce zabývá problémem ohřívání a ochlazování těles, odvodem tepla i vlhkosti z organismu a popisuje jednotlivé fyziologické vlastnosti oděvních materiálů, které jsou důležité pro zajištění oděvního komfortu a chrání lidský organismus před vlivem extrémních teplot.

Dále tato práce na základě všech těchto poznatků podává návrh experimentu pro zjištění vlivu proudění vzduchu na vybrané vlastnosti oděvních materiálů.

### 3. FYZIOLOGIE A HYGIENA ODÍVÁNÍ

Současná koncepce výzkumu fyziologie a hygieny odívání vychází z teoretických základů této vědy o fyziologických vlastnostech oblečení, kterými jsou fyzika, fyzikální chemie, textilní technologie, lékařská fyziologie a psychologie. Tato koncepce zahrnuje v sobě komplexní řešení problematiky jak v rovině základního teoretického výzkumu, tak i v rovině výzkumu aplikovaného v následujících nejdůležitějších směrech:

- Studium teoretických základů fyziologie a hygieny odívání, zejména studium fyziologických reakcí organismu v podmínkách nošení oděvů v daném klimatu a fyzické zátěži, studium stavu fyziologického komfortu, tělesné termoregulace a teoretický popis stavu i chování oděvního mikroklimatu.
- Výzkum a vývoj metodiky fyziologického experimentu v bioklimatické komoře s maximálním využitím měřicí a výpočetní techniky.  
Modifikace metodiky fyziologického experimentu, zejména pro extrémní klimatické podmínky při velmi nízkých teplotách.
- Studium fyziologicko – hygienických vlastností, zahrnující nejdůležitější z nich – tepelnou propustnost, propustnost vodních par a prodyšnost vzduchu, včetně vývoje experimentálních metod stanovení těchto vlastností i jejich modifikací. Cílem studia je popsat exaktně procesy přestupu energie a hmoty vrstvou textilie.
- Vypracování systému fyziologicko – hygienického hodnocení textilií, použitelného jak pro textilie plošné, tak i pro oděvní komplety.

Uvedená koncepce staví výzkum fyziologie a hygieny odívání do úzké souvislosti s výzkumem struktury a vlastností textilií.

V souladu se světovým trendem je souvislost těchto příbuzných disciplín řešena komplexně pod nejširším zorným úhlem jako logický celek, který je reprezentován vztahem

**struktura textilie ⇔ její fyziologicko – hygienické vlastnosti**

**⇔ odpovídající fyziologický projev organismu**



v němž dominující postavení má fyziologicko – hygienická vlastnost textilie, vlastnost, která nějakým způsobem ovlivňuje fyziologické pochody a subjektivní pocity nositele.  
[11]

## 3.1. Oděvní komfort

Fyziologie studuje vzájemné vztahy mezi okolním prostředím, oděvem a organismem a snaží se zajistit dobrý **oděvní komfort**. Je to stav fyziologické, psychologické a fyzikální harmonie mezi člověkem a prostředím. U každého jedince je individuální a podle různých hledisek je možné ho rozdělit na:

- 1) **Oděvní komfort funkční** – může být hodnocen subjektivně i objektivně. Zahrnuje komfort fyziologický, senzorický a patofyziologické vlivy.
- 2) **Oděvní komfort psychologický** – je to část komfortu zahrnující styl, barvu, velikost atd.. Tato komponenta komfortu závisí na kulturní a sociální úrovni, a především vyjadřuje individualitu zákazníka. V některých případech může dokonce požadavek na psychologický komfort převážit nad funkčními.

### 3.1.1. Fyziologický komfort

Stav lidského organismu, v němž jsou fyziologické funkce v optimu, a který je subjektivně vnímán jako pohodlí, je označován jako fyziologický komfort.

Teoretický popis stavu **fyziologického komfortu** vychází z představy lidského organismu jako tepelného stroje pracujícího na principu konstantní teploty. Tento princip je zajišťován termoregulačním systémem, neboť odchylky od vnitřní tělesné teploty jsou příčinou změn fyziologických funkcí vedoucích v extrémních případech

k trvalému poškození nebo dokonce i k zániku organismu. Kapacita termoregulačního systému je do jisté míry omezena a v našich klimatických podmínkách, kdy teplota klimatu je prakticky vždy nižší než vnitřní tělesná teplota, je nutno k dosažení vyvážené tepelné bilance uvažovat tepelně – izolační funkci oděvu. Textilie nebo oděv, který poskytuje ochranu současně proti chladu i teplu a umožňuje optimální transport vlhkosti skrze jednotlivé vrstvy oděvu, zajišťuje vyrovnaní energetické bilance člověka. [11]

Základním kritériem stavu fyziologického komfortu je právě **vyvážená tepelná bilance** – stav, kdy organismus produkuje a přijímá takové množství tepla, které současně beze zbytku transportuje do okolí, prakticky bez zapojení termoregulačních mechanismů. Tohoto stavu je dosaženo v úrovni „bazálního metabolismu“ (optimální podmínky při úplném tělesném i duševním klidu bez dodání potravy, tj. teplota okolo +20°C, vlhkost okolo 65% r.v.), tedy při jistých standardních podmínkách, které zajišťují minimální průběh metabolických dějů. Tyto podmínky se uvnitř organismu projevují jako neustálé porušování a znovu se ustavující dynamická rovnováha mezi celkovým množstvím tepla produkovaným metabolismem a množstvím tepla odváděným do okolí.

Vnějšími projevy dynamické rovnováhy v procesu neustálého transportu tepla a vlhkosti jsou hodnoty některých fyziologických veličin, které jsou experimentálně snadno měřitelné na povrchu pokožky, především povrchová kožní teplota a povrchová kožní vlhkost.

### **Objektivní hodnocení fyziologického komfortu**

Při modelování jakýchkoliv reálných pracovních podmínek ve fyziologickém experimentu při každé lidské činnosti, je hledána fyzikální interpretace pocitů pohody ve vztahu k použitému oděvu. Podmínky bazálního metabolismu nejsou splněny zejména proto, že organismus produkuje podstatně větší množství tepla v závislosti na činnosti kosterního svalstva.

Vzhledem k obecné platnosti rovnováhy mezi množstvím tepla produkovaným a množstvím tepla transportovaným z organismu do okolí nutno předpokládat zapojení

termoregulačních mechanismů intenzitou, stoupající úměrně s fyzickým zatížením, a zejména zvýšenou intenzitou transportu tepla (i ve formě vlhkosti) z organismu do okolí.

Z rozboru stavu fyziologického komfortu vyplývá, že nelze dostatečně přesně hodnotit tento stav pro různé klimatické podmínky a různé fyzické zátěže vnějšími projevy organismu (tj. povrchovou kožní teplotou a vlhkostí) změřenými ve stadiu bazálního metabolismu.

Experimentální stanovení oblastí fyziologického komfortu, které jsou vymezeny intervalem klimatických a zátěžových podmínek, lze provádět dvěma způsoby:

- 1) Stanovení množství tepla produkovaného organismem v závislosti na fyzické zátěži a klimatických podmínkách, které je transportováno pokožkou do oděvní mezivrstvy a textilií do okolí.

Stanovení fyziologicko – hygienických vlastností této textilie (tepelná propustnost, prodyšnost vzduchu, propustnost vodních par) a provedení diskuse, zda textilie s uvedenými vlastnostmi bude veškeré produkované teplo a vlhkost odvádět do okolí (komfort) nebo zda bude docházet k hromadění tepla a vlhkosti v oděvní mezivrstvě (diskomfort).

- 2) Stanovení povrchových kožních teplot a vlhkostí v závislosti na fyzické zátěži a klimatických podmínkách pro danou textilií.

Stanovení stejných hodnot pro neoblečenou osobu. Na základě srovnání teplot a vlhkostí oblečené a neoblečené osoby určit míru dosažení fyziologického komfortu pro danou textilií v experimentálních podmínkách.

Oba způsoby jsou na sobě zcela nezávislé. [11]

## **Subjektivní hodnocení fyziologického komfortu**

Subjektivní hodnocení je založeno na definici pocitů chladu a tepla v několika stupních snadno od sebe rozlišitelných.

- 1) **Fyziologický komfort** je vnímán jako pohodlí, kdy nepřevládají pocity tepla ani chladu, a je možno v něm setrvávat nebo pracovat neomezeně dlouho.
  
- 2) **Pocity tepla** se dostavují při větším pracovním zatížení nebo při působení teplého (eventuelně vlhkého) klimatu při nošení oděvu, který nemá optimální fyziologicko - hygienické vlastnosti.
  - Mírné teplo se projevuje jako lokální pocity zvýšeného tepla periferních oblastí (dlaň, čelo, chodidla) doprovázené počínajícím pocením těchto míst. V takovém oděvu lze prakticky nepřetržitě pracovat.
  - Teplo se projevuje jako prohlubující se pocity tepla po celém těle a dochází k pocení. Pot vyráží kromě periferních oblastí i na zádech a na hrudníku. Jedná se o takovou intenzitu, kdy je vylučovaný pot za spolupůsobení oděvu odpařován z povrchu pokožky a nestéká. Ve vhodném oděvu lze pracovat pouze omezenou dobu při střídání práce a odpočinku, aby se nedostavil stav zřejmého diskomfortu.
  - Horko se dostavuje při celkovém přehřátí organismu provázeném maximální intenzitou pocení a stíženým dýcháním. Stékající pot nestačí být odpařován z pokožky. Jsou to průvodní jevy teplotního i vlhkostního diskomfortu. Oděv, který vyvolává tyto pocity, má nedostatečnou propustnost tepla i vodních par a nedostatečnou prodyšnost.
  
- 3) **Pocity chladu** se dostavují především jako reakce na nízkou teplotu klimatu, event. nízké pracovní zatížení v oděvu, který má nedostatečné tepelně izolační vlastnosti.
  - Mírné chladno se projevuje pocity lokálního mrazení na některých místech těla (nezakrytých nebo nedostatečně oblečených), doprovázenými výskytem „husí“ kůže. Mohou být vyvolány např. zvýšeným prouděním vzduchu nebo nečinností po předcházející námaze a zapocení. Oděv, který při nošení vyvolává tyto pocity, má ještě vyhovující fyziologicko – hygienické vlastnosti pro daný účel a způsob použití a lze v něm nepřetržitě pracovat.
  - Zima se projevuje jako pocity mrazení na celém těle, současně se dostavuje chvění těla (třes jednotlivých svalů nebo celých svalových skupin). Jedná-li se o pobyt v podnulových teplotách, mrznou konce prstů u rukou i u nohou,

tváře i ušní boltce. Fyziologicko – hygienické vlastnosti oděvu, jsou na přelomu mezi vyhovující a nevyhovující úrovni, a lze v něm pracovat pouze krátkodobě.

- **Tuhnutí**, tj. pocit celkového hlubokého podchlazení, které ochromuje pohyb končetin. Nastává ztvrdnutí rukou i nohou, může se dostavit šok z chladu. Fyziologicko – hygienické vlastnosti oděvu, který vyvolává tyto pocity, jsou pro daný účel a způsob použití nevhodné zejména z důvodu nedostatečně tepelně – izolačních vlastností (nadměrná tepelná propustnost). Setrvání v tomto stavu přináší patologické následky. [11]

Takto definované pocity jsou subjektivně zjišťovány v průběhu fyziologického experimentu zkušebními osobami a vzniklý „časový záznam subjektivních pocitů“ je konfrontován s časovým průběhem povrchových kožních teplot a vlhkostí.

### 3.1.2. Senzorický komfort

Pod **senzorickým komfortem** rozumíme vjemy, které se získávají mechanickým a tepelným kontaktem textile – pokožka. Statický tlak v místě kontaktu závisí nejen na konstrukci a velikosti oděvu, ale také na jeho váze, splývavosti a stlačitelnosti všech textilií, které se podílejí na vzniku kontaktního vjemu. Zvyšuje se důležitost tuhosti ve střihu všech textilií tvořící oděv, stejně jako elastické vlastnosti. Přitom mají značný význam odstávající konce vláken, sloužící jako „prvky udržující vzdálenost od pokožky“.

### 3.1.3. Patofyziologické vlivy

**Patofyziologie** je vědní obor, který se zabývá studiem vzájemné interakce v systému: **lidský organismus – oděv**, s přihlédnutím k působení chemických

substancí, obsažených v materiálu, z něhož je oděv zhotoven, a mikroorganismů vyskytujících se na lidské pokožce.

Pocit komfortu při nošení oděvních textilií je ovlivněn také působením patofyziologických resp. toxických vlivů, tj. působením mikroorganismů – bakterií a plísní.

Působení patofyziologických vlivů je závislé jednak na subjektivní odolnosti člověka (lidské pokožky) proti účinkům různých chemických látek obsažených v textiliích (alergie), jednak na podmínkách růstu kultur běžných mikroorganismů, vyskytujících se v mikroklimatu, omezeném povrchem lidského těla a textilií.

Je nutné řešit otázku vzájemné interakce lidského organismu a oděvu a usměrnit vývoj textilií, zejména oděvních tak, aby se získaly oděvní výrobky s minimální dráždivostí pokožky a současně s maximální antimikrobiální účinností. Působení mikroorganismů na komfort oděvních výrobků se minimalizuje nejruznějšími chemickými úpravami (baktericidními, bakteriostatickými, hygienickými) plošné textilie nebo se tyto úpravy aplikují již v procesu výroby vláken. [11]

### 3.2. Fyziologicko – hygienické vlastnosti

Nejdůležitější funkcí oděvu je zajištění tepelné izolace lidského těla. Tuto funkci oděv neplní přímo svým vlákenným materiálem, ale především vzduchem obsaženým v objemu textilie. Zároveň má však při sdílení tepla mezi člověkem a vnějším prostředím velmi důležitou úlohu, a to je přestup tepla odpařováním potu z povrchu těla. Úroveň přestupu tepla vypařováním značně závisí na **hydromechanických vlastnostech** textilních materiálů, jako je navlhavost, nasákavost, vzlínavost, vysýchavost, propustnost pro vodní páry, přenos vody a vlhkosti a prodyšnost.

Základní fyziologicko – hygienické vlastnosti textilních materiálů mají velký význam pro hodnocení hygieničnosti oděvu. Tyto vlastnosti umožňují regulovat oděvní mikroklima, které podmiňuje subjektivní pocity člověka, jeho náladu a pracovní schopnost.

Dosavadní výzkum potvrzuje dominující postavení vlastností textilie, jejíž souvislosti se strukturou textilie i s určitými fyziologickými reakcemi organismu jsou zřejmé. V současném stadiu poznání je znám velký počet vlastností textilií, které poskytují důležité kvantitativní informace využívané v oblasti konstrukce textilií, technologie, zušlechťování a kontroly jakosti.

Pro řešení problémů fyziologie a hygieny odívání má zásadní význam pouze nevelký počet vlastností textilií, označovaných jako fyziologické nebo fyziologicko - hygienické.

Fyziologicko – hygienickou vlastnost textilie lze definovat jako takovou vlastnost, která exaktně, pomocí fyzikálních i fyzikálně – chemických zákonů, popisuje transportní jevy, tj. procesy přestupu tepla a hmoty vrstvou textilie.

Studium je zaměřeno především na:

- tepelnou propustnost
- prodyšnost vzduchu
- propustnost vody a vodních par

Uvedené vlastnosti jsou studovány ve dvou směrech: jednak v laboratorních podmínkách, jednak v podmínkách bioklimatické komory – čili v modelových podmínkách nošení.

Pro nalezení vlivu fyziologicko – hygienické vlastnosti dané textilie na fyziologické reakce organismu oblečeného v téže textilii je nezbytně nutno studovat:

a) Mechanismus transportního jevu

- což znamená experimentálně zjistit, který z možných fyzikálních, resp. fyzikálně – chemických dějů se podílí na transportu tepla (vedení tepla, proudění tepla, sálání tepla), vzduchu (laminární proudění, turbulentní proudění) a vody i vodních par (difúze, migrace, sorpce, kapilarita).

b) Kinetiku transportního jevu

- což znamená experimentálně zjistit rychlost studovaného děje a nalézt pro něj příslušné kinetické rovnice. Rychlost odvádění tepla a hmoty z oděvní mezivrstvy ovlivňuje okamžitý stav oděvní mezivrstvy, který je velice důležitou veličinou pro fyzikální interpretaci stavu fyziologického komfortu.

Kinetika transportu je ovlivňována ustavujícími se rovnováhami na jednotlivých fázových rozhraních, protože se jedná o transport mezi několika fázemi: kůže (pevná fáze) – oděvní mikroklima (plynná fáze) – textilie (pevná fáze) – okolí (plynná fáze).

c) Charakteristiku plošné textilie

- neboť pro studium mechanismu a kinetiky transportu je nutná znalost prostředí, v němž transportní jevy probíhají. Empirické poznatky o plošné textilií, jakožto velmi porézní pevné fázi, omezené ne zcela přesně definovanými hraničními plochami, se ukázaly jako nedostatečné pro popis mechanismů a kinetiky transportních dějů. Jejich studium je vedeno se snahou vytvořit model „ideální textilie“ jako zvláštní případ výskytu pevné fáze, která se ve svých obecných vlastnostech bude zcela lišit od „tradiční“ fáze pevné.

Je zřejmé, že při studiu vlastností v reálných podmínkách nošení modelovaných v bioklimatické komoře je nutné řešit jeden komplexní transportní děj, v němž se budou podílet nejméně tři dílčí procesy, transport tepla, vody a vzduchu - vzájemně spolu související a vzájemně se ovlivňující. [11]

### **3.2.1. Hydromechanické vlastnosti**

**Hydroskopičnost (navlhavost)**

Je to schopnost materiálů pohlcovat vlhkost ze vzduchu. Zjišťuje se z poměru hmotnosti vody pohlcené materiálem při určité teplotě a relativní vlhkosti vzduchu k hmotnosti suchého materiálu. Vyjadřuje se v procentech. Hydroskopičnost textilních



materiálů závisící na jejich dostavě, tloušťce a na vlastnostech jejich vláken, ovlivňuje rychlost nasakování i vysychání. Čím hustší a tlustší jsou textilie, tím pomaleji nasávají a pouštějí vodu a tím lépe zajišťují stálost vlhkosti a tepla vzdušné vrstvy mezi oděvem a tělem. Rychlé pohlcování vody materiálem vede k rychlé změně mikroklimatu pod oděvem. Schopnost textilií pohlcovat vodu z ovzduší souvisí se sorpčními vlastnostmi textilních vláken i se zvláštnostmi jejich úpravy.

### **Nasákavost**

Nasákavost je schopnost textilních materiálů ponořených do vody přijímat a fyzikální cestou vázat vodu při stanovené teplotě a času.

### **Vzlínavost**

Je to schopnost textilních materiálů pohlcovat a přenášet kapalinu působením kapilární síly. Charakterizuje schopnost textilií odvádět vodu z prostoru pod oděvem a je závislá na jejich pórovitosti, tj. na velikosti a tvaru pórů. Velká vzlínavost může v některých případech do jisté míry kompenzovat nízké hodnoty navlhavosti (např. syntetické materiály z tvarovaných nití nebo přízí, vyznačující se vysokou pórovitostí, mají dobrou vzlínavost).

### **Vysýchavost**

Další schopnost materiálů odevzdávat vodu do okolního prostředí. Těsně souvisí se schnutím materiálů a oděvů. Rychlost schnutí je závislá na vlastnostech vláken, na vazbě textilie a na charakteru jejího povrchu (drsňý, hladký). Odstranění vody vede k tomu, že materiály jsou lehčí, nabývají lepších tepelně izolačních vlastností a mění svou pevnost. Různé materiály v různé míře pohlcují a odevzdávají vodu. Lněné, bavlněné a hedvábné materiály rychle pohlcují vodu a rychle ji také odevzdávají do okolního prostředí. Vlněné textilie pohlcují a „pouštějí“ vodu pomalu, takže vytvářejí v oděvu nejstálější mikroklima. Materiály z viskózové stříže se svými vlastnostmi liší

od ostatních: rychle vodu pohlcují a pomalu ji odevzdávají, čímž se snižují tepelně – izolační vlastnosti těchto materiálů. [10]

### **Propustnost pro vodní páry**

Je to schopnost textilních materiálů propouštět vodu v podobě vodních par. Všechny způsoby zjišťování propustnosti vodních par jsou založeny na tom, že se na obou stranách zkoušeného materiálu vytvoří nestejná vlhkost a pak se zjistí množství vody, která prošla materiálem. Propustnost závisí na porézním charakteru textilie (makropóry i mikropóry) a lze ho fyzikálně interpretovat jako sdílení hmoty molekulární difúzí vrstvou textilie. Na základě matematického popisu děje byly zjištěny jisté analogie s transportem tepla. Tento fakt podporuje názor, že v reálném případě nošení oděvu existuje jeden společný transportní děj, v němž jsou s malými rozdíly v mechanismu zastoupeny transport tepla, vodní páry a vzduchu. Tato vlastnost má velký význam pro tvorbu oděvu, protože s ní souvisí normalizace vhodného mikroklimatu v prostoru pod oděvem a tedy i normalizace sdílení tepla i vlhkosti.

### **Přenos vody a vlhkosti**

Průchod par materiálem je složitý pochod, který se uskutečňuje difúzí vodních par přes póry a prodyšné kanálky materiálů a sorpcí, resp. desorpcí přes vlákna. Během průchodu par materiály lze pozorovat kondenzaci par. Pak voda migruje nejen v plynném, ale i v kapalném skupenství, a to působením kapilárních sil. Průchod par z prostředí s vyšší vlhkostí do prostředí s nižší vlhkostí se tedy odehrává jako složitá interakce vody v plynném i kapalném skupenství s textilními materiály. V souladu s fyzikální podstatou této interakce se uvedený pochod nazývá přenos vody a vlhkosti textilních materiálů. Tento přenos se stanoví z množství vody, která projde vzorkem za určitou dobu při rozdílu parciálních tlaků vodních par na obou stranách vzorku.

## Prodyšnost

Charakterizuje se koeficientem, který udává, jaké množství vzduchu projde danou plochou materiálu za stanovený čas při určitém tlakovém spádu mezi oběma stranami materiálu. Prodyšnost ovlivňuje struktura materiálu (tj. tloušťka, tvar a objemová hmotnost příze, dostava a vazba), velikost pórů, vlhkost, počet vrstev, tloušťka vzduchových vrstev mezi jednotlivými vrstvami oděvu. Jak se zvětšuje tloušťka textilie, zmenšuje se počet průchozích pórů, a tím klesá prodyšnost materiálů. Materiály o stejné tloušťce, ale různé objemové hmotnosti se vyznačují nestejnou prodyšností. S růstem vlhkosti textilií se prodyšnost snižuje. Je to způsobené zaplněním pórů vodou a nabotnáním vláken, které brání průchodu vzduchu materiálem. Prodyšnost se snižuje s růstem jejich vlhkosti a je také závislá na stříhovém řešení oděvu, na počtu vrstev, na rychlosti větru i rozdílu teplot vnějšího vzduchu a vzduchu v prostoru pod oděvem. Prodyšnost vícevrstvého oděvu je nižší než u jednovrstvého. Se zvýšením rychlosti větru a zvětšením rozdílu teplot vnějšího vzduchu a vzduchu pod oděvem sílí proudění v textiliích i v prostoru mezi tělem a oděvem, což vede k poklesu tepelně izolačních vlastností oděvu. Prodyšnost se zjišťuje přístroji, které pracují na principu vytváření určitého rozdílu tlaků z obou stran textilního vzorku, takže vzduch tímto vzorkem prochází.

Mezi prodyšností oděvů a tepelnou pohodou člověka existuje úzká spojitost. **Prodyšnost** oděvu, tj. **propustnost pro vodní páry a vzduch**, je důležitým hygienickým parametrem, na kterém závisí subjektivní pocity člověka, jeho tepelná bilance a s tím související pracovní výkon.

Z Hesova experimentu vyplývá, že **propustnost vodních par roste** za konstantních podmínek **s klesající teplotou vzduchu** bez ohledu na rychlost větru. **Větší rozdíl parciálních tlaků vodních par** přes textilií **zvětšuje propustnost vodních par**. Stupeň **propustnosti vodních par roste s růstem rychlosti větru**. Poněvadž je vzduch nad vzorkem neustále **v pohybu**, tlak vzduchu nad textilií je snižován, tím je snižován tlak páry nad textilií a takto roste **rozdíl tlaku páry** mezi vzduchem nad a pod textilií a roste propustnost vodních par. [12]

### 3.2.2. Tepelně – izolační vlastnosti

Tepelně – izolační vlastnosti textilních materiálů závisí na množství vzduchu, které mohou vlákna udržet na základě své struktury v drobnohledných dutinkách hmoty nebo na základě své kadeřivosti a obloučkování v mezerách mezi vlákny v upředené přízi a v textili. Vzduch působí jako izolace při výměně tělesného tepla a teploty okolního prostředí. Z toho vyplývá, že tyto vlastnosti jsou závislé na druhu vlákenného materiálu a na struktuře textilie.

#### Tepelná vodivost

Tepelná vodivost charakterizuje schopnost látky vést teplo za stacionárních podmínek, kdy je tepelný tok ustálen tak, že se rozložení teplot uvnitř látky s časem nemění.

Tepelná vodivost je vyjádřena součinitelem tepelné vodivosti  $\lambda$ . Představuje množství tepla, které v ustáleném stavu projde jednotkovým průřezem, při jednotkovém teplotním gradientu.

$$Q = \frac{\lambda \cdot S \cdot \tau \cdot \Delta T}{h} \quad [\text{J}] \quad /1/$$

kde: Q.....množství přivedeného tepla [J]

$\lambda$ .....koeficient tepelné vodivosti [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ]

S.....plocha textilie [ $\text{m}^2$ ]

$\tau$ .....čas [s]

$\Delta T$ ....rozdíl teplot na povrchu textilie [K]

h.....tloušťka textilie [m]

Součinitel tepelné vodivosti oděvních materiálů se pohybuje v rozmezí 0,033 až 0,70  $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ . Tento součinitel není konstantní pro všechny materiály, může se měnit

v závislosti na některých činitelích, např. na objemové hmotnosti materiálu, vlhkosti a teplotě vzduchu v okolním prostředí, prodyšnosti materiálu, atd.. [10]

Při nehybném vzduchu se součinitel tepelné vodivosti tkanin a soustav oděvních vrstev s různým vlákenným složením, s různou objemovou hmotností, strukturou a tloušťkou, liší jen nepatrně. Za větru je součinitel tepelné vodivosti oděvních materiálů závislý na jejich prodyšnosti, těsnosti obepínání povrchu lidského těla a klimatických podmínkách.

### **Plošný tepelný odpor**

Pro hodnocení tepelně izolačních vlastností textilií nemá největší význam součinitel tepelné vodivosti  $\lambda$ , nýbrž tepelný odpor  $R$ , který přímo ovlivňuje tyto vlastnosti. Tepelný odpor je definován jako reciproká hodnota množství tepla prošlého za jednotkový čas jednotkovou plochou při jednotkovém teplotním spádu:

$$R = \frac{\Delta T}{Q} = \frac{h}{\lambda} \quad [\text{W}^{-1} \cdot \text{K} \cdot \text{m}^2] \quad /2/$$

Tepelný odpor závisí na vazbě textilie, která určuje tloušťku a prodyšnost výrobků. Tloušťka materiálu ovlivňuje tepelný odpor oděvu nezávisle na jeho vlákenném složení a hustotě. S růstem tloušťky oděvního materiálu nebo vrstvy materiálů stoupá i jeho tepelný odpor. Při velké prodyšnosti materiálu nemůžeme mít oděv s vyššími tepelně izolačními vlastnostmi ani při značné tloušťce, neboť je zesíleno proudění uvnitř textilie i mezi jeho jednotlivými vrstvami.

Tepelně izolační vlastnosti jsou také závislé na vlhkosti textilních materiálů. Se zvyšující se vlhkostí tepelný odpor textilie klesá. Voda, která je dobrým vodičem tepla, zvyšuje tepelnou vodivost materiálu (součinitel tepelné vodivosti je 20 krát vyšší než součinitel vzduchu v pórech střední velikosti). Je-li v pórech voda, zvětšují se styčné plochy mezi částicemi materiálu, a tím se zvyšuje jeho tepelná vodivost. [10]

Kvalitní tepelná izolace je charakterizovaná nízkou tepelnou vodivostí, která určuje schopnost látky vést teplo, a vysokým tepelným odporem, který je přímo úměrný tloušťce textilního materiálu a vyjadřuje schopnost klást odpor proti průchodu tepla textilií.

### Teplotní vodivost

Teplotní vodivost vyjadřuje rychlost šíření tepla materiálem. S rostoucí rychlostí změny teploty v materiálu roste teplotní vodivost  $\alpha$ .

$$a = \frac{\lambda}{c \cdot \rho} \quad [\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}] \quad /3/$$

kde: a.....teplotní vodivost [ $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ]

c.....měrné teplo [ $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ]

$\rho$ .....specifická hmotnost [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ]

## 4. ZÁKLADY TERMOREGULACE ČLOVĚKA

Při látkových přeměnách probíhajících v lidském těle se uvolňuje určité množství tepla (tepelná produkce člověka), které závisí především na intenzitě fyzické námahy a na váze člověka.

Tab.1.: Průměrné tepelné produkce člověka vážícího 70 kg při různé fyzické činnosti vykonávané dlouhodobě

Druh činnosti	Produkce tepla $Q_m$ [kJ]
Naprostý klid ve spánku	290
Odpočinek v sedě	420
Odpočinek v stoje	460
Oblékání a svlékání oděvu	500
Chůze po rovině rychlostí 3 km/h	710
Chůze po rovině rychlostí 5 km/h	1130
Chůze po rovině rychlostí 6,5 km/h	1470
Běh po rovině rychlostí 8,5 až 9 km/h	2430
Velmi lehká fyzická práce (švadleny, rýsovači, jeřábníci)	420 až 500
Lehká fyzická práce (mechanici, kuchyňský personál)	500 až 710
Středně těžká fyzická práce (kováři, slévači)	710 až 920
Těžká fyzická práce (nosiči břemen 60 až 80 kg)	920 až 1130
Velmi těžká fyzická práce (nosiči břemen nad 80 kg)	více než 1130

Teplota těla zdravého člověka musí ovšem zůstat přibližně stálá, 37°C, a proto musí být teplo uvolněné v těle odváděno do okolí. Tepelná rovnováha člověka, tj. stav, při kterém okolí odebírá lidskému tělu tolik tepla, kolik člověk právě produkuje, je proto prvním a nezbytným předpokladem tepelné pohody. [13]

## 4.1. Termoregulace

Termoregulace je proces, který slučuje fyziologické pochody řízené centrálním nervovým systémem, udržujícím tělesnou teplotu na optimální hodnotě, při které probíhají metabolické proměny. Organismus člověka představuje samoregulační systém, jehož fyziologický mechanismus je zaměřen na zjišťování rovnováhy, mezi množstvím vytvořeného tepla a množstvím tepla odevzdávaného do okolního prostředí, a tím i zachování stálé tělesné teploty. Jestliže dojde k narušení tepelné rovnováhy, teplo se buď hromadí v organismu člověka, nebo rychle uniká, a tím se mění průměrná tělesná teplota. Na tomto základě existuje termoregulace dvojího druhu:

### 4.1.1. Chemická termoregulace

Chemická termoregulace (tvorba tepla) představuje látkovou přeměnu (metabolismu), především ve svalstvu a v játrech. V chladu stoupá látková přeměna, zvyšuje se svalové napětí a dostavuje se svalový třes. Při ochlazení organismu vyvolává mechanismus termoregulace zmenšení přestupu tepla a zvýšení tvorby tepla v organismu. Kritickou teplotou, od které jsou termoregulační mechanismy uváděny v činnost, je teplota jádra 37,1 °C, označována jako „set point“. [7]

### 4.1.2. Fyzikální termoregulace

Fyzikální termoregulace (výdej tepla) zahrnuje podíly jednotlivých odvodů tepla z organismu, tedy výdej tepla. Uskutečňuje se rozšiřováním a zužováním cév v pokožce. V prvním případě se sdílení tepla do okolí zvětšuje, protože stoupá tepelná vodivost tkání organismu, teplota pokožky i tepelný spád a zvětšuje se odpařování vody. V druhém případě se sdílení tepla snižuje, protože tepelná vodivost tkání i tepelný spád klesají.

K udržování stálé tělesné teploty je nutné, aby byl celý systém v tepelně ustáleném stavu. K označení rovnosti mezi tvorbou tepla v organismu a přestupem tepla



z organismu do okolí byl zaveden termín „tepelná rovnováha“. Dosahuje se jí koordinací pochodů zaměřených na tvorbu tepla v organismu (produkci tepla) a na jeho odvod (přestup tepla). Tepelná rovnováha udržuje aparát chemické a fyzikální termoregulace organismu a také jeho adaptační děje, zaměřené na vytvoření optimálního mikroklima využitím oděvu a obydlí.

Obě strany rovnice vyjadřující tepelnou rovnováhu jsou proměnné, závisí jak na fyziologických, tak na fyzikálních činitelích.

**Obecně je možno tepelnou rovnováhu člověka vyjádřit rovnicí:**

$$Q_{tt} + Q_{tz} = Q_s + Q_{pr} + Q_{ved} + Q_{od} + Q_{odc} + Q_{op} + Q_{ov} \pm \Delta Q \quad /4/$$

- kde:  $Q_{tt}$ .....tvorba tepla v organismu [ $J \cdot s^{-1}$ ]  
 $Q_{tz}$ .....vnější tepelné zatížení [ $J \cdot s^{-1}$ ]  
 $Q_s$ .....tepelné ztráty sáláním [ $J \cdot s^{-1}$ ]  
 $Q_{pr}$ .....tepelné ztráty prouděním [ $J \cdot s^{-1}$ ]  
 $Q_{ved}$ .....tepelné ztráty vedením [ $J \cdot s^{-1}$ ]  
 $Q_{od}$ .....tepelné ztráty v důsledku odpařování difúzní vlhkosti  
z povrchu pokožky [ $J \cdot s^{-1}$ ]  
 $Q_{odc}$ .....tepelné ztráty v důsledku odpařování vlhkosti z horních cest  
dýchacích [ $J \cdot s^{-1}$ ]  
 $Q_{op}$ .....tepelné ztráty odpařováním potu [ $J \cdot s^{-1}$ ]  
 $Q_{ov}$ .....tepelné ztráty na ohřev vydechovaného vzduchu [ $J \cdot s^{-1}$ ]  
 $\Delta Q$ .....změna tepelného stavu organismu proti stavu tepelné  
pohody – deficit tepla [ $J \cdot s^{-1}$ ]. [7]

## 4.2. Vliv vysokých a nízkých teplot na termoregulaci

Při působení vysokých teplot na lidský organismus je tělesná termoregulace zajišťována automatickým průběhem kompenzačních reakcí, které spočívají jako při zvýšené tělesné námaze v rozšíření kožních cév a v tepelném pocení. Tyto fyziologické změny se časově shodují se zvýšením tělesné teploty i se zvýšením povrchové kožní teploty (pouze v určitém místě) asi o 1 až 1,5°C.

Přehřátí organismu vzniká za situací, kdy ani zapojením všech mechanismů termoregulace není zabezpečen transport tepla do okolí. Tento stav je tedy ovlivňován vysokou teplotou a vlhkostí okolního prostředí (i oděvní mezivrstvy), sníženou exkrecí potu, silnými vrstvami podkožního tuku, různými patologickými stavy, ale i nevhodným oděvem s malou tepelnou propustností (resp. s nadměrnými izolačními schopnostmi) a s malou prodyšností vzduchu.

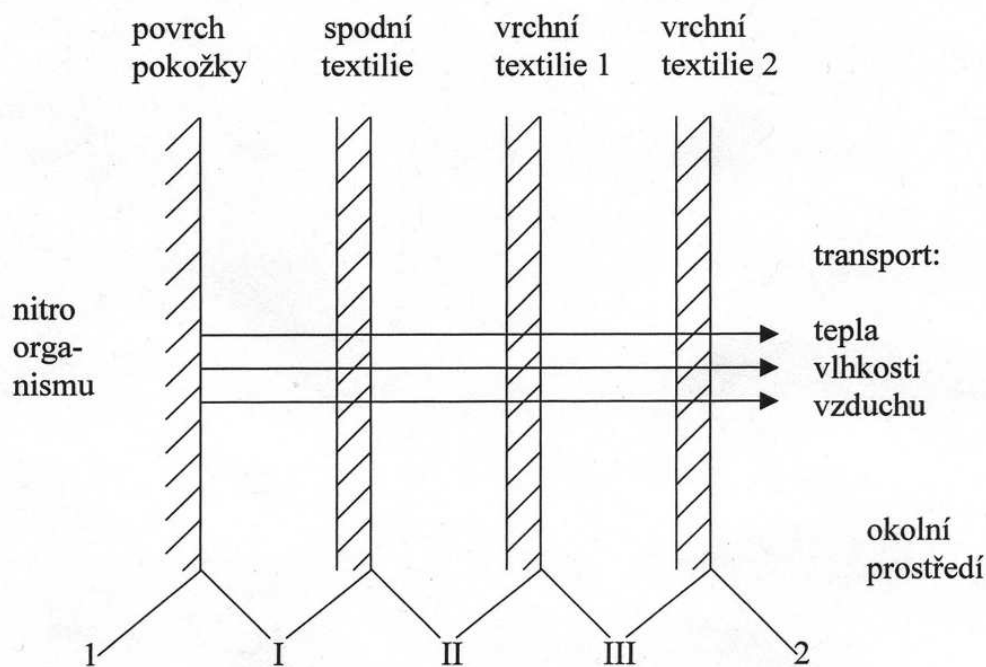
Působením chladu je jedním z nejčastějších klimatických patogenně působících podnětů. Jsou to takové stavy, kdy teplota okolí je značně nižší než vnitřní tělesná teplota. Z povrchu pokožky je odváděno větší množství tepla a udržení konstantní tělesné teploty znamená zvětšit tvorbu tepla uvnitř organismu a zmenšit jeho výdej pokožkou. Zvětšená tvorba tepla uvnitř organismu je zajištěna zvýšeným metabolismem ve svalech, v nichž účinkem chladu stoupne tonus svalových vláken a dostaví se třes celých svalových skupin, čímž stoupá produkce tepla (ale též i fyzickou prací). V ochraně proti podchlazení se také uplatňuje vliv tepelně izolačních schopností podkožního tuku a použitého oděvu. [11]

# 5. MIKROKLIMA, ODĚVNÍ KLIMA, ODĚVNÍ MEZIVRSTVA

Zóna, ve které se mezi pokožkou a textilií neustále koná v nejmenších vzduchových prostorách výměna vzduchu, tepla a vlhkosti, je oblastí pro oděvní mikroklima, což je vlastně teplota a vlhkost vzduchu bezprostředně nad pokožkou.

**Oděvní klima** vzniká mezi dvěma hraničními plochami: **pokožkou a vrstvou oděvu**. Nevzniká slunečním zářením, ale nepřetržitým přenosem tepla, vodní páry a kyslíčnicku uhličitého. Klima oděvu je ve své struktuře většinou heterogenní, neboť se tvoří závislá dílčí mikroklimata.

**Oděvní mezivrstva** je složena z vrstvy vzduchu, z vrstvy textilie a z vrstvy vzduchu uzavřeného v textilií. Tyto tři vrstvy nelze uvažovat nezávisle na sobě z toho důvodu, že se všechny účastní transportu tepla, vlhkosti a vzduchu, a to tak, že stav a fyziologické vlastnosti jedné vrstvy ovlivňují stav a fyziologické vlastnosti vrstvy druhé, resp. třetí a opačně.



I,II,III – oděvní mezivrstvy

1,2 – oděvní klima

*Obr.1: Oděvní mikroklima [8]*

## **5.1. Teplota vzduchu pod oděvem**

Pro oblečeného člověka je jedním z ukazatelů přiměřenosti oděvu podmínkám jeho použití teplota vzduchu mezi povrchem těla a první vrstvou oděvu (prádlem). Optimální úroveň této teploty je dána fyzickou aktivitou člověka a její ukazatel v různých vrstvách oděvu může být využit ke srovnávacímu hygienickému hodnocení výrobků pro různé účely použití.

## **5.2. Obsah oxidu uhličitého pod oděvem**

Do vzduchu v prostoru mezi tělem a oděvem se pokožkou neustále dostávají produkty látkové výměny, mezi něž patří zejména oxid uhličitý, vznikající při kožním dýchání. Zásadou větrání tohoto prostoru může však být obsah oxidu uhličitého pouze o něco vyšší než v atmosférickém vzduchu. Intenzita větrání je závislá na prodyšnosti oděvu a jeho řešení.

## **5.3. Vlhkost vzduchu pod oděvem**

V podmínkách tepelné pohody se relativní vlhkost vzduchu pod oděvem (ve vrstvě vzduchu mezi pokožkou a první vrstvou oděvu) pohybuje v rozmezí 35 až 60%. Může

být o něco nižší než vlhkost okolního vzduchu v důsledku vyšší teploty vzduchu ve vrstvě mezi tělem a oděvem.

Nejdůležitější je dynamika vlhkosti vzduchu pod oděvem, která ovlivňuje schopnost oděvu (vlivem materiálů a střihu) odvádět vodu z povrchu těla do okolního prostředí. Hygienickým požadavkům vyhovuje vždy více ten druh oděvu, v jehož prostoru pod oděvem je rychlost narůstání vlhkosti vzduchu nižší.

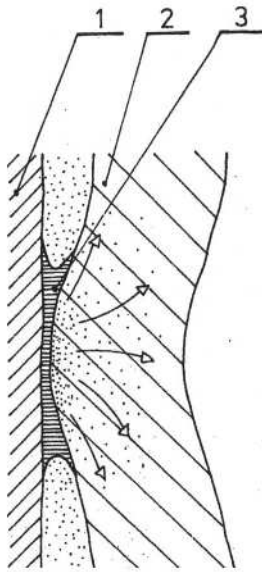
Jestliže v teplém prostředí, v němž jediným způsobem zachování tepelné rovnováhy je sdílení tepla vypařováním, je odvádění vody nedostatečné, organismus se přehřívá a voda se hromadí v oděvu i na kůži těla.

V chladném prostředí svědčí zvýšení vlhkosti vzduchu pod oděvem jak o nepřiměřenosti tepelně izolačních vlastností oděvu vzhledem k podmínkám použití, tak i o nedostatečné propustnosti vodních par oděvem. V obou případech oděv zvlhne, a tím se zhoršují jeho tepelně izolační funkce. [10]

**Vlhkost je z povrchu kůže odváděna několika způsoby:**

### **5.3.1. Kapilární odvod vlhkosti**

Kapilární odvod potu spočívá v tom, že pot v kapalném stavu je odsáván první textilní vrstvou a jejími kapilárními cestami vzlíní do její plochy všemi směry. Kapilární odvod tepla je závislý na smáčecí schopnosti této textilie a vláken, na povrchovém napětí vláken a potu



- 1 - pokožka
- 2 – textilní vrstva
- 3 - kapalný pot

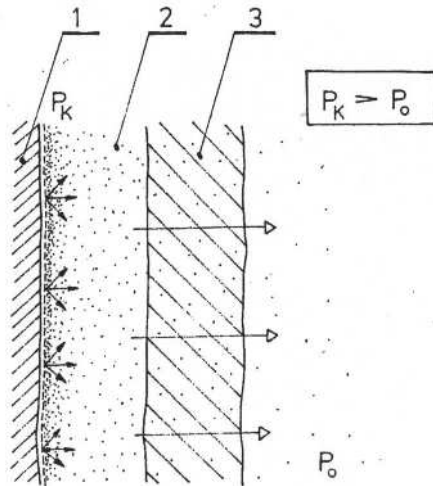
*Obr.2.: Kapilární odvod vlhkosti*

### **5.3.2. Migrační odvod vlhkosti**

Migrace potu (vody) na povrchu vláken vzniká několika způsoby. Předně: oděv se nachází ve většině případů v teplotním spádu mezi teplotou povrchu těla, resp. mikroklimatem a okolím, a proto může za těchto podmínek dojít ke kondenzaci vlhkosti na povrchu vláken. Tato voda je buďto odvedena do kapilárních prostor nebo migruje na povrchu vláken. K migraci však zároveň dochází u vody, která byla do textilie dopravena kapilaritou, tedy vodou kapalnou.

### 5.3.3. Difúzní odvod vlhkosti

Difúzní prostor vlhkosti z povrchu těla přes textílii je realizován prostřednictvím pórů, jež svou velikostí a křivolakostí se zúčastňují na kapilárním odvodu. Vlhkost prostupuje textilií směrem z nižšího parciálního tlaku vodní páry k vyššímu.



- 1 - pokožka
- 2 – mikroklima
- 3 – vrstva textílie

Obr.3.: Difúzní odvod vlhkosti

Základní vztah pro přenos vodních par:

$$M_p = S \cdot \frac{v}{R_p \cdot T} \cdot \Delta p$$

/5/

kde: S.....plocha [m<sup>2</sup>]

v.....rychlostní koeficient přenosu páry [m·s<sup>-1</sup>]

R<sub>p</sub>.....plynová konstanta vodní páry [m·K<sup>-1</sup>]

T.....absolutní teplota [K]

Δp.....parciální rozdíl [Pa]

### 5.3.4. Sorpční odvod vlhkosti

Sorpční proces předpokládá nejprve vznik 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 předpokládá se u textílie, aby alespoň částečně byla vyrobena ze sorpčních vláken.

Souhrnně lze říci, že všechny 4 odvody vlhkosti se na procesu zúčastňují současně. Způsob kapilární odvádí pot jako kapalinu, způsoby difúzní, migrační a sorpční odvádí jak kapalinu, tak vodní páru, jejíž hromadění v mikroklimatu způsobuje pocit diskomfortu - pokožka je smáčená množstvím neodváděného potu. Nejrychlejší odvod vlhkosti je kapilární, následuje migrační a difúzní a na posledním místě pak sorpční. Pro snášenlivost organismu je nejvýhodnější kombinace způsobu difúzního a sorpčního. [8]

## 6. OHŘÍVÁNÍ A OCHLAZOVÁNÍ TĚLES

Problémem ohřívání a ochlazování těles se zabývá nauka o šíření tepla v prostoru a čase – **termokinetika**.

Sdílení = přenos tepla je proces, během kterého dochází k předávání tepla z míst s vyšší teplotou do míst s nižší teplotou. Podmínkou sdílení tepla je proto existence nehomogenního teplotního pole v dané soustavě, tzn. teplotního spádu  $\Delta T$  (rozdíl teplot mezi dvěma místy v jedné látce, anebo mezi dvěma látkami, u nichž se má teplo sdílet). Reálný proces přenosu tepla je procesem nevratným, který probíhá při konečném rozdílu teplot zdroje tepla a spotřebiče tepla.



**Z fyzikálního hlediska rozlišujeme pět způsobů sdílení tepla:**

## 6.1. Kondukce (vedení)

Transport tepelné energie je vyvolán pohybem elementárních částic, které při zvýšení teploty začínají kmitat. Molekuly s vyšší teplotou odevzdávají při srážkách přebytek své kinetické energie molekulám, které mají nižší teplotu.

### **Časově stálé vedení tepla rovinnou stěnou**

Časově stálé vedení tepla představuje pohyb tepla v tuhé a klidové kapalně nebo plynné fázi hmoty v důsledku konečného rozdílu teploty, který se v čase nemění, tj. při časově stálém teplotním poli. [2]

Běžné případy vedení tepla je popsáno Fourierovým zákonem vedení tepla:

- plošná hustota tepelného toku je přímo úměrná gradientu teploty

$$q = -\lambda \cdot \text{grad } T \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}] \quad /6/$$

kde:  $q$  .....hustota tepelného toku [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ ]

$\lambda$ .....součinitel tepelné vodivosti [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ]

grad T.....gradient teploty [ $\text{K} \cdot \text{m}^{-1}$ ]

Maximální vzrůst teploty ve směru normály k izotermické ploše se nazývá gradient teploty

$$\text{grad } T = \frac{\partial T}{\partial n} \quad [\text{K} \cdot \text{m}^{-1}] \quad /7/$$

Proces přenosu tepla je děj probíhající v čase a teplo, které projde za dobu  $\tau$  plochou  $S$  vyjádříme vztahem

$$Q = \frac{\lambda}{h} \cdot S \cdot \tau \cdot \Delta T \quad [\text{J}] \quad /8/$$

kde:  $Q$ .....množství přivedeného tepla [J]

$\tau$ .....čas [s]

$\lambda$ .....koeficient tepelné vodivosti [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ]

$S$ .....plocha stěny [ $\text{m}^2$ ]

$h$ .....tloušťka stěny [m]

$\Delta T$ .....rozdíl teplot [K]

Celkový tepelný tok prochází vždy určitou plochou. Podíl tepelného toku a plochy, jíž tok prochází, se nazývá hustota tepelného toku a je dána vztahem, který vychází z Fourierova zákona

$$q = \frac{Q}{\tau \cdot S} = \frac{\lambda}{h} \cdot (T_1 - T_2) \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}] \quad /9/$$

Tepelný tok rovinnou stěnou o tloušťce  $h$  a ploše  $S$  je dán vztahem

$$Q = q \cdot S = \frac{\lambda}{h} \cdot S \cdot (T_1 - T_2) \quad [\text{W}] \quad /10/$$

### Časově stálé vedení tepla válcovou stěnou

Z Fourierova zákona plyne rovnice tepelného toku délkou  $1\text{m}$  neohraničené válcové stěny

$$Q = \frac{2 \cdot \pi \cdot \lambda}{\ln \frac{R_2}{R_1}} \cdot (T_1 - T_2) \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-1}] \quad /11/$$

kde:  $Q$ .....tepelný tok [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-1}$ ]

$\lambda$ .....koeficient tepelné vodivosti [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ]

$R_1, R_2$ ...poloměry válcové stěny [m]

$T_1, T_2$ ...povrchové teploty [K]

Výraz před závorkou vyjadřuje tepelnou propustnost válcové stěny a jeho převrácená hodnota je tepelný odpor válcové stěny. [2]

## 6.2. Konvekce (proudění)

Prouděním je teplo sdíleno mezi proudící tekutinou a povrchem obtékaného tělesa. Z hlediska fyzikální podstaty rozeznáváme konvekci přirozenou a nucenou. Přirozená konvekce je vyvolána vztakovými silami. Nucená konvekce zpravidla vzniká působením vnějších vlivů, např. čerpadlem (kapalina) nebo kompresorem (plyny). Dále se toto proudění dělí na laminární a turbulentní, které bude dále popsáno.

Přestup tepla z proudící tekutiny o teplotě  $T_1$  do povrchu tělesa o teplotě  $T_2$  ( $T_2 < T_1$ ) a o ploše  $S$  v čase  $\tau$  vyjadřuje Newtonův zákon

$$Q = \alpha \cdot (T_1 - T_2) \cdot S \quad [\text{W}] \quad /12/$$

kde:  $Q$ .....tepelný tok [W]

$\alpha$ .....součinitel přestupu tepla [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ ]

$T$ .....teplota [K]

$S$ .....plocha [ $\text{m}^2$ ]

Tab.2: Závislost součinitele sdílení tepla prouděním  $\alpha$  na rychlosti proudění vzduchu. [10]

$v[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$	$\alpha[\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}]$	$v[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$	$\alpha[\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}]$
0,0 – 0,5	7,0	9,9 – 12,4	49,4
0,6 – 1,7	10,5	12,5 – 15,2	51,8
1,8 – 3,3	16,6	15,3 – 18,2	68,6
3,4 – 5,2	24,2	18,3 – 21,5	78,8
5,3 – 7,4	32,3	21,6 – 25,1	90,7
7,5 – 9,8	40,6	25,2 – 29	104,7

U přenosu tepla konvekcí jde o složitou závislost jednotlivých fyzikálních veličin. Proto se využívá teorie podobnosti a koeficient přestupu tepla se může vyjádřit pomocí bezrozměrných čísel, které se převádí do tvaru tzv. kritériálních rovnic. Tyto rovnice se potom používají při řešení přenosu tepla konvekcí.

U samovolného proudění bývá obvykle kritériální rovnice v tomto tvaru:

$$Nu = c \cdot (Gr \cdot Pr)^n \quad [-] \quad /13/$$

kde: Nu.....Nusseltovo číslo [-]

Gr.....Grashofovo číslo [-]

Pr.....Prandtlovo číslo [-]

Tab.3.: Hodnoty c,n pro volné proudění

Součin Gr·Pr	c	a
$<10^{-3}$	0,45	0
$10^{-3} < 5 \cdot 10^2$	1,18	0,125
$5 \cdot 10^2 < 2 \cdot 10^7$	0,54	0,25
$2 \cdot 10^7 < 10^{13}$	0,135	0,33

Pro určující teplotu a rozměr teplosměnné plochy vypočteme číselné hodnoty podobnostních kritérií ze vztahů:

$$Re = \frac{w \cdot l}{\nu} \quad [-] \quad /14/$$

kde: Re.....Reynoldsovo číslo [-]

w.....rychlost proudění [ $m \cdot s^{-1}$ ]

l.....délkový rozměr [m], (pro válec se používá d)

$\nu$ .....kinematická viskozita [ $m^2 \cdot s^{-1}$ ]

$$Gr = \gamma \cdot \Delta T \cdot \frac{g \cdot l^3}{\nu^2} \quad [-] \quad /15/$$

kde: Gr.....Grashofovo číslo [-]  
 $\gamma$ .....objemová roztažnost [ $K^{-1}$ ]  
 $g$ .....tíhové zrychlení [ $m \cdot s^{-2}$ ]  
 $\Delta T$ ....teplotní rozdíl [K]

$$Pr = \frac{\nu}{a} \quad [-] \quad /16/$$

kde: Pr.....Prandtlovo číslo [-]  
 $a$ .....teplotní vodivost [ $m^2 \cdot s^{-1}$ ]

Součinitel přestupu tepla určíme ze vztahu

$$\alpha = Nu \cdot \frac{\lambda}{l} \quad [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}] \quad /17/$$

Nu.....Nusseltovo číslo [-]

**Prostup tepla** stěnou je kombinace vedení tepla stěnou s přestupem tepla z tekutiny do stěny na jedné straně stěny a přestupem tepla ze stěny do tekutiny na druhé straně.

Množství tepla, které přejde z teplejší tekutiny o teplotě  $T_1$  do chladnější tekutiny o teplotě  $T_2$  za čas  $\tau$  plochou stěny  $S$ , vyjadřuje vztah

$$Q = k \cdot (T_1 - T_2) \cdot S \cdot \tau \quad [J] \quad /18/$$

k.....součinitel prostupu tepla. Určuje se výpočtem pro jednotlivé geometrické tvary stěny, která odděluje teplejší a chladnější tekutinu.

Součinitel prostupu tepla pro jednoduchou rovinnou stěnu o tloušťce  $h$  a tepelné vodivosti  $\lambda$  se určí z rovnice

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{h}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}] \quad /19/$$

kde:  $\alpha_1$ .....součinitel přestupu tepla v teplejší tekutině  $[\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}]$

$\alpha_2$ .....součinitel přestupu tepla v chladnější tekutině  $[\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}]$

$\lambda$ .....koeficient tepelné vodivosti  $[\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$

$h$ .....tloušťka stěny  $[\text{m}]$  [2]

### 6.3. Radiace (záření, sálání)

Je to přenos tepla, který vzniká při přenosu energie elektromagnetickými vlnami mezi zdrojem a příjemcem. Mezi dvěma systémy – tělesy, kde dochází k přenosu energie zářením, nemusí být přítomna látka. Může se šířit i ve vakuu. [1]

Během životních pochodů probíhá mezi člověkem a okolním prostředím sdílení tepla infračerveným zářením – **radiační sdílení tepla**. Přítom může být výsledkem výměny jak kladná, tak i záporná tepelná bilance organismu.

Kladná radiační tepelná bilance nastává, je-li průměrná teplota oděvu, jímž je člověk obklopen, vyšší než jeho povrchová tělesná teplota. V takovém případě se tělo infračerveným zářením ohřívá. V běžném životě na člověka často působí hřejivé infračervené paprsky různé spektrální charakteristiky, které vysílá slunce, ohřátý zemský povrch, plochy budov, topná tělesa, apod..

K záporné radiační tepelné bilanci dochází, jestliže průměrná teplota oděvu, který obklopuje člověka je nižší než jeho povrchová tělesná teplota, tzn. teplota kůže. Tehdy se organismus ochlazuje a mluvíme o tzv. radiačním ochlazování.

V okolním prostředí se často vyskytují tělesa s teplotou nižší než je teplota povrchu lidského těla. Tepelné ztráty sáláním mohou být značné a bývají příčinou místního nebo celkového podchlazení organismu.

Radiační odvod tepla vychází ze Stefan-Boltzmannova zákona, množství tepla sdíleného sáláním je přímo úměrné rozdílu čtvrtých mocnin absolutních teplot povrchu těla a okolí. Dále je množství tohoto tepla závislé především na koeficientu sálání  $c$ , a velikosti sálavé plochy  $S$ .

$$Q_s = c \cdot S \cdot \left[ \left( \frac{273 - v_k}{100} \right)^4 - \left( \frac{273 - v_o}{100} \right)^4 \right] \quad [\text{J} \cdot \text{s}^{-1}] \quad /20/$$

kde:  $Q_s$ .....teplo sdílené sáláním [ $\text{J} \cdot \text{s}^{-1}$ ]  
 $c$ .....koeficient sálání [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot ^\circ\text{C}^4$ ]  
 $S$ .....plocha těla z něhož teplo sálá [ $\text{m}^2$ ]  
 $v_k$ .....teplota kůže [ $^\circ\text{C}$ ]  
 $v_o$ .....teplota okolí [ $^\circ\text{C}$ ]

Radiačního tepla se účastní vždy jen určitá část lidského těla, neboť některé části těla se vzájemně ozařují a nepodílejí se na sdílení. Plocha těla podílející se na sdílení tepla může činit 71 až 95 % z celkové tělesné plochy. [10]

## 6.4. Evaporace (odpařování potu)

Množství tepla, které odchází z povrchu kůže neznatelným pocením a je závislé především na měrném výparném skupenském teple a na rozdílu parciálních tlaků vodních par, je dáno vztahem:

$$Q_o = s_i \cdot m_k \cdot S \cdot (p_k - p_t) \quad [\text{J} \cdot \text{s}^{-1}] \quad /21/$$

kde:  $Q_o$ .....odparné teplo [ $\text{J} \cdot \text{s}^{-1}$ ]  
 $s_i$ .....měrné skupenské výparné teplo [ $\text{J}$ ]

$m_k$ .....permeabilita kůže [ $\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{Pa}^{-1}$ ]

$S$ .....plocha [ $\text{m}^2$ ]

$p_k$ .....parciální tlak vodních par na povrchu kůže [Pa]

$p_t$ .....parciální tlak na povrchu textilie [Pa]

## 6.5. Respirace (dýchání)

Odvod tepla je realizován dýchacími cestami a jeho množství je dáno rozdílem vodních par vdechovaných a vydechovaných.

Tepelné ztráty na ohřev vdechovaného vzduchu  $Q_{ov}$  lze určit z rovnice:

$$Q_{ov} = 0,0012 \cdot Q_{ev} \cdot (T_{stř} - T_v) \quad [\text{J}\cdot\text{s}^{-1}] \quad /22/$$

kde:  $Q_{ov}$ .....tepelné ztráty na ohřev vdechovaného vzduchu [ $\text{J}\cdot\text{s}^{-1}$ ]

$Q_{ev}$  .....celkové energetické výdaje [ $\text{J}\cdot\text{s}^{-1}$ ]

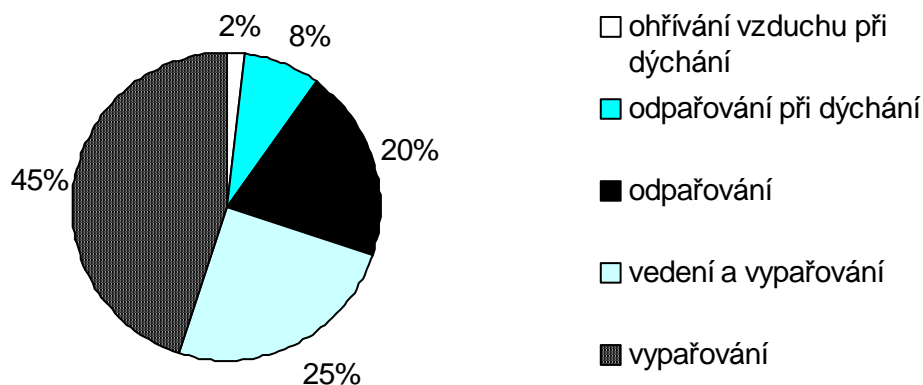
$T_{stř}$ .....průměrná teplota vydechovaného vzduchu [K]

$T_v$ .....teplota okolního vzduchu [K]

Při výpočtu tepelných ztrát  $Q_{ov}$  se doporučuje uvažovat tyto hodnoty teploty vydechovaného vzduchu: 36°C při vysoké teplotě, 34°C při střední teplotě, 30°C při nízké teplotě. Respirační odvod tepla je tedy realizován dýchacími cestami. [10]



## Ztráty tepla lidského organismu v běžných podmínkách



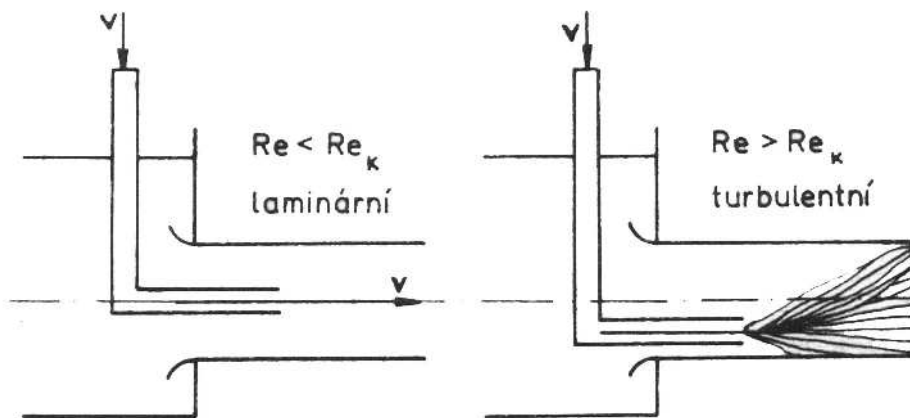
## 7. PROUDĚNÍ VZDUCHU

Proudění po stránce kinematické i dynamické vyšetřujeme v prostoru. Při individuálním vyšetřování proudění zkoumáme pohyb jednotlivé částice tekutiny, kterou považujeme za hmotný bod. Charakteristiky proudění jsou vázány na jednotlivé body v prostoru, jemuž se připisují kinematické vlastnosti. Hmotný prvek získává svoje dynamické vlastnosti teprve svým zařazením do tohoto kinematického prostoru, který nazýváme rychlostní pole.

Při ustáleném proudění jsou rychlost, tlak, měrná váha a teplota proudu v každém bodě prostoru stálá a nezávislá na čase. Dráha opisovaná pohybující se částicí při ustáleném proudění po rovnoběžných dráhách se nazývá proudnice. Pohyb, který vykonávají, je tzv. laminární pohyb. Toto proudění vzniká pouze při pohybu dokonalých tekutin nebo u skutečných tekutin pohybujících se velmi malou rychlostí. V běžných případech jde vždy o proudění turbulentní, které vzniká neuspořádaným a nepravidelným pohybem částic. [5]

**Laminární proudění** je proudění skutečné kapaliny (plynu), při kterém kapalina proudí v úzkých rovnoběžných vrstvách, které se navzájem téměř nemísí. Víry, které vznikají vnitřním třením kapaliny jsou mikroskopické, a proto prostým okem nepozorovatelné. K laminárnímu proudění dochází při malých rychlostech tekutiny, velké viskozitě a malých průměrech potrubí.

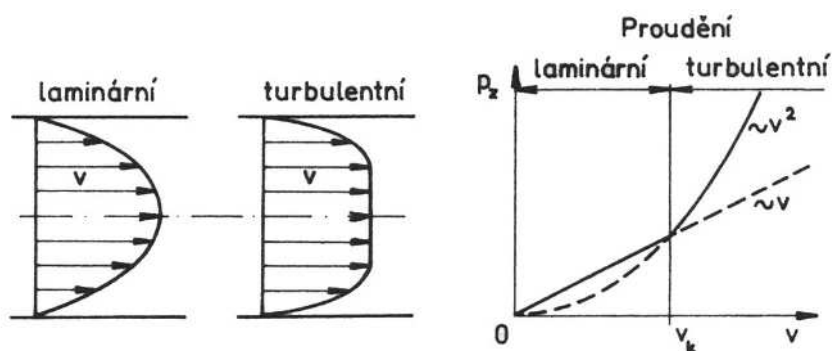
**Existenci laminárního proudění názorně ukazuje Reynoldsův pokus.**



Obr.4.: Reynoldsův pokus s laminárním a turbulentním prouděním

Do proudící tekutiny se přivádí úzkou trubičkou obarvená tekutina. Při malých rychlostech proudu zůstane barevné vlákno neporušeno, z čehož vyplývá, že pohyb se děje ve vrstvách a částice tekutiny se nepromíchají. Zvětší-li se rychlost nad její kritickou hodnotu, dochází k intenzivnímu míšení částic následkem jejich podružných (turbulentních) pohybů ve všech směrech. Částice tekutiny neustále přecházejí z jedné vrstvy do druhé, přičemž dochází k výměně kinetické energie a jejich rychlosti po průřezu se značně vyrovnávají. [15]

U laminárního proudění v potrubí je rychlostní profil rotační paraboloid a u turbulentního proudění se profil podobá obdélníku, a to tím více, čím větší je turbulence, tj. čím větší je Re číslo. U laminárního proudění je hydraulický odpor proti pohybu lineárně závislý na rychlosti, u turbulentního proudění je závislý na druhé mocnině rychlosti.



Obr.5.: Rychlostní profily a charakteristika při proudění skutečné kapaliny

Z pokusů a teorie podobnosti vyplývá, že přechod laminárního proudění v turbulentní je určen Reynoldsovým číslem kritickým  $Re_k$  (vztah pro Reynoldsovo číslo byl uveden dříve). Pro proudění v potrubí se kritické  $Re$  číslo uvádí nejčastěji hodnotou  $Re_k=2320$ . To znamená, že při  $Re < Re_k$  je proudění laminární a při  $Re > Re_k$  je turbulentní.

**Turbulentní proudění** je proudění, při kterém vznikají působením vnitřního tření již viditelné víry. Při vyšších Reynoldsových číslech částice tekutiny konají neuspořádaný pohyb všemi možnými směry. Tento pohyb je nepravidelný, náhodný a připomíná pohyb molekul plynu, ale na rozdíl od molekul se částice tekutiny mohou rozpadat a ztrácet tak svou identitu. Proměnlivost pole rychlosti vede k intenzivnímu míšení prostředí. Nehomogenní rozdělení způsobené např. šířením tepla z nějakého zdroje, který je umístěn v proudu tekutiny, se vlivem intenzivního míšení vyhlazuje na krátké vzdálenosti od místa, kde nehomogenita vzniká. V blízkém okolí zdroje nehomogenity se tak ustálí relativně prudký spád hodnot dotyčných vlastností, což znamená, že intenzita jejich sdílení je u turbulentních proudění velmi vysoká. Proto má také jev turbulence ve spojení s intenzifikací transportních jevů (hmotnost, hybnost, energie) základní technický význam.

U turbulentního proudění bylo na základě experimentálních měření zjištěno, že na stěnách potrubí nebo obtékaného tělesa vzniká vrstva kapaliny s laminárním pohybem,

tzv. laminární podvrstva, jejíž tloušťka je několik desetin milimetru. Těsně za laminární podvrstvou je přechodová vrstva a dále turbulentní jádro, které tvoří další oblast turbulentního proudu. Laminární podvrstva a přechodová vrstva tvoří turbulentní mezní vrstvu. [15]

K turbulentnímu proudění dochází při velkých rychlostech proudící tekutiny, malé viskozitě a velkých průměrech potrubí.

Je-li  $Re$  menší než tzv. kritické Reynoldsovo číslo  $Re_k = 2320$ , jde vždy o **laminární proudění**. V rozmezí od  $Re = 2320$  do  $Re = 5000$  až  $6000$  je tzv. **přechodová oblast**, kde se postupně mění charakter proudění a rychlostní profil je nestabilní. Při  $Re > 6000$  se rychlostní profil opět ustálí a proudění přejde v **proudění turbulentní**. [13] (viz příloha č. 1)

## 7.1. Ochlazování proudem vzduchu

Ochlazování látek, které mají vyšší teplotu, než je teplota okolí, probíhá samovolně. Nejnižší teplota, kterou může ochlazované těleso dosáhnout je tzv. „teplota okolí“. Ta je totožná s teplotou okolního vzduchu nebo použité chladící vody či jiného přirozeného zdroje chladu. Vhodným uspořádáním je možno docílit, aby ochlazování probíhalo sice rychleji nebo pomaleji, v každém případě však zůstává teplota okolí dolní mezí. Chceme-li ochladit těleso na teplotu nižší než je teplota okolí, je nutno použít zvláštního zařízení. [5]

## 7.2. Proudění vzduchu vzduchovody

Rychlost vzduchu roste spojitě od stěny k ose vzduchovodu. Při pohybu se posouvají vzájemně sousedící vrstvy vzduchu. Rychlejší vrstva je bržděna tečnou (třecí) silou působící mezi dotýkajícími se vrstvami.

Tyto jevy způsobuje viskozita vzduchu, jejímž průvodcem je molekulárně směšovací pochod spojený s přenosem hybnosti napříč proudem.

Při laminárním proudění dochází ke směšování molekul, při turbulentním proudění se směšují shluky velkého počtu molekul – makročástice. V důsledku větší hmotnosti makročástic je účinek třecích sil při turbulentním proudění podstatně větší než při proudění laminárním.

S ohledem na mechanismus směšování doprovází tření proudění tekutin v celém jejich objemu.

Ve vzduchovodu není rovnoměrný rychlostní profil a proudění je prostorové (má podélné i příčné složky rychlosti). [16]

### **Průchod vzduchu textilií**

Vypracování fyzikálních představ průchodu vzduchu plošnou textilií předpokládá aplikovat na tento děj ty fyzikální zákony, jimiž je řízeno proudění tekutin, tj. kapalin a plynů. Pro studium modelových představ je definováno proudění laminární, které je charakterizováno pohybem tekutiny o nulové viskozitě a nízké rychlosti, stejné ve všech vrstvách textilie.

Transport vzduchu textilií je složitý děj, blíží se charakterem proudění laminárnímu, které je ovlivněno vnitřní strukturou textilie, zejména počtem, tvarem, délkou a větvením pórů.

## 7.3. Tlakové ztráty při proudění tekutin potrubím

Tlakové ztráty, které vznikají při proudění skutečných tekutin potrubím, lze rozdělit na **ztráty třením a ztráty vřazenými (místními) odpory**. Ztráty třením vznikají v celém objemu proudící tekutiny (tj. v celém průtočném průřezu a na celé délce potrubí, kde dochází k narušení proudu (k deformaci rychlostního profilu). [13]

Třením se část mechanické energie mění v teplo. Ztráty se projeví poklesem statického tlaku.

### 7.3.1. Tlakové ztráty třením

Tlakové ztráty třením, které vznikají v potrubí stálého průřezu na délce  $l$ , jsou dány vztahem

$$\Delta p_{tr} = \frac{\lambda \cdot \frac{U}{4 \cdot S} \cdot l \cdot \rho \cdot w^2}{2} \quad [\text{N} \cdot \text{m}^{-2}] \quad /23/$$

kde:  $\lambda$ .....součinitel tření [-]

$S$ .....průtočný průřez [ $\text{m}^2$ ]

$U$ .....obvod průtočného průřezu [m]

$l$ .....délkový rozměr [m]

$w$ .....střední rychlost proudění [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ]

$\rho$ .....měrná rychlost proudící tekutiny [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ]

Součinitel tření  $\lambda$  u turbulentního proudění závisí na Reynoldsově čísle a hladkosti stěn. Při laminárním proudění nemá drsnost stěn na velikost tření žádný vliv a v kruhovém potrubí je

$$\lambda = \frac{64}{\text{Re}} \quad [-] \quad /24/$$

Při turbulentním proudění je třeba rozlišovat potrubí s hydraulicky hladkými stěnami od potrubí s hydraulicky drsnými stěnami. Potrubí je možno považovat za hydraulicky hladké, je-li

$$\frac{k}{d} \leq \frac{30}{\text{Re}^{0,875}} \quad [-] \quad /25/$$

kde: k.....absolutní drsnost stěn potrubí [m]

d.....průměr průtočného průřezu [m]

Hodnoty pro absolutní drsnosti  $k$  pro různé druhy potrubí se liší.

### 7.3.2. Tlakové ztráty místní

Tlakové ztráty místní (vřazenými odpory) vznikají při proudění tekutiny zvláštními částmi potrubí (např. koleny, oblouky, odbočkami, šoupátky, ventily, atd.), kde dochází k místnímu narušení (rozvíření) proudu. Pro jednotlivé případy se tlaková ztráta počítá ze vztahu

$$\Delta p_{\xi} = \frac{\xi \cdot \rho \cdot w^2}{2} \quad [\text{N} \cdot \text{m}^{-2}] \quad /26/$$

kde  $\xi$  je bezrozměrný součinitel vřazeného odporu, který závisí na tvaru deformace proudu. [16]

### 7.3.3. Celková tlaková ztráta

Celková tlaková ztráta úseku potrubí se rovná součtu ztráty třením a ztráty vřazenými odpory, tj.

$$\Delta p_z = \Delta p_{\text{tr}} + \Delta p_{\xi} \quad [\text{N}\cdot\text{m}^{-2}] \quad /27/$$

### Změna průřezu potrubí

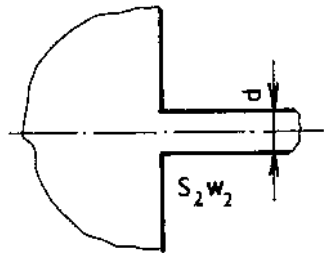
V tabulce č.4 jsou hodnoty  $\xi$  vztaženy k průřezu, ve kterém je na obrázku vyznačena rychlost. [19]



Vstup do potrubí a) ostrý

b) upravený

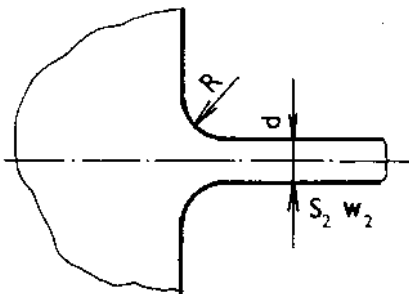
a)



$$\Delta p_z = \xi_2 \cdot \frac{w_2^2}{2} \cdot \rho$$

$$\xi_2 = 0,5$$

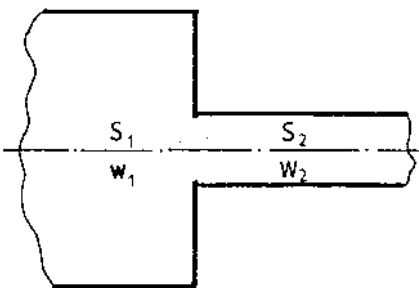
b)



$S_2/S_1$	0,01	0,10	0,40	0,80
$\xi$	0,50	0,47	0,33	0,15

$$\Delta p_z = \xi_2 \cdot \frac{w_2^2}{2} \cdot \rho$$

Náhlé zúžení

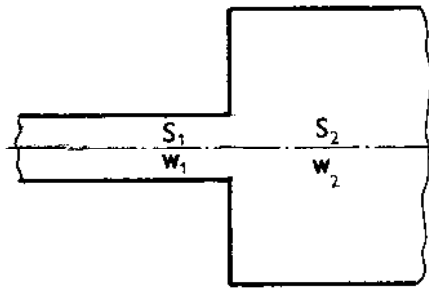


$$\Delta p_z = \xi_2 \cdot \frac{w_2^2}{2} \cdot \rho$$

$$\xi_2 = 1 - \frac{S_2}{S_1} \quad \dots \text{teoretický}$$

$$\xi_2 = 0,5 \cdot \left(1 - \frac{S_2}{S_1}\right) \dots \text{skutečný}$$

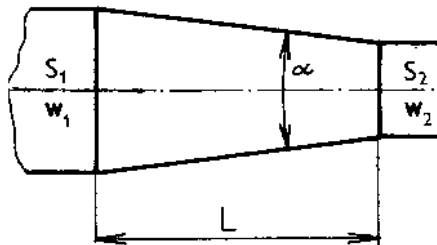
### Náhlé rozšíření



$$\Delta p_z = \xi_1 \cdot \frac{w_1^2}{2} \cdot \rho$$

$$\xi_1 = \left(1 - \frac{S_1}{S_2}\right)^2 \dots \text{Bordův vztah}$$

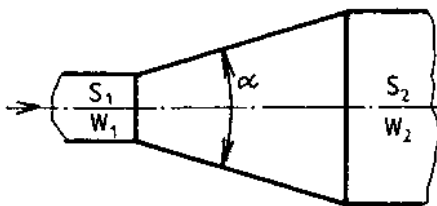
### Postupné zúžení



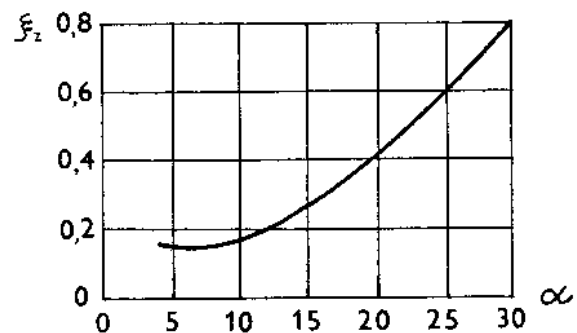
$$\Delta p_z = \xi_2 \cdot \frac{w_2^2}{2} \cdot \rho$$

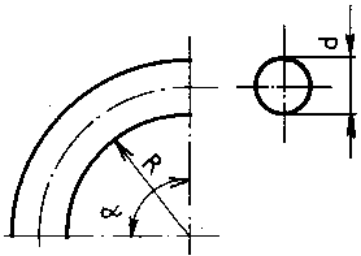
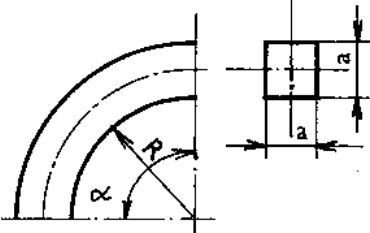
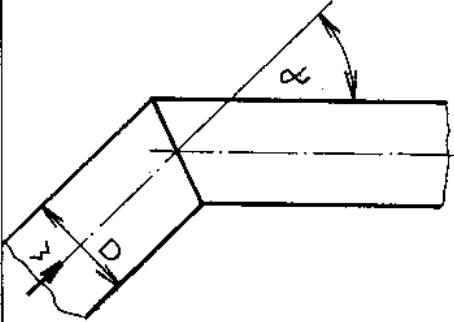
$$\xi_2 = \frac{\lambda}{8 \cdot \text{tg} \frac{\alpha}{2}} \cdot \left[1 - \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^4\right]$$

### Ztráty v difuzoru



$$\Delta p_z = \frac{(w_1 - w_2)^2}{2} \cdot \rho \cdot \xi_z$$



Změna směru proudění (kolena, ohyby pro $\alpha$ až $90^\circ$ )	
	$\Delta p_z = \xi_k \cdot \frac{w_1^2}{2} \cdot \rho$ $\xi_k = \left[ 0,13 + 1,8 \cdot \left( \frac{d}{2R+d} \right)^{7/2} \right] \cdot \frac{\alpha^\circ}{90^\circ}$
	$\xi_o = \left[ 0,124 + 3,1 \cdot \left( \frac{a}{R} \right)^{7/2} \right] \cdot \frac{\alpha^\circ}{90^\circ}$
	$\xi = 0,9457 \cdot \sin^2 \frac{\alpha}{2} +$ $+ 2,047 \cdot \sin^4 \frac{\alpha}{2}$

Pro postupné zúžení nekrhového tvaru dále platí:

$$\text{při } 0,1 < n = \frac{S_2}{S_1} < 0,64 \quad \text{a} \quad 3 < \vartheta < 15$$

$$\xi = (0,08 - 0,003 \cdot \vartheta) \cdot (1,6 - n)$$

$$\text{při } \vartheta \geq 15^\circ \quad \text{je} \quad \xi = 0,05 \quad [16]$$

## 8. VENTILÁTORY

Ventilátory jsou rotační lopátkové stroje, které jsou určeny ke kontinuální dopravě vzdušín při malých kompresních poměrech. Hodnota tohoto poměru je obvykle v rozmezí 1,01 až 1,1 zřídka až 1,3 a zcela vyjímečně u vícestupňových ventilátorů až 1,5.

V průtočné části ventilátoru předává oběžné kolo vzdušíně mechanickou energii, jejímž zdrojem je pohon ventilátoru. Protože ventilátorem dopravovaná vzdušina je stlačitelná, a protože se při průchodu ventilátorem zvyšuje její tlak, mění se měrná hmotnost vzdušiny. Pro kompresní poměry menší než 1,03 se obvykle změna měrné hmotnosti zanedbává a změna stavu vzdušiny se uvažuje jako izochorická. Při větších kompresních poměrech se obvykle tato změna stavu vzdušiny uvažuje jako adiabatická.

Hodnota celkového tlaku ventilátoru  $\Delta p_{cv}$  pro daný ventilátor, charakterizovaný velikostí, tj. průměrem oběžného kola  $d_2$  a otáčkami (frekvencí otáčení)  $n$ , a vzdušinou o dané měrné hmotnosti  $\rho$  závisí na průtoku vzdušiny ventilátorem  $Q_v$ .

Mechanickou energii předanou pohybujícímu se vzduchu je možno si představit jako ekvivalent práce, kterou by vykonal píst o ploše  $S$  pohybující se ve válcovém potrubí proti stálému přetlaku  $\Delta p$  při přemístění pístu podél potrubí o délku  $l$  za dobu  $\tau$ . Odpovídající výkon je možno vyjádřit výrazem

$$P = \frac{\Delta p \cdot S \cdot l}{\tau} \quad [\text{W}] \quad /28/$$

Tento výraz je možno upravit pro vyjádření vzduchového výkonu ventilátoru  $P_v$  při zanedbání stlačitelnosti na

$$P_v = Q_v \cdot \Delta p_{cv} \quad [\text{W}] \quad /29/$$

kde  $Q_v$  [ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ] je objemový průtok ventilátorem a  $\Delta p_{cv}$  [Pa] celkový tlak ventilátoru.

Protože s činností ventilátoru jsou spojeny vnitřní ztráty ve ventilátoru, je přírůstek energie jednotkového objemu vzdušiny po průchodu ventilátorem menší než energie

přivedená ventilátoru pro dopravu tohoto objemu vzdušiny. Poměr těchto energií se nazývá celkovou účinností ventilátoru  $\eta_{cv}$  a stanoví se ze vztahu

$$\eta_{cv} = \frac{\Delta p_{cv}}{\frac{P_{mv}}{Q_v}} = \frac{Q_v \cdot \Delta p_{cv}}{P_{mv}} = \frac{P_v}{P_{mv}} \quad [-] \quad /30/$$

kde  $P_{mv}$  [W] je výkon pohonu (motoru) ventilátoru. [17]

## 8.1. Zařazení ventilátorů

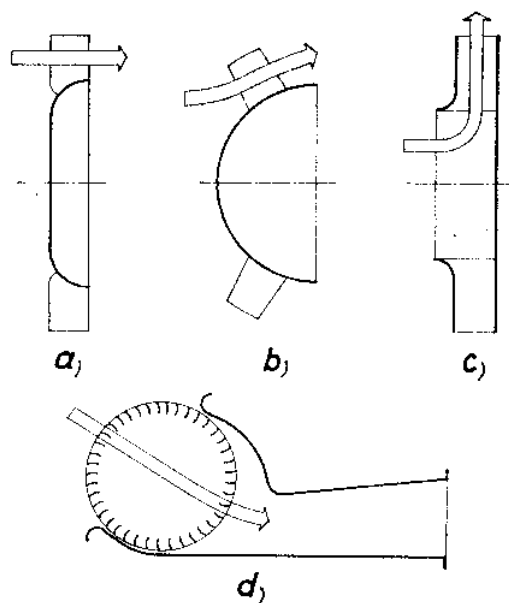
Ve strojírenství zaujímají stroje pro dopravu vzdušin význačné místo jak z hlediska výroby, tak použití. Vzdušinou se rozumí plyny, směsi plynů, páry a směsi plynů a par, které dále mohou ještě obsahovat v menších koncentracích kapalné a pevné částice.

Tyto stroje je možné rozdělit do skupin podle velikosti kompresního poměru, tj. poměru absolutního tlaku na výtlaku k absolutnímu tlaku na sání stroje. Stroje s kompresním poměrem blízkým 1 se nazývají **ventilátory**. Stroje s kompresním poměrem 1,5 až 3 se nazývají **dmychadla** a stroje s kompresním poměrem větším než 3 se nazývají **kompresory**. Všeobecně platí, že ventilátory se používají spíše pro jejich stlačování. [16]

## 8.2. Základní rozdělení ventilátorů

Při klasifikaci ventilátorů je základním hlediskem směr průtoku vzdušiny oběžným kolem v jeho meridiánové rovině. Podle toho je možno ventilátory rozdělit na:

- Axiální
- Diagonální
- Radiální
- Diametrální



Obr.7: Směr průtoku vzduchu oběžným kolem spolu s charakteristickým uspořádáním u různých typů ventilátorů:

- a) ventilátor axiální
- b) ventilátor diagonální
- c) ventilátor radiální
- d) ventilátor diametrální [17]

**Axiální ventilátory** mají meridiánovou rychlost vzdušiny na vstupu i výstupu oběžného kola přibližně rovnoběžnou s osou jeho rotace. Vzdušina prochází oběžným kolem v meridiánové rovině přibližně v axiálním směru.

**Diagonální ventilátory** mají meridiánovou rychlost vzdušiny na vstupu do oběžného kola přibližně rovnoběžnou s osou jeho rotace a na výstupu z něho obecně skloněnou k ose jeho rotace. Vzdušina prochází oběžným kolem v meridiánové rovině

**Radiální ventilátory** mají meridiánovou rychlost vzdušiny na vstupu do oběžného úhlopříčně vzhledem k axiálnímu a radiálnímu směru, tedy diagonálně. kola přibližně rovnoběžnou s osou jeho rotace a na výstupu z něho přibližně kolmou k této ose. Vzdušina oběžným kolem prochází přibližně v radiálním směru.

**Diametrální ventilátory** mají meridiánovou rychlost vzdušiny na vstupu i výstupu oběžného kola přibližně kolmou k jeho ose rotace. Vzdušina prochází oběžným kolem přibližně ve směru průměru, tedy diametrálně. [13]

**Celkový tlak ventilátoru  $\Delta p_c$**  se definuje jako rozdíl celkových tlaků ve výtlačném hrdle  $p_{c2}$  a v sacím hrdle  $p_{c1}$ .

$$\Delta p_c = p_{c2} - p_{c1} \quad [\text{Pa}] \quad /31/$$

**Průtok ventilátorem  $V[\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$**  je objemový průtok vzduchu procházejícím výtlačným hrdlem ventilátoru. Celková účinnost ventilátoru se definuje jako poměr teoretického (vzduchového) výkonu  $P_t[\text{kW}]$  k potřebnému příkonu  $P[\text{kW}]$ , tj.

$$\text{kde} \quad \eta_c = \frac{P_t}{P} \quad [-] \quad /32/$$

$$P_t = \frac{V \cdot \Delta p_c}{1000} \quad [\text{W}] \quad /33/$$

$$P = \frac{V \cdot \Delta p_c}{1000 \cdot \eta_c} \quad [\text{W}] \quad /34/$$

### 8.3. Další rozdělení ventilátorů

Následující výčet dalších hledisek pro klasifikaci ventilátorů zahrnuje jen významnější hlediska a není ho možno považovat za úplný.

Podle **počtu stupňů** se ventilátory dělí na:

- jednostupňové
- vícestupňové

Víceступňový ventilátor je vlastně soustava několika jednostupňových ventilátorů uspořádaných tak, že jimi vzdušina postupně protéká. Ventilátory s více stupni než se dvěma jsou vyjímečné.

Se zřetelem na uživatelskou oblast se někdy používá dělení ventilátorů podle hodnoty **maximálně dosažitelného celkového tlaku** ventilátoru.

- nízkotlaké ventilátory  $\Rightarrow$  s maximálním celkovým tlakem nižším než 1000 Pa
- středotlaké ventilátory  $\Rightarrow$  tlak je v rozmezí 1000 až 3500 Pa
- vysokotlaké ventilátory  $\Rightarrow$  tlak je vyšší než 3500 Pa.

Podle **druhu pohonu** se rozeznávají ventilátory poháněné:

- elektromotorem
- pneumatickým pohonem (nejčastěji turbínou na stlačený vzduch)
- jinými stroji (např. spalovacím motorem, parní nebo plynovou turbínou, apod.)
- ručním pohonem

Podle **způsobu spojení rotoru** ventilátoru s **pohonem** se rozeznávají provedení:

- napřímo
- na spojku
- s převodovým ústrojím

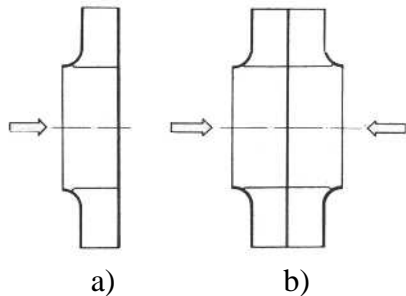
Podle **polohy osy rotoru** ventilátoru vzhledem k vodorovné rovině se rozeznávají ventilátory

- horizontální, u nichž osa rotoru přibližně leží ve vodorovné rovině
- vertikální, u nichž je osa rotoru přibližně svislá, tj. kolmá na vodorovnou rovinu

U některých **axiálních ventilátorů** je možno buď změnou smyslu otáčení oběžného kola, nebo změnou polohy lopatek při zachování původního smyslu otáčení oběžného kola dosáhnout opačného směru osy ventilátoru. Takové ventilátory se nazývají **reverzními**.



**Radiální ventilátory** mohou být **jednostranně** nebo **oboustranně sací** podle toho zda vzdušina vstupuje do oběžného kola ve směru osy jeho rotace z jedné nebo obou stran. [17]



Obr.8.: Jednostranně (a) a oboustranně (b) sací provedení radiálního oběžného kola

## 8.4. Charakteristiky ventilátoru

Charakteristiky ventilátoru jsou křivky závislosti hlavních aerodynamických a výkonových parametrů ventilátoru na průtoku vzduchu. Je-li tímto parametrem tlak  $\Delta p_c$ , jde o charakteristiku tlakovou, je-li jím příkon  $P$ , jde o charakteristiku výkonovou a je-li jí účinnost  $\eta_c$ , o charakteristiku účinnosti. Tyto charakteristiky se zjišťují pro běžně vyráběné ventilátory experimentálně a pro potřeby uživatelů se vydávají ve formě diagramů. [17]

# 9. TERMOELEKTRICKÝ SNÍMAČ HUSTOTY TEPELNÉHO TOKU

Používá se pro měření tepelných ztrát. Pro hustotu tepelného toku  $q$  při lineárním stacionárním průtoku tepla rovnou deskou můžeme psát

$$q = \frac{Q}{S} = \lambda \cdot \text{grad } \vartheta \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}] \quad /35/$$

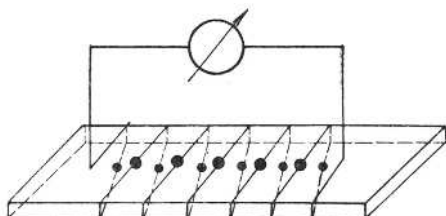
kde:  $Q_0$ .....tepelný tok tepla prošlého deskou za jednotku času [ $\text{J} \cdot \text{s}^{-1}$ ]

$S$ .....plocha desky [ $\text{m}^2$ ]

$\lambda$ .....tepelná vodivost desky [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ]

$\text{grad } \vartheta$ ....teplotní gradient (rozdíl teploty mezi dvěma místy ve směru kolmém na rovinu plochy) [ $\text{K} \cdot \text{m}^{-1}$ ]

Podle předchozího vztahu se měření hustoty tepelného toku redukuje na měření teplotního rozdílu za předpokladu, že známe tepelnou vodivost  $\lambda$ .



Obr.9.: Princip termoelektrického snímače hustoty tepelného toku

Uspořádání snímače je naznačeno na obr.9.. Pás je obvykle z pryže, aby se dal použít pro měření tepelných ztrát nejen z rovných, ale též ze zakřivených povrchů. Teplotní rozdíl se měří sériovým termoelektrickým článkem, který má co největší počet spojů (asi 100). Jsou navzájem spojeny tak, že spoje jsou na obou stranách pryžového pásu o tloušťce 2mm, délky 630mm a šířky 60mm. Průměr termoelektrických drátů

bývá asi 0,2-0,3mm, aby byla zajištěna dobrá pevnost a ohebnost pásu. Celkový odpor snímače v tomto provedení je 50-60  $\Omega$ . Termoelektrické články jsou zavulkanizovány v pryžovém krytu, takže spoje a dráty jsou navzájem elektricky izolovány a chráněny proti vlhkosti a mechanickému poškození. Citlivost snímače je třeba určit cejchováním, protože polohu jednotlivých konců termoelektrického článku nelze přesně nastavit. Obtížné je zjištění tepelné vodivosti pásu, proto výrobce udává konstantu snímače. Snímače se běžně vyrábějí v různém konstrukčním provedení. [18]

## 10. EXPERIMENT

Vzduch, který proudí v oděvní soustavě způsobuje významnou ztrátu tepla. Během vývoje oděvů došlo ke značnému zlepšení vlastností oděvních výrobků pro chladné a větrné podnebí. Tyto poznatky jsou důležité pro další zkoumání vlastností těchto oděvních soustav a pro návrhy jednotlivých experimentů, na kterých se dané vlastnosti mohou zkoumat.

První studie, které se začaly zabývat vlivem proudění vzduchu na fyziologické vlastnosti oděvních soustav, obsahovaly velmi jednoduché metody k objasnění tohoto problému a možnosti k jejich vyřešení byly dosti omezeny.

Nicméně většina těchto prací uvažovala plochý povrch pokrytý oděvní soustavou, což se od tvaru lidského těla značně liší, a proto výsledky měření neodpovídaly skutečnosti.

Později byly vyvinuty nové metody a způsoby zjišťování vlivu proudění vzduchu na oděvy, založené na tom, že lidské tělo bylo znázorněno jako válec, popř. několik válců. Tloušťka oděvu, celková tloušťka tkaniny, počet oděvních vrstev a počet vzduchových vrstev byly specifikované pro každý válec. Uvedené vztahy byly upraveny pro sezení, chůzi v různých rychlostech, jízdu na kole v různých stupních, a pro kombinaci těchto pohybů s větrem.

### 10.1. Návrh a popis experimentu

Pro zjišťování vlivu proudění vzduchu na fyziologické vlastnosti oděvů bylo navrženo a zhotoveno již několik zařízení, mezi které patří například PERMETEST. Toto zařízení umožňuje měření těchto propustností oděvních materiálů:

- propustnost tepla
- propustnost vody
- propustnost vodních par

Při provozu tohoto zařízení (popsaného v příloze č. 2) je pak volný povrch textilie ofukován vzduchem, nejlépe proudícím paralelně s povrchem textilie. Teplota a vlhkost vzduchu se zároveň měří pomocí neznázorněných přístrojů. [7]

Model navržený pro tuto diplomovou práci představuje pouze část lidského těla, a to horní končetinu (viz příloha č.3 a č.4). Z tohoto předpokladu je navržen válec **3**, který rozměrově odpovídá tvaru paže. Válec je ohříván cirkulující vodou tak, aby povrch válce dosahoval přibližně teploty pokožky lidského těla. Na jeho obvodu budou připevněny v různých místech snímače tepelného toku **5**, měřící ztráty tepla z lidského těla skrze oděvní soustavu při proudění vzduchu kolem válce. Rychlost vzduchu se bude plynule měnit pomocí regulovatelného ventilátoru. Tento proces probíhá v tunelu **2**, jehož rozměry byly navrženy s ohledem na velikost modelu a maximální rychlost proudění vzduchu tak, aby nedocházelo k příliš vysokým tlakovým ztrátám.

Původní řešení problému dodávání potřebné rychlosti vzduchu spočívalo v tom, že byl navržen uzavřený okruh potrubí jehož konce byly napojeny na sací a výtlačné hrdlo ventilátoru. Tento návrh měl využívat vzduch vycházející z výtlačného hrdla ventilátoru k opětovnému nasávání, ale bylo zjištěno, že z tohoto množství vzduchu již nelze vytvořit potřebný tlak k dalšímu použití, proto byl návrh pozměněn. Velikost otvoru pro ventilátor může být změněna dle velikosti sacího hrdla ventilátoru s podmínkou  $\alpha = 15^\circ$ .

Popis experimentu z přílohy č.3 a č.4:

1. *otvor pro nasávání vzduchu do tunelu*
2. *tunel*
3. *model lidského těla*
4. *část potrubí, spojující tunel a otvor ventilátoru*
5. *snímače hustoty tepelného toku*

## 10.2. Výpočty

Pro určení potřebného výkonu ventilátoru je třeba zjistit tlakové ztráty a objemový průtok daného potrubí.

Oděvní materiály se budou testovat při rychlostech vzduchu 5 až 25 m·s<sup>-1</sup>. Tato rychlost je potřeba v tunelu, kde je umístěn válec. Z rozměrů tunelu vyplývá, že maximální průtok

$$Q_v = S \cdot v \cdot 3600 \quad [\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}]$$

kde: S.....plocha průřezu tunelu [m<sup>2</sup>]

v.....rychlost vzduchu [m·s<sup>-1</sup>]

je 4000 m<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup>.

Dle kapitoly 7.3. byly pro tento tvar potrubí vypočteny tlakové ztráty místní a tlakové ztráty třením.

Celkové tlakové ztráty  $\Delta p_z$  činí přibližně 600 Pa.

Z kapitoly 8.4. víme, že charakteristiky ventilátoru pro potřeby uživatelů se vydávají ve formě diagramů a z těchto charakteristik se na základě vypočteného objemového průtoku a tlakových ztrát určí výkon ventilátoru.

Pro tento experiment je navržen výkon ventilátoru 2 kW.

V příloze č.5 až 8 je pro ukázkou předloženo *zobrazení pracovních charakteristik* a část diagramů firmy Rosenberg. [20]

## 11. ZÁVĚR

Fyziologicko – hygienické vlastnosti oděvních materiálů mají velký význam pro hodnocení oděvu z hlediska fyziologického i sensorického komfortu. Tyto vlastnosti umožňují regulovat oděvní mikroklíma, které podmiňuje subjektivní pocity člověka, jeho náladu a pracovní schopnost. Jsou to vlastnosti, které pomocí fyzikálních a chemických zákonů, popisují transportní jevy, tj. procesy přestupu tepla a hmoty vrstvou textilie. Fyziologické vlastnosti se mění vlivem různých klimatických podmínek, a proto by měl výběr oděvního materiálu probíhat s ohledem na tyto podmínky. Největší vliv na fyziologické vlastnosti nemají extrémní teploty, ale spíše jevy doprovodné, jako je vítr, sníh a déšť. Pro určení reálné užitné hodnoty určité textilie je kromě hodnocení jejich fyziologických vlastností nezbytné též posouzení textilií z hlediska patofyziologických jevů, jelikož i tuto složku zahrnuje oděvní komfort.

Tato diplomová práce se zabývá především problematikou proudění vzduchu. V předloženém návrhu experimentu rozebírá podrobněji výpočet tlakových ztrát potrubí a z těchto poznatků je pak navržen potřebný výkon ventilátoru.

Se souhlasem vedoucího diplomové práce Doc.Dr.Ing Zdeňka Kůse nebyl z cenových důvodů návrh realizován. Podobné zařízení bude zhotoveno v nejbližší budoucnosti v rámci výzkumného záměru.

## 12. LITERATURA

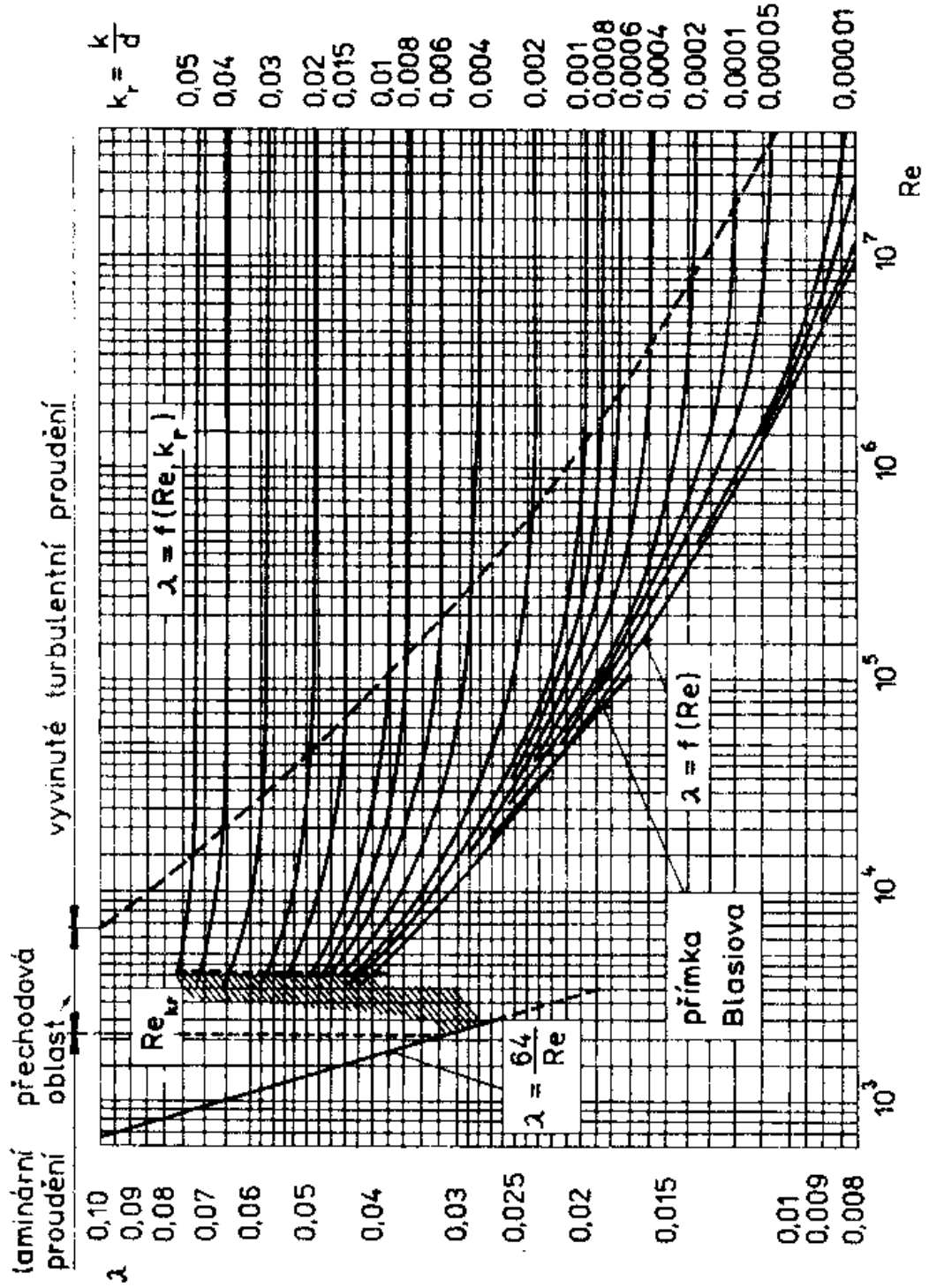
- [1] STŘEDA, I., SAZIMA, M., DOUBRAVA, J.: Termomechanika, ČVÚT Praha 1995
- [2] SAZIMA, M., KMONÍČEK, V., SCHNELLER, J. a kol.: Teplo, Praha 1989
- [3] LOTENS, W.: Heat transfer from humans wearing clothing, sborník
- [4] KOLEKTIV: Water vapour transfer in waterproof breathable fabric, sborník
- [5] GUTWIRTHOVÁ, A.: Studie možností hodnocení fyziologických vlastností oděvních materiálů při nízkých teplotách, DP 1999
- [6] FALHAROVÁ, P.: Studie možnosti využití bezkontaktního měření teploty povrchu oděvu z hlediska zjišťování oděvního komfortu, DP 1999
- [7] NEDĚLOVÁ, B.: Studie možností simulace pokožky lidského těla při zjišťování oděvního komfortu, DP 1999
- [8] STANĚK, J., KUBÍČKOVÁ, M.: Oděvní materiály, VŠST 1986
- [9] PŇAČKOVÁ, M.: Měření izolačních vlastností 3D textilních struktur, DP 1999
- [10] DELLJOVÁ, R.A., AFANASJEVOVÁ, R.F., ČUBAROVÁ, Z.S.: hygiena odívání, Praha 1984
- [11] AXAMIT, P.: Fyziologie odívání, Liberec 1980
- [12] HES, L.: Propustnost vodních par (přednášky na MINHO UNIVERSITY, Portugalsko)
- [13] CIHELKA, J. a kol.: Vytápění a větrání, Praha 1975
- [14] WAGNER, J.: Fyzika (Přehled pro textilní fakultu), Liberec 1989
- [15] NOSKIEVIČ, J. a kol.: Mechanika tekutin, Praha 1987
- [16] CHYTSKÝ, J., HEMZAL, K. a kol.: Větrání a klimatizace, Brno 1993
- [17] ČERMÁK, J. a kol.: Ventilátory, Praha 1974
- [18] ZEHNULA, K.: Snímače neelektrických veličin, Praha 1977
- [19] OLEHLA, J.: jednotlivé materiály
- [20] Katalog firmy Rosenberg 1999



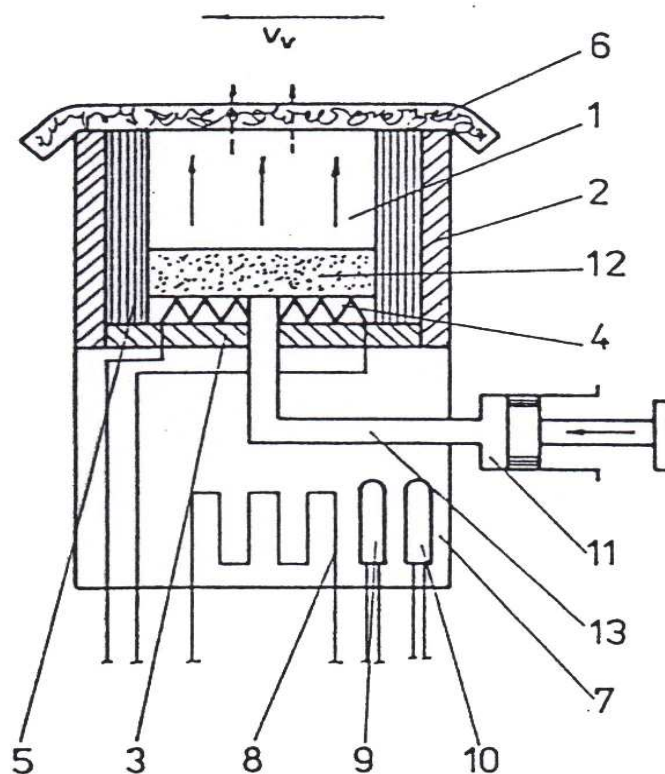
# 13. PŘÍLOHA

- Seznam: P č.1 – Diagram  $\lambda = f(\text{Re}, k_f)$   
P č.2 – Zařízení PERMETEST  
P č.3 – Návrh experimentu  
P č.4 – Model lidského těla  
P č.5 – 8 - Charakteristiky ventilátorů

# P č.1



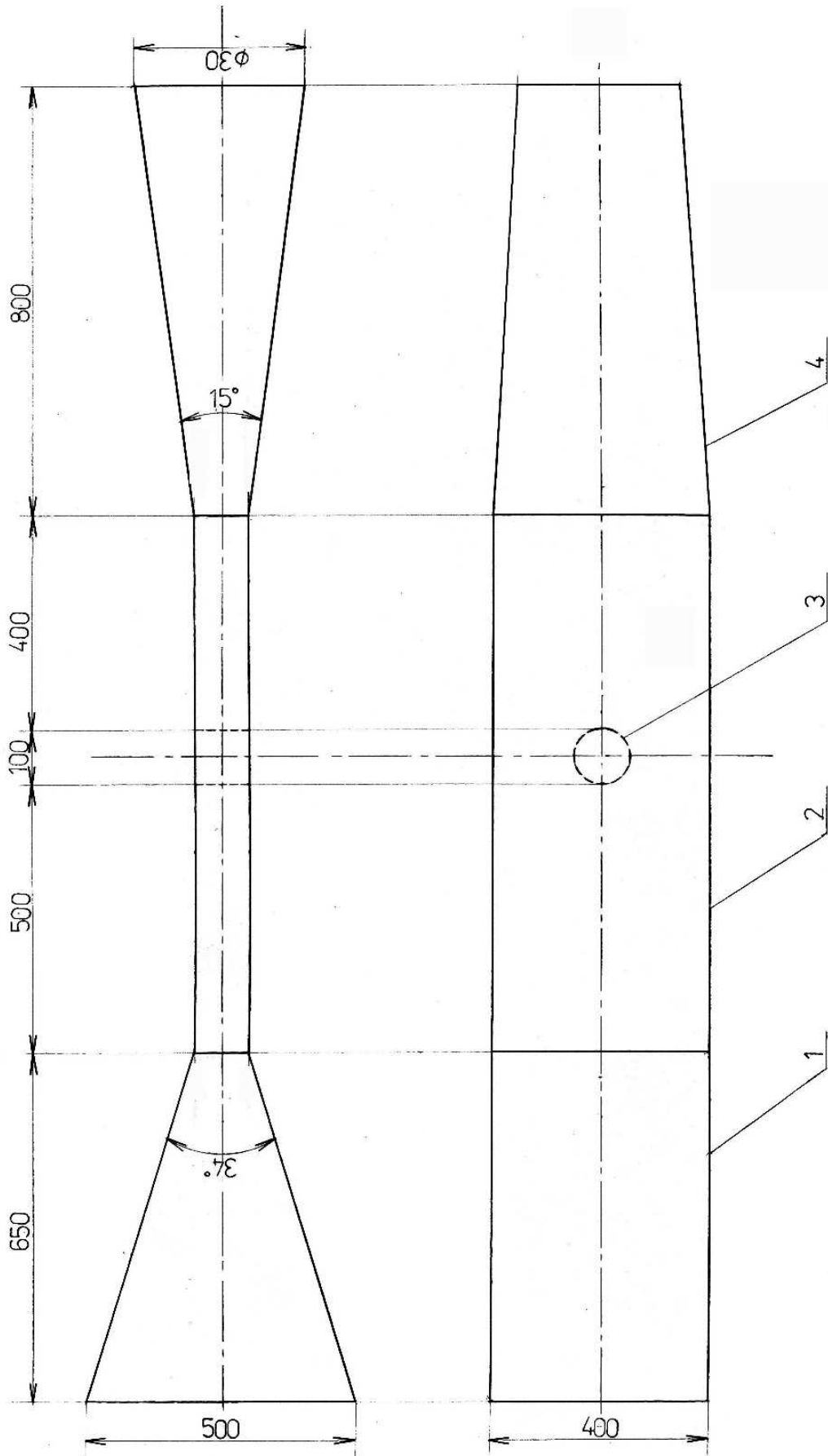
## P č.2



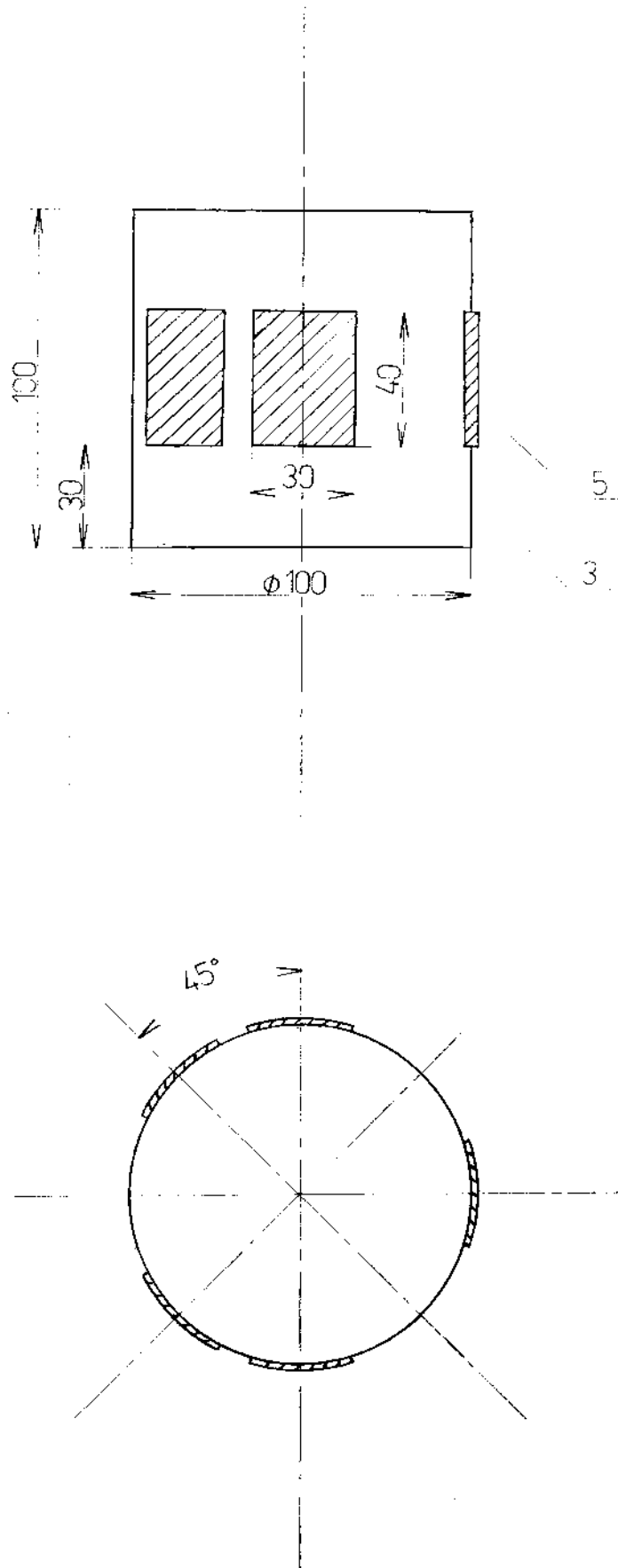
*Schéma měřící hlavice přístroje PERMETESTU*

**Nádobu 1** na evaporované médium tvoří obvodová stěna **2** a oddělitelné dno **3**, po celé své ploše pokryté plošným čidlem **4** tepelného toku, které je v přímém tepelném kontaktu s evaporovaným médiem. Obvodová kovová stěna nádoby **2** je z vnitřní strany opatřena tepelnou izolací **5**, tvořenou pryží. Přes obvodovou stěnu **2** je lehce napnutá zkoušená textilie **6**. Ke dnu nádoby **3** alternativně přiléhá kovový blok **7**, který lze pomocí topného prostředku **8** a teploměrů **9**, **10** vyhřát a stabilizovat na potřebné teplotě. Do nádoby vyústí dáváč **11** evaporovaného média, který může s výhodou procházet vytápěným blokem **7** a transportovat médium do porézní vrstvy **12**. [7]

P č.3



# P č.4



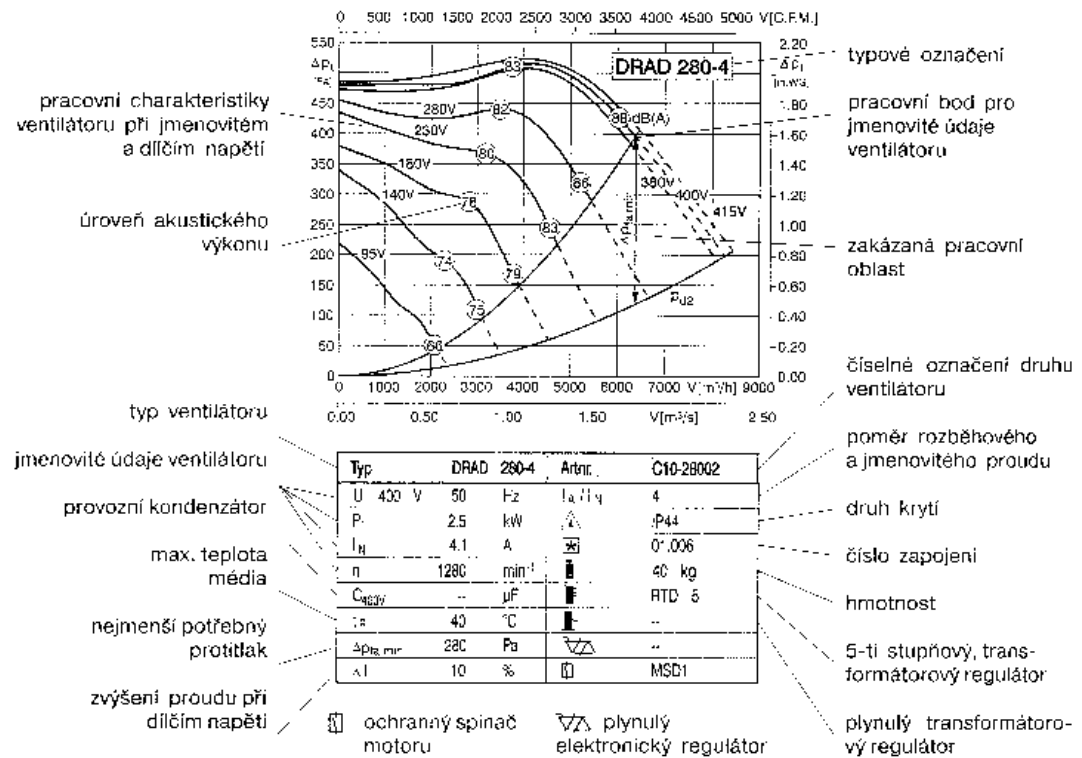
## P č.5

### Zobrazení pracovních charakteristik

rosenberg

Pracovní charakteristiky znázorňují zvýšení celkového tlaku  $\Delta p_t$  jako funkci průtoku vzduchu. Dynamický tlak je vztažen k průřezu výstupní příruby ventilátoru.

Pracovní charakteristiky jsou vztaženy k hustotě vzduchu  $1,2 \text{ kg/m}^3$ . U střešních a axiálních ventilátorů je znázorněno zvýšení statického tlaku  $\Delta p_{st}$ .



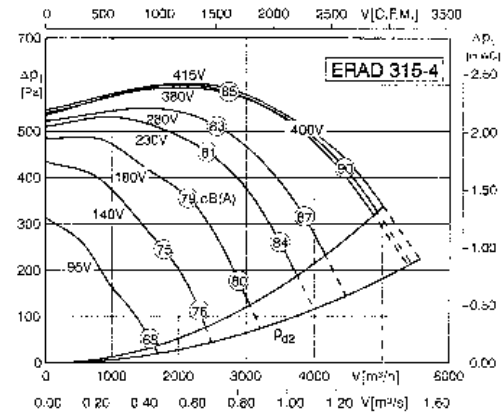
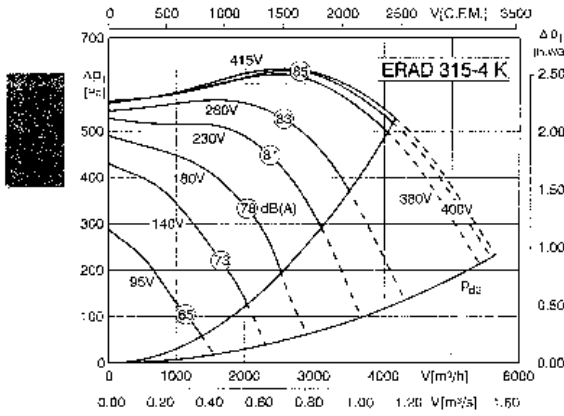
### Označení jednotek

	Název	Jednotka
U	jmenovité napětí	V
P <sub>f</sub>	příkon motoru	kW
I <sub>N</sub>	jmenovitý proud	A
n	počet otáček	min <sup>-1</sup>
V	průtok vzduchu	m <sup>3</sup> /h

	Název	Jednotka
pt	celkový tlak	Pa
Δpt	zvýšení celkového tlaku	Pa
p <sub>st</sub>	statický tlak	Pa
Δp <sub>fa</sub>	zvýšení tlaku, volné vyústění	Pa
pd <sub>2</sub>	dynamický tlak na výstupu	Pa

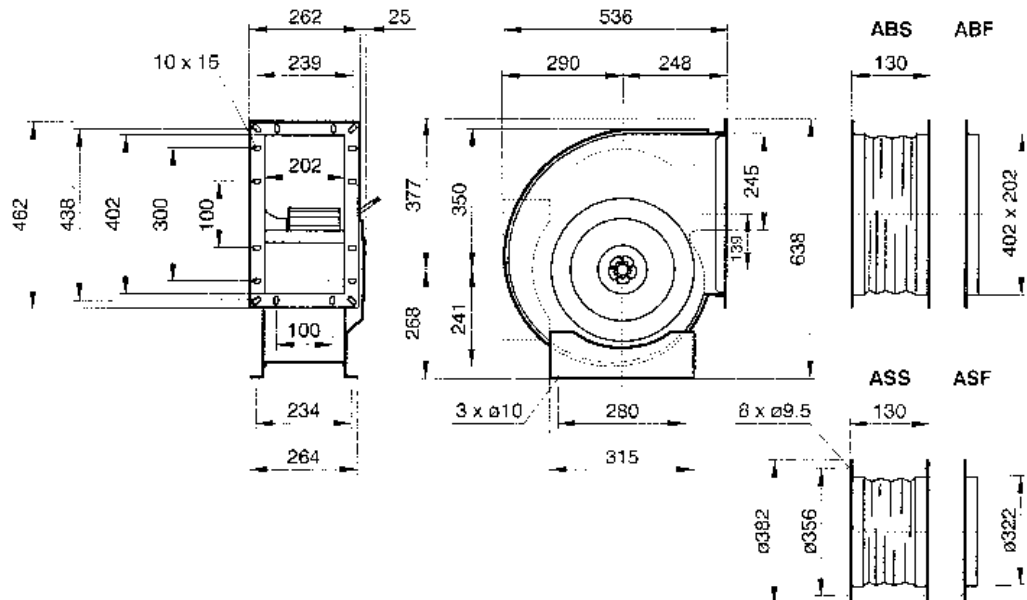
# P č.6

315



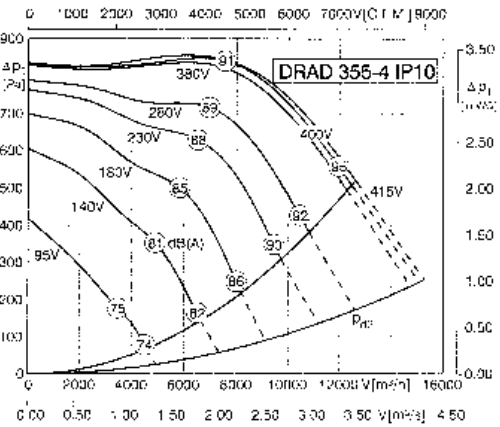
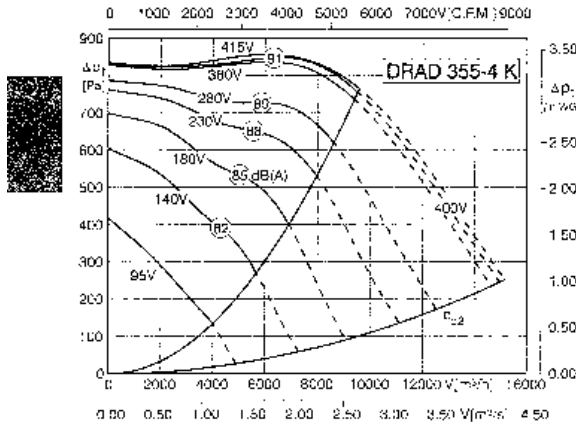
Typ	ERAD 315-4 K	Artnr.	B10-31543
U	400 V	50 Hz	$I_A / I_N$ 3.2
P <sub>I</sub>	1.85 kW		IP44
I <sub>N</sub>	3.2 A		01.006
n	1300 min <sup>-1</sup>		30 kg
C <sub>decv</sub>	- μF		RTD 3.6
t <sub>a</sub>	40 °C		-
ΔP <sub>sta, min</sub>	400 Pa		GDR8U
ΔI	4 %		MSD 1

Typ	ERAD 315-4	Artnr.	B10-31540
U	430 V	50 Hz	$I_A / I_N$ 2.9
P <sub>I</sub>	2.38 kW		IP44
I <sub>N</sub>	4.4 A		01.006
n	1300 min <sup>-1</sup>		35 kg
C <sub>decv</sub>	- μF		RTD 5
t <sub>a</sub>	40 °C		-
ΔP <sub>sta, min</sub>	150 Pa		GDR8U
ΔI	- %		MSD 1



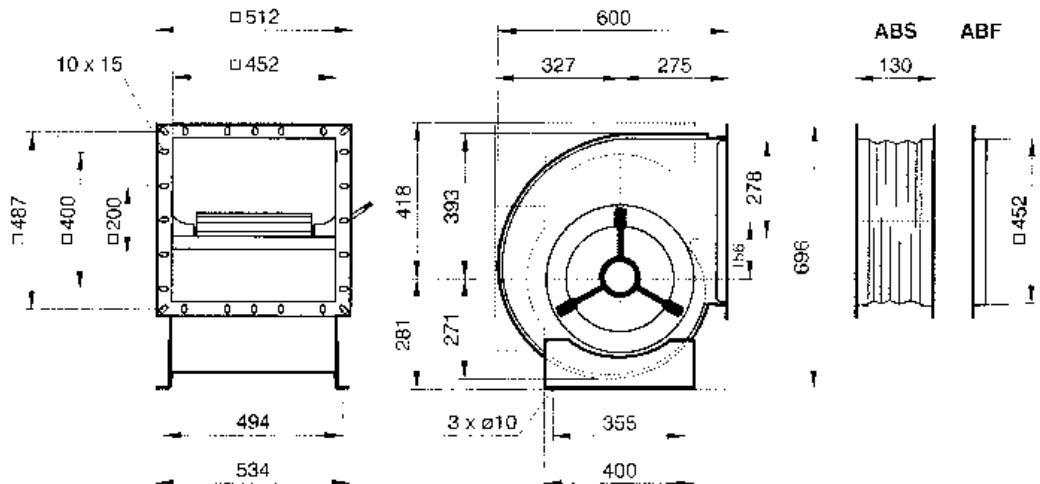
# P č.7

355



Typ	DRAD 355-4K	Artnr.	C10-35500
U	400 V	50 Hz	$I_A : I_N$ 2.4
P	5.35 kW		IF44
$I_N$	9.3 A		01.008
n	1360 min <sup>-1</sup>		60 kg
$C_{230V}$	µF		RTD 14
$t_a$	40 °C		
$\Delta P_{ts min}$	650 Pa		GDR16U
$\Delta I$	16 %		MSD 1 (14KW)

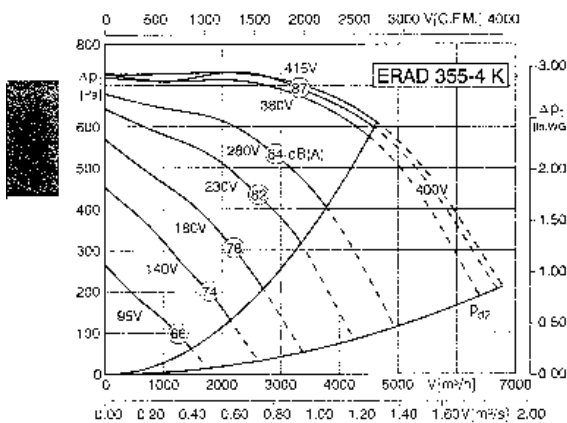
Typ	DRAD 355-4	Artnr.	C10-35501
U	400 V	50 Hz	$I_A : I_N$ 1.8
P	7.4 kW		IP10
$I_N$	12.2 A		01.00E
n	1300 min <sup>-1</sup>		60.5 kg
$C_{230V}$	µF		RTD 14
$t_a$	40 °C		
$\Delta P_{ts min}$	340 Pa		GDR16U
$\Delta I$	12 %		MSD 1 (14KW)



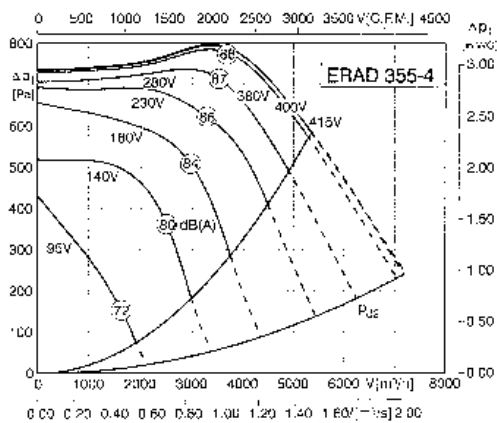


# P č.8

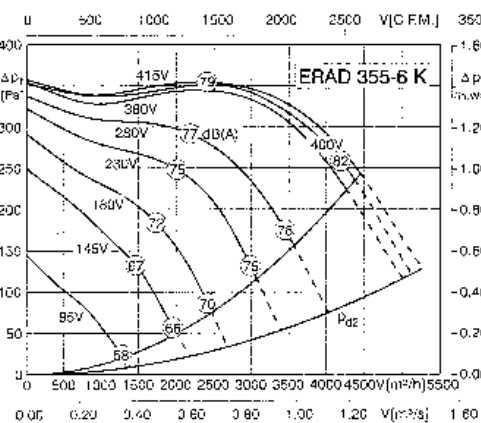
355



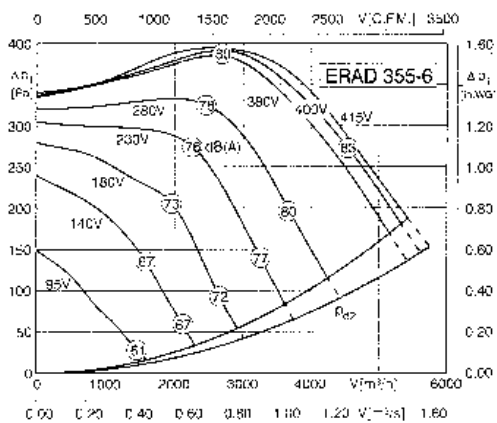
Typ	ERAD 355-4K	Artnr.	B10-35543
U	400 V	50 Hz	$I_A / I_N$ 2,9
P <sub>1</sub>	2,35 kW		IP44
I <sub>N</sub>	4,4 A		01.006
n	1250 min <sup>-1</sup>		41 kg
C <sub>app</sub>	- μF		RTD 5,0
t <sub>R</sub>	40 °C		-
ΔP <sub>5min</sub>	500 Pa		GDR8U
ΔI	- %		MSD 1



Typ	ERAD 355-4	Artnr.	B10-35540
U	400 V	50 Hz	$I_A / I_N$ 12,5
P <sub>1</sub>	3,2 kW		IP44
I <sub>N</sub>	5,8 A		01.006
n	1400 min <sup>-1</sup>		52 kg
C <sub>app</sub>	- μF		RTD 7,0
t <sub>R</sub>	40 °C		-
ΔP <sub>5min</sub>	450 Pa		GDR8U
ΔI	25 %		MSD 1 (1+KW)



Typ	ERAD 355-6K	Artnr.	B10-35549
U	400 V	50 Hz	$I_A / I_N$ 2,4
P <sub>1</sub>	1,5 kW		IP44
I <sub>N</sub>	2,2 A		01.006
n	810 min <sup>-1</sup>		36 kg
C <sub>app</sub>	- μF		RTD 2,5
t <sub>R</sub>	40 °C		-
ΔP <sub>5min</sub>	150 Pa		GDR8U
ΔI	- %		MSD 1



Typ	ERAD 355-6	Artnr.	B10-35546
U	400 V	50 Hz	$I_A / I_N$ 2,5
P <sub>1</sub>	1,6 kW		IP44
I <sub>N</sub>	2,75 A		01.006
n	770 min <sup>-1</sup>		40 kg
C <sub>app</sub>	- μF		RTD 3,0
t <sub>R</sub>	40 °C		-
ΔP <sub>5min</sub>	50 Pa		GDR8U
ΔI	- %		MSD 1











