

# VLIV POVRCHOVÉ STRUKTURY A TEXTURY ÚPLETŮ NA JEJICH TEPELNÝ A VÝPARNÝ ODPOR

## Diplomová práce

*Studijní program:* N3108 – Průmyslový management  
*Studijní obor:* 3106T014 – Produktový management - Textil

*Autor práce:* **Bc. Markéta Urbanová**  
*Vedoucí práce:* prof. Ing. Luboš Hes, DrSc.





# THE INFLUENCE OF KNITTED STRUCTURE AND TEXTURE ON THE FABRIC'S THERMAL AND WATERVAPOUR RESISTIVITY

## Diploma thesis

*Study programme:* N3108 – Industrial Management  
*Study branch:* 3106T014 – Product Management - Textile

*Author:* **Bc. Markéta Urbanová**  
*Supervisor:* prof. Ing. Luboš Hes, DrSc.



Student: Markéta Urbanová, Bc

Vedoucí: prof. Luboš Hes, konzultant: Dr. Kausik Bal

Název DP (obhajoba v červnu 2014): **Vliv povrchové struktury a textury úpletů na jejich tepelný a výparný odpor.**

Zásady pro vypracování:

1. Uveďte základní poznatky o sensorickém a termofyziologickém komfortu textilií a způsobech jeho hodnocení a popište mechanismy přenosu tepla a hmoty mezi člověkem a okolím.
2. Opatřete soubor vzorků jednobídných žebrových úpletů ze 100% bavlny o podobné plošné hmotnosti lišících se šířkou a rozestupem žeber a pomocí přístroje ALAMBETA zjistěte jejich tepelně – izolační vlastnosti a tepelnou jímavost v závislosti na složení vzorků a parametrech žeber. Stejně vzorky proměřte na přístroji PERMETEST s cílem stanovení vlivu složení vzorků a geometrie a orientace žeber na jejich paropropustnost a výparný odpor. .
3. Všechny dosažené experimentální hodnoty zpracujte statisticky a zobrazte graficky a výsledky pro tepelný odpor a tepelnou jímavost dle možností porovnejte s výsledky zjednodušeného tepelného modelu, ve kterém bude repektována geometrie žeber.
4. V závěru použijte dosažené výsledky k návrhu oděvních součástí na bázi žebrových úpletů s relativně nejteplejším omakem a s co nejvyšším tepelným odporem a paropropustností.

Literatura: Hes L., Sluka P.: Úvod do komfortu textilií. Skriptum TUL-FT, 2005

Kuneš J. a kol. : Tepelné bariéry, Academia 2003

## Prohlášení

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

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

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

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

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

Datum:

Podpis:

# Poděkování

Tato práce vznikala zdlouhavě a přes nepřízeň okolností vznikla zejména díky velké trpělivosti a vstřícnému přístupu váženého pana Prof. Ing. Luboše Hese, DrSc., kterému tímto děkuji za odborné vedení a všechn věnovaný čas a zaučení s obsluhou měřících přístrojů Alambeta a Peremetest.

Můj dík též patří Ing. Asifu Mangatovi, studijnímu kolegovi z Pákistánu, který mi zapůjčil vzorky, na kterých jsem mohla provést svá měření, a za všechny jeho praktické rady a také dr. Kausiku Balovi, který je vždy ochoten každému poradit a pomoci.

Též děkuji Ing. Lence Technikové z katedry hodnocení jakosti při TUL, která mě ochotně uvedla do práce s přístrojem Talysurf.

Dále nemohu opomenout s díky všechny ty, bez kterých bych se nedostala tak daleko, abych tuto práci mohla začít zpracovávat. Velmi proto děkuji za životní laskavost paní RNDr. Evě Dvořákové a za ochotu paní Mgr. Markétě Páralové. Děkuji také všem vyučujícím za výborně vedenou výuku, která byla vždy maximálně přínosná. Děkuji také všem ze studijního oddělení pro FT TUL, protože se mnou měli vždy velkou trpělivost a v neposlední řadě děkuji všem mým přátelům, které jsem při studiu na VŠ získala, za jejich přízeň a pomoc.

Děkuji ale hlavně svým rodičům, bez kterých bych tu nebyla a za veškerou jejich podporu nejen při studiu.

**Děkuji všem za vše.**

## ANOTACE

Tato práce se zabývá problematikou tepelného a výparného odporu souvisejících s vlhkotepelným komfortem oděvu z bavlněného úpletu s žebrováním. Práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. V teoretické části jsou osvětleny pojmy týkající se různých syntetických materiálů majících podobné tepelné nebo mechanické vlastnosti jako bavlna, bavlna sama; pojmy týkající struktury a textury vlákenných útvarů délkových i plošných a také pojmy související s komfortem a vedením tepla. V experimentální části je uvedena specifikace použitých úpletových vzorků s žebrováním a je zde popsán postup měření na použitých přístrojích Alambeta, Permetest a Talysurf (přístrojová výbava laboratoří KHT) a také úskalí s tím spojená. Dále se v této části práce nachází grafické zpracování výsledků z naměřených hodnot měrné tepelné vodivosti, tepelné jímavosti, plošného odporu vedení tepla, relativní paropropustnosti a výparného odporu použitých úpletů. V závěru experimentální části je uveden nástin případného avšak z časových a jiných důvodů nerealizovaného řešení některých úskalí této práce. Na konci experimentální části je pak navržen způsob využití získaných výsledků v odívací praxi.

### KLÍČOVÁ SLOVA:

- Vlhkotepelný komfort • bavlna • úplet • žebrování • struktura • textura • vedení tepla •
- tepelný odpor • výparný odpor • tepelná vodivost • tepelná jímavost • relativní  
paropropustnost •
- ALAMBETA • PERMETEST • TALYSURF •

## ANNOTATION

This thesis is related to fabric's thermal and watervapour resistivity which belong generally to the humid heat material properties which affect the comfort of wearing clothes here focused especially on clothes made from knitted fabric with structural ribs. The thesis is divided into two main parts, theoretical part and experimental part. In the theoretical part there are explained terms connected with several synthetic materials similar to cotton mechanically or in thermal properties; cotton itself; terms related to the structure and texture of longitudinal and areal fibrillar systems and also the terms belonging to the theory of comfort and the heat conduction. In the experimental part there is a specification of used knitted samples with structural ribs and there are also the methods (and also difficulties) of measuring described. The measurement was made using the Alambeta instrument, Permetest sensora and Talysurf, the apparate equipment of the Department of textile evaluation's laboratories. In this part there is also a graphical elaboration of the received data and commented evaluation of detected facts from the used fabrics heat conductivity, heat absorptivity, heat resistance, watervapour resistance and watervapour permeability. The ending of experimental part is pursued to the possible resolutions of the mentioned difficulties of this thesis and in the very end of the experimental part there is a layout for using each type of measured knitted fabric as a clothing part.

### KEY WORDS:

- Humid heat comfort • cotton • knittings • knitted ribs • structure • texture • heat conduction ways • heat resistivity • watervapour resistivity • material heat conduction •
- heat absorptivity • watervapour permeability •
- ALAMBETA • PERMETEST • TALYSURF •

# Obsah

1	ÚVOD .....	10
1.1	PROBLEMATIKA .....	10
1.2	OČEKÁVÁNÍ .....	10
2	TEORETICKÁ ČÁST .....	10
2.1	VYBRANÉ MATERIÁLY S TERMOIZOLAČNÍ VLASTNOSTÍ .....	10
2.1.1	Bavlna .....	10
2.1.1.1	<i>Mechanika bavlny</i> .....	11
2.1.1.2	<i>Chemie bavlny</i> .....	11
2.1.2	Syntetická vlákna směřovaná s bavlnou.....	13
2.1.2.1	<i>Polyester (PET)</i> .....	13
2.1.2.2	<i>Polyamid (PA)</i> .....	13
2.1.2.3	<i>Polyakrylnitril (PAN)</i> .....	13
2.2	PŘÍZE.....	14
2.2.1	Struktura .....	14
2.2.1.1	<i>Jemnost</i> .....	14
2.2.1.2	<i>Průměr</i> .....	15
2.2.1.3	<i>Zaplnění</i> .....	16
2.2.1.4	<i>Zákrut</i> .....	16
2.2.1.5	<i>Seskání</i> .....	17
2.3	PLETENINA.....	18
2.3.1	Jednolící pletenina.....	18
2.3.2	Oboulící pletenina .....	19
2.3.3	Obourubní pletenina .....	19
2.3.4	Zátažná a osnovní pletenina .....	20
2.4	KOMFORT .....	20
2.4.1	Psychologický komfort .....	21
2.4.2	Senzorický komfort .....	21
2.4.3	Termofyziologický komfort .....	21
2.5	ORGANISMUS – ODĚV – PROSTŘEDÍ.....	22
2.5.1	Definice oděvu .....	22
2.5.2	Tepelná ochrana nositele .....	23
2.5.3	Termomechanika lidského těla.....	23
2.5.3.1	<i>Pocení</i> .....	23
2.5.3.2	<i>Definice tepelného komfortu pro lidské tělo v klidu</i> .....	24
2.5.3.3	<i>Definice termoregulace</i> .....	24
2.5.3.4	<i>Tepelná bilance organismu</i> .....	26
2.6	KONDUKCE (PŘENOS TEPLA VEDENÍM) .....	27
2.6.1	Fourierův zákon.....	28
2.7	KONVEKCE (PŘENOS TEPLA PROUDĚNÍM) .....	29
2.7.1	Newtonův zákon.....	31
2.8	RADIACE (PŘENOS TEPLA SÁLÁNÍM) .....	31
2.8.1	Planckův vztah .....	32
2.9	EVAPORACE.....	33
2.10	PŘENOS TEPLA V ODĚVU .....	35
2.11	VYBRANÉ VLHKOTEPelné VLASTNOSTI TEXTILÍ A DALŠÍ MĚŘITELNÉ VELIČINY [35, 36]... 35	
2.11.1	Tepelný tok .....	36
2.11.2	Měrná tepelná vodivost.....	36
2.11.3	Měrná tepelná kapacita .....	36
2.11.4	Tepelná jímavost.....	36
2.11.5	Plošný odpor vedení tepla.....	37



2.11.6	Měrná teplotní vodivost .....	37
2.11.7	Poměr maximálního a ustáleného tepelného toku .....	37
2.11.8	Relativní paropropustnost .....	38
2.11.9	Výparný odpor (Vhodnější vzorec používaný na FT TUL) .....	38
<b>3</b>	<b>EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST .....</b>	<b>39</b>
3.1	POPIS EXPERIMENTU .....	39
3.2	MĚŘÍCÍ ZAŘÍZENÍ .....	41
3.2.1	Alambeta .....	41
3.2.2	Permetest .....	43
3.2.3	Talysurf .....	45
3.3	PROMĚŘOVANÉ VZORKY .....	50
3.4	GRAFICKÉ VYHODNOCENÍ EXPERIMENTU .....	52
3.4.1	Měrná tepelná vodivost .....	54
3.4.2	Tepelná jímavost .....	54
3.4.3	Plošný odpor vedení tepla .....	54
3.4.4	Výparný odpor .....	56
3.4.5	Relativní paropropustnost .....	60
	.....	107
3.5	VYHODNOCENÍ EXPERIMENTU .....	108
	<i>Shrnutí poznatků:</i> .....	109
3.5.1	Metody zjištění plochy žeber .....	111
3.5.1.1	a) Světelným odrazem vzduchových kapes .....	111
3.5.1.2	b) Nejsvětlejší plocha v kontrastní kapalině .....	112
3.5.2	Volba vzorků k proměření .....	113
3.5.3	Návrh využitelnosti vybraných struktur pleteniny .....	114
<b>4</b>	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>116</b>
<b>5</b>	<b>ZDROJE .....</b>	<b>117</b>

# 1 ÚVOD

---

## 1.1 Problematika

Nošení oděvu může pozitivně i negativně ovlivňovat proces tepelné výměny lidského těla s vnějším okolím, proto je vhodné volit oděv nejen podle módního trendu, který často u vysoce moderních kousků zanedbává funkčnost oděvu, ale právě také podle situace tepelných podmínek vnějšího okolí.

Tato práce se zabývá oděvním komfortem při zaměření na vlhkotepelné vlastnosti materiálů a výrobků z nich určených k běžnému nošení jakožto vrstvy k přímému kontaktu s lidskou pokožkou i jako druhé a třetí vrstvy oděvu. Je zde zkoumán vliv žebrování pletenin na jejich vlhkotepelné vlastnosti.

## 1.2 Očekávání

Konkrétně se sleduje vliv žebrování na pleteninu, také vliv hloubky žeber, tloušťky tkaniny a jemnost použité bavlněné příze. Očekává se, že významnou měrou všechny výsledky ovlivní právě jemnost příze použité k výrobě pleteniny.

# 2 TEORETICKÁ ČÁST

---

## 2.1 Vybrané materiály s termoizolační vlastností

### 2.1.1 **Bavlna**

Bavlna (BA) je přírodní rostlinné vlákno, jedna buňka, které je získáváno ze semen rostliny bavlníku. Po odkvětu se vytvoří tobolka, ve které je 3 až 8 semen, která obrůstají vlákny. Při dozrávání mají tobolky tendenci pukát a uvolňovat vlákna, která se technicky dále zpracovávají. Jedná se o vlákno, jehož spotřeba každoročně stoupá a jen na oděvní výrobu je využíváno 65% světové produkce. Bavlníky jsou pěstovány na všech kontinentech v tropických a subtropických

oblastech [24]. Bavlina se také často směšuje s konkrétně s vlákny PES, PA, PAN díky jejich podobným mechanickým charakteristikám a zároveň kvůli zvýšení kvality nadvlákenných produktů či úpravě ceny finálních produktů [12,19].

Vlákno se získává ruční nebo strojní sklizní semen, která se po procesu sušení „vyzrňují“. Materiál se poté třídí, určí se jeho jakost a připraví se k expedici slisováním do zpravidla 200 kg balíku. Získaná vlákna se třídí podle délky, místa sklizně a kvality. Zpracovatelské velmoci se zaměřují na různý standard délky vláken. Obecně USA zpracovává krátkovláknenné materiály (20,6 mm) na výrobu rotorových přízí a pracovních oděvů, na středně- a dlouhovláknenné materiály se soustředí Egypt (25,4 a 28,5 mm) pro běžné zboží denní potřeby a doménou Indie jsou materiály s obsahem zvláště dlouhých vláken (35 mm) určených pro výrobu luxusních oděvů z česané bavlny [24].

#### 2.1.1.1 Mechanika bavlny

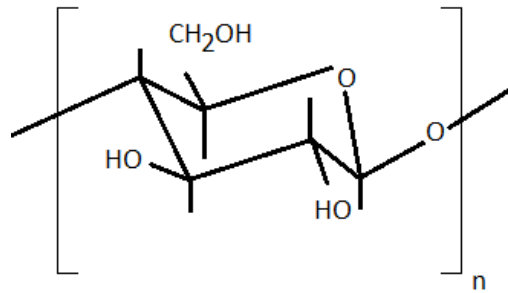
Bavlina se vyznačuje typickým průměrem vláken kolem 16-20  $\mu\text{m}$ . Platí, že čím je vlákno delší, tím menší je jeho průměr, což je žádoucí stav a tím roste jakost materiálu. Pevnost v tahu bavlněných vláken se pohybuje kolem 300 mN/tex, s rostoucí vlhkostí se pevnost dokonce zvyšuje až o 20%. Z oděvního hlediska je však navlhlá bavlna nekomfortní [19, 24].

#### 2.1.1.2 Chemie bavlny

Chemické složení bavlny je poměrně variabilní. Záleží na druhu rostliny (existuje asi 40 zástupců z rodu slézovitých - bavlny)

Bavlina obsahuje:

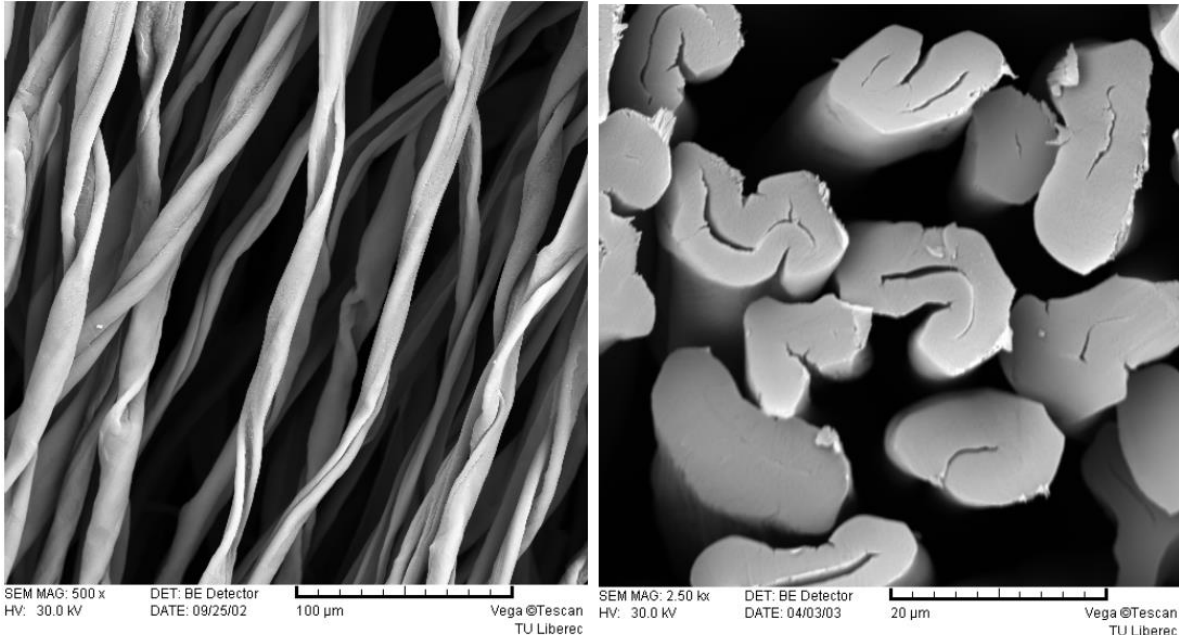
- 83 – 94% celulózu
- 1 – 2,8% bílkovin
- 0,4 – 1,2% pektinů
- 0,4 – 0,8% tuků a vosků
- 1 – 1,8% popelovin
- 6 – 8,5% hygroskopické vlhkosti
- Stopy pigmentů [24, 26, 38]



Obr. 1: Prostorový chemický vzorec celulózy a sumární:  $(C_6H_{10}O_5)_n$

Bavlna je velmi navlhavá a hůře se vysušuje, protože při pojmání vlhkosti se voda váže s hydroxylovými skupinami OH v celulóze, čímž zároveň dochází i ke zpevnění bavlněného vlákna [26].

Přítomnost vodíkových můstků v makromolekule celulózy vede ke vzniku dlouhých uspořádaných segmentů, tedy krystalických oblastí. U bavlny tvoří tyto segmenty až 70%-ní vzhledem k délce řetězce. Volné hydroxylové skupiny v amorfních oblastech vlákna mají schopnost poutat molekuly vody a to opět pomocí vodíkových můstků. Schopnost sorpce vody je však omezená. Nenastává hydrolyza celulózy, dochází pouze k bobtnání vlákna [26].

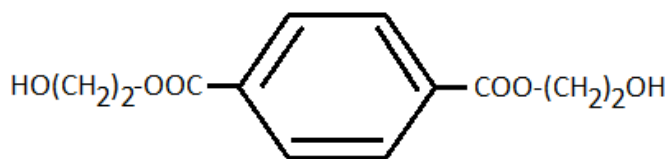


Obr. 2: Bavlna z pohledu elektronové mikroskopie [5]

Na Obr. 2 lze vidět specifický tvar vlákna (vlevo) a jeho průřez (vpravo), které zásadně ovlivňují strukturu nadvlákenného produktu.

## 2.1.2 Syntetická vlákna směšovaná s bavlnou

### 2.1.2.1 Polyester (PET)



Obr. 3: Chemický vzorec polyesteru

Jedná se o syntetický materiál, z kterého se kromě jiných produktů vyrábí rovněž textilní vlákna. Mezi syntetickými vlákny zaujímá první místo v textilním zpracování [33]. Slovo polyester obecně zahrnuje všechny polymerní materiály, které z chemického hlediska obsahují esterovou skupinu. Polyestery jako takové reprezentuje polyethylentereftalát, zkráceně PET. Vyrábí se polykondenzací kyseliny tereftálové a etylénglykolu [20].

### 2.1.2.2 Polyamid (PA)

Dalším zpracovávaným materiálem k textilním účelům je polyamid. Chemickou podstatou se blíží vlně, jelikož jak vlna, tak polyamid obsahují amidickou vazbu v hlavním řetězci. Nejrozšířenější typy polyamidu jsou polyamid 6 (PA 6) a polyamid 6.6 (PA 6.6). Hlavní složkou polyamidu je fenol. Vyrábí se tavením, protlačováním a dloužením polymerované směsi vody a kaprolaktamu [20].

### 2.1.2.3 Polyakrylnitril (PAN)

Polyakrylnitril se řadí za polyamid k nejčastěji užívaným syntetickým materiálům v textilním průmyslu. PAN vlákna se rozlišují podle obsaženého množství akrylonitrilu na normální typ nad 85% a modakryl pod 85% akrylonitrilu. Polyakrylonitril je vyráběn z propylénu a amoniaku zvlákněním buď méně častým suchým způsobem, kdy tryskou vytlačovaný polymer vysychá; nebo častějším mokřím způsobem, kdy se po průchodu tryskami ve vodě vysráží [20].

## 2.2 Příze

Z textilních vláken se po jejich získání a náležitých úpravách vyrábí plošné textilie buď různými způsoby výroby netkaných textilií, nebo tkaním či pletením. Technologickým postupem a způsobem zpracování příze tak vzniká textilie s typickou strukturou (vnitřním uspořádáním) a typickou texturou (vnějším projevem vnitřního uspořádání). Pro účely této práce bude popsána pouze příze a pletenina jakožto konečný produkt pletení [5].

Výrobě pleteniny předchází spřádání vláken do příze, což je porézní útvar, v němž vlákna mají uspořádání ideálně se blížící šroubovici, která při sobě drží díky tření zvýšeném kroucením [21].

### 2.2.1 Struktura

Strukturu příze lze přiblížit pojmy jako jsou jemnost příze, průměr příze, zaplnění příze, intenzita zákrutu příze a se zákrutem pojené seskání.

#### 2.2.1.1 Jemnost

Jemnost příze lze vyjádřit jako hmotnost úseku příze o určité délce nebo délku příze o určité hmotnosti a z tohoto hlediska se rozlišují různé systémy s jednotkami a hodnotami pro popsání jemnosti příze. Číslo metrické a anglické [7]

Číslo metrické  $\check{C}_m$  vyjadřujeme jako počet metrů v 1 gramu příze, tedy podle vztahu (1)

$$\check{C}_m = \frac{l [m]}{m [g]} \quad (1)$$

Číslo anglické kalkuluje stejným způsobem jinou, pro anglosaské země vžitější délkou v yardech a hmotností v librách.

$$\check{C}_a = \frac{l [840 \text{ yd}]}{m [lb]} \quad (2)$$

Obecně lze říci, že čím vyšší číslo má příze v těchto systémech, tím jemnější je příze.

Tex a Titr denier

Při vyjádření počtu gramů v 1 kilometru příze používáme systém Texů, jedná se o systém přímého vyjadřování jemnosti, tedy čím vyšší číslo, tím hrubší je příze.

$$T [tex] = \frac{m [g]}{l [km]} \quad (3)$$

Roste-li číselná hodnota jemnosti příze, předpokládá se při zachování stejného technologického postupu výroby a materiálu příze i růst jejího průměru. Přesto se jemnost nerovná průměru. Zde je zohledňováno i zaplnění příze [17].

Titr denier je další ze systému přímého vyjádření jemnosti. Využívá se pro vyjádření jemnosti vysoce jemných materiálů, jako jsou jemné dámské punčochy.

$$Td [den] = \frac{m [g]}{l [9 km]} \quad (4)$$

Jemnost příze  $T$  souvisí s průměrem a hustotou. Je popisána vzorcem, který předpokládá kruhový průřez:

$$T [tex] = \sqrt{\frac{\pi * d^2 * \rho * 10^6}{4}} \quad (5)$$

### 2.2.1.2 Průměr

$$d [mm] = \sqrt{\frac{4T}{\pi\mu\rho}} \quad (6)$$

Oproti jemnosti, která představuje poměr délky a hmotnosti příze, průměr popisuje přímo příčný rozměr příze kolmo k ose vlákně šroubovice v přízi. Jemnost od průměru dělí pojem zaplnění [17, 21].

### 2.2.1.3 Zaplnění

Zaplnění je bezrozměrná veličina definovaná v intervalu  $\mu(0; 1)$ , která vyjadřuje podíl buď objemu vláken ku celkovému objemu elementárního vlákenného útvaru nebo podíl plochy vláken v příčném řezu příze ku celkové ploše příčného řezu příze [21].

$$\mu = \frac{V}{V_c} \quad (7)$$

$$\mu = \frac{S_{vl}}{S_c} \quad (8)$$

Hodnota zaplnění příze se ve směru od středu k povrchu snižuje, tedy nejvýraznější zaplnění je u středu příze, kde jsou paralelně uspořádaná vlákna k sobě přitlačována ze všech stran. Směrem k povrchu příze se vzájemný přítlak jednotlivých vláken snižuje, zmenšuje se počet třecích mezivláknenných kontaktů, klesá soudržnost vláken vůči celému strukturnímu prvku a na samém povrchu příze již konce některých vláken čnějí mimo přízi a způsobují tzv. chlupatost [17]. Zaplnění výrazně ovlivňuje jemnost příze, jelikož příze se stejným průměrem a odlišným zaplněním mají odlišnou jemnost. Vyšší zaplnění zde zvyšuje hodnotu jemnosti. Charakteristické zaplnění v přízi způsobuje zákrut [7, 17].

### 2.2.1.4 Zákrut

Při výrobě příze dochází po mykání ke stlačení umykané pavučinky do podoby objemné vlákenné stužky. Ve stužce vlákna drží navzájem pouze přirozená koheze a tento útvar nedisponuje využitelnou pevností. Pro získání pevnosti se proto stužka vláken ještě zakrucuje [7] a podle směru kroucení se rozlišuje pravý zákrut „Z“ a levý zákrut „S“ pomocí obrazotvornosti zmíněných písmen. Zákrutem se jednotlivá vlákna v průřezu stlačují k sobě akční silou a dochází tak k deformaci přirozeného původního tvaru vlákna na tvar šroubovice.



Vlákno deformaci klade odpor a dochází k vyrovnání akční síly reakční silou[21]. Rovnováha akčních a reakčních sil určuje míru stlačení materiálu, která určuje průměr, potažmo zaplnění příze. Definuje ho vzorec:

$$Z = \frac{\alpha}{\sqrt{T}} \quad (9)$$

Tento vztah byl modifikován, jelikož empirické zkušenosti poukázaly na jeho nedostatky v nesrovnalosti vztahů  $\alpha$  koeficientu a zaplnění příze. Odmocnění T se proto upravilo na T s technologicky přesnějším zákrutovým exponentem q[21]

$$Z = \frac{\alpha}{T^q} \quad (10)$$

O zákrutu příze platí, že zvyšuje pevnost příze až do bodu nasycení, tzv. nasyceného zákrutu a odtud dál se pevnost příze naopak snižuje[7]. Tento jev je způsoben dosažením limitního zaplnění v jádru příze [21]. Vlákna v přízi při zakrucování vykonávají pohyb směrem k sobě, zvyšuje se kontaktní plocha mezi vlákny, zmenšují se mezivláknenné póry. Přibližování vláken končí plným kontaktem. Dalším kroucením se zvětšuje délka šroubovice, ve které jsou vlákna vystavena maximálnímu tření a tím i napínání. V závislosti na pevnosti jednotlivých vláken pak dochází k přetržení jednotlivých vláken, až dojde k přetržení celé příze.

Zákrutem je rovněž realizováno skaní příze [7], tedy vrstvení hotových přízí s vlastním zákrutem pomocí dalšího zákrutu. Takto lze vytvářet libovolně vrstvenou přízi, pakliže to dovoluje i ekonomický zájem. Většinou jsou vyráběny dvojmo a trojmoskané příze, přičemž jednoduché příze nejsou výjimkou.

#### 2.2.1.5 Seskání

Při seskávání vstupních přízí do jedné dochází k jejich poměrnému zkrácení ve výsledné přízi, která má délku zkrácenou o seskání.

Rozdíl délek se vypočítá podle vztahu (11):

$$\Delta l [m] = l_1 - l_0 \quad (11)$$

, z kterého se vypočítá seskání:

$$\varepsilon [\%] = \frac{\Delta l}{l_0} * 100 \quad (12)$$

Příze je projektována vždy v závislosti na jejím účelu, proto vznikají příze vhodné zvláště pro šití, tkaní a pletení s takovými mechanickými charakteristikami, aby byla odolnější vůči namáhání při výrobě finálního produktu[17].

## 2.3 **Pletenina**

Pletenina je „polotovár“ vhodný k dalšímu zpracování k oděvním nebo technickým účelům, jehož struktura je tvořena propletenými očky příze. Jedná se o plošnou textilií vytvořenou vzájemným provázáním jediné příze, kdy tak vzniká zátažná pletenina (zatažením za přízi se pletenina rozplete) nebo provázáním celé soustavy přízí ve formě osnovy, z které vzniká osnovní pletenina [2, 13].

Základními strukturálními prvky pleteniny jsou očka, která v pletenině vypadají na líci jako nabobtnané písmeno v (tvoří řádek „vvvv“) a na rubu jako symbol  $\wedge$  nebo  $\cup$  (tvoří řádek „ $\wedge\wedge\wedge\wedge$ “), který je však v textech nahrazován písmenem O. Pletenina je vytvářena po šířce řádky a na výšku sloupky jednotlivých oček v obou osách provázaných.

Vizualizace je u různých typů pletenin odlišná.

Rozlišujeme pleteniny podle -vizuálního projevu:

jednolící

oboulící

obourubní

-uspořádání příze:

osnovní

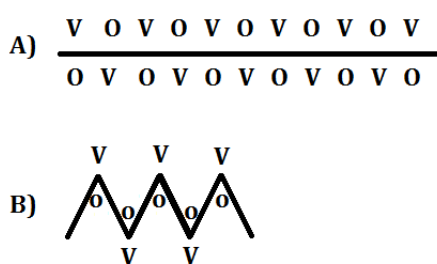
zátažná

### 2.3.1 **Jednolící pletenina**

Jednolící pletenina představuje textilií, u které se na jedné straně vyskytují převážně nebo pouze lící očka a na straně druhé se převážně nebo pouze vyskytují rubní očka. Uspořádání oček v pletenině lze ovlivnit různým vazebným zpracováním [13].

### 2.3.2 Oboulícní pletenina

Oboulícní pletenina na pohled působí, že z každé její strany jsou přítomna pouze lící očka, tedy že rubní očka chybí. Rubní očka jsou pouze zakryta ve struktuře pleteniny [13]. Rozložení sil působících na přízi při provázání v pletenině způsobuje smrštění pleteniny do tvaru harmoniky. Příčina tohoto působení je dána střídáním sloupků lících a rubních oček ve tvaru řádků „vovo“.



Na Obr. 4 je symbolicky znázorněn řez pleteninou ve směru řádku. Stav A) představuje pohled na pleteninu napínanou ve směru řádků. Stav B) představuje pohled na pleteninu ve stabilizovaném stavu bez působení žádných vnějších sil. Vnitřní pnutí tvaru rubního oka a vnější roztažnost lícího oka způsobují, že při vazebném zpracování pleteniny střídáním lících a rubních sloupků se lící sloupky v podélném směru rozevírají a rubní sloupky se naopak

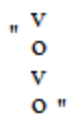
Obr. 4: Analogie řezu pleteniny

v podélném směru svírají, čímž vznikne vzhled harmoniky a výsledný efekt oboulícní pleteniny. Rubní očka nejsou vidět. Dominantní na vzhledu pleteniny je podélné rýhování.

Z tohoto uspořádání oboulícní pleteniny vyplývá, že pletenina je objemnější oproti jednolící, protože má dvě vrstvy lících oček.

### 2.3.3 Obourubní pletenina

Obourubní pletenina analogicky představuje rovněž objemnější textilií než je pletenina jednolící, jelikož je také dvojvrstvá. Dvě viditelné vrstvy v tomto případě jsou tvořeny rubními očky. Obourubní pletenina je tvořena střídáním lících a rubních řádků [13], tedy sloupky mají tvar



V případě obourubní pleteniny ohebnost rubního oka v příčném směru a sklon lícího oka ke smršťování v příčném směru způsobí, že se rozvinou řádky rubních oček a svinou lící řádky, čímž opět vzniká efekt harmoniky, tentokrát obourubní. Lící očka nejsou vidět. Dominantní na vzhledu pleteniny je příčné rýhování [13].

### 2.3.4 **Zátažná a osnovní pletenina**

Osnovní pletenina je oproti zátažné pletenině, která je tvořena v podstatě proplétáním příze z jediné stůčky, osnovní pletenina je tvořena proplétáním přízí z několika stůček, které v osnovním pletacím stroji představují osnovu. Při zátažném pletení vzniká pletenina po jednotlivých řádcích, osnovní pletenina vzniká svislým proplétáním řetízku tvořených každou osnovní přízí po celé šíři pleteniny[13]. Velmi nesehadno se páře.

Oboulícnicích i jednolícnicích vazeb lze docílit i při tvorbě osnovních pletenin. Obourubní osnovní pleteniny se však příliš nepoužívají.

## 2.4 **Komfort**

Komfort je takový stav, který vystihuje fyzické i psychické pohodlí. Na vnímání komfortu se podílí zejména zdravotní stav, výchova, návyky a hlavně vnější prostředí. Vnější prostředí začíná nošeným oděvem, proto v oblasti oděvnictví má výzkum a vývoj komfortních materiálů a výrobků velké opodstatnění. Z ekonomického hlediska se komfort nošení oděvu pro běžné příležitosti podílí na dobré prodejnosti oděvu skoro stejnou měrou jako jeho design. Vyplyvá to z podstaty lidských pudů, kdy, hlavně v produktivním věku, jenom mírně převažuje snaha zaujmout a líbit se nad touhou po vlastním pohodlí. Lze říci, že tyto dva aspekty by v oděvním průmyslu neměly být opomíjeny[6].

Vnímaná hodnota komfortu nošení právě u vysocefunkčních textilií roste, jelikož absence nepohodlí na těle zvyšuje soustředěnost a schopnost efektivněji vyhodnotit krizovou situaci a najít správné řešení. Tím komfort do jisté míry ovlivňuje pracovní výsledky[6].

Komfort lze dělit podle několika kritérií, na komfort

psychologický

senzorický

termofyziologický

patofyziologický [6]

#### 2.4.1 **Psychologický komfort**

Psychologický komfort zahrnuje určité naplněné představy o vzhledu a atraktivitě oděvu, o jeho adekvátnosti z hlediska věku, postu a příležitosti, individualitě a v neposlední řadě i z hlediska kultury [6].

#### 2.4.2 **Senzorický komfort**

Senzorický komfort zahrnuje vjemy a pocity člověka při přímém styku pokožky a první vrstvy oděvu. Pocity vznikající při styku pokožky a textilie mohou být příjemné, jako pocit měkkosti, splývavosti nebo naopak nepříjemné a dráždivé, jako je tlak, pocit vlhkosti, škrábání, píchání, lepení, atd. Senzorem je v tomto případě míněna lidská kůže, potažmo její hmatové receptory. Rozložení hmatových receptorů se různí podle oblasti těla. Způsob užití oděvů a také rozdíl v citivosti hmatu dlaně a prstů naproti hmatu ostatních částí těla ovlivňuje nahlížení na senzorický komfort, který je proto doplněn ještě o specifikaci komfortu v omaku a komfortu nošení [6].

Komfort nošení oděvu zahrnuje povrchovou strukturu použitých textilií, vybrané mechanické vlastnosti ovlivňující rozložení sil a tlaků v oděvním systému, schopnost textilií absorbovat a transportovat plynnou či kapalnou vlhkost s dopadem na své kontaktní vlastnosti. V tomto posledním bodě senzorický komfort souvisí s komfortem fyziologickým[6].

Omak je veličina subjektivní, založená na vjemech prostřednictvím prstů a dlaně. Při zjednodušení lze omak charakterizovat vnímáním hladkosti (součinitel povrchového tření), tuhosti (ohybová a smyková tuhost), objemnosti (neboli stlačitelnosti) a tepelně-kontaktního vjemu[6].

#### 2.4.3 **Termofyziologický komfort**

Termofyziologický komfort souvisí do jisté míry se senzorickým komfortem, pakliže rozlišujeme mezi vnímáním tepla pokožkou a vnímání tepla termoregulačními procesy organismu, kdy prochladnutí nebo horko znamenají diskomfort [6].

Teplotu objektů, které se dostanou do kontaktu s naší kůží, vnímáme prostřednictvím termoreceptorů (vlastních teplotních receptorů) a nociceptorů (receptorů pro bolest). Termoreceptory i nociceptory jsou volná nervová zakončení. Intenzita vjemu teploty či chladu závisí na frekvenci impulsů vysílaných do mozku termoreceptory. U člověka je maximální počet impulsů za sekundu poměrně malý (řádově desítky). [16]

Termofyziologický komfort poskytovaný oděvem lze hodnotit buď pomocí přístrojů, které přesně charakterizují příslušný fyzikální děj, ale bez přímého vztahu k podmínkám platícím v systému pokožka – oděv – prostředí, nebo lze přenos tepla a vlhkosti měřit za podmínek blízkých fyziologickému režimu lidského těla. Druhý postup v posledních letech převažuje, neboť umožňuje hodnotit termofyziologický komfort věrněji než metody první skupiny [6].

Pro účely této diplomové práce je použita metoda měření komfortu pomocí „skin-modelu“ – modelu lidské pokožky [6].

Termofyziologický komfort oděvu, resp. Textilii lze pak zjednodušeně charakterizovat pomocí dvou základních parametrů, a to tepelného odporu a výparného odporu. Parametr výparného odporu má mimořádně důležitou úlohu při ochlazování těla odpařováním potu z povrchu pokožky. Úroveň ochlazování závisí především na rozdílu parciálních tlaků vodních par na povrchu pokožky a ve vnějším prostředí, a dále pak na propustnosti oděvní soustavy pro vodní páry. Místo parametru paropropustnost můžeme použít parametr výparný odpor, který u měření simulujících reálné přenosové jevy při nošení oděvu přímo charakterizuje tepelné účinky vnímané pokožkou vznikajících v důsledku odparu potu. Zde je pak nutno rozlišovat celkový výparný odpor oděvu a výparný odpor vrstvy vnějšího přilehlého vzduchu, tzv. mezní vrstvy. Podobně i celkový tepelný odpor oděvu sestává z tepelného odporu vlastního oděvu a tepelného odporu mezní vrstvy [35].

## 2.5 **Organismus – oděv – prostředí**

### 2.5.1 **Definice oděvu**

Oděv je integrální část lidského života. Primární rolí oděvu je chránit tělo před nestálým okolím. Lidské tělo může být považováno za otevřený systém, který je vždy ve stavu fyzické, chemické

a biologické interakce s okolím a oděv mu pomáhá v termoregulaci. Dochází zde k prostupu tepla a vlhkosti, které závisí na konstrukci, střihu, použitém materiálu a ostatních parametrech oděvu. Oděv se často skládá z několika vrstev v závislosti na teplotních podmínkách, podnebí a ročním období [6].

## 2.5.2 Tepelná ochrana nositele

Použití bavlny či viskózy je vhodné u oděvů sloužících jako druhá či lépe třetí vrstva kvůli vysoké sorpční schopnosti a příliš silné vazbě vlhkosti s vláknem, jelikož po navlhnutí prádlo schne relativně pomalu a vytváří pocit chladu. Pro účely první oděvní vrstvy sloužící jako spodní prádlo je vhodnější použití syntetických vláken jako například polyester., které díky slabé vazbě vlhkosti s polymerem snadněji vedou vlhkost do vnější textilní vrstvy pomocí kapilárních sil[6].

## 2.5.3 Termomechanika lidského těla

Bazální metabolismus (vycházející z klidového stavu organismu) vytváří tepelný výkon přibližně 1,1 W/kg váhy těla, naopak při vysoké fyzické zátěži tepelný výkon roste až na hodnotu přesahující 10 W/kg váhy těla. Svaly spotřebovávají více než 70% dosažitelného kyslíku, mozek si vždy zajistí alespoň 5% i přes případné nedokysličení ostatních vnitřních orgánů[6].

Regulátorem tělesné teploty je hypotalamus v mozku. Pro tělesné jádro je nastavena teplota 37°C, pro kůži za podmínek termofyziologického komfortu 33°C. Při infekci organismu hypotalamus zvýší teplotu tělesného jádra s cílem omezit rozvoj nežádoucích bakterií, avšak teplotní rozdíl  $\pm 6^\circ\text{C}$  způsobuje smrt[6].

### 2.5.3.1 Pocení

Pot je vodnatý výměšek apokrinních a ekrinních potních žláz. Oba dva typy žláz vytvářejí odlišný typ potu s odlišnou funkcí. Hlavní složkou potu je vždy voda.

Pocení neboli hidróza reguluje tělesnou teplotu a je pro člověka nezbytné. Vzniká i nezávisle na okolní teplotě, nicméně je také vegetativní reakcí spojenou například se stresem nebo silnými emocemi. U zdravého jedince je pocení generováno hlavně v horku nebo při tělesném pohybu [10, 39].

Úroveň pocení [6]  $m_p$  [kg/hod](v kritické situaci jako [20kg/den]) jako funkce skutečné teploty kůže ( $t_s > 33^\circ\text{C}$ ) a teploty jádra těla ( $t_N > 36,5^\circ\text{C}$ ) způsobené vzrůstem teploty okolí nebo jinými vlivy lze přibližně stanovit vzorcem dle Wyndhama a Atkinse (1968):

$$m_p = (t_N - 36,5) \{0,1 + 0,455\exp[0,27(t_s - 33)]\} \quad (13)$$

Nebo

$$m_p [\text{kg} \cdot \text{hod}^{-1} \cdot \text{m}^2] = F_1(t_N - 36,5) + F(t_s - 33) \quad (14)$$

### 2.5.3.2 Definice tepelného komfortu pro lidské tělo v klidu

Definice:

Tělo je v tepelné rovnováze, žádný svalový třes ani rozšiřování cév, relativně suchá kůže, teplota kůže mezi  $32 - 34^\circ\text{C}$ , žádná akumulace tepla nebo ztráty [6].

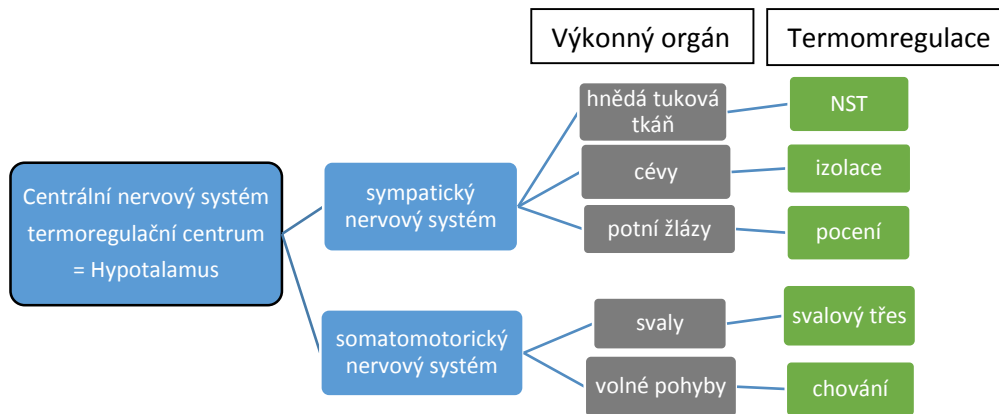
Lidské tělo se dá s nadsázkou nazvat jako tepelný stroj, který vytváří své vlastní teplo, přijímá teplo z okolí a také jej do svého okolí odvádí. Na obrázku Tepelná soustava: organismus – oděv - prostředí jsou naznačeny všechny uplatněné mechanismy přenosu tepla.[6] Nošení adekvátního oděvu může pozitivně ovlivňovat celý tento proces, jak vyplývá z obrázku. Adekvátnost oděvu se odvíjí nejen od správně zvolené tloušťky oděvního materiálu, ale i od jeho strukturního provedení a díky vhodně zvolenému oděvu je zajištěna i správná termoregulace, která se vysoce podílí na komfortu nošení oděvu.

### 2.5.3.3 Definice termoregulace

Termoregulací nazýváme schopnost organismu udržovat stálou tělesnou teplotu, přestože produkce tepla, jeho příjem i ztráty nepřetržitě kolísají. Organismus člověka představuje

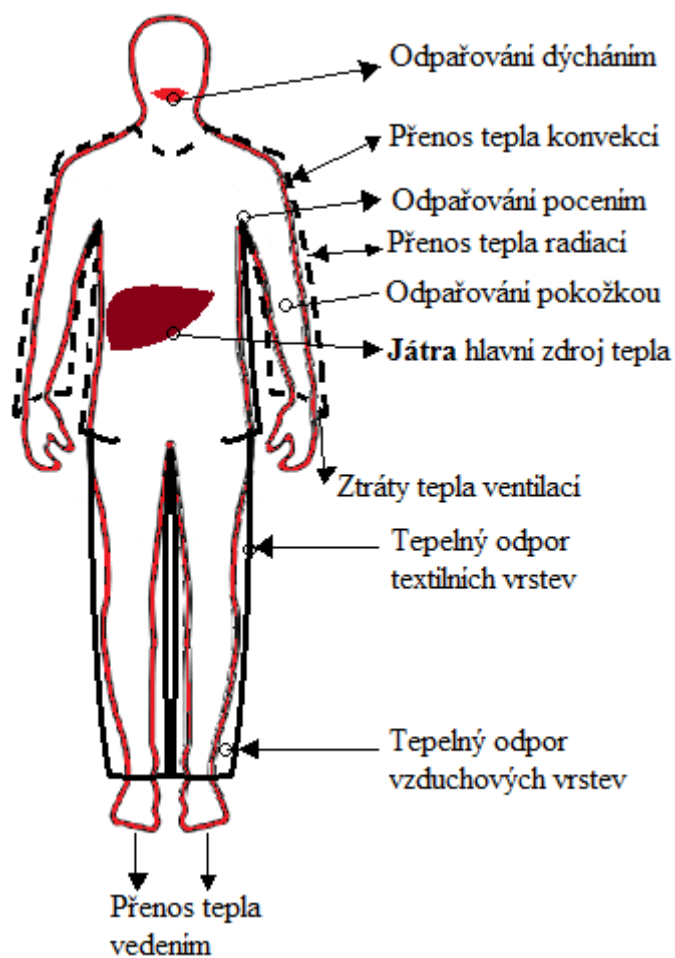


samoregulační systém, jehož fyziologický mechanismus je zaměřen na udržení stálosti vnitřního prostředí na principu rovnováhy mezi množstvím tepla vytvořeného organismem a množstvím tepla odevzdaného do okolního prostředí [6].



Obr. 5: Organizační diagram termoregulace

Termoregulace je proces, který slučuje fyziologické pochody řízené centrálním nervovým systémem, udržujícím tělesnou teplotu na optimální hodnotě, při které probíhají metabolické přeměny. Rozlišuje se termoregulace chemická při tvorbě tepla a termoregulace fyzikální při výdeji tepla [6, 40].



Obr. 6: Přenos tepla mezi člověkem a okolím

K přenosu tepla mezi živým organismem a okolím dochází pomocí [6]

- Přestupu tepla (přímý mechanismus)
  - Kondukcí
  - Konvekcí
  - Radiací
- Ztráta vody (nepřímý mechanismus)
  - Evaporace (odpařování potu)
  - Respirace (dýchání)

## 2.6 Konduktce (přenos tepla vedením)

Vedení tepla lze sledovat buď ustáleném teplotním stavu, tzv. stacionárním, pokud teplota v určitém místě se časem nemění; nebo v neustáleném teplotním stavu, tedy nestacionárním, když se teplota v určitém místě mění s časem [30].

Lidské tělo se skládá z několika propojených celků, jejichž velikost určuje rozdílnou komfortní teplotu. Teplota uvnitř největšího celku, kterým je uvažován lidský trup, se pohybuje kolem 37°C, komfortní teplota na jeho povrchu se pohybuje kolem 36°C. S klesajícími rozměry jednotlivých tělesných celků, přiměřeně klesá i komfortní teplota. Nejnižší hodnotou komfortní teploty disponují prsty. Zde se komfortní teplota pohybuje kolem 30°C u prstů na rukách [42]. Prsty na nohách jsou ještě menší, jsou vzdálenější od srdce, které žene ohřátou a okysličenou krev a navíc jsou vystavené kontaktu se zpravidla chladnější podlahou dosahující průměrných teplot kolem 18°C, proto komfortní teplota na prstech u nohou se pohybuje kolem 26°C bez použití domácí obuvi (vlastní zkušenost). Z těchto informací vyplývá, že tělo by nemělo být nahlíženo jako jeden celek s finální tělesnou teplotou, ale spíše systém drobnějších celků s odlišnou teplotou, která odpovídá ustálenému teplotnímu stavu.

Nemá-li těleso ve všech místech stejnou teplotu, dochází k jejímu vyrovnání v důsledku kinetické energie jeho částic (molekul). Šíření tepla vedením se uskutečňuje především v pevných tělesech, zatímco v kapalinách a plynech pouze za určitých podmínek, např. zahřívá-li se vodorovná vrstva kapaliny nebo plynu shora. V teorii vedení tepla se však zanedbává molekulární skladba těles; tělesa se předpokládají jako spojitá prostředí [30]. Spojitost prostředí však lze spatřovat tím hůře, čím více toto prostředí představuje vrstva oděvu tvořená splétáním objemnějších přízí. Čím objemnější je příze bez ohledu na míru jejího zaplnění, tím nižší je hustota pleteniny a tím menší je kontakt těla s pleteninou, což přímo ovlivňuje hustotu tepelného toku.

Kondukcí (vedením) ztrácíme teplo (až 5%) tehdy, je-li kůže v kontaktu s chladnějším prostředím. Jde o přenos tepla chodidly, zadní částí těla při sezení či spánku, ale vedení tepla je také hlavní mechanismus přenosu tepla právě v tenkých vstvách v oděvních systémech [6].

Tepelná vodivost různých materiálů se značně liší. Nejvyšší tepelnou vodivostí ze všech materiálů disponuje diamant s hodnotami tepelné vodivosti dosahujícími až 2300 W/mK, [1] přičemž s ohledem na elektrickou vodivost se jedná o dokonalý izolant [43]. S ohledem na

využitelnost v oděvním průmyslu disponují nejvyšší tepelnou vodivostí kovy, kde nejlepších hodnot dosahuje stříbro kolem 400 W/mK.[6].

Tepelné vlastnosti textilních vláken jsou odvislé od chemického složení a jejich nadmolekulární struktury. Tepelné vlastnosti polymerů jsou určeny ve značné míře tím, že tyto látky jsou tvořeny polymerními molekulami. Poměr hlavních vazebných sil působících podél molekulárních řetězců k vedlejším vazebným silám, které působí mezi atomy sousedních molekul, tvar jednotlivých molekul a jejich vzájemné uspořádání (amorfní nebo částečně krystalické), pohyblivost molekul a molekulárních segmentů ovlivňují rozhodujícím způsobem tepelnou roztažnost, měrné teplo a tepelnou vodivost těchto látek [19].

Tepelná vodivost lidského těla byla experimentálně stanovena na 0,535 W/mK[22], tepelná vodivost celulóзовých materiálů, zastoupených bavlnou, se pohybuje od 0,04 do 0,23 W/mK, [44, 45] polyester je díky svým podobným hodnotám, jako má bavlna, vhodný k jejímu směsování. Z hlediska tepelné vodivosti je bavlna ve formě oděvu dobrým tepelným izolantem pro omezení tepelných ztrát lidského organismu.

### 2.6.1 **Fourierův zákon**

Vyjadřuje úměrnost mezi tokem tepla  $q$  [W/m<sup>2</sup>], tepelnou vodivostí  $\lambda$ [W/mK] a teplotním gradientem  $\Delta t/\Delta x$

$$q = -\lambda \frac{\Delta t}{\Delta x} \quad (15)$$

Velmi důležitým parametrem při hodnocení tepelného komfortu je tepelný odpor  $R$  [m<sup>2</sup>K/W] deskových materiálů, jako například plošných textilií, tenkých vzduchových vrstev a jiných plošných materiálů. Plošný odpor vedení tepla u vzduchové vrstvy v oděvu dosahuje svého maxima při tloušťce 5mm. U silnějších vrstev se pak převládá volná konvekce a tepelný odpor klesá [6].

## 2.7 Konvekce (přenos tepla prouděním)

Konvekce a kondukcce mají společnou fyzikální podmínku a tou je přítomnost rychleji kmitajících částic, předávajících kinetickou energii částicím kmitajícím pomaleji. Příjem a výdej kinetické energie je tedy podmíněn přítomností hmoty s hustotou větší než je nula, tedy k výměně kinetické energie může docházet i mezi tělesem a vzduchem. Konvekční přenos tepla probíhá pomocí proudění, čehož může dosáhnout pouze tekutina, tedy kapalina nebo plyn. Oproti kondukcce může být přenos tepla při konvekci díky rychlosti proudění rychlejší [25].

Rozeznává se přenos tepla volnou (přirozenou) konvekci, vynucenou konvekci (v potrubí, při obtékání těles) a konvekci při fázových změnách (kondenzace, var) [8].

Konvekce představuje nejvýznamnější přenos tepla mezi člověkem a okolním prostředím [6]. Teplo je transportováno částicemi tekutin s rychlostí  $v$  [m/s]. Mezi objektem a proudícím prostředím se pak vytvoří tzv. tepelná mezní vrstva o tloušťce  $\delta$ , ve které se realizuje teplotní spád. Tloušťka mezní vrstvy je vyšší při tzv. laminárním proudění tekutiny (voda z kohoutku) a klesá v případě turbulentního proudění (mořské vlny), kdy trajektorie drah jednotlivých částic nezachovávají svůj původní směr a vzájemně se mísí. Turbulentní proudění tekutiny nastává v případě, kdy tzv. Reynoldsovo číslo  $Re$  převyšuje 2300 [6, 8]. Toto bezrozměrné číslo je definováno vztahem

$$Re = \frac{d \cdot v \cdot \rho}{\eta} = \frac{d \cdot v}{\nu} \quad (16)$$

kde  $d$ .....průměr potrubí [mm]

$v$ .....průměrná rychlost proudění [m/s]

$\rho$ .....hustota tekutiny [kg/m<sup>3</sup>]

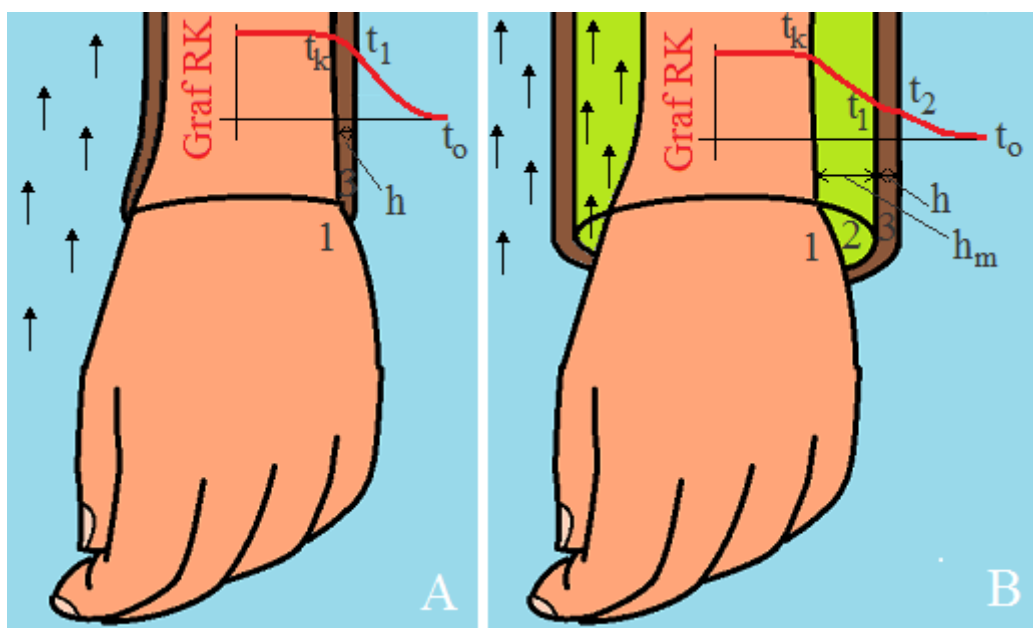
$\eta$ .....dynamická viskozita tekutiny [Pa.s]

$\nu$ .....kinematická viskozita tekutiny [m<sup>2</sup>/s]

Při turbulentním proudění je přenos tepla intenzivnější než při laminárním proudění [6].

Pro účely této práce je hodnota  $d$  vyjádřena v [mm] pro rozměry potrubí. Obecně se hodnota  $d$  udává v [m] v závislosti na velikosti objektu.

Oděvní rozdíl mezi kondukcí a konvekci



Obr. 7: Srovnání vlivu kondukce (A) a konvekce (B) při nošení oděvu

Na Obr. 7 je srovnáván vliv kondukce u přilehlých oděvů a vliv konvekce při nošení oděvů volných; kdy zmíněné symboly znamenají:

- |                                    |  |
|------------------------------------|--|
| 1..... pokožka                     | $t_k$ .....teplota kůže                |
| 2..... mikroklima                  | $t_o$ .....teplota okolí               |
| 3..... textilní vrstva             | $t_1$ .....teplota oděvu               |
| $h$ ..... tloušťka textilní vrstvy | $t_2$ .....teplota vnější vrstvy oděvu |
| $h_m$ ..... tloušťka mezní vrstvy  |  |

Graf RK přibližuje pomocí červené křivky teplotní sestup z hodnoty teploty kůže na hodnotu teploty okolí srkze různé vrstvy a vliv těchto vrstev na přibližný tvar této křivky.

Ve stavu A u Obr. 7 je uplatňován výše zmíněný Fourierův zákon, který vyjadřuje úměrnost mezi tokem tepla  $q$  [W.m/K] a teplotním gradientem  $\Delta t/\Delta x$ .

Proti tomu u stavu B Obr. 7 tepelný tok  $q$  přenášený jakýmkoli druhem proudění vyjadřuje Newtonův zákon (17) [6].

## 2.7.1 Newtonův zákon

$$q = \alpha_c(t_t - t_2) \quad (17)$$

kde  $\alpha_c$  [W/m<sup>2</sup>K] je koeficient přestupu tepla, který je u přirozeného proudění relativně nízký a vzrůstá při proudění nuceném.

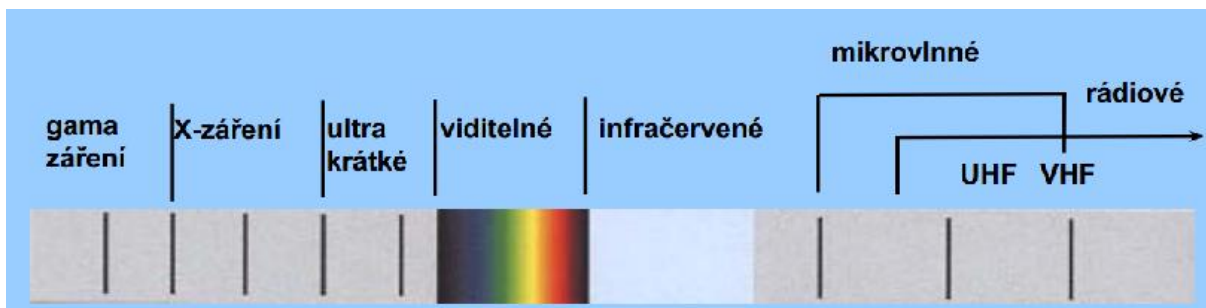
Při nošení volného oděvu je proudění smíšené, protože v nehybném stavu dochází k přirozenému proudění vzduchu ve vzduchových prostorech vzniklých mezi tělem člověka a vrstvou oděvu či mezi jednotlivými vrstvami oděvu a při pohybu, například při chůzi, mění tyto zmíněné vzduchové prostory neustále svůj tvar a tím i objem, vzduch je vytlačován a nasáván a dochází tak k proudění nucenému [6].

Výpočet koeficientu přestupu tepla  $\alpha$  byl modifikován pro situace[6] –

- a) volná konvekce:  $2,38(t_{sk} - t_a)^{0,25}$
- b) nucená konvekce do 1m/s:  $3,5 + 5,2 v$
- c) nucená konvekce nad 1 m/s:  $8,7 v^{0,6}$

## 2.8 Radiace (přenos tepla sáláním)

Tělesem vyzařovaná energie se přenáší pomocí elektromagnetického vlnění s různou délkou vlny. Toto záření se nazývá tepelné záření neboli radiace. [29]



Obr. 8: Dělení radiace [14]

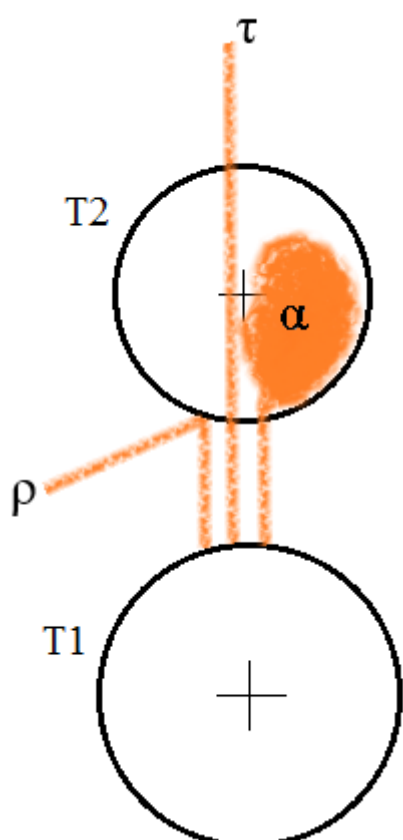
V teorii šíření tepla má největší význam infračervené záření, jelikož je pohlcováno tělesy a jeho energie se při tom mění v tepelnou energii. Vlnová délka infračerveného záření je přibližně 0,78 až 360  $\mu\text{m}$ .

Každé záření je spojeno s transportem energie, také pro tepelné záření platí optické zákony přímočarého šíření rychlostí světla, odrazu a lomu. Oproti kondukcii či konvekci radiace, tedy šíření zářivé energie nepředpokládá žádné látkové prostředí, proto je realizovatelné i ve vakuu [29].

Záření představuje elektromagnetické vlnění šířící se prostorem o rychlosti  $c = 300\,000\,000$  m/s. Tomuto záření, které má vlnový charakter o délce vlny  $\lambda$ , lze také přiřadit frekvenci záření  $f$ , vycházející z Planckova vztahu o tepelné radiaci (18)[6]:

### 2.8.1 Planckův vztah

$$f = \frac{c}{\lambda} \quad (18)$$



Obr. 9: Záření

Na Obr. 9 jsou naznačeny procesy, které nastanou při emitenci záření z energetického zdroje T1 na exponovaný předmět T2. Jak bylo již zmíněno, pro tepelné vyzařování jsou platné zákony optiky, proto obr. Záření slouží pouze pro představu chování vždy jednotlivého paprsku, přestože ve skutečnosti těleso T1 emituje záření celou svou plochou. Situace „ $\rho$ “ na obrázku představuje odraz záření, „ $\tau$ “ průchod záření tělesem, „ $\alpha$ “ absorpci záření. Při průchodu paprsku skrze těleso nedochází k předání energie, při odrazu paprsku je odrazena pouze většina energie, část je absorbována. Zpravidla se odehrávají všechny tři děje najednou, každý však v jiném poměru v závislosti na exponovaném materiálu; část tepla se odrazí, část je absorbována a část projde skrz.



Matematicky byl proto formulován 1. Kirchhoffův zákon (19)[6]:

$$\rho + \tau + \alpha = 1 \quad (19)$$

kde  $\rho$  Reflektance udává poměr množství záření odraženého od objektu k celkovému množství světla dopadajícího na objekt ( $\rho = 1$  znamená absolutně lesklé těleso).

$\tau$  Transmittance udává poměr množství záření, které prochází objektem, k celkovému množství světla dopadajícího na objekt ( $\tau = 1$  znamená absolutně transparentní těleso).

$\alpha$  Absorbance udává poměr množství záření absorbovaného v objektu k celkovému množství světla dopadajícího na objekt ( $\alpha = 1$  znamená, že těleso je absolutně černé).

Energetickou bilanci lze vyjádřit rovnicí (20) [6]:

$$E = E_{\rho} + E_{\alpha} + E_{\tau} \quad (20)$$

kde  $E$  je hustota zářivého toku. Podělíme-li rovnici hustotou zářivého toku  $E$  dopadajícího na povrch, dostaneme se k realističtějšímu vyjádření Kirchhoffovy hypotézy o absolutním chování povrchů těles v praxi:

$$1 = \frac{E_{\rho}}{E} + \frac{E_{\tau}}{E} + \frac{E_{\alpha}}{E} \quad (21)$$

## 2.9 Evaporace

Evaporace je jev vypařování. K výparu vody dochází na těle člověka pocením nebo vydechováním vlhkého vzduchu. Vypařování je nepřetržitý jev související na jedné straně s udržováním vlhkosti pro zachování životních funkcí, na druhé straně souvisí s fyzikálním chováním  $H_2O$ , která na rozhraní kapalného a plynného skupenství neustále přechází z vodní hladiny na vodní páru. Tento jev je realizován na molekulární úrovni, kdy každá molekula na povrchu kapaliny je přitahována sousedními molekulami kapaliny. Rychlost neuspořádaného pohybu jednotlivých molekul v povrchu kapaliny se neustále mění. V určitém okamžiku mohou některé molekuly dosáhnout tak velké rychlosti, že přitažlivé síly blízkých molekul již nestačí

rychle se pohybující molekuly udržet v povrchu kapaliny. Tyto molekuly opustí kapalinu a stávají se molekulami páry. Při vyšší teplotě kapaliny se molekuly pohybují rychleji, a proto více molekul má dostatečně velkou pohybovou energii, že může opustit kapalinu a ta se tak vypařuje rychleji. Vypařování se urychluje s rostoucí velikostí vypařované plochy[46]. Výpar vody z povrchu lidského těla je tedy ovlivněn teplotním rozdílem okolního vzduchu, vlhkostí vzduchu a rychlostí jeho proudění, rovněž i fyzickou aktivitou a psychickým stavem člověka.

Respirací (ventilací) ve významu fyziologickém dýchání, živočich, člověk vyměňuje plyn z plic s okolním prostředím. Ztráta vlhkosti vydechováním je ovlivněna vzdušnou vlhkostí.

Přeměna skupenství, u vody z kapaliny na páru uvolňuje energii, tedy i teplo. Pocení slouží člověku přímo k regulaci teploty, tedy k vydání přebytečného tepla. Dýchání slouží primárně k jinému životně nezbytnému účelu – dodání energie pro základní buněčné pochody [27]. Dýchání však představuje získávání kyslíku přes stále vlhkou plicní tkáň, která může uvnitř dosahovat plochy až 100 m<sup>2</sup> a při základní fyzikální vlastnosti vody – odpařování, se tak zvyšuje ztráta vody a při jejím výdeji i ztráta tepla.

Oděv z historického hlediska vzniknul s prvotním účelem izolovat lidské tělo od chladu a tím chránit základní životní pochody i v podnebných oblastech, kam člověk migroval a pro které zároveň nebyl vývojově zcela přizpůsoben. Později s kulturním vývojem přilnul oděv k lidskému tělu natolik, že jeho absence se stala společensky nepřijatelnou, a tak se i v oblastech, kde již nemusí plnit funkci tepelně-izolační, změnil jeho význam na dekorativní a zahalující a v momentě, kdy jeho nošení naopak škodí komfortu po vlhko-tepelné stránce, vznikají nové formy oděvu, které pomáhají lidskému tělu v udržování komfortu vysokou schopností tepelné jímavosti.

Téma této práce se týká komfortu nošení oděvu po vlhkotepelné stránce. V následujícím textu budou dodatečně popsány veličiny, které s tímto typem komfortu souvisejí a byly pomocí přístrojů k tomu určených experimentálně proměřeny na sérii vzorků.

## 2.10 Přenos tepla v oděvu

Na rozdíl od přenosu tepla v těle, které funguje jako přirozená tepelná bariéra, je přenos tepla ve vnější umělé bariéře – v oděvu určován druhem oblečení. Přenos tepla mezi povrchem těla a vnějším povrchem oděvu zahrnuje vnitřní konvekci a sálání ve vzduchových (tepelná vodivost vzduchu = 0,02-0,024 W/m.K [53]) mezerách a vedení dílčími částmi oděvu [18].

Pro suchý přenos tepla oblečením platí vztah [18]:

$$Q_{OB}[\text{W}] = S_T \frac{T_S - T_{OB}}{R_{OB}} \quad (22)$$

,kde  $S_T$  je plocha povrchu těla,  $T_S$  a  $T_{OB}$  teplota povrchu těla a povrchu oblečení a  $R_{OB}$  je celkový tepelný odpor vnější povrchové tepelné bariéry.

Dalším parametrem, který ovlivňuje vlhkotepelné charakteristiky oděvu, je porozita použitého oděvního materiálu. Jedná se zde o typické póry v pletenině, které narušují celistvost materiálu na úrovni jeho makrostruktury. V pórech pleteniny je vzduch, který téměř nevykonává pohyb, ve srovnání s jednoduchou tkaninou. Tvar pórů v pletenině je podlouhlý a různě kroucený, dynamické chování vzduchu uvnitř těchto pórů je ztíženo. Tvar pórů ve tkanině se vzdáleně blíží jednoduchým geometrickým útvarům s výhodnějším prostupem vzduchu.

Při vzniku vzduchových komůrek, kde vzduch víceméně stojí, se stává tepelně izolační materiál – oděv, účinnější, což se významněji projevuje při poklesu okolní teploty, jelikož tepelná vodivost plynů i radiační přenos tepla se s rostoucí teplotou zvyšuje.

## 2.11 Vybrané vlhkotepelné vlastnosti textilií a další měřitelné veličiny [35, 36]

Pro účely této práce budou dále popsány veličiny:

### 2.11.1 Tepelný tok

Hustota tepelného toku  $q$  je množství tepla šířící se z ruky (hlavice přístroje) o teplotě  $t_2$  do textilie o počáteční teplotě  $t_1$  za jednotku času. Představuje tedy plošně hustotu a intenzitu předávání tepla v čase [25].

$$q[Wm^2] = b \frac{t_2 - t_1}{\sqrt{\pi * \tau}} \quad (23)$$

### 2.11.2 Měrná tepelná vodivost

Součinitel měrné tepelné vodivosti  $\lambda$  představuje množství tepla, které proteče jednotkou délky za jednotku času a vytvoří rozdíl teplot 1 K. S rostoucí teplotou teplotní vodivost klesá. Přístroje Alambeta se násobí hodnota z displeje číslem  $10^{-3}$

$$\lambda[Wm^{-1}K^{-1}] = \frac{q}{grad\ t} \quad (24)$$

### 2.11.3 Měrná tepelná kapacita

Měrná tepelná kapacita  $c$  představuje množství tepla potřebného k ohřátí 1 kg látky o 1 K. S rostoucí teplotou u všech látek měrná tepelná kapacita zvolna roste.

$$c[J\ kg^{-1}K^{-1}] = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \quad (25)$$

### 2.11.4 Tepelná jímavost

Tepelná jímavost  $b$  je jediný paramet, který charakterizuje tepelný omak a představuje množství tepla, které proteče při rozdílu teplot 1 K jednotkou plochy za jednotku času v důsledku

akumulace tepla v jednotkovém objemu. Pocitově chladivý materiál má vysokou tepelnou jímavost a naopak.

$$b[Wm^{-2}s^{1/2}K^{-1}][Jm^{-2}s^{-1/2}K^{-1}] = \sqrt{\lambda * \rho * c} \quad (26)$$

### 2.11.5 Plošný odpor vedení tepla

Plošný odpor vedení tepla  $r$  je dán poměrem tloušťky materiálu  $h$  a měrné tepelné vodivosti  $\lambda$ . Čím nižší je tepelná vodivost, tím vyšší je tepelný odpor. U přístroje Alambeta se násobí hodnota z displeje číslem  $10^{-3}$

$$r[W^{-1}Km^2] = \frac{h}{\lambda} \quad (27)$$

### 2.11.6 Měrná teplotní vodivost

Měrná teplotní vodivost  $a$  vyjadřuje schopnost látky vyrovnávat teplotu. Čím je hodnota vyšší, tím látka rychleji vyrovnává teplotu (při nestacionárním procesu). U přístroje Alambeta se hodnota z displeje násobí číslem  $10^{-6}$

$$a[m^2s^{-1}] = \frac{\lambda}{c * \rho} \quad (28)$$

### 2.11.7 Poměr maximálního a ustáleného tepelného toku

Poměr maximálního a ustáleného tepelného toku  $q$

$$p [1] = \frac{q_{MAX}}{q_S} \quad (29)$$

### 2.11.8 **Relativní paropropustnost**

Paropropustnost je vlastnost textilie, která je v dnešní době kontrolována pro zachování oděvního komfortu vysocefunkčních textilií. Překročení množství výparu, který textilie již nedokáže propustit, má za následek kondenzaci vodních par v oděvu a vznik diskomfortu.

$$P[\%] = \frac{p_1}{p_0} * 100 \quad (30)$$

Kde index 0 znamená 100% propustnost, vyzvozený z odparu volné vodní hladiny o stejném průměru jako má exponovaná část vzorku.

1 znamená, že zakrytí takové hladiny vzorkem snižuje hodnotu tepelného toku o tuto hodnotu

### 2.11.9 **Výparný odpor (Vhodnější vzorec používaný na FT TUL)**

$$R_{ct} \left[ Pa \cdot \frac{m^2}{W} \right] = (P_m - P_a) \cdot (q_v^{-1} + q_o^{-1}) \quad (31)$$

kde  $P_m$  je funkcí teploty vzduchu, která je naprogramovaná v počítači přístroje

$P_a$  je veličina určená z relativní vlhkosti vzduchu  $\phi$  a jeho teploty  $t_a$

## 3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

---

### 3.1 Popis experimentu

Termofyziologický komfort poskytovaný oděvem lze hodnotit buď pomocí přístrojů, které přesně charakterizují příslušný fyzikální děj, ale bez přímého vztahu k podmínkám platícím v systému pokožka – oděv – prostředí, nebo lze přenos tepla a vlhkosti měřit za podmínek blízkých fyziologickému režimu lidského těla, tzv. Skinmodely. Druhý přístup v posledních letech převažuje, neboť umožňuje hodnotit termofyziologický komfort věrněji než metody první skupiny[6].

Na sérii 61 vzorků ze 100% bavlny s různým (liší se výškou, šířkou a rozstupem žeber) žebrováním byla provedena následující měření pomocí přístrojů Alambeta (skinmodel), Permetest (skinmodel) a Talysurf (snímání povrchu).

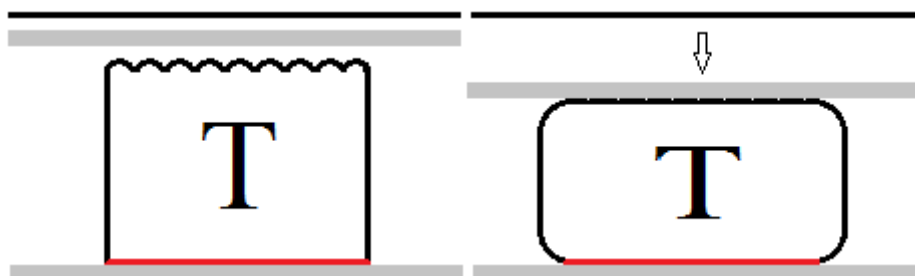
Přístrojem Alambeta byly zjištěny tloušťka [mm] s přitlakem 200 Pa, měrná tepelná vodivost, tepelná jímavost a plošný odpor vedení tepla.

Pomocí přístroje Permetest byla zjištěna relativní paropropustnost a výparný odpor.

Díky přístroji Talysurf byla přesněji zjištěna vzdálenost a šířka žeber jednotlivých vzorků a rovněž výška žeber, které patrně ovlivňují proměřované parametry tohoto typu pleteniny. Ze zjištěné šířky a rozestupu žeber byla vyjádřena relativní šířka žebra procentuálním podílem z poměru šířky žeber a jejich rozestupu.

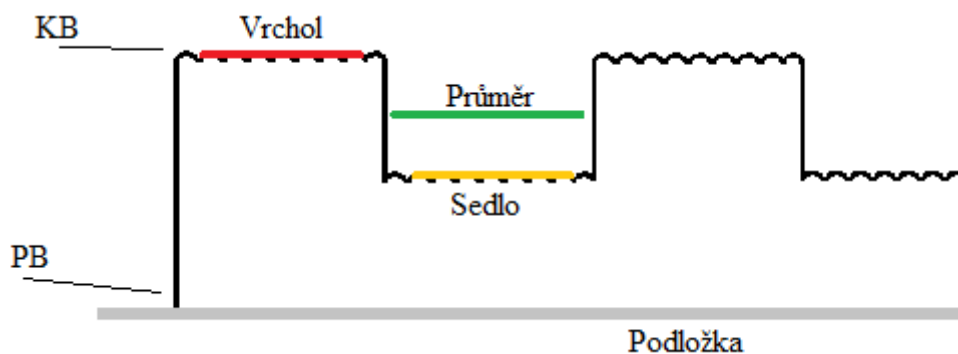
Zde se však práce potýká s nedostatky v řešení problematiky přitlaku přístroje Alambeta a volného měření laserem pomocí přístroje Talysurf, které deformují představu o výšce žebra pleteniny. Přístroj Alambeta standardně pracuje s přitlakem 200 Pa (maximálně 1000 Pa), simulující přibližný přitlak dobře padnoucího oděvu, který je v kontaktu s lidskou pokožkou (nastavení přitlaku je možné změnit odebráním přitlačného závaží). Přitlak je rovnoměrný po celé ploše měřící hlavice přístroje. Hlavice přístroje respektuje tvar plošných textilií jen do dosažení stanoveného přitlaku. Tím je míněn fakt, že prostorově tvarovaná textilie se deformuje

do roviny pod přtlakem tak dlouho, dokud není dosaženo přtlaku 200 Pa. U vzorků, které byly použity k experimentálním účelům této práce tak nastala situace, že žebra žebrovaných pletenin byla patrně deformována, zploštěna a získaná tloušťka pleteniny včetně žeber je pro odečet výšky žeber získané bez přtlaku pomocí přístroje Talysurf nezjištěnou měrou zkreslená. Na Obr. 10 je demonstrován způsob změny 1 žebra na pletenině.



Obr. 10: Nástin deformace 1 žebra na pletenině při stlačení

Rozdíl tloušťky pleteniny s přtlakem a bez přtlaku nebyl zjištěn. Zjišťování tloušťky textilie by bylo patrně možné s pomocí přístroje Talysurf, kdyby se provedlo nasnímání jak povrchu vzorku, tak i povrchu podkladu, na kterém vzorek ležel. Následně pomocí obrazové analýzy by se dala vypočítat průměrná výška žebra jako počáteční bod (PB) tloušťky textilie a průměrná výška podkladu pro textilií jako nejnižší bod a tím i konečný bod (KB) tloušťky textilie. V závislosti na hodnocení různých vlastností textilie by zřejmě bylo vhodnější volit pro určení tloušťky žebrované textilie mezi zjištěnou výškou vrcholu žebra a zjištěnou výškou „sedla“ mezi žebry a nalézt průměr. Viz Obr. 11



Obr. 11: Odhad tloušťky pleteniny s žebrováním



## 3.2 Měřicí zařízení

### 3.2.1 **Alambeta**

Alambeta je poloautomatický přenosný počítačem řízený přístroj pro stanovení tepelně-izolačních a tepelně-kontaktních vlastností plošných textilií a jiných plošných stlačitelných materiálů [47]. Přístroj je schopen změřit:

$\lambda$	Měrná tepelná vodivost	[W/m/K] <sup>1</sup>
$a$	Měrná teplotní vodivost	[m <sup>2</sup> /s]
$b$	Tepelná jímavost	[W.s <sup>1/2</sup> /m <sup>2</sup> /K]
$r$	Plošný odpor vedení tepla	[K.m <sup>2</sup> /W] <sup>2</sup>
$h$	Tloušťka	[mm]
$q$	Tepelný tok	[W/m <sup>2</sup> ]

Alambeta využívá nepřímou metodu určování stupně vlhkostní jímavosti textilií. Přístroj simuluje a objektivně hodnotí tepelně kontaktní vjem mezi vlhkou pokožkou a suchou textilií, jestliže dojde ke krátkodobému kontaktu pokožky s textilií. Jinými slovy se jedná o měření tepelné jímavosti textilie, která je v kontaktu s modelem vlhké lidské pokožky nahrazenou textilním úpletem COOLMAX-FC 205 (plošná hmotnost 170g/m<sup>2</sup>), který je zvlhčen 0,2 ml roztoku vody s příměsí detergentu 1:50, na přístroji Alambeta.

#### Podstata zkoušky

Měření vlhkostní jímavosti textilií na přístroji Alambeta spočívá v hodnocení úrovně tepelného toku  $q$  ( $t$ ) procházejícího horním povrchem vlhčeného vzorku, který simuluje vlhkou

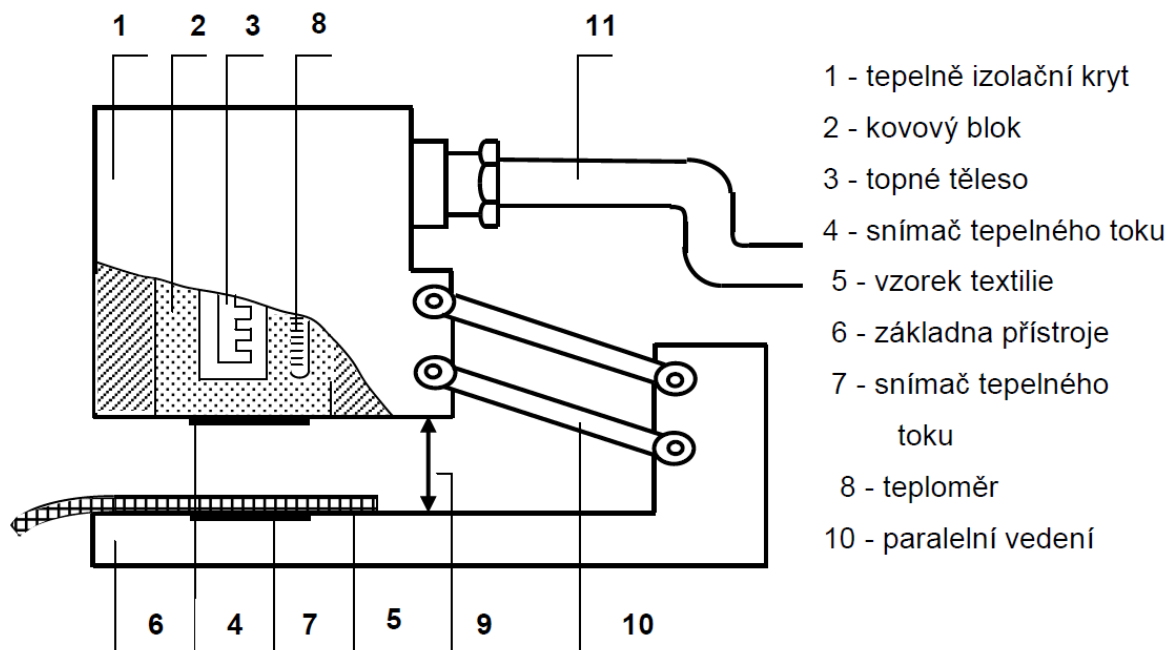
---

<sup>1</sup> Pro účely této práce jsou jednotky měrné tepelné vodivosti ve zmenšené formě v miliwattech [mW/m/K].

<sup>2</sup> Pro účely této práce jsou jednotky plošného odporu vedení tepla v milikelvinech [mK.m<sup>2</sup>/W].

(zpcenou) lidskou pokožku a který je v kontaktu s povrchem měřeného vzorku. Po vzájemném kontaktu obou textilií pod definovaným přítlakem dochází v důsledku povrchové sorpce k odvodu vlhkosti z „modelu“ pokožky a vedení vlhkosti mimo ploch snímačů tepelného toku. Textilie o vyšší sorpci a s vyšším kapilárním odvodem vlhkosti pak více zbaví „model“ pokožky vlhkosti a vykáže sušší (teplejší) omak a naopak.

Měření jednotlivých vzorků textilie se provádí podle technické normy [36]



Obr. 12: Schéma přístroje Alambeta [31]

Měření probíhá způsobem naznačeným na Obr.12, kdy se vloží vzorek zkoumané textilie(5) na spodní část snímače tepelného toku (7) a po zahájení měření spuštěním horní části snímače tepelného toku(4) již přístroj provede měření všech veličin samočinně během několika desítek vteřin až několika minut, jelikož některé měřené veličiny jsou závislé na čase (tepelná jímavost, tepelný tok, měrná teplotní vodivost). Od okamžiku, kdy hlavice sjede dolů a oba snímače tepelného toku mezi sebou stlačí vzorek podle zvoleného přítlaku, nastává automatické zjišťování hodnot výše zmíněných proměřovaných veličin podle níže vypsanych vztahů. Počítačová jednotka přístroje snímá okamžitou změnu teploty při kontaktu snímače a textilie a dále je zaznamenáván průběh tepelného toku a fotoelektrický senzor změří tloušťku vzorku. Všechna data zpracovává počítač podle původního programu obsahujícího matematický model charakterizující nestacionární teplotní pole v tenké desce vystavené různým okrajovým podmínkám [6, 31].

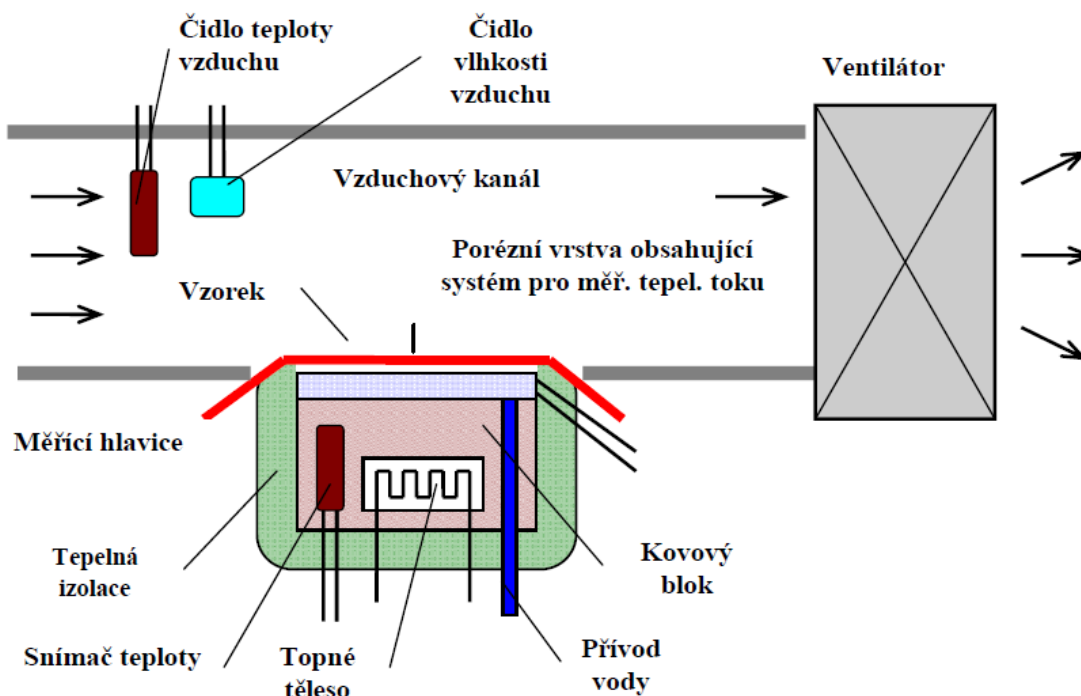
Tato metoda měření je nedestruktivní, minimální velikost vzorku je 10x10 cm, maximální hranice není stanovena. Pro dosažení přesného měření a nejlepšího tepelného kontaktu mezi vzorkem a měřicí hlavicí je důležité vkládat vzorky bez přehybů, zvlnění či nečistot. Proměřovaná místa se musí na vzorku rozmístit tak, aby nedocházelo k opětovnému měření zahřátých míst, anebo je třeba vyčkat úplného vychladnutí vzorku na teplotu okolí [6].

### 3.2.2 **Permetest**

Tento přístroj [48] je svou podstatou výše popsáný tzv. Skinmodel malých rozměrů založený na přímém měření tepelného toku  $q$  procházejícího povrchem tohoto tepelného modelu lidské pokožky. Povrch modelu je porézní a je zavlhčován, čímž se simuluje funkce ochlazování pocením. Na tento povrch je přiložen přes separační folii měřený vzorek. Na vnější stranu vzorku vane generovaný proud vzduchu kontrolovanou rychlostí.

#### Podstata zkoušky

Při měření výparného odporu a paropropustnosti je měřicí hlavice (skinmodel) pomocí elektrické topné spirály a regulátoru udržována na teplotě okolního vzduchu (obvykle 20-23°C), který je do přístroje nasáván. Tím jsou zajištěny izotermické podmínky měření. Při měření se pak vlhkost v porézní vrstvě mění v páru, která přes separační folii prochází vzorkem. Příslušný výparný tepelný tok je měřen speciálním snímačem a jeho hodnota je přímo úměrná paropropustnosti textilie nebo nepřímo úměrná jejímu výparnému odporu [6]. V obou případech se nejdříve měří tepelný tok bez vzorku a poté znovu se vzorkem a přístroj registruje odpovídající tepelné toky  $q_0$  a  $q_v$ .



Obr. 13: Schéma přístroje Permetest [31]

Měření na přístroji Permetest se provádí sevřením vzorku pomocí měřicí hlavice, která vzorek přitlačí k otvoru ve vzduchovém kanálu. Měřicí hlavice obsahuje topné těleso s přívodem vody, kterou ve formě páry skrz paropropustnou membránu vzorek pohlcuje a propouští, resp. nepropouští do vzduchového kanálu. Opět se jedná o nedestrukční metodu měření. Výhodou je i krátká doba měření a možnost provádět měření v jakýchkoliv běžných klimatických podmínkách. Měření na přístroji permetest je podmíněno spojením s počítačovým softwarem Permetest.exe, kde jsou hodnoty změřených veličin zobrazeny a je zde umožněno statistické zpracování naměřených hodnot jednotlivých vzorků.

Přístroj měří

$p$	Relativní paropropustnost	[%]
$R_{et}$	Výparný odpor	[Pa.m <sup>2</sup> /W]

Pro stanovení tepelného odporu probíhá měření v suchém režimu bez vlhčení stejným způsobem. Tepelný odpor  $R_{et}$  charakterizuje odpor proti prostupu tepla vzorkem při definované teplotě  $t_m$  z jeho jedné strany a při přenosu tepla konvekcí z jeho druhé vnější strany do vzduchu o teplotě  $t_a$ , přičemž tepelný odpor této vnější mezní vrstvy se odečítá. Protože se však odečítá

tepelný odpor platící pro hladký měřicí povrch, zatímco povrch skutečné textilie je drsný a proto odlišný, je takto stanovená hodnota tepelného odporu jen přibližná. Pro přesnější výsledky se používá vzorec výše zmíněný [6].

Přístroj Permetest je třeba ve vhodně zvolený časový interval nejen odvlhčovat ale i kalibrovat. Kalibrace se provádí pomocí speciální referenční textilie. Tato textilie musí být homogenní a její propustnost se nesmí měnit v důsledku sorpce vodních par ve vlákenné struktuře. Nejlépe splňuje uvedené požadavky na referenční textilií tzv. doprovodná tkanina z hydrofobní POP příze, jejíž konstrukce, dostava a plošná hmotnost jsou dány českou normou. Důvodem je zajištění reprodukovatelnosti a přesnosti měření [6].

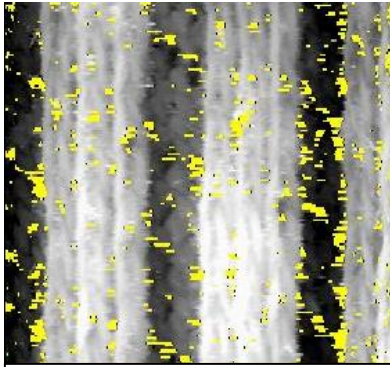
### 3.2.3 **Talysurf**

Přístroj Talysurf je měřicím prostředkem k provádění rychlého prostorového měření a hodnocení povrchu s vysokým rozlišením. Systém CLI nabízí možnosti měření a analýzy povrchu ve třech osách pomocí CLA (Chromatic Length Aberration) konfokálního snímače (C), laserové triangulační sondy (L) bezdotykově nebo kontaktně s využitím indukce (I). Tyto tři způsoby zajišťují prakticky neomezené možnosti měření struktury povrchu z hlediska jakosti, přesnosti a druhu materiálu. Tento systém je vybaven automatickým posuvem měřidla s rychlostí do 30 mm/s, což umožňuje rychlé automatické měření [23].

Tento systém je konstruován pro měření 3D, je však vybaven i mechanickými a analytickými prostředky pro komplexní měření 2D.

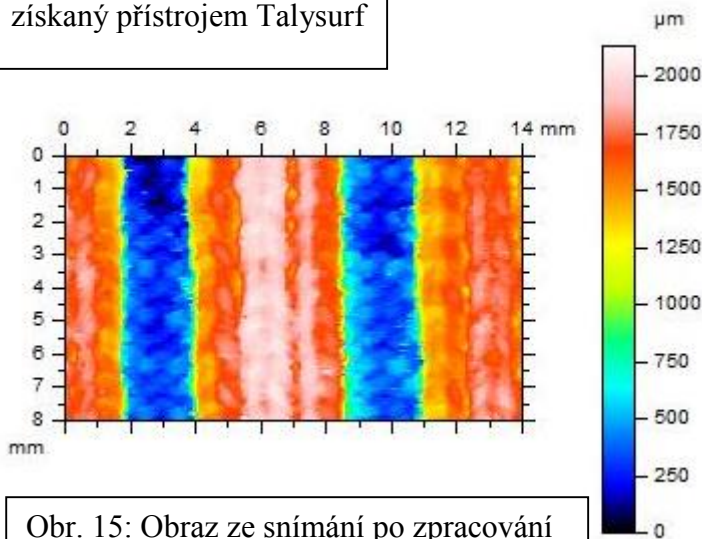
Zpracování výsledků získaných měření na přístroji Talysurf je podmíněno využitím přístrojového příslušenství ve formě počítačového softwaru Talymap. Tento program pro analýzu dat zahrnuje standardní funkce vyhodnocení struktury povrchu 2D a 3D, měření ploch a objemů, výšky a vzdálenosti atd [23].

Měření na přístroji Talysurf spočívá ve vložení vzorku požadovaným způsobem mezi měřicí destičku a snímací laser. Po stanovení patřičných parametrů týkajících se přesnosti a rychlosti měření a rozlohy měřené plochy se přístroj spustí a laser začne kmitat ze strany na stranu. Po dokončení měření je vytvořen obraz, který působí jako černobílá fotografie, viz Obr. 14, který má však i trojrozměrné charakteristiky. Rychlost a přesnost měření ovlivňují výskyt neproměřených oblastí, které jsou znázorněny žlutými skvrnami.



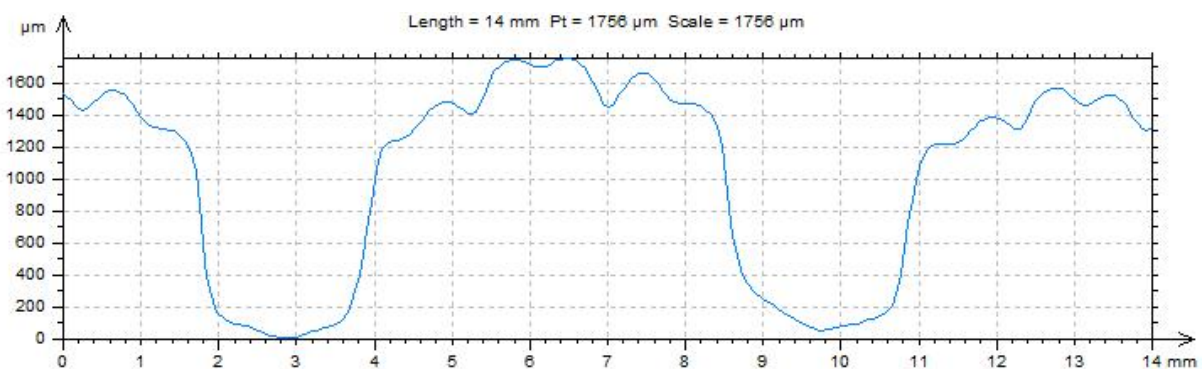
Obr. 14: Hrubý obraz získaný přístrojem Talysurf

Při následné práci v programu Talymap lze jednoduše nahradit nulové hodnoty žlutých skvrn okolními hodnotami, takže vznikne celistvý obraz. Vztaheno k hloubkám a výškám, které byly díky laseru změřeny na každém proměřeném bodu, je další výsledný obraz zobrazen v barevné škále, viz Obr. 15, obdobně jako pracuje zobrazující technika infrakamery pracující s teplotou předmětů.



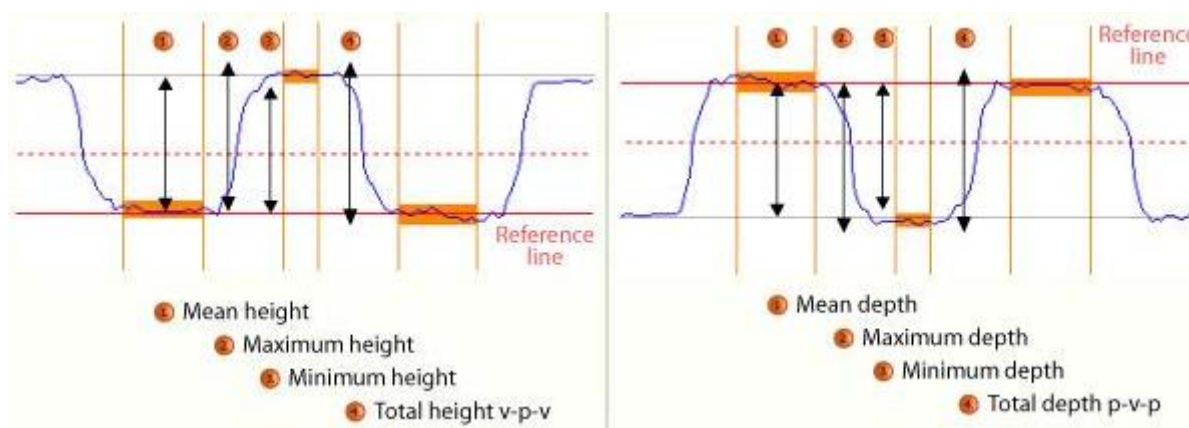
Obr. 15: Obraz ze snímání po zpracování v programu Talymap

Program Talymap dále umožňuje díky svým četným funkcím zobrazit průměrný profil měřeného vzorku, viz Obr. 16. Cílem této práce bylo využít získané hodnoty právě díky této funkci. Je však třeba poukázat na metody získání dat, z kterých jedna je rychlá, ne tak přesná a druhá naopak.



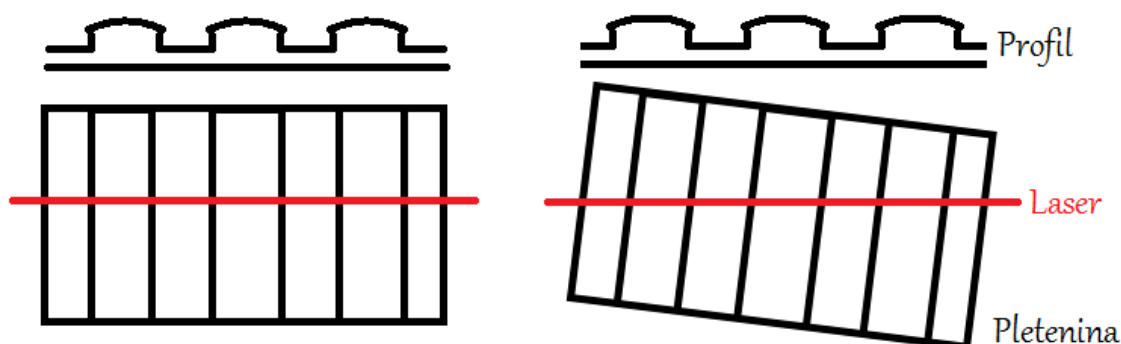
Obr. 16: Průměrný profil žebra vzorku pleteniny

Metoda, která by byla vhodná hlavně pro účely jiné práce se zaměřením na vysokou přesnost právě v této oblasti bez ohledu na časovou náročnost, by byla taková, která je znázorněna na Obr. 17, kdy se označí jednotlivé úseky, mezi kterými se automaticky vytvoří průměrná hodnota.



Obr. 17: Přesné proměření výšky žebër a jejich vzdálenosti

Tato metoda by měla mnohem vyšší význam, pokud by se provedla ve statisticky významném počtu na několika vybraných profilech a ne na průměrném profilu, protože průměrný profil vykazuje jednu neodstranitelnou dezorientační vadu, kterou je zkreslení přesného tvaru profilu v našem případě žebrované pleteniny. K chybě dochází přirozenými a technickými podmínkami vzniku pleteniny, tedy hlavně nesterjnoměrností a dále pak také nepřesným umístěním vzorku na měřicí desku přístroje, jak je demonstrováno na Obr. 18.



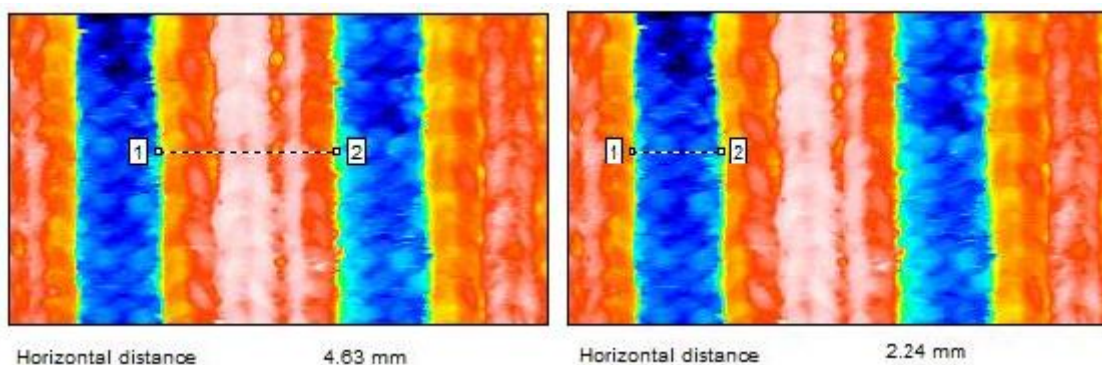
Obr. 18: Proměnlivost směru žebër pleteniny a vliv na tvar profilu

Jak lze pozorovat na Obr. 18, snaha o umístění vzorku pleteniny na měřicí desku přístroje je bez pomocného zařízení, které by pomohlo přesně nastavit potřebný úhel  $90^\circ$  vůči

procházejícímu paprsku laseru, spíše marná. Dokonce u některých vzorků, které jsou velice jemné, splývavé a deformovatelné, není ani při sestavení pomocného zařízení, například pevného rámečku, do kterého by se vzorek pleteniny umístil, zcela jisté, že by se proměnlivost směru žebor zcela omezila, právě díky charakteru velmi jemných pletenin.

Pro jednotnost způsobu získání informace o žebrech pleteniny byl zvolen takový přístup, který vyhovuje časové náročnosti i při vyhodnocování těch nejjemnějších vzorků pletenin, který spočívá v prostém odhadu. Odhad byl proveden během krátké doby jednou osobou a tedy s omezeným rozpětím chyby lidského faktoru. Vyhodnocení spočívalo ve vysledování reprezentativní hodnoty výšky žebra jako např. v rámci Obr. 16, kde byla výška stanovena orientačně na 1,6mm.

Jak je již zmíněno k Obr. 18, deformace profilu, která se v grafech více či méně projevuje působením variability a směru žebor, znemožňuje vyhodnocení vzdálenosti a šířky žebor metodou zmiňovanou v Obr. 17, tudíž bylo přistoupeno opět k odhadní metodě využívající možností vyplývajících z Obr. 16.

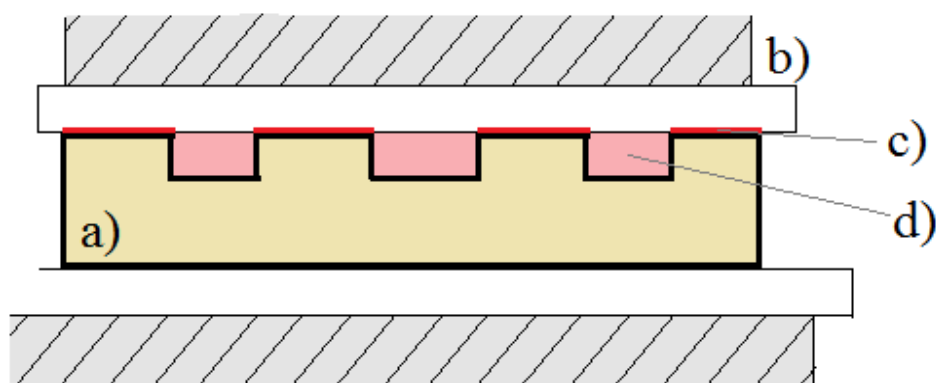


Obr. 19: Měření vzdálenosti mezi dvěma body, vlevo šířka žebra, vpravo šířka mezery

Na Obr. 19 je demonstrován postup odhadní metody měření šířky žebor a mezery pleteniny. Z takto získaných hodnot byla odhadnuta plocha, kterou ve vzorku zaujímají žebra a mezery, podle toho byl vyjádřen procentuální podíl plochy žebor.



V této práci byl zájem zjistit přesnou kontaktní plochu pleteniny s plochou měřicího přístroje Alambeta pro účely vyhodnocení experimentu, k čemuž bohužel nedošlo ne tak kvůli složitosti získání dat, nýbrž však nutností pokovit proměřované vzorky, což by znemožnilo další využití proměřovaných vzorků do budoucna. Odhadem plochy, kterou ve vzorku zaujímají žebra, došlo alespoň k malému přiblížení té plochy, která se s přístrojem zcela jistě nekontaktuje. Účelem zjištění kontaktní plochy byla snaha konkretizovat plochy a prostory, v kterých dochází ke kterému způsobu přenosu tepla, zejména sálání a kontaktní přenos.



Obr. 20: Proměřovaná pletenina (a) sevřená měřicí hlavicí (b) přístroje Alambeta se znázorněním kontaktní plochy (c) a volného prostoru (d)

Na Obr. 20 je naznačeno sevření proměřované pleteniny v přístroji Alambeta. Je zde červeně naznačena nekonkrétní kontaktní plocha oblasti žebrování. Plocha kontaktu je nekonkrétní, protože nejsou známy konkrétní kontaktní body, jen obecnější oblast žeber. V těchto oblastech dochází ke konduci, v zanedbané míře pak i ke konvekci a radiaci. V oblasti naznačené růžovou barvou nedochází k žádnému kontaktu pleteniny s měřicí deskou přístroje, přesto může nezjištěnou měrou probíhat radiace a konvekce.

Na obrázcích z programu Talymap lze vypořadovat díky barevné škále plochy reprezentované bílými a světle růžovými odstíny, což jsou nejvyšší body proměřovaného vzorku. Teoreticky by se dala kontaktní plocha na žebrech zjistit z těchto barev, ovšem komplikuje to následující fakt. Přístroj Alambeta pracuje s přitlakem 200 Pa, což má za následek plošnou deformaci vzorku, která je v tomto případě žádoucí. Protože však pletenina v relaxovaném stavu, jak je snímána Talysurfem touto snímatelnou deformací nedisponuje, bylo by potřeba zajistit, aby se povrch pleteniny nacházel alespoň ve stavu blízcím se rovině, kterou způsobuje přístroj Alambeta. Jeden z možných způsobů by mohl být přiložením co nejtenčí mřížky na pleteninu

při měření povrchu na Talysurfu. Mřížku by bylo nutno zatížit tak, aby došlo k požadovanému vyrovnání pleteniny. Mřížka by musela být z tvrdého leštěného materiálu a její povrch by měl být vždy lépe snímatelný než povrch pleteniny. Po dokončení měření by se hodnoty mřížky, u které by bylo žádoucí, aby zaujímal jen minimální měřenou plochu, daly pomocí obrazové analýzy nahradit okolními hodnotami, anebo by se plocha mřížky mohla zcela vyjmout z vyhodnocování.

Výsledkem by pak bylo spolehlivější zobrazení bílých a světle růžových oblastí zpracovaného obrazu a lepší přehled o možné kontaktní ploše pleteniny s přístrojem Alambeta. Přesto ani tato metoda není ideální.

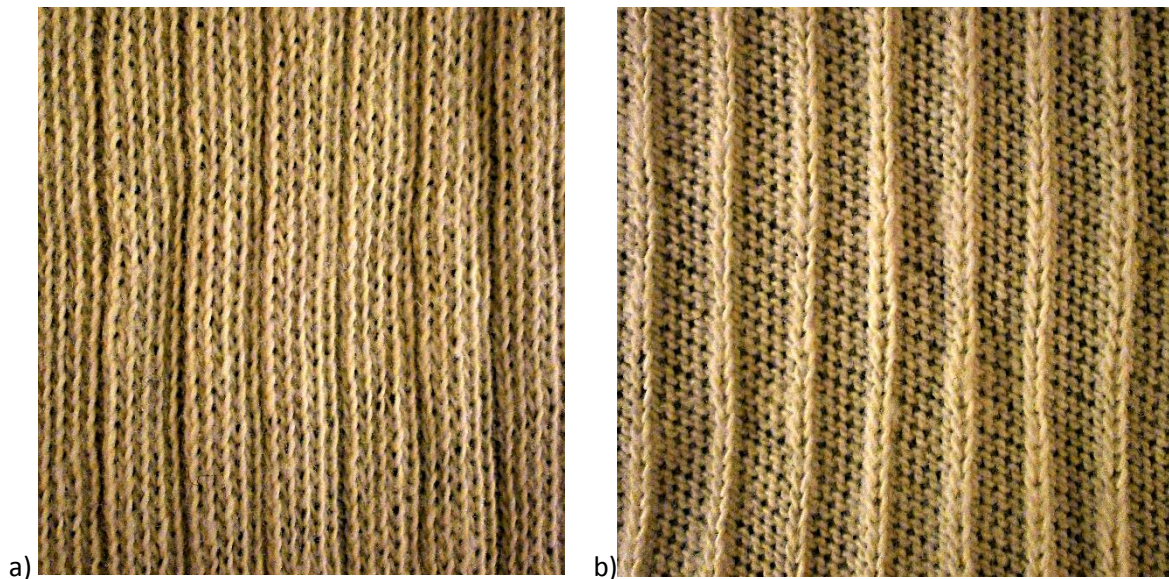
### 3.3 **Proměřované vzorky**

K proměření byly zapůjčeny vzorky<sup>3</sup> žebrované jednolící pleteniny ze 100% bavlny odlišené jemností příze, soubor o rozsahu 61 ks s variabilní tloušťkou jednotlivých vzorků pleteniny, relativní šířkou a výškou žeber podle jemnosti příze. Jedná se o variace pleteniny, která při běžném nošení může sloužit v jemnějším provedení jako spodní prádlo, např. tílko, tedy první kontaktní vrstva, dále hrubší provedení pleteniny odpovídá svetru, druhé vrstvě oděvu.

Na základě struktury pletenin jsou rozeznávány technický rub a líc, kdy se za rub považuje ta strana, kde se vizuálně vyskytují žebra tvořená převážně pruhy oboulící pleteniny. Tento technicky nahlížený rub však mnohdy v oděvním průmyslu díky své textuře vystupuje jako líc oděvu, jako je patrné z Obr. 21.

---

<sup>3</sup> Vzorky ochotně zapůjčil výrobce a univerzitní profesor A. Mangat, Pákistán,



Obr. 21: Proměřovaná pletenina – a) technický líc a b) technický rub

Na Obr. 21 je patrné, že jako lící strana v oděvním užití může posloužit jak strana a) tak i strana b).

Vzorky byly dle provedení rozděleny do 8 hmotnostních skupin rozlišených podle jemnosti  $T$  [ $\text{g/km} = \text{tex}$ ] použité příze, případně vrstev příze (skaní) a to:

**20 tex**

**30 tex**

**35 tex**

**40 tex (2x20 tex)**

**60 tex (3x20 tex)**

**60 tex (2x30 tex)**

**70 tex (2x35 tex)**

**90 tex (3x30 tex).**

Na těchto vzorcích bylo žádoucí zjistit:

*Měrná tepelná vodivost*  $\lambda$  [ $\text{mW/m/K}$ ]

*Tepelná jímavost*  $b$  [ $\text{Ws}^{1/2}/\text{K/m}^2$ ]

*Plošný odpor vedení tepla*  $r$  [ $mK.m^2/W$ ]

provedením standardní zkoušky prováděné na přístroji Alambeta<sup>4</sup> dle interní normy IN 23-304-02/01.

Rovněž bylo na těchto vzorcích uskutečněno měření pomocí přístroje Permetest<sup>5</sup> dle interní normy IN 23-304-01/01. Měřením byly získány informace:

*Relativní paropropustnost*  $p$  [%]

*Výparný odpor*  $R_{et}$  [ $Pam^2/W$ ]

Z výsledků získaných měření byl vytvořen přehled o chování zmíněných veličin v závislosti na změně týkající se tloušťky vzorku, jemnosti a vzdálenosti pomocí následujících grafů.

### 3.4 **Grafické vyhodnocení experimentu**

Následující text vysvětluje v grafech znázorněné hodnoty a jejich trend chování naznačený spojnici. Vedle legendy jsou znázorněny regresní rovnice. Hustota  $R^2$ , koeficient determinance, představuje hodnotu spolehlivosti vypočtené rovnice. Pokud je roven 1, existuje v tomto vzorku dokonalá korelace, tj. mezi odhadem a skutečnými hodnotami  $y$  není žádný rozdíl. Pokud je koeficient determinace roven nule, znamená to, že regresní rovnice nedokáže předpovídat hodnoty  $y$ . Ve výpočetním programu MS Excel byly vypočteny rovnice, z nichž byla zvolena ta, jejíž hodnota spolehlivosti byla číslu 1 nejbližší.

Na bodových grafech jsou zobrazeny barevně odlišené skupiny bodů spojených stejně barevnou spojnici. Tyto skupiny bodů náležejí vždy konkrétní jemnostní skupině vzorků z pleteniny, které jsou vždy ze stejného typu příze, liší se však podílem pleteniny, který zaujímají žebra. S rostoucím podílem žeber roste rovněž plošná hmotnost vzorku, protože žebra, až na pár výjimek, jsou tvořena oboulícni pleteninou, která má sama o sobě téměř dvojnásobnou plošnou hmotnost, než parametricky ve všech ostatních ohledech stejná jednolícni pletenina. Proto je možné sledovat na osách  $X$  chování nejen všech 61 vzorků, ale i chování jednotlivých vzorků v každé skupině. Osa  $X$  u spojnícových grafů představuje ovlivňující parametr pleteniny rozdělené do jednotlivých skupin odlišených jemností  $T$  [g/km], tedy např. jemnost 35 tex je 35

---

<sup>4</sup> Tento přístroj vyvinuli Prof. Ing. Luboš Hes, Dr.Sc. a doc. Ing. Ivan Doležal, CSc. působící na TUL.

<sup>5</sup> Tento přístroj na TUL prof. Luboš Hes patentoval již v roce 1990.

gramů na 1 kilometr délky. Stává se, že vzorky, které byly upleteny z jemnější příze (např. 35 tex) mají vyšší plošnou hmotnost než vzorky z hrubší příze (40 tex) a to proto, že vzorky z jemnější příze můžou mít větší plochu žeber tvořených oboulící pleteninou. Jinými slovy lze říci, že pletenina z jemnější příze obsahuje více hmoty, než pletenina z hrubší příze, proto se někdy hodnoty různých jemnostních skupin mohou překrývat.

Struktura uvnitř pleteniny automaticky ovlivňuje rozložení hmoty a tím primárně i plošnou hmotnost pleteniny. Struktura uvnitř pleteniny je rovněž ovlivňována strukturou pleteniny zvenčí, zde konkrétně žebrování pleteniny – ovlivňuje plošnou hmotnost, proto se podílí na změnách vlastností pleteniny.

Byl zjištěn vliv tloušťky pleteniny na výšku žeber pleteniny, jak je naznačeno v Grafu 47. Graf 47 znázorňuje souvislost parametrů daných vzorků pleteniny, které posloužily pro experimentální část této práce. Z grafu je patrné, že vzorky pleteniny v každé jemnostní třídě vykazují s rostoucí tloušťkou klesající výšku žebra.

Ačkoli se dá do jisté míry očekávat, že s rostoucí tloušťkou pleteniny poroste i výška žebra vlivem průměru příze s vyšší hodnotou jemnosti  $T$ , děje se zde do jisté míry naopak kvůli relaxaci. Tento fakt do jisté míry souvisí se skutečností, že pletenina po upletení se zrelaxuje. Relaxací pleteniny je míněno rovnoměrné rozložení pnutí v nově vytvořených očkách příze, které je těsně po upletení soustředěno jen do některých míst po délce oka. Při relaxaci pleteniny dojde zároveň více či méně ke změně některých jejích parametrů, jako je plošná hmotnost, zakrytí, tloušťka, atp., ale i ke změně výšky žebra. Zpravidla čím tužší je příze použitá při výrobě, tím delší čas je potřebný k relaxaci pleteniny, zároveň ale tím více dojde ke zvětšení její plochy a tím i k zúžení její tloušťky. K zúžení tloušťky pleteniny z tohoto důvodu přispívá i přítomnost žebrování v pletenině. Čím menší je pletený útvar, tím větší efekt relaxace je na něm patrný. Pletený útvar relaxuje tím více, čím méně se na jeho obvodu vyskytuje omezení. Na žebrované pletenině se žebra jeví jako jednotlivé útvary z oboulící pleteniny, tedy z pleteniny s větším objemem hmoty, kdy tyto útvary jsou z každé strany omezovány pouze jednolící pleteninou.

## **Statistická významnost**

V grafickém zpracování výsledků v grafech 1 - 47 byly vypočteny regresní rovnice. Byla testována závislost veličin v osách  $x$  na veličinách v osách  $y$ . Jednoduchá regrese umožňuje

analyzovat, jakým způsobem ovlivňují hodnoty jedné nebo více nezávislých proměnných hodnotu jedné závislé proměnné. Na základě skupiny výsledků lze veličinám přiřadit podíl na vlivu a pomocí získaných hodnot předpovědět další hodnoty. Statistickou významnost pak vystihuje P hodnota, která testuje nulovou hypotézu, že parametry jsou nezávislé. Čím je p-hodnota nižší, tím spíše není nulová hypotéza správná a zamítá se. Převyšuje-li hladinu  $\alpha = 0,05$  je parametr statisticky nevýznamný a nulovou hypotézu nezamítáme.

### 3.4.1 **Měrná tepelná vodivost**

Z hlediska plošné hmotnosti s přibývajícím hmotou křivka měrné tepelné vodivosti napříč všemi hmotnostními skupinami narůstá. Napříč všemi jemnostními skupinami měrná tepelná vodivost narůstá s relativní šířkou žeber, což je patrné z Grafů 4 a 5. Vliv výšky žeber pleteniny, což je vidět na Grafech 16 a 17, je komplikovaný. Měrná tepelná vodivost při proměřování jednotlivých vzorků s rostoucí plošnou hmotností narůstala, avšak také s rostoucí plošnou hmotností klesala výška žeber v jednotlivých jemnostních skupinách. Tedy ačkoli je sledován vliv výšky žeber, která když klesají, měrná tepelná vodivost roste, patrně bude spíše výraznější vliv právě plošné hmotnosti, která je výrazně ovlivňována právě relativní šířkou žeber.

### 3.4.2 **Tepelná jímavost**

Hodnoty tepelné jímavosti rubu a líce žebrovaných vzorků vykazují rozdíl, byť ne velký. Hodnoty tepelné jímavosti rubu převyšují hodnoty líce. Rub poskytuje lehce chladivější dojem. Podobně jako u tepelné vodivosti platí, že s rostoucí plošnou hmotností rostou i hodnoty tepelné jímavosti. S rostoucí relativní šířkou žeber (Grafy 7 a 8) roste plošná hmotnost a tepelná jímavost, avšak také klesá výška žeber v rámci jemnostních skupin (Grafy 19 a 20).

### 3.4.3 **Plošný odpor vedení tepla**

Naměřené hodnoty jsou na lící straně tentokrát vyšší než na rubní. Odpor vedení tepla je v podstatě inverzní veličinou k veličině tepelné vodivosti. Na Grafech 1 a 2 je patrné, že

s rostoucí relativní šířkou žeber jednotlivé naměřené hodnoty klesají. V rámci jemnostních skupin je prudkost poklesu tím vyšší, čím vyšší je hodnota jemnosti příze použité k výrobě vzorků. Relativní šířkou žeber pleteniny je míněna procentuální část, kterou v ploše pleteniny žebra zastupují bez ohledu na jejich aktuální šířku či počet žeber na jednotku plochy.

Lze spatřit, že v rámci jemnostních skupin plošný odpor vedení tepla roste, avšak také že s rostoucí plochou žeber v každé jemnostní skupině plošný odpor vedení tepla klesá.

Graf 3 přibližuje chování plošného odporu vedení tepla pod vlivem plochy žeber pleteniny z pohledu rubu a líce, kdy z grafu vyplývá, že rubní strana pleteniny vykazuje obecně nižší hodnoty. Čím je však větší relativní plocha žeber a zároveň čím vyšší je hodnota jemnosti použité příze, zmenšuje rozdíl se mezi hodnotami plošného odporu vedení tepla na lící i rubní straně.

Grafy 10 a 11 poukazují analogicky na podobný vliv tloušťky pleteniny na plošný odpor vedení tepla, jako naznačují Grafy 1 a 2, Grafy 4 a 5 prokazují jen opačnou tendenci, jakou měrná tepelná vodivost vůči plošnému odporu vedení tepla, má, stejně tak podobně u tepelné jímavosti a Grafů 7 a 8.

Graf 12 značí totéž, co Graf 3: plošný odpor vedení tepla je obecně na rubní straně pleteniny nižší, přičemž hodnoty se vzájemně přibližují, když se tloušťka pleteniny zvětšuje, potažmo roste hodnota jemnosti příze použité pro výrobu pleteniny, tak to platí i obráceně v případě Grafu 6 a podobně u Grafu 9.

Plošný odpor vedení tepla může být nahlížen i pod vlivem výšky žeber, respektive výšky profilu, který žebra na povrchu pleteniny tvoří. Jak je vidět z grafů, regresní rovnice byly nejvhodnější s polynomickým nárůstem, avšak zde se hodnoty výrazně blížily lineární regresi, jak je na grafech 13 a 14 patrné podle nápadné rovnosti spojnic trendů. Totéž inverzně platí i pro Grafy 16 a 17 pro měrnou tepelnou vodivost, podobně pak také pro tepelnou jímavost a Grafy 19 a 20

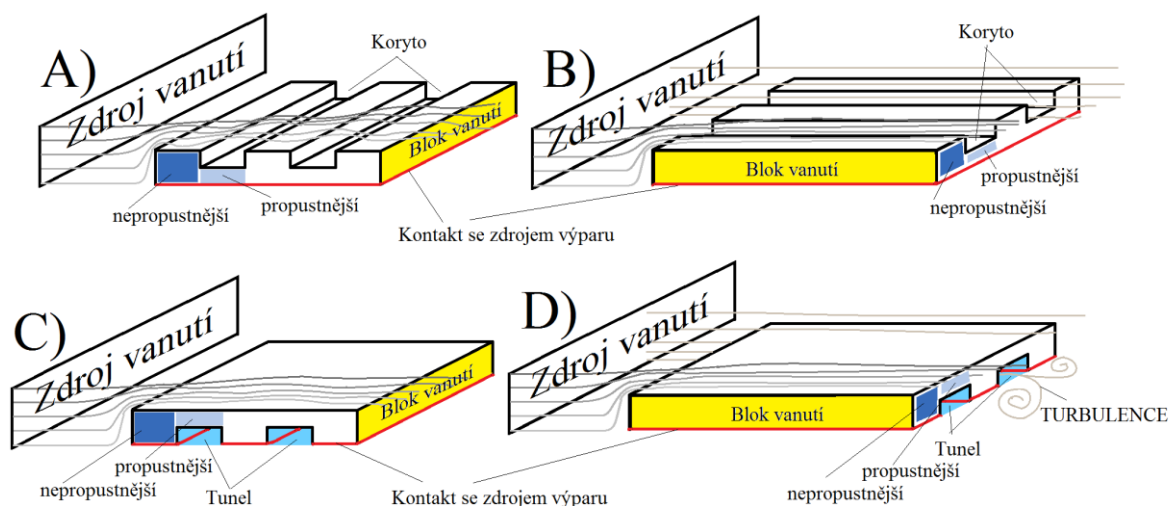
Z Grafu 15 je patrné, že se odpor vedení tepla pleteninou pozvolna sjednocuje jak na lící i na rubní straně pleteniny čím je výška žebra vyšší, avšak u nejnižších výšek vychází, že lící strany vzorků vykazují vyšší plošný odpor vedení tepla než rubní strany, což obráceně platí i pro Grafy 18 a 21 týkající se měrné tepelné vodivosti a tepelné jímavosti.

### 3.4.4 Výparný odpor

V následujících grafech je již kromě lícní a rubní strany zahrnuta horizontální a vertikální orientace žeber pleteniny. Tato orientace je míněna vůči směru proudění v přístroji. Vliv směru žeber je třeba vést v patrnosti, jelikož i průvan měřící jednotky byl jednosměrně orientován.

Výparný odpor s rostoucí relativní šířkou žeber, jak je patrné z Grafů 22-25 roste, roste i přes pokles výšky žeber, jak je patrné z Grafů 37-40.

Je porovnáván jednak vliv směru žeber ale také vliv lícní a rubní strany. Jak roste plošná hmotnost vzorku, tak se projevují čím dál více rozdíly mezi orientovaností žeber horizontálně a vertikálně a mezi rubem a lícem. Nejnižší hodnoty výparného odporu vykazují úplety na lícní straně, horizontálně orientované ve směru proudění z přístroje, naopak nejvyšší hodnoty výparného odporu mají úplety na rubní straně, orientované rovněž horizontálně. Pakliže nejnižší hodnoty výparného odporu jsou na lícní straně pleteniny orientované horizontálně, dalo by se očekávat, že nejvyšší hodnoty by mohly být na rubní straně orientované vertikálně. Důvod, proč tomu tak není, by velmi pravděpodobně mohl být ten, že pletenina při měření lícní strany kontaktuje membránu přístroje jakožto zdroj výparu.



Obr. 22: A) proměřovaný líc pleteniny orientované vertikálně vůči směru proudění, B) horizontální orientace líce, C) vertikální orientace rubu, D) rub horizontálně

Důvod, proč tomu tak není, je naznačen na Obr. 22, kdy lze provést odhad větrného proudu narážejícího na předmět, jak je naznačeno vždy od zdroje proudění. K proudění dochází po celé délce znázorněného zdroje, naznačen je pouze způsob, kterým se proudy větru pohybují.



Z obrázku vyplývá, že nejsnadnější průtok vzduchu je v sekci B), jelikož zde se nachází nejméně komplikujících prvků:

Blok proudění jde podélně s prouděním, vítr tedy nenaráží do největší blokující plochy.

Část vzduchu protéká korytem mezi žebry bez většího prostorového omezení.

Tím, že dochází ke kontaktu s membránou lící stranou – stranou bez žeber, je výpar veden rovnou skrze póry pleteniny ven, čímž se trajektorie výparu zkracuje a tento fakt omezuje kondenzaci vody, ke které v oblasti tunelu dojde snadněji. Důvodem, proč se tunel může podílet na dřívější kondenzaci vodních par, je nejspíše právě prodloužená dráha výparu, díky turbulenci, ke které při průchodu proudění tunelem, dochází. Vzniká víření ovlivněné tvarem tunelu, které několikanásobně prodlužuje dráhu původně laminárního proudu vzduchu, zpomaluje se průchod vodních par skrze tunel a skrze póry pleteniny při nezměněném přídavku výparu, zvyšuje se koncentrace vodní páry, až nastává její kondenzace, proto největší výparný odpor vykonává právě vzorek, podle naznačené situace v části D) Obr. 22, přestože se zde jako komplikující prvek nevyskytuje blok proudění. Jak je naznačeno v části C) blok proudění nepropustí proud vzduchu do tunelu, v kterém tak nedochází k turbulenci, která se jeví jako nejvíce komplikující prvek. Přesto je odpor vůči výparu u pleteniny dle C) vyšší, než v případě A) a je to dáno tím, že v A) je usnadňujícím prvkem koryto, naopak u C) je komplikujícím prvkem tunel, ve kterém dochází ke zpomalenému průchodu páry.

Jelikož výparný odpor je v podstatě inverzní veličina pro paropropustnost, platí stejný výklad zdůvodňující chování proměřených vzorků i pro relativní paropropustnost, kdy nejvyšší paropropustnost je u nejnižšího výparného odporu.

## Testování hypotéz

**Tab. 1:** Hodnoty výparného odporu  $R_{et}$  [Pa.m<sup>2</sup>/W] všech úpletových vzorků z líce a rubu orientovaných horizontálně se značkou „=“ a vertikálně se značkou „||“

Líc =	Líc	Rub =	Rub	Líc =	Líc	Rub =	Rub
-------	-----	-------	-----	-------	-----	-------	-----

3,7	3,8	3,9	3,9	7,2	7,8	8,4	8,1
3,9	3,9	4	3,9	7,4	8	8,5	8,1
4	4	4,2	4,1	7,7	8,1	8,9	8,2
4,2	4,2	4,3	4,3	6,7	6,8	7,2	7
4,5	4,6	4,6	4,6	6,8	6,9	7,3	7,2
4,6	4,7	4,7	4,7	7,1	7,3	7,5	7,3
4,9	4,9	5,1	5	7,3	7,4	8,3	8
5,2	5,3	5,2	5,1	7,8	8	8,6	8,3
5,2	5,3	5,3	5,3	7,8	8,1	8,7	8,7
5,5	5,5	5,8	5,7	8,1	8,2	9,3	8,7
5,3	5,4	5,7	5,5	8,3	8,5	11,1	9,6
5,5	5,6	5,8	5,7	8,5	8,7	12,1	9,7
5,8	5,9	6,1	6	7,2	7,4	8,4	8
6	6,1	6,1	6,1	7,8	7,8	8,7	8,3
6,1	6,2	6,4	6,2	7,8	7,9	9,1	8,6
6,3	6,4	6,5	6,4	7,9	8,6	10,7	9,6
6,4	6,5	6,6	6,5	8	8,6	10,7	10
5,3	5,3	5,4	5,3	8,2	8,7	11	10,7
5,6	5,7	5,8	5,6	8,5	8,7	11,3	10,9
5,7	5,8	5,8	5,8	8,9	8,8	11,7	10,9
5,9	5,9	5,9	5,8	8,3	9,4	11,8	11,2
6	6	6,1	6	8,1	9,8	12,7	11,4
6,1	6	6,2	6,1	8,6	8,8	10,4	10,6
6,1	6,2	6,3	6,2	8,9	9,1	10,8	10,7
6,3	6,4	6,5	6,5	9,3	9,6	12	11
6,4	6,9	7,1	7	9,7	9,9	13,1	11,4
6,8	6,9	7,2	7	9,9	10,4	13,5	11,5
7	7,2	7,4	7,1	10,3	10,4	14,3	14
7	7,2	7,4	7,2	11,6	12,1	14,7	14,6
7,1	7,4	7,7	7,5	13,2	14,1	15,3	15,3
7,2	7,4	8,3	8				

K prověření tvrzení vyplývajících z Obr. 22) bylo provedeno testování hypotéz prověřením hodnot v Tab. 1:

1) Necht' jsou hypotézy

$H_0: \mu = 0$  Orientace žeber nemá vliv na výparný odpor.

$H_1: \mu \neq 0$  Orientace žeber má vliv na výparný odpor.

---

K testování hypotézy  $H_0$  je v případě každého z úpletů měřených jednou horizontálně a jednou vertikálně orientovaných vůči směru proudění, zvolen Studentův test pro párované hodnoty s hladinou významnosti  $\alpha = 0,05$  pro normální rozdělení.

Výpočet v programu MS Excel s funkcí TTEST odhalil, že získaná p hodnota při srovnávání sloupce Líc = a sloupce Líc II je menší ( $p = 0,014$ ), než hodnota hladiny významnosti  $\alpha$ .

Další výpočet srovnávající obdobně hodnoty sloupce Rub = a sloupce Rub II opět odhalil, že je p hodnota menší ( $p = 0,039$ ), než hodnota hladiny významnosti  $\alpha$ . V obou případech z tohoto faktu vyplývá, že se zamítá hypotéza  $H_0$  a

**Přijímá se alternativní hypotéza  $H_1$ : Orientace žeber má vliv na výparný odpor.**

2) Necht' jsou hypotézy

**$H_0: \mu = 0$**       Není rozdíl mezi hodnotami výparného odporu naměřenými na rubu a líci.

**$H_1: \mu \neq 0$**       Hodnoty rubní a lícní strany vykazují rozdíly.

---

K testování hypotézy  $H_0$  je v případě každého z úpletů měřených jak z lícní tak z rubní strany zvolen stejný test jako výše testovaný vliv orientovanosti žeber.

S pomocí funkce TTEST bylo odhaleno, že získaná p hodnota při srovnávání sloupce Líc= se sloupcem hodnot Rub= ( $p = 0,00011$ ) a sloupce Líc II se sloupcem hodnot Rub II ( $p = 0,00012$ ) byla menší než hodnota  $\alpha$ , a proto i zde se zamítá hypotéza  $H_0$  a

**Přijímá se alternativní hypotéza  $H_1$ : Hodnoty rubní a lícní strany vykazují rozdíly.**

Na Grafu 22 – 25 je znázorněn vliv relativní plochy žeber na výparný odpor pleteniny, kde je pletenina proměřována z lícní a rubní strany, které byly vždy orientovány horizontálně, tedy ve směru proudění a vertikálně, kolmo na směr proudění. S přibýváním plochy žeber v pletenině napříč jemnostními skupinami výparný odpor roste.

Z Grafu 26 je patrné, že opět výparný odpor je obecně nejnižší na lícní straně horizontálně orientovaných vzorků a nejvyšší na rubní straně orientované rovněž horizontálně. Tento rozdíl se s rostoucí relativní šířkou žeber zvětšuje. Opačně je tomu tak s relativní paropropustností, jak je patrné z Grafu 31.

Grafy 32 – 35 znázorňují chování výparného odporu na vzorcích pleteniny, pakliže je ovlivňován její vlastní tloušťkou.

Z Grafu 36 vyplývá, že s rostoucí tloušťkou pleteniny roste její vlastnost výparného odporu. Strmost tohoto nárůstu pak ovlivňuje struktura pleteniny a orientace. Ukázalo se, že nejnižších hodnot výparného odporu dosahuje lící strana orientovaná horizontálně, nejvyšších hodnot dosáhla rubní strana orientovaná horizontálně. Rozdíly hodnot výparného odporu se projevovaly výrazněji s růstem tloušťky.

Grafy 37 – 40 byl sledován vývoj výparného odporu pleteniny na rubní i lící straně v horizontálním i vertikálním směru, kdy tato vlastnost je ovlivňována výškou žebrování na pletenině. Obráceně i u paropropustnosti, jak je vidět na Grafech 42- 45

Graf 41 znázorňuje vliv výšky žeber na strmost regresních křivek, jejich pořadí je dáno orientací, jak je patrné u lící strany orientované horizontálně s nejmenším výparným odporem a u rubní strany orientované horizontálně s největším výparným odporem. Obráceně je to patrné u paropropustnosti na Grafu 46.

### 3.4.5 **Relativní paropropustnost**

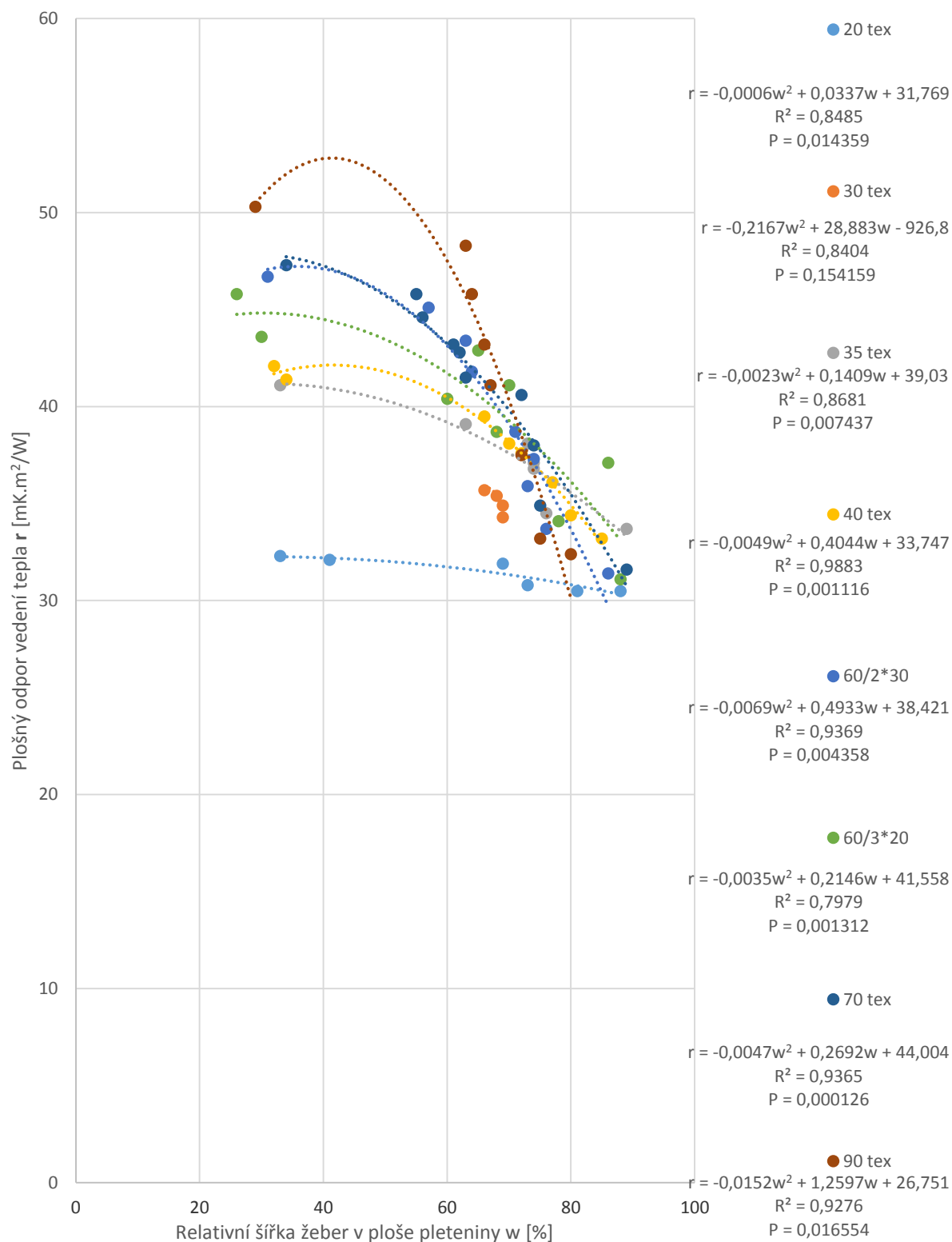
Hodnota paropropustnosti s rostoucí plošnou hmotností vzorku klesá. Paropropustnost je oproti výparnému odporu opačnou vlastností textilií, na což grafické zpracování výsledků také poukazuje.

Podobně jako u výparného odporu, i u relativní paropropustnosti jsou u těch nejjemnějších vzorků (nízká hodnota jemnosti T) jsou rozdíly mezi chováním rubu a líce nejméně patrné. Rozdíl se však prohlubuje s rostoucí jemností T a tím i hmotou vzorku.

Jsou rovněž vidět rostoucí rozdíly mezi lícem a rubem s rostoucí hodnotou jemnosti T. I u paropropustnosti byl však sledován vliv orientace žeber vůči směru proudění v přístroji. Zde graf poukazuje na obrácený fakt oproti výparnému odporu, že coby nejvyšší hodnota relativní paropropustnosti horizontálně orientovaného líce obecně převyšuje hodnotu relativní paropropustnosti rubu orientovaného též horizontálně jakožto hodnotu nejnižší.

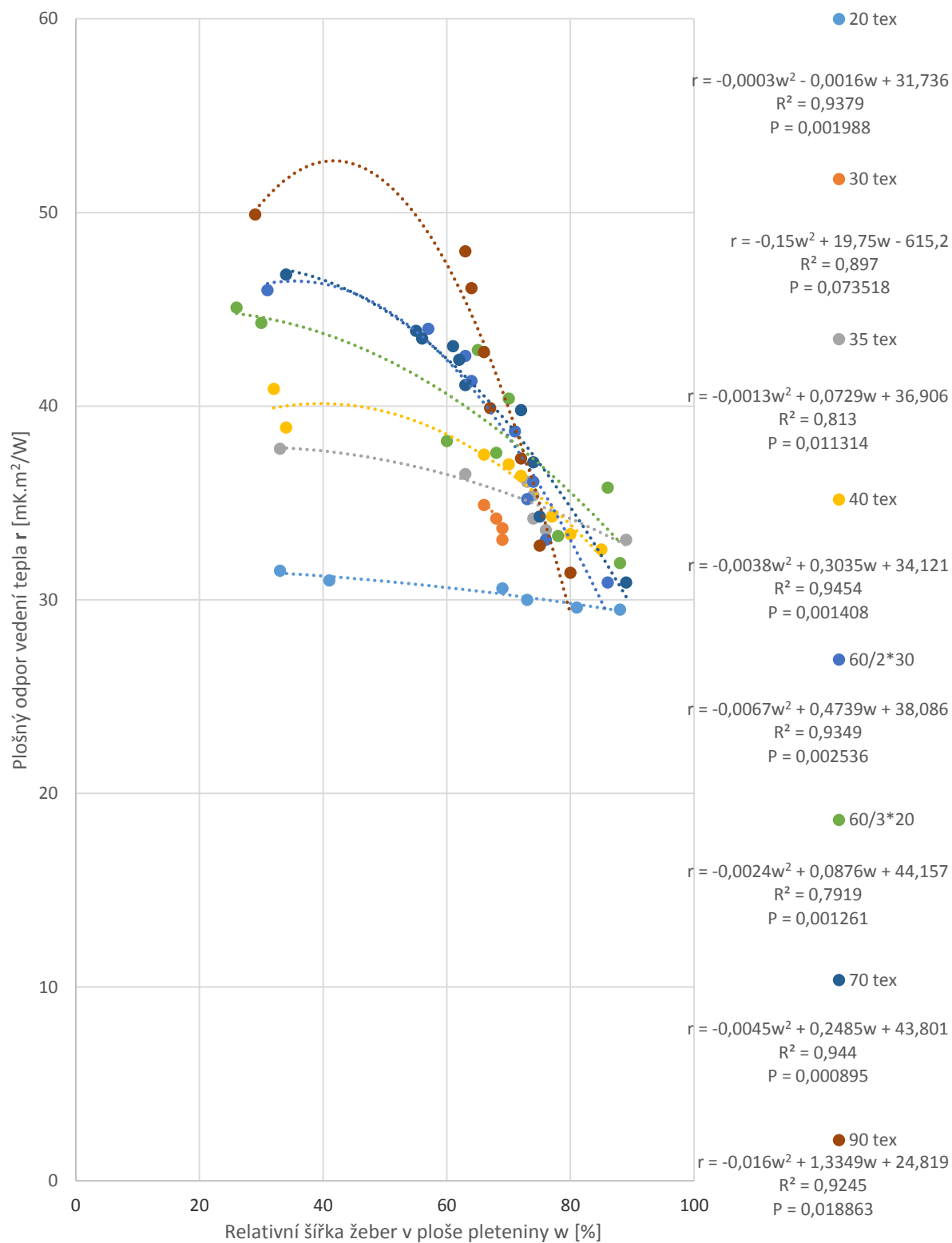
Grafy 27 – 30 poukazují na pokles paropropustnosti při růstu relativní šířky žeber. Pokles je zaznamenán i na Grafech 42 – 45, přestože klesá výška žebra. Opět zde platí, že výška žebra klesá i přes nárůst plošné hmotnosti.

Plošný odpor vedení tepla  $r$  ovlivněný  
relativní šířkou (26 - 89%) žebër na lícni straně pleteniny



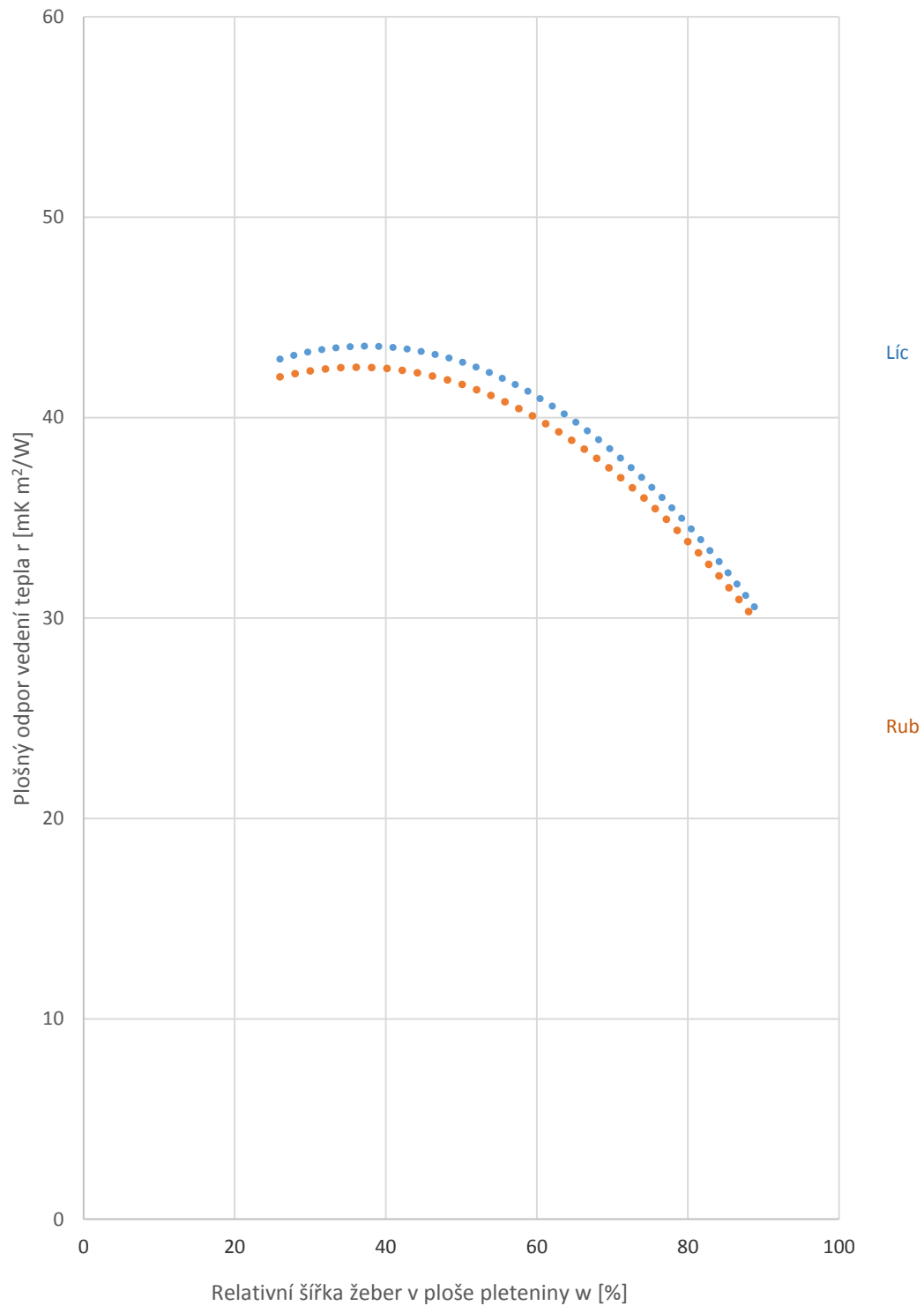
Graf 1: Plošný odpor vedení tepla na lícni straně všech úpletů, ovlivněný přibýváním relativní šířky žebër vztážené k celkové ploše pleteniny u jednotlivých jemnostních skupin.

Plošný odpor vedení tepla  $r$  ovlivněný  
relativní šířkou (26 - 89%) žeber na rubní straně pleteniny



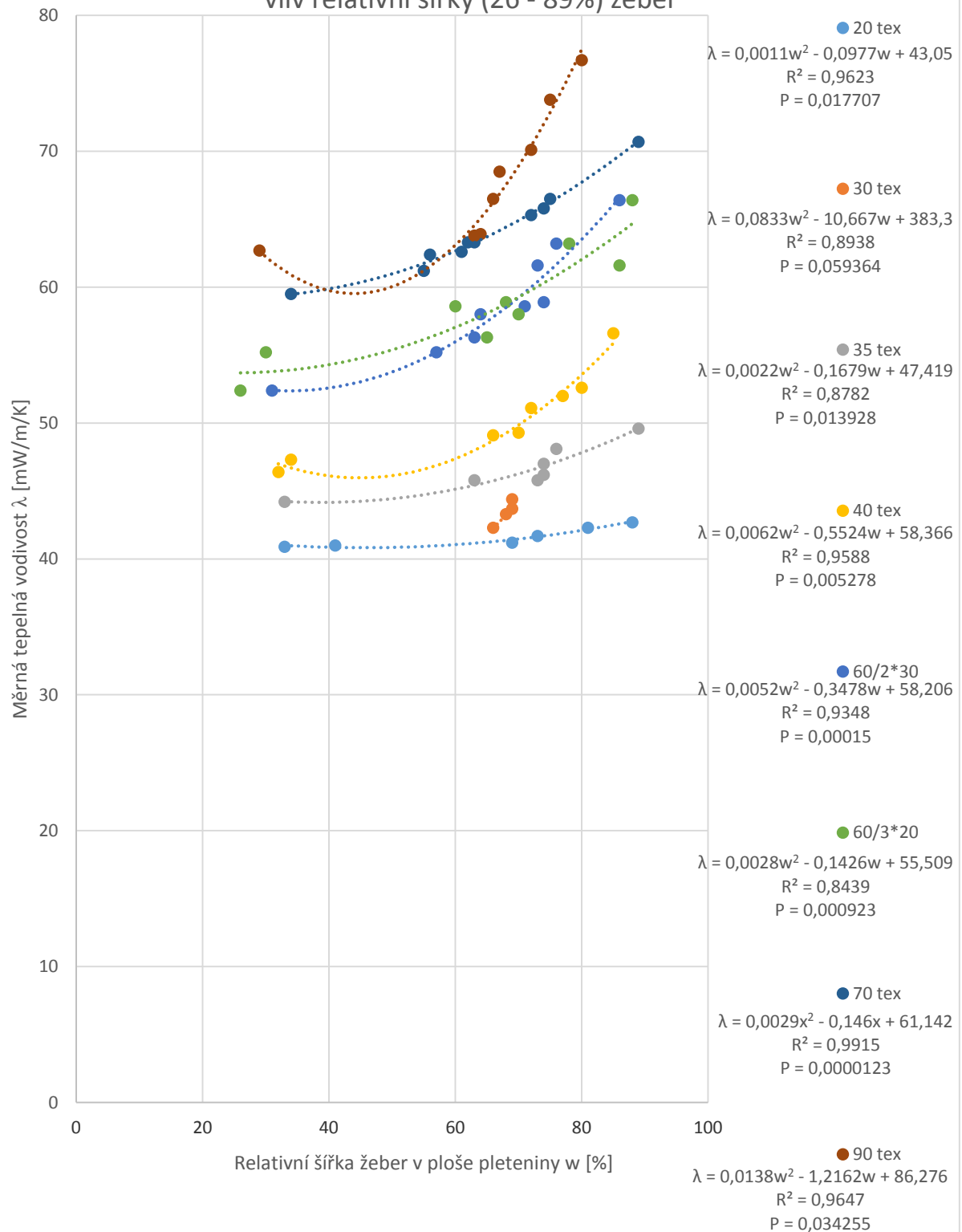
Graf 2: Plošný odpor vedení tepla na rubní straně všech úpletů, ovlivněný přibýváním relativní šířky žeber vztahované k celkové ploše pleteniny u jednotlivých jemnostních skupin.

Plošný odpor vedení tepla  $r$  ovlivněný  
změnou relativní šířky žebër všech úpletů  
srovnání lícni a rubní strany pleteniny



Graf 3: Plošný odpor vedení tepla ovlivněný relativní šířkou žebër vztaženou k celkové ploše pleteniny. Srovnání trendů chování rubu a líce všech úpletů.

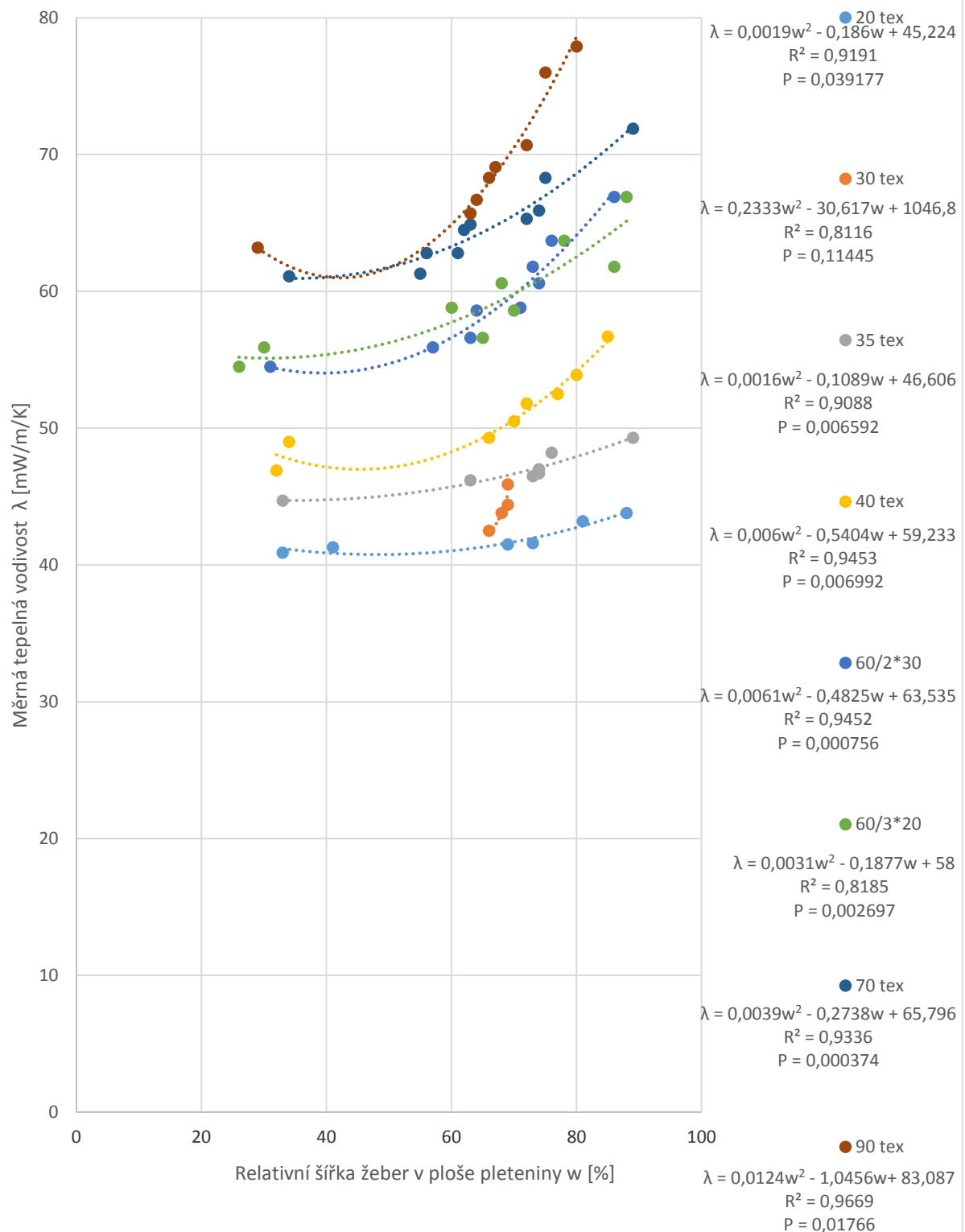
Měrná tepelná vodivost  $\lambda$  lící strany všech úpletů,  
vliv relativní šířky (26 - 89%) žebor



Graf 4: Měrná tepelná vodivost na lící straně všech úpletů, ovlivněná přibýváním relativní šířky žebor vztahované k celkové ploše pleteniny u jednotlivých jemnostních skupin.

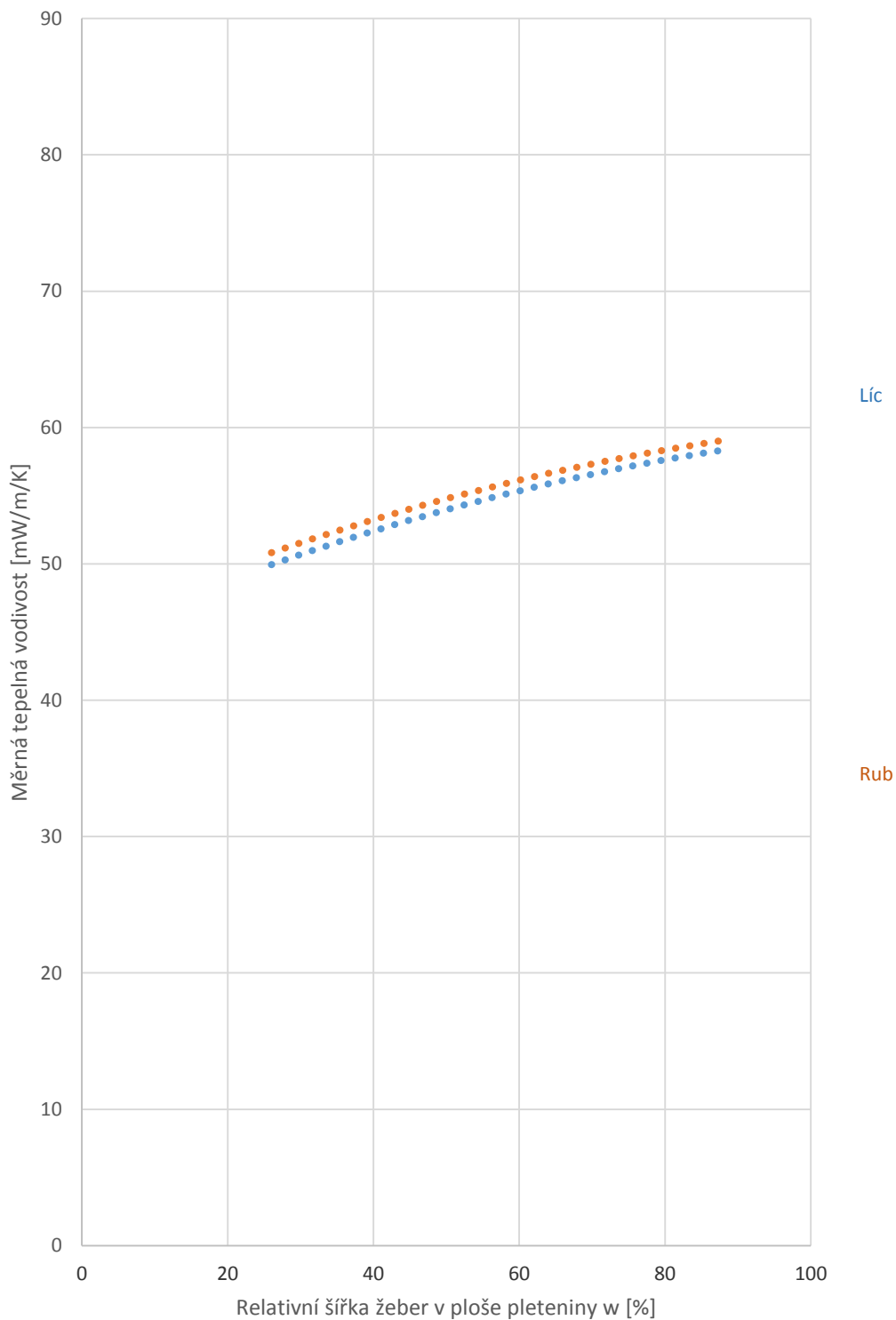


Měrná tepelná vodivost  $\lambda$  rubní strany všech úpletů,  
vliv relativní šířky (26 - 89%) žeber



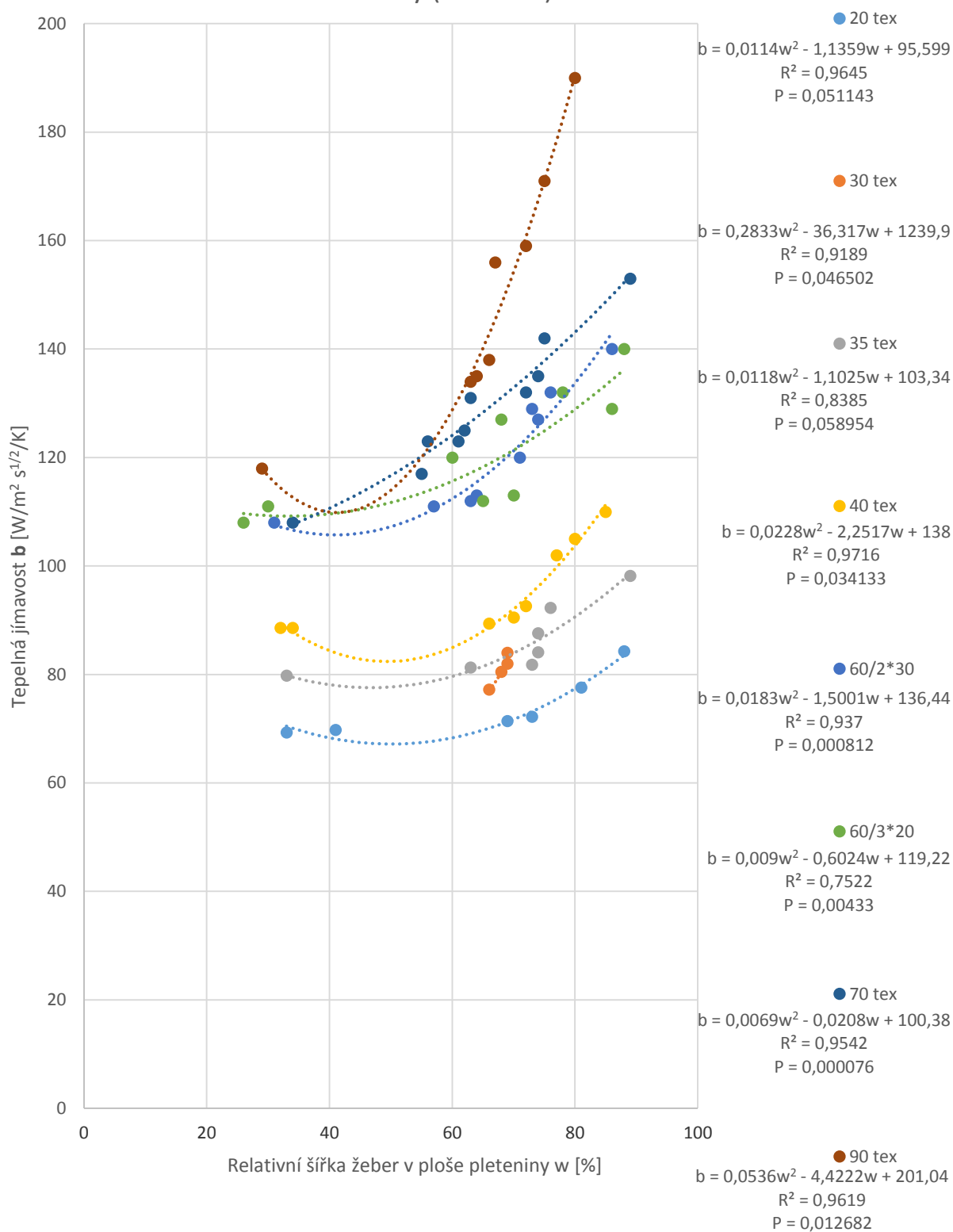
Graf 5: Měrná tepelná vodivost na rubní straně všech úpletů, ovlivněná přibýváním relativní šířky žeber vztahované k celkové ploše pleteniny u jednotlivých jemnostních skupin.

Měrná tepelná vodivost  $\lambda$  všech úpletů srovnání rubní a lícní strany, vliv změny relativní šířky žebor

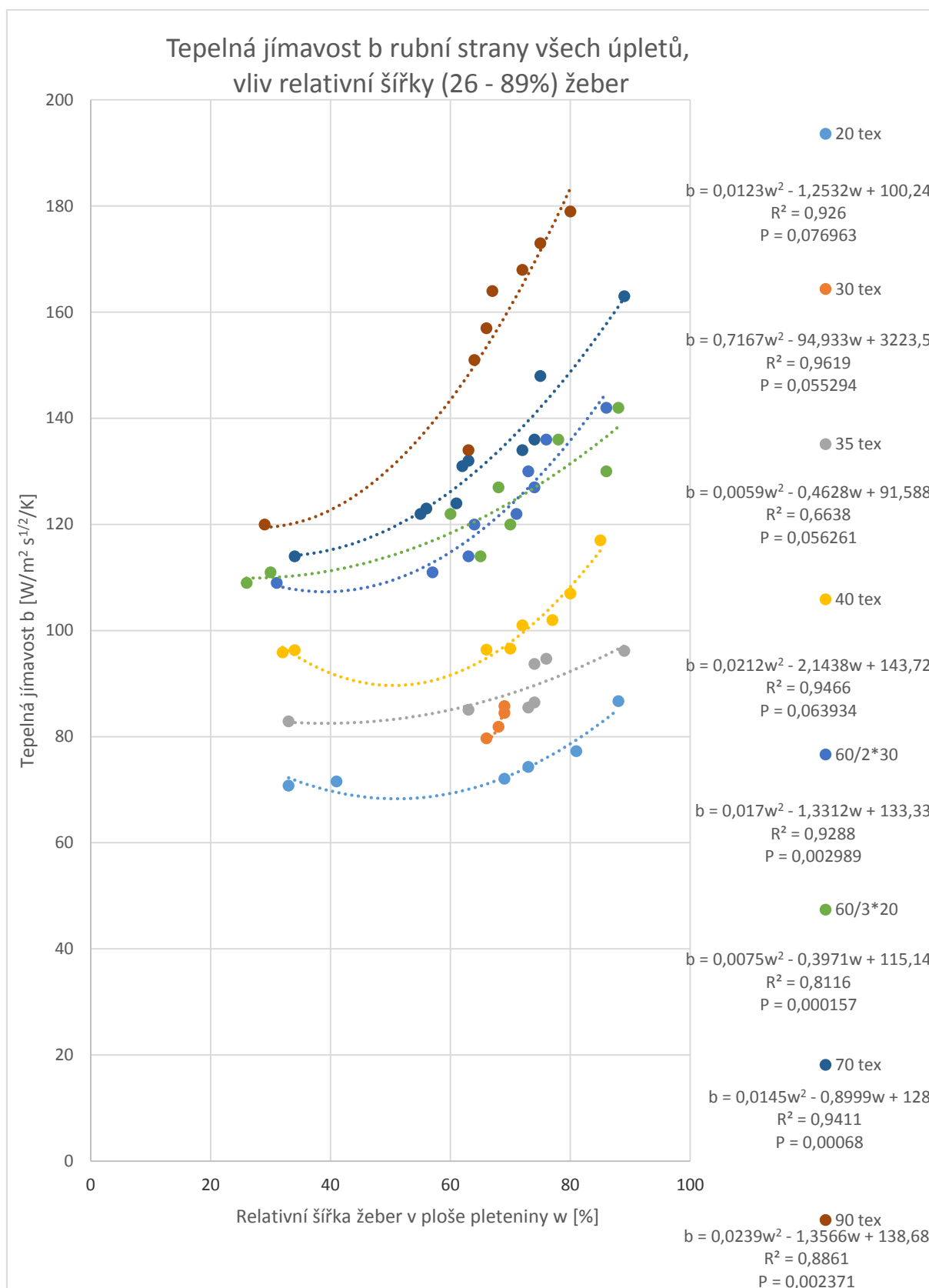


Graf 6: Měrná tepelná vodivost ovlivněná relativní šířkou žebor vztaženou k celkové ploše pleteniny. Srovnání trendu chování rubu a líce všech úpletů.

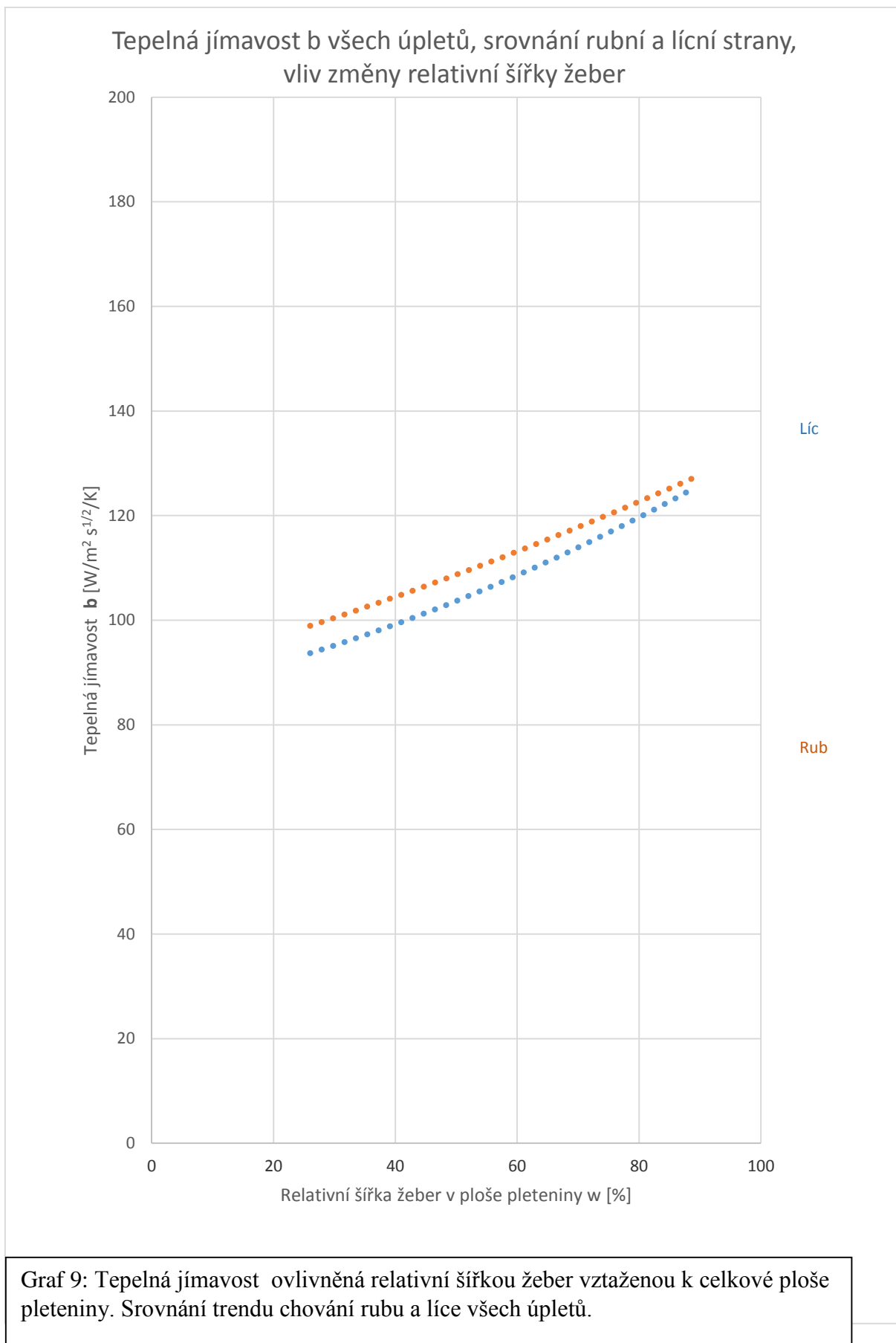
Tepelná jímavost b lící strany všech úpletů,  
vliv relativní šířky (26 - 89%) žebor



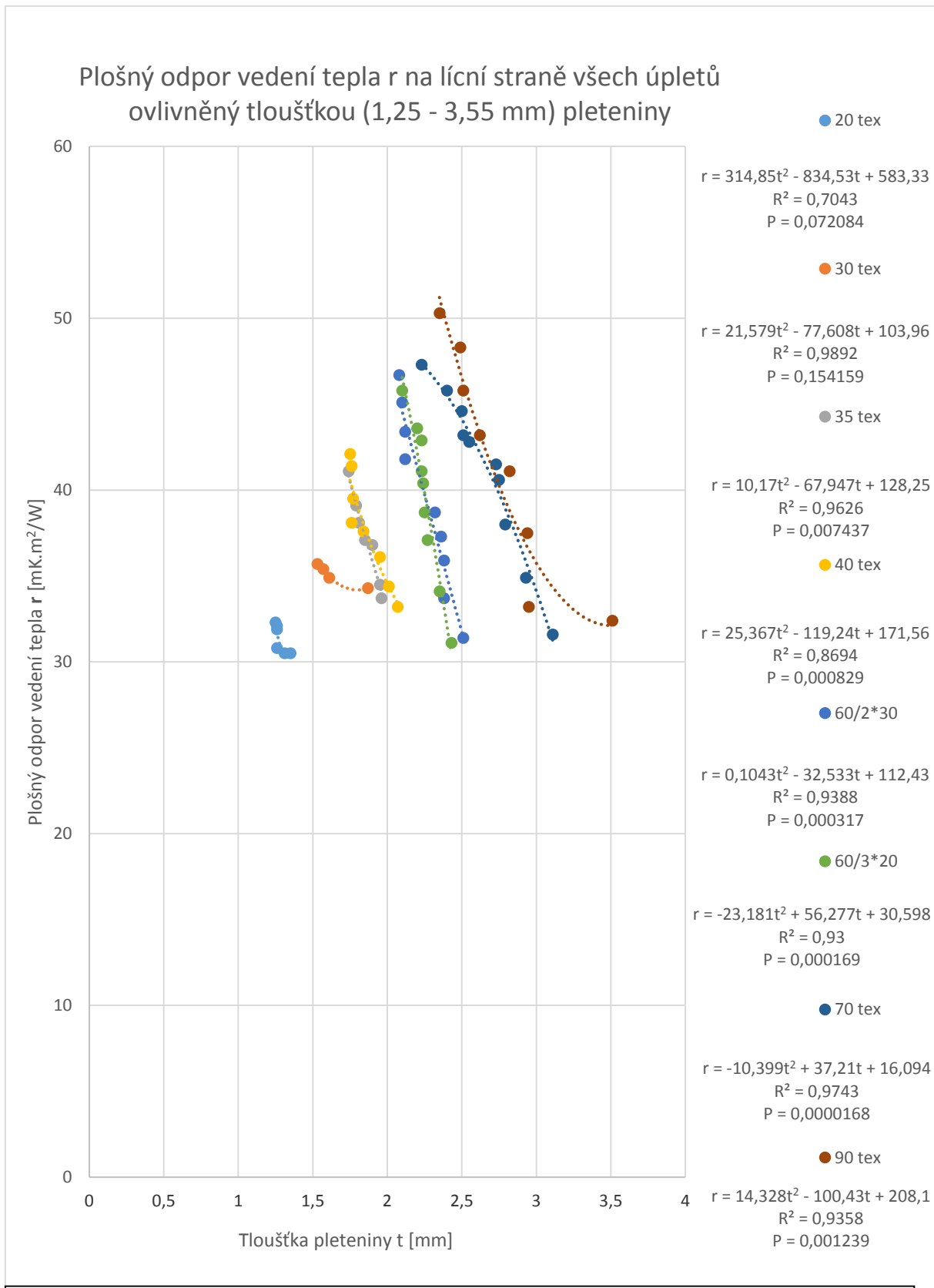
Graf 7: Tepelná jímavost na lící straně všech úpletů, ovlivněná přibýváním relativní šířky žebor vztažené k celkové ploše pleteniny u jednotlivých jemnostních skupin.



Graf 8: Tepelná jímavost na rubní straně všech úpletů, ovlivněná přibýváním relativní šířky žeber vztažené k celkové ploše pleteniny u jednotlivých jemnostních skupin.

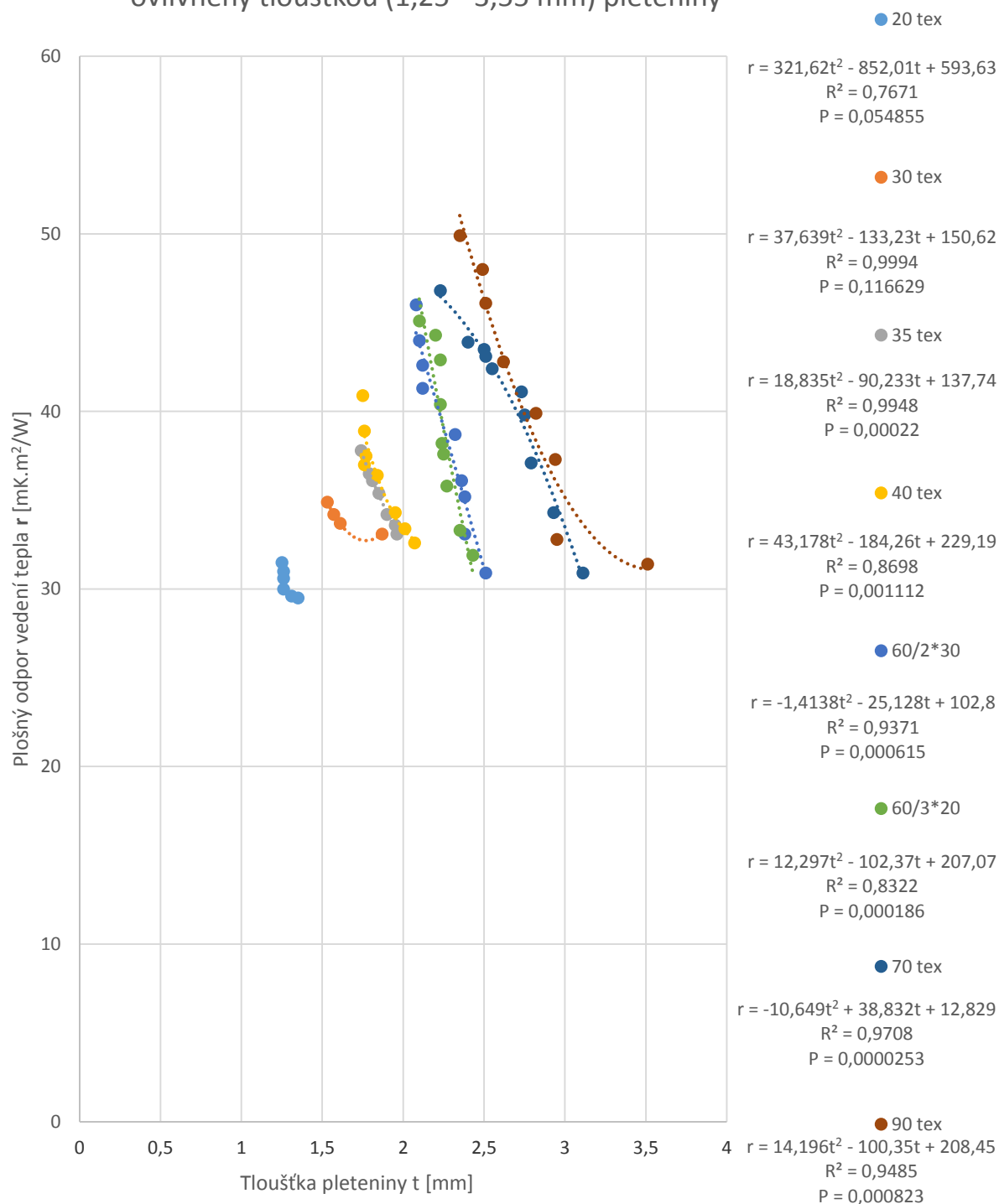


Graf 9: Tepelná jímavost ovlivněná relativní šířkou žeber vztaženou k celkové ploše pleteniny. Srovnání trendu chování rubu a líce všech úpletů.



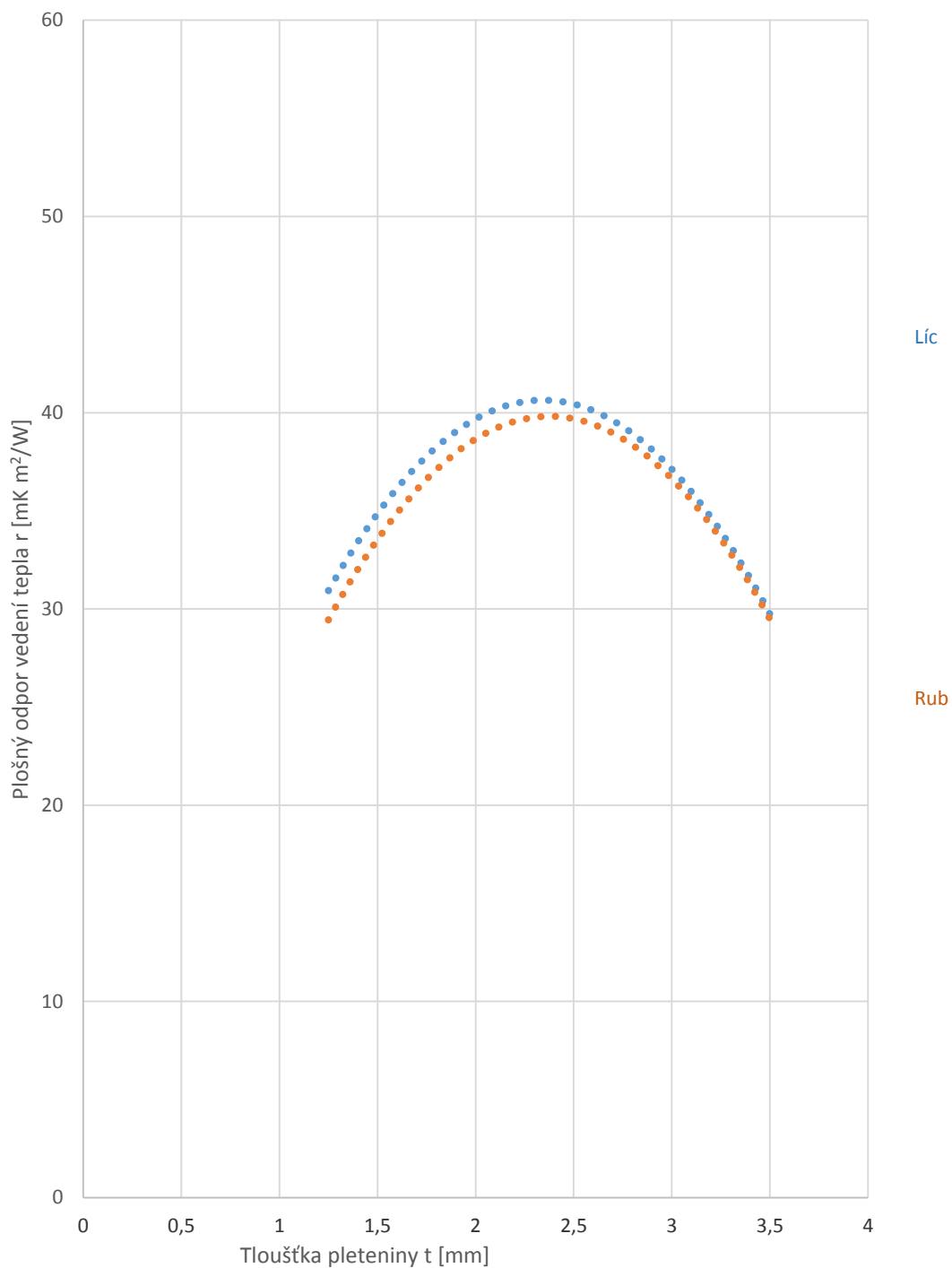
**Graf 10: Plošný odpor vedení tepla na lící straně všech úpletů, ovlivněný přibýváním tloušťky pleteniny.**

Plošný odpor vedení tepla  $r$  na rubní straně všech úpletů  
ovlivněný tloušťkou (1,25 - 3,55 mm) pleteniny



Graf 11: Plošný odpor vedení tepla na rubní straně všech úpletů, ovlivněný přibýváním tloušťky pleteniny.

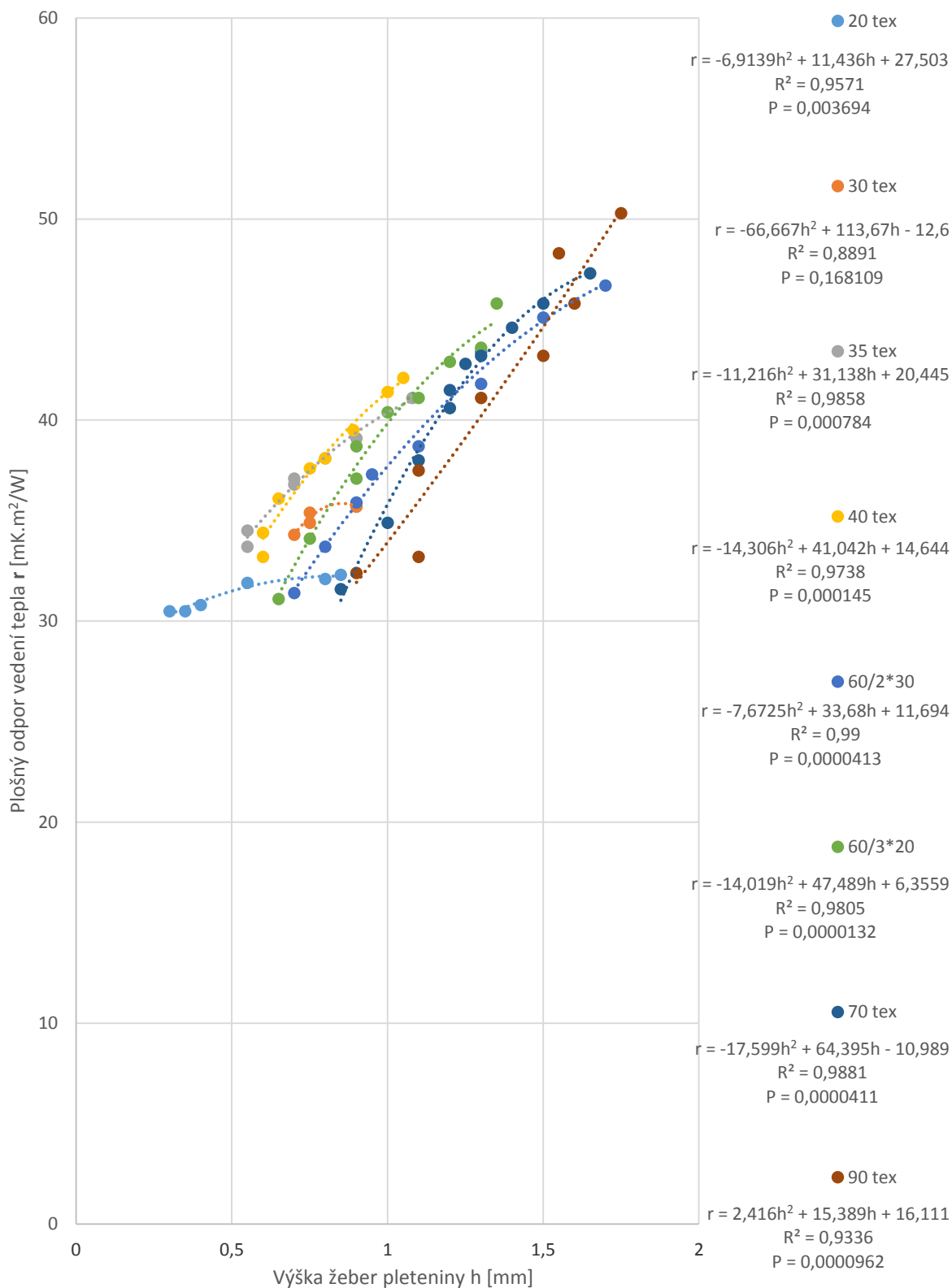
Plošný odpor vedení tepla  $r$  ovlivněný  
změnou tloušťky pleteniny,  
srovnání lící a rubní strany všech úpletů



Graf 12: Plošný odpor vedení tepla ovlivněný přibýváním tloušťky pleteniny. Srovnání trendu chování rubu a líce všech úpletů.

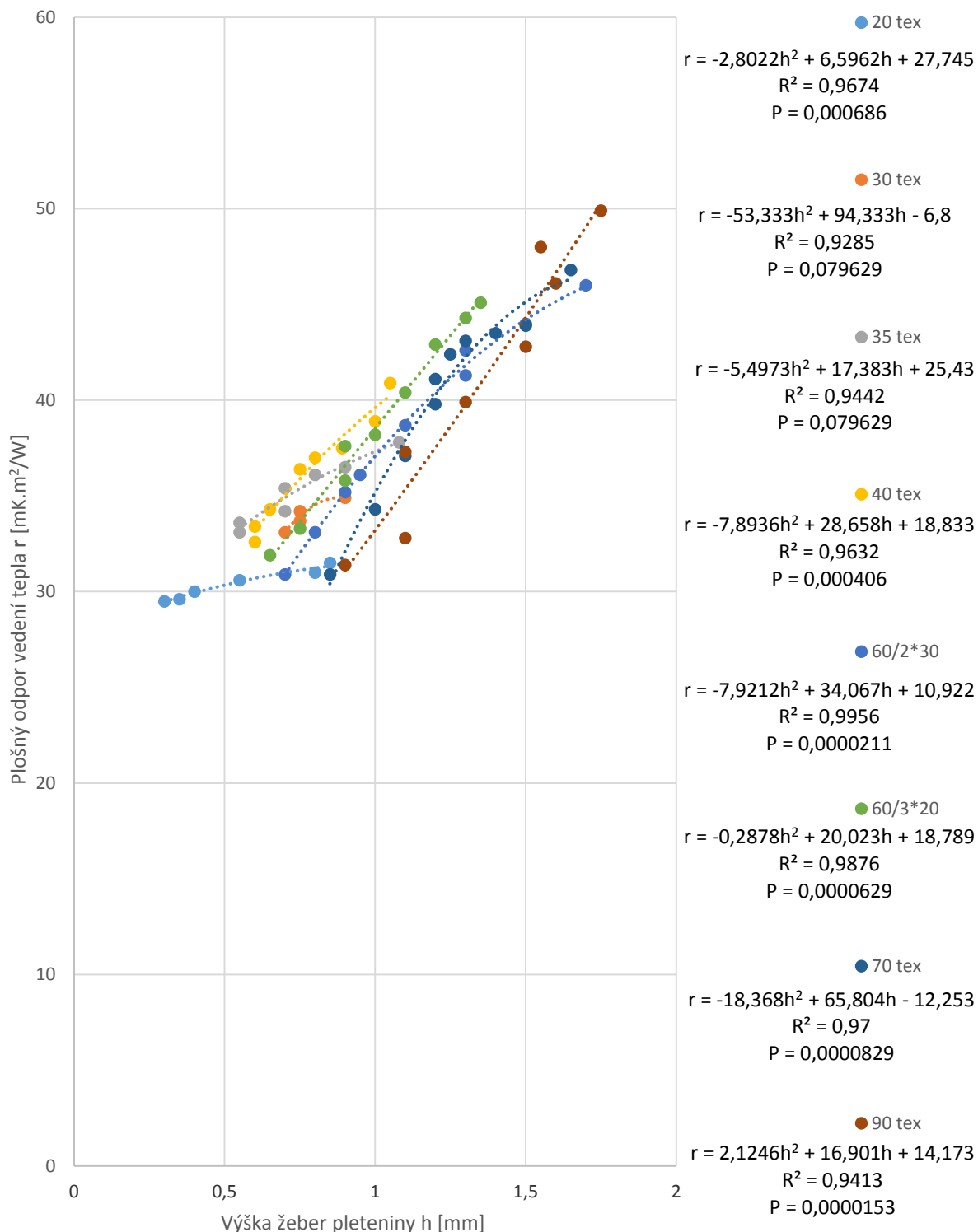


Plošný odpor vedení tepla  $r$  na lící straně všech úpletů  
ovlivněný výškou (0,3-1,75 mm) žebër pleteniny

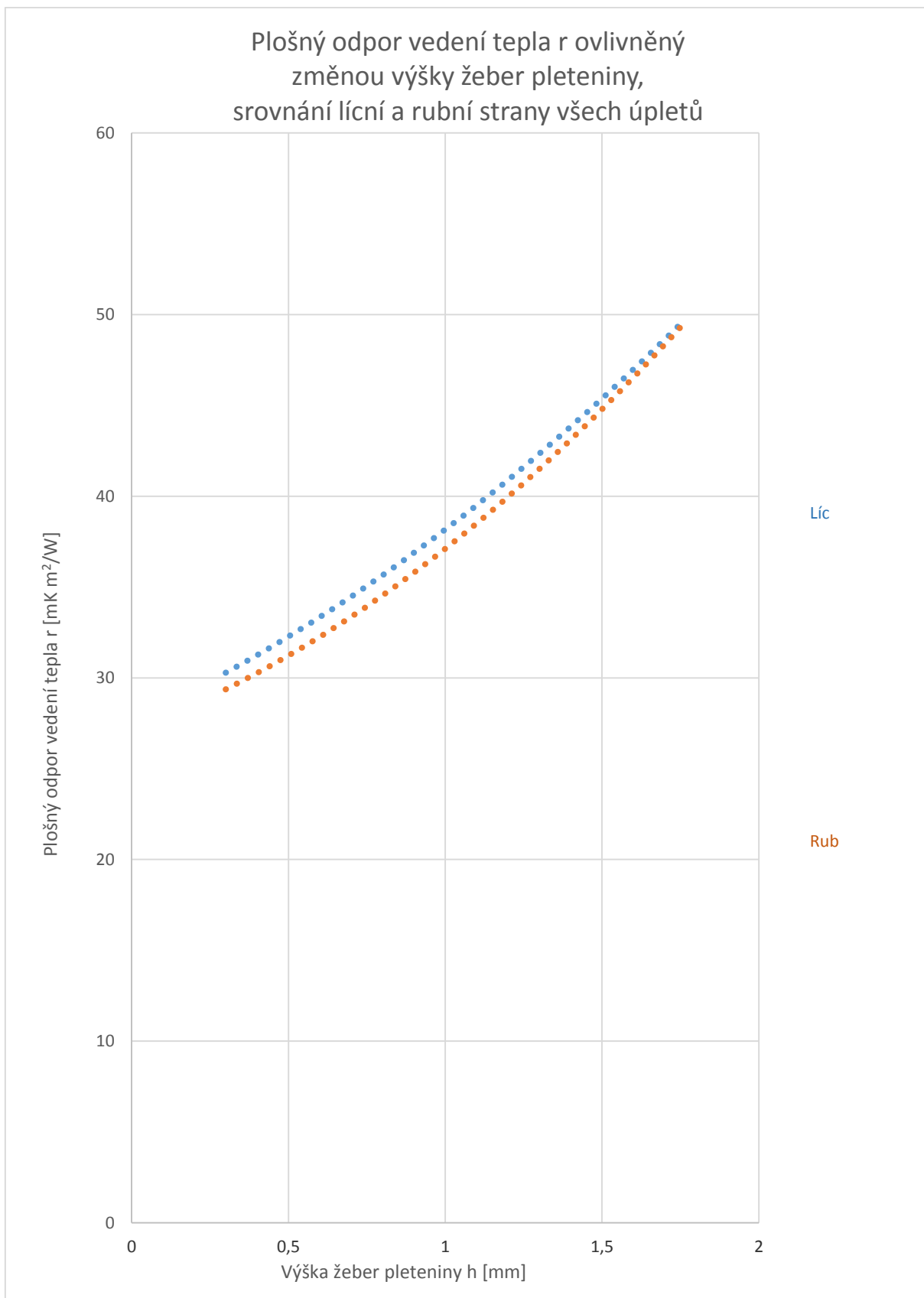


Graf 13: Plošný odpor vedení tepla na lící straně všech úpletů, ovlivněný přibýváním výšky žebër pleteniny u jednotlivých jemnostních skupin.

Plošný odpor vedení tepla  $r$  na rubní straně všech úpletů  
ovlivněný výškou (0,3-1,75 mm) žeber pleteniny

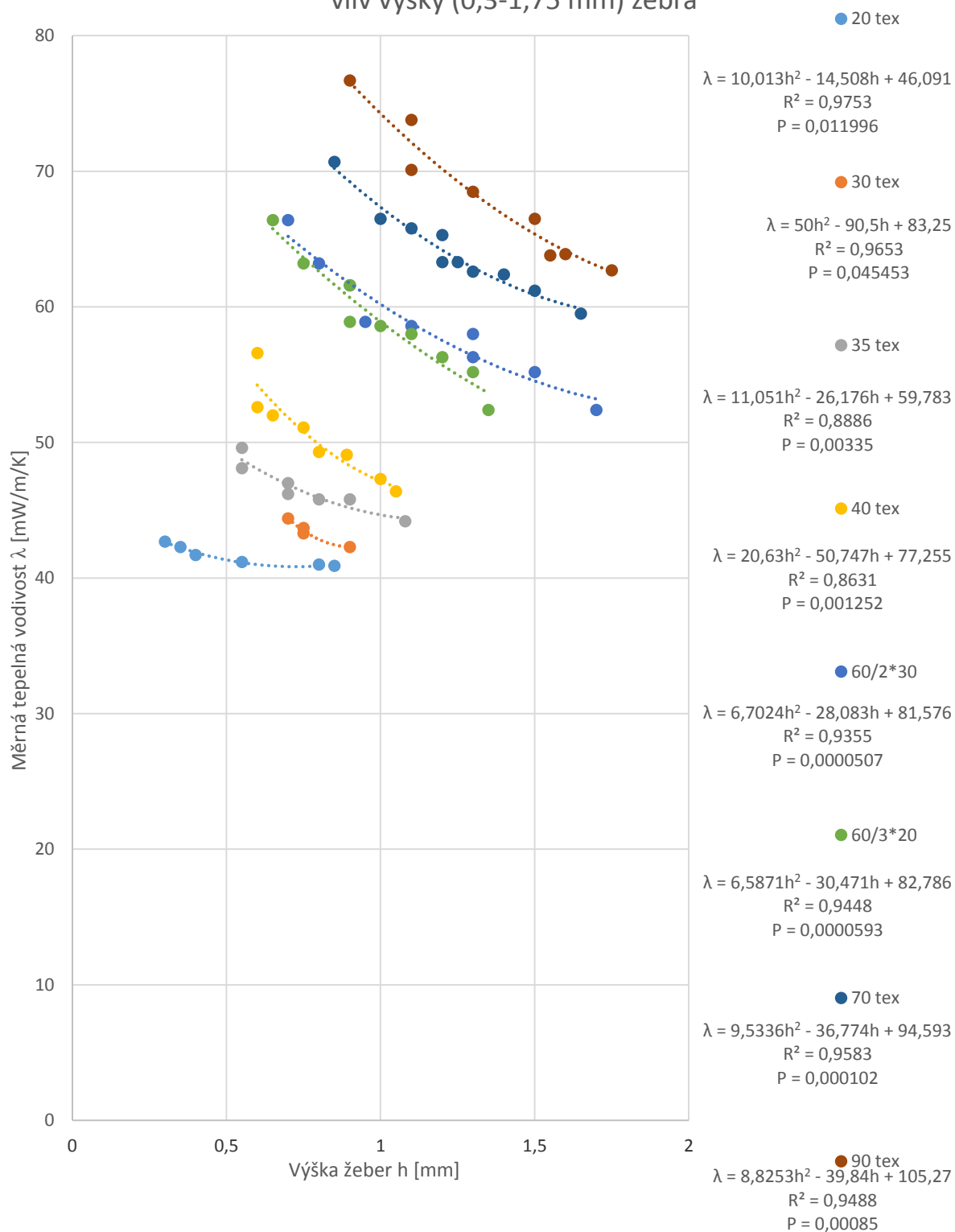


Graf 14: Plošný odpor vedení tepla na rubní straně všech úpletů, ovlivněný přibýváním výšky žeber pleteniny u jednotlivých jemnostních skupin.

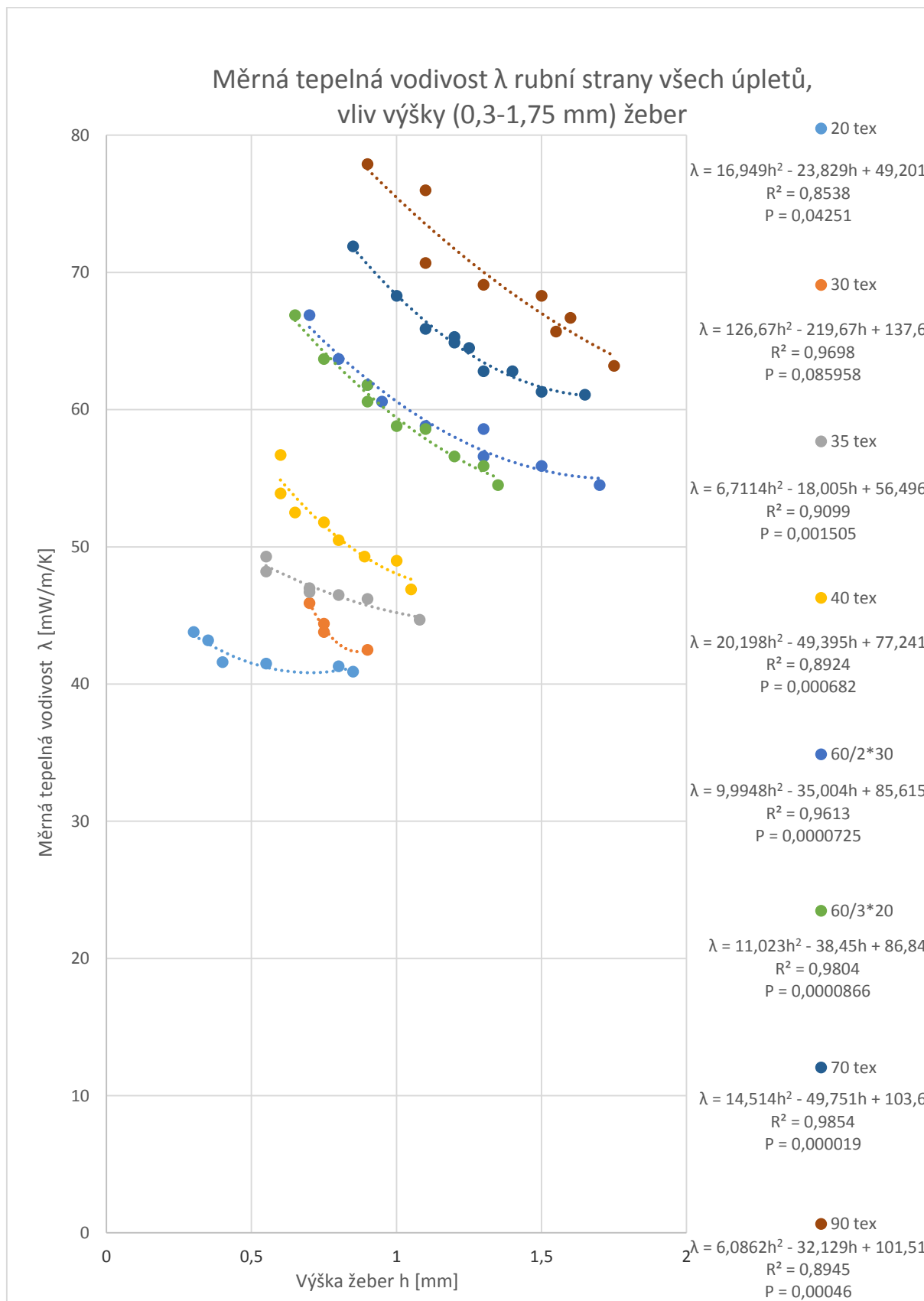


Graf 15: Plošný odpor vedení tepla ovlivněný změnou výšky žebër pleteniny. Srovnání trendu chování rubu a líce všech úpletů.

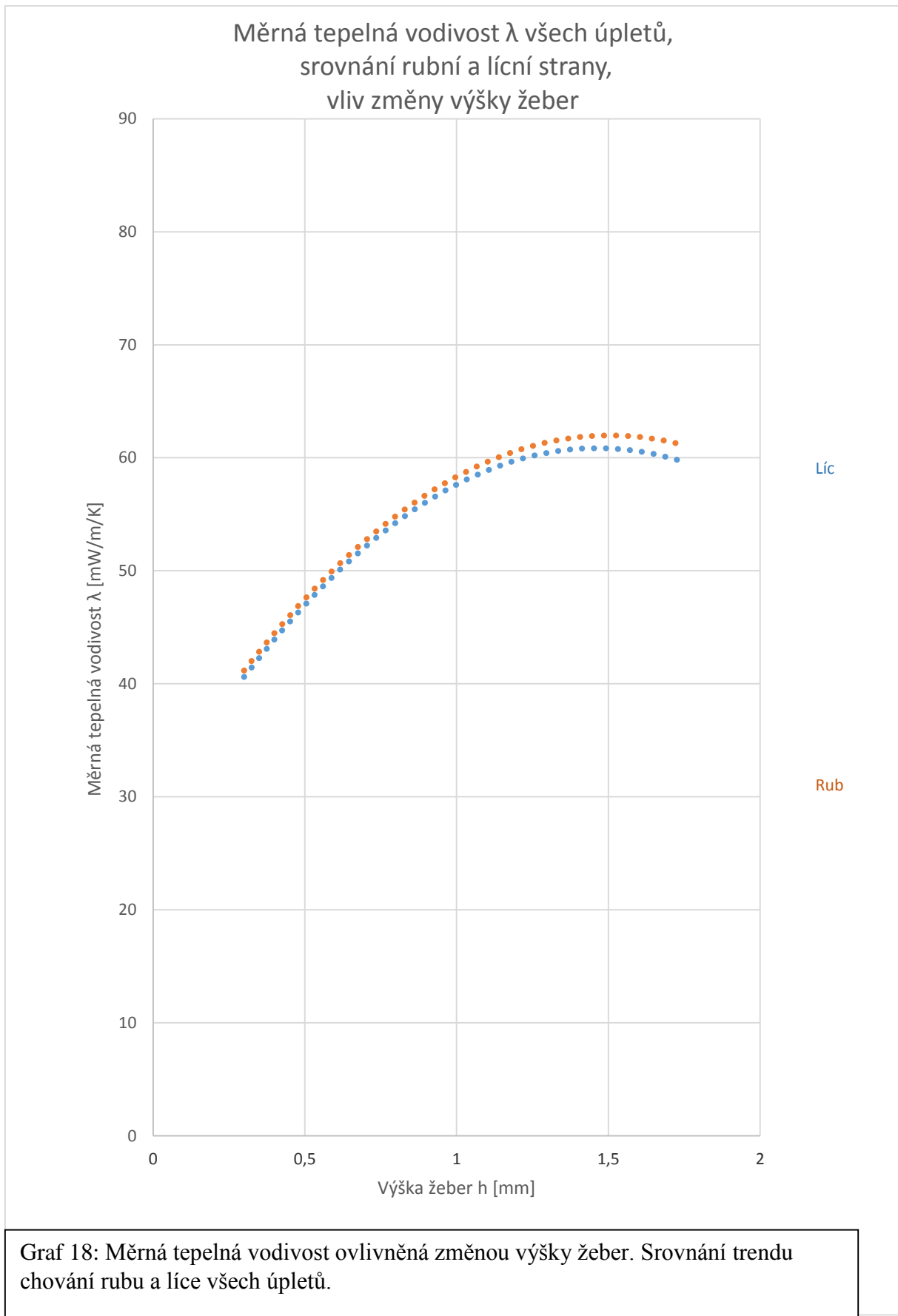
Měrná tepelná vodivost  $\lambda$  lící strany všech úpletů,  
vliv výšky (0,3-1,75 mm) žebra



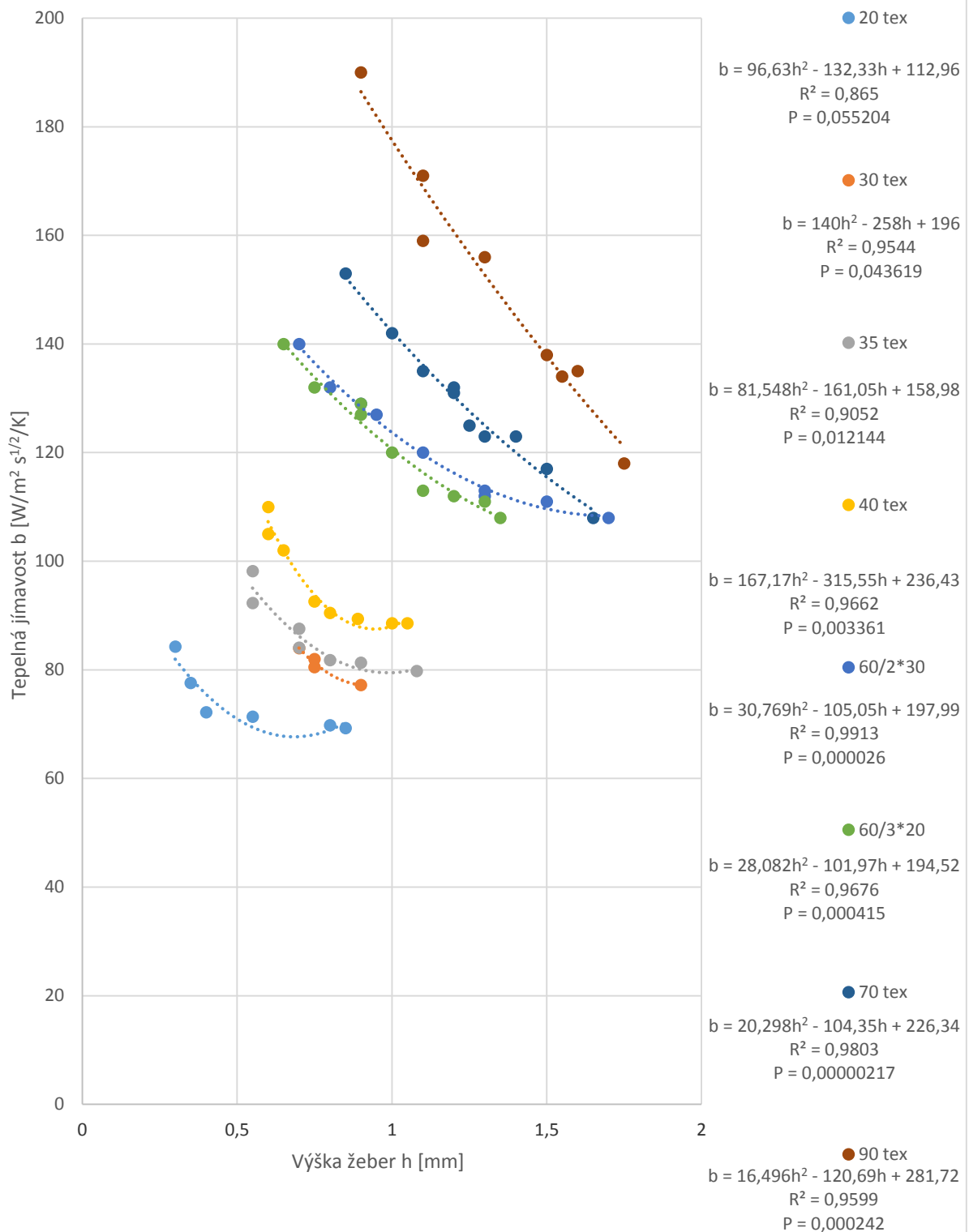
Graf 16: Měrná tepelná vodivost na lící straně všech úpletů, ovlivněná přibýváním výšky žebra pleteniny u jednotlivých jemnostních skupin.



**Graf 17: Měrná tepelná vodivost na rubní straně všech úpletů, ovlivněná přibýváním výšky žeber pleteniny u jednotlivých jemnostních skupin.**

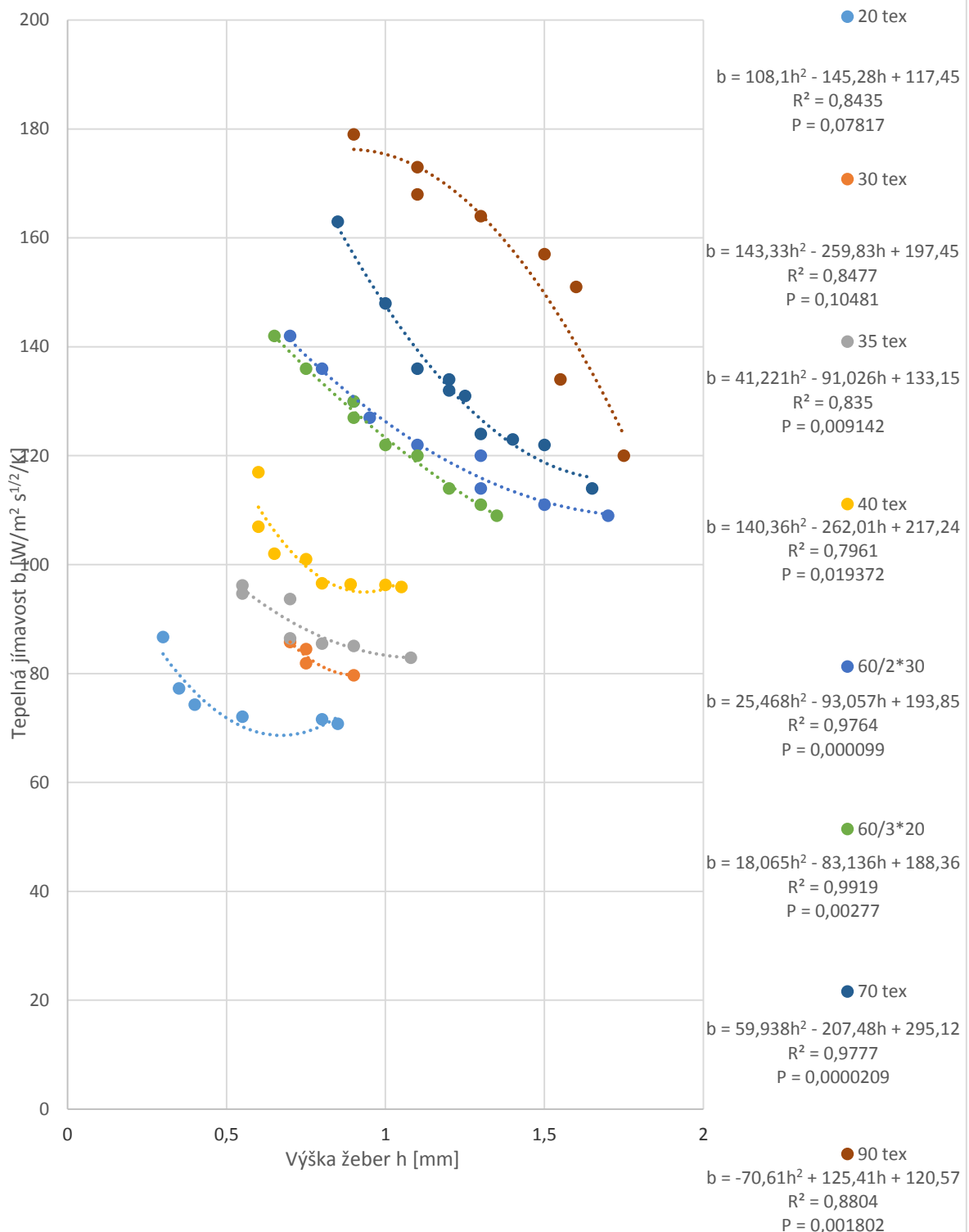


Tepelná jímavost b lícní strany všech úpletů,  
vliv výšky žebër (0,3-1,75 mm)



Graf 19: Tepelná jímavost na lícní straně všech úpletů, ovlivněná přibýváním výšky žebër pleteniny u jednotlivých jemnostních skupin.

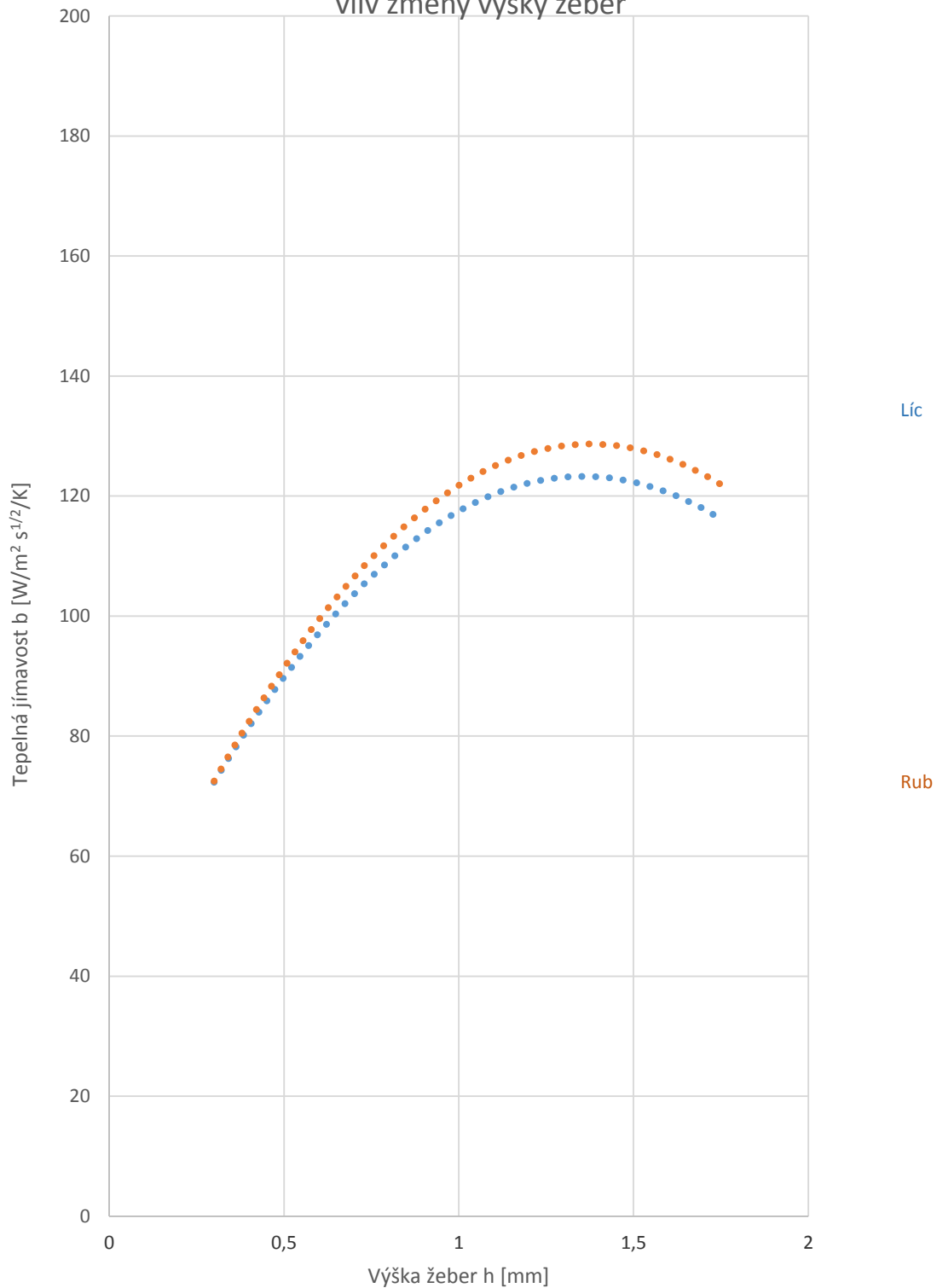
Tepelná jímavost b rubní strany všech úpletů,  
vliv výšky žeber (0,3-1,75 mm)



Graf 20: Tepelná jímavost na rubní straně všech úpletů, ovlivněná přibýváním výšky žeber pleteniny u jednotlivých jemnostních skupin.

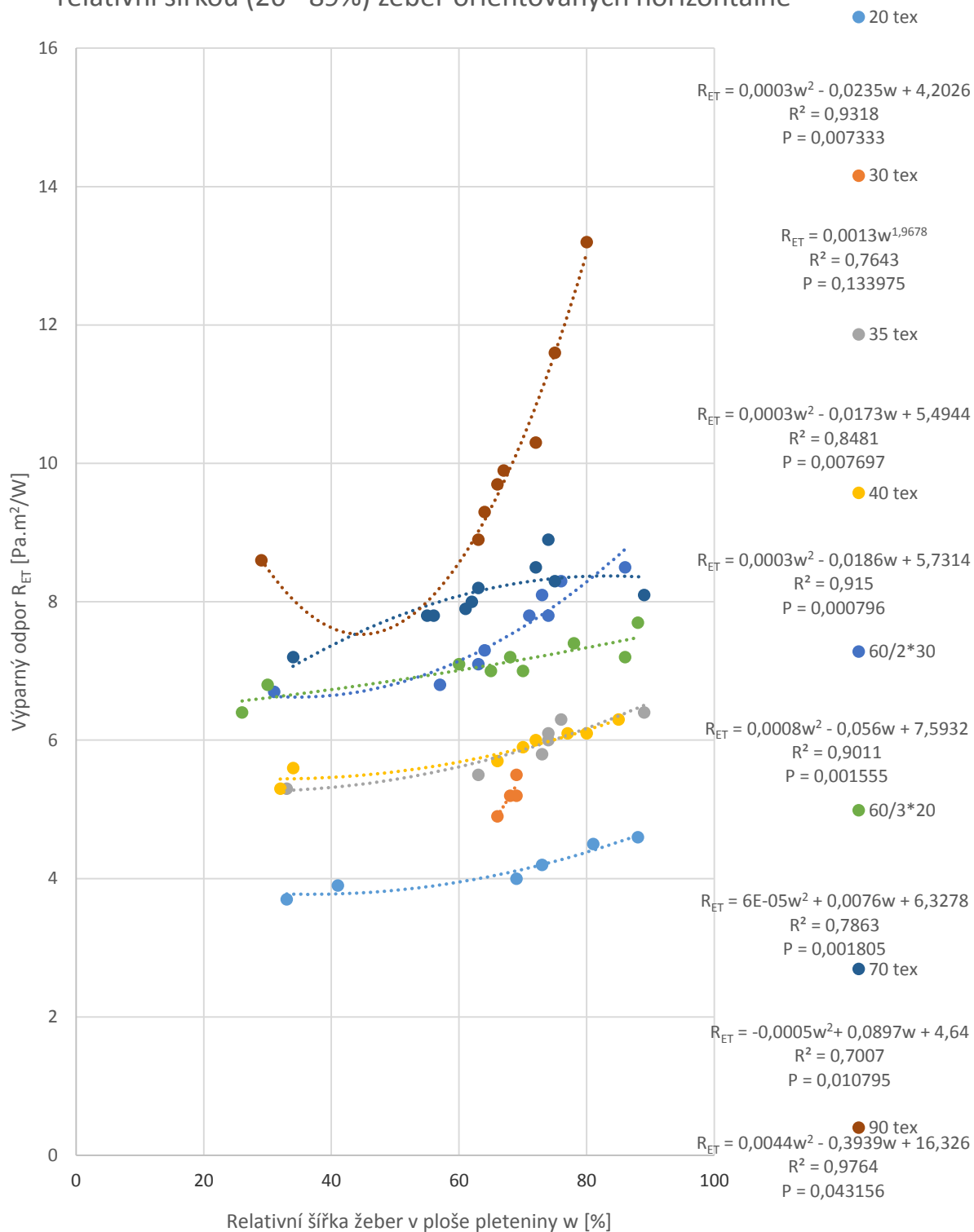


Tepelná jímavost b všech úpletů,  
srovnání rubní a lící strany,  
vliv změny výšky žeber



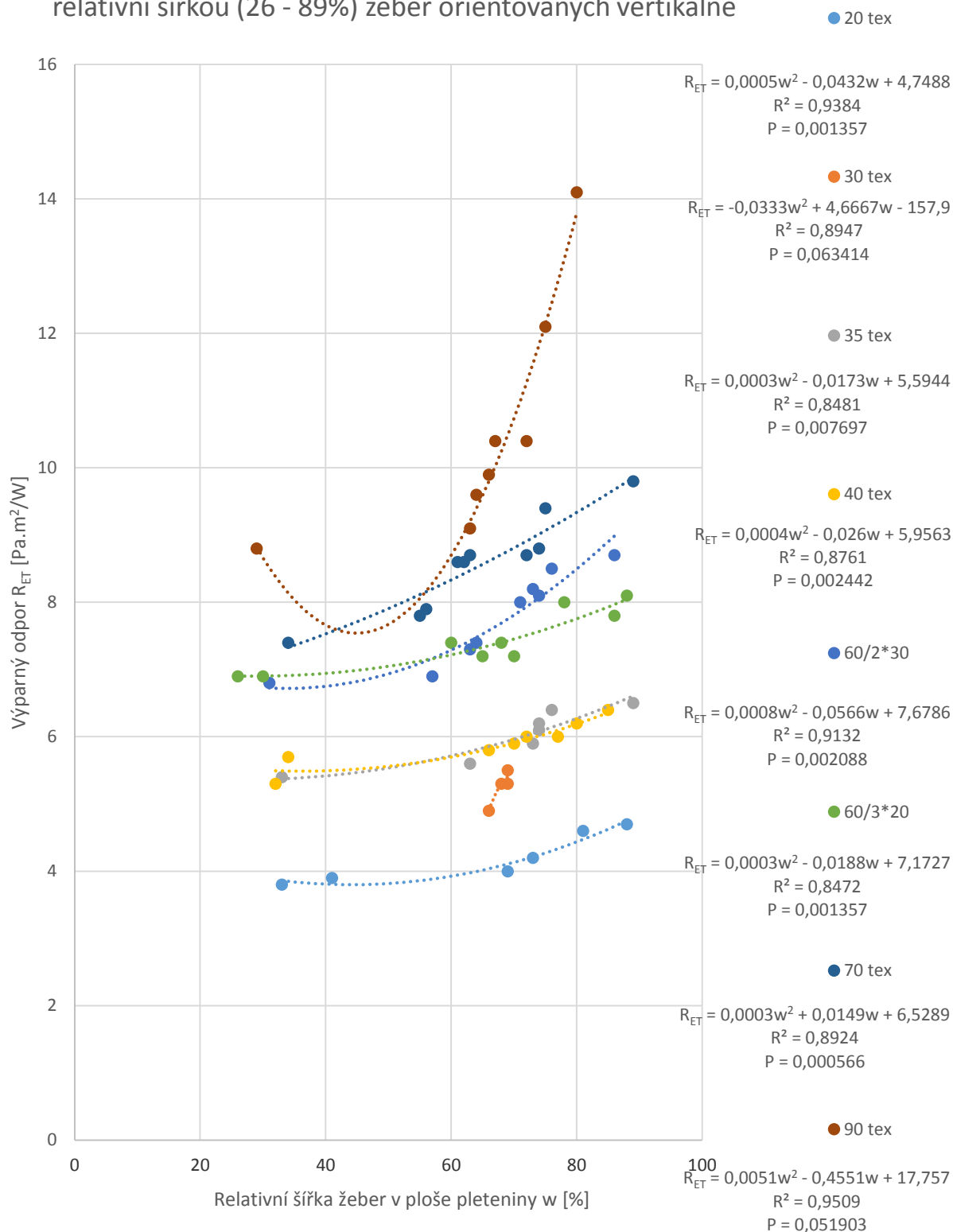
Graf 21: Tepelná jímavost ovlivněná změnou výšky žeber. Srovnání trendu chování rubu a líce všech úpletů.

Výparný odpor  $R_{ET}$  na lící straně všech úpletů ovlivněný relativní šířkou (26 - 89%) žeber orientovaných horizontálně



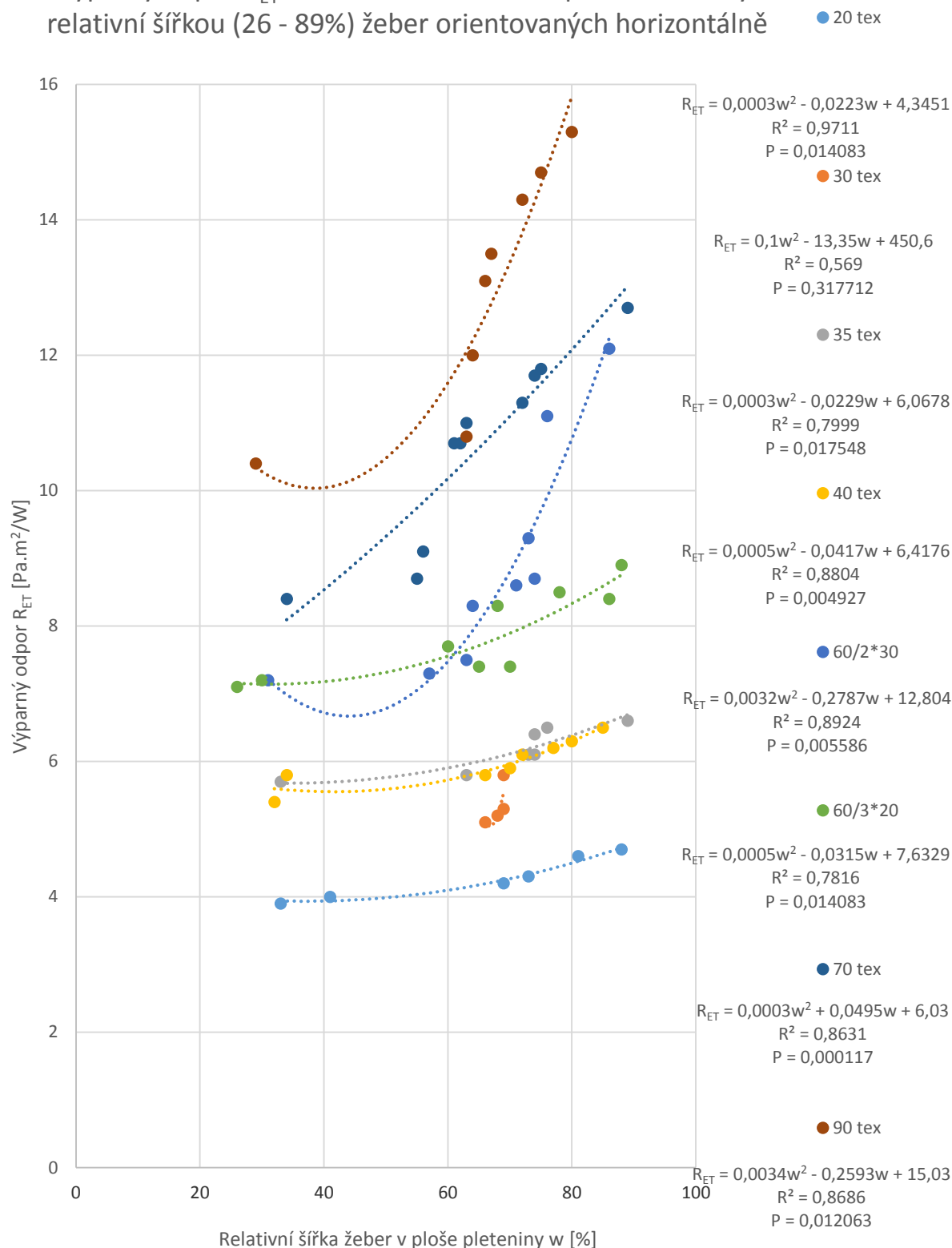
Graf 22: Výparný odpor lící strany všech úpletů dle jemnostních skupin ovlivněný přibýváním relativní šířky žeber vztažené k celkové ploše pleteniny, orientované horizontálně vůči směru proudění.

Výparný odpor  $R_{ET}$  na lící straně všech úpletů ovlivněný relativní šířkou (26 - 89%) žebor orientovaných vertikálně



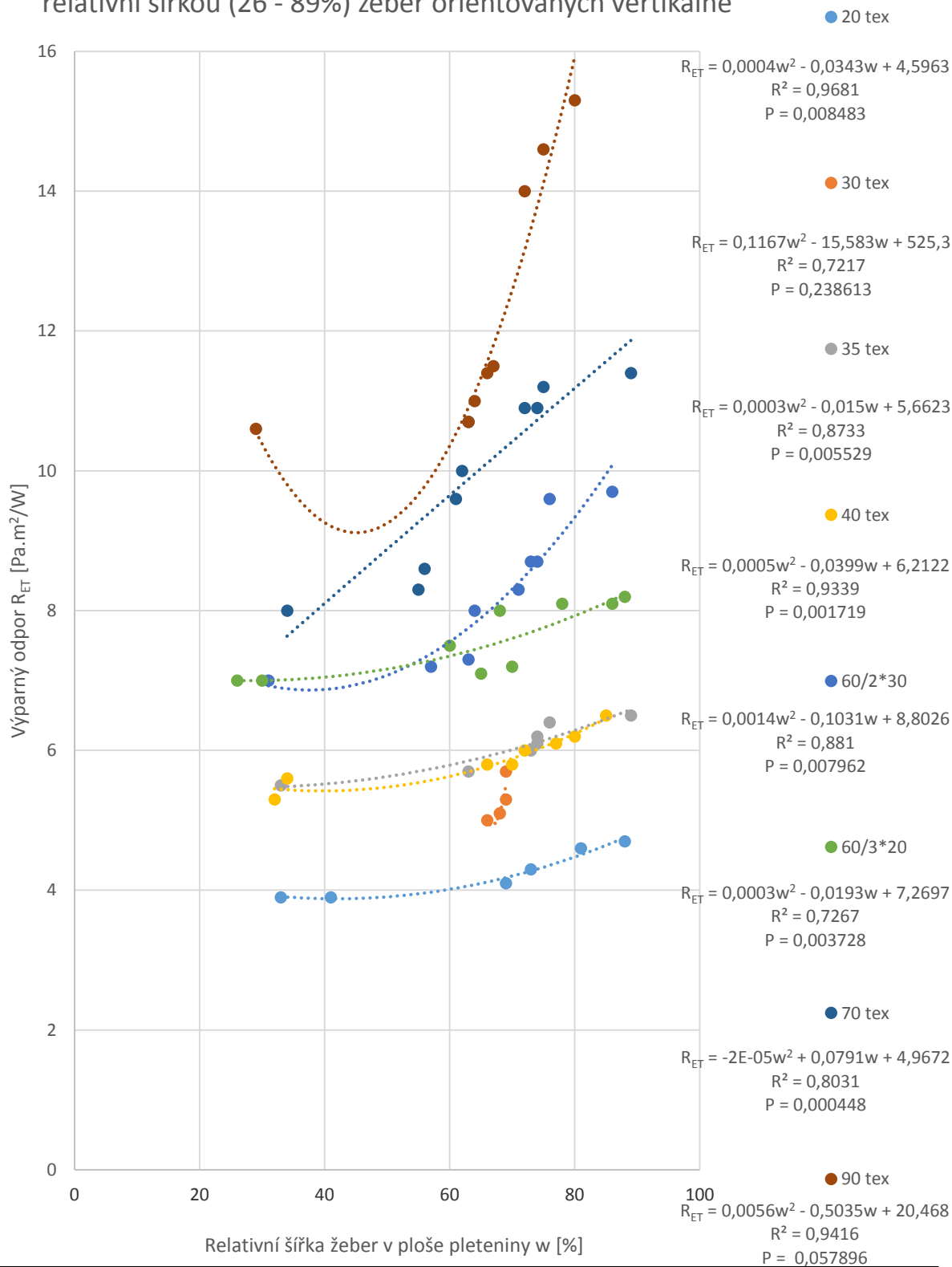
Graf 23: Výparný odpor strany všech úpletů dle jemnostních skupin ovlivněný přibýváním relativní šířky žebor vztahené k celkové ploše pleteniny, orientované vertikálně vůči směru proudění.

Výparný odpor  $R_{ET}$  na rubní straně všech úpletů ovlivněný relativní šířkou (26 - 89%) žebér orientovaných horizontálně



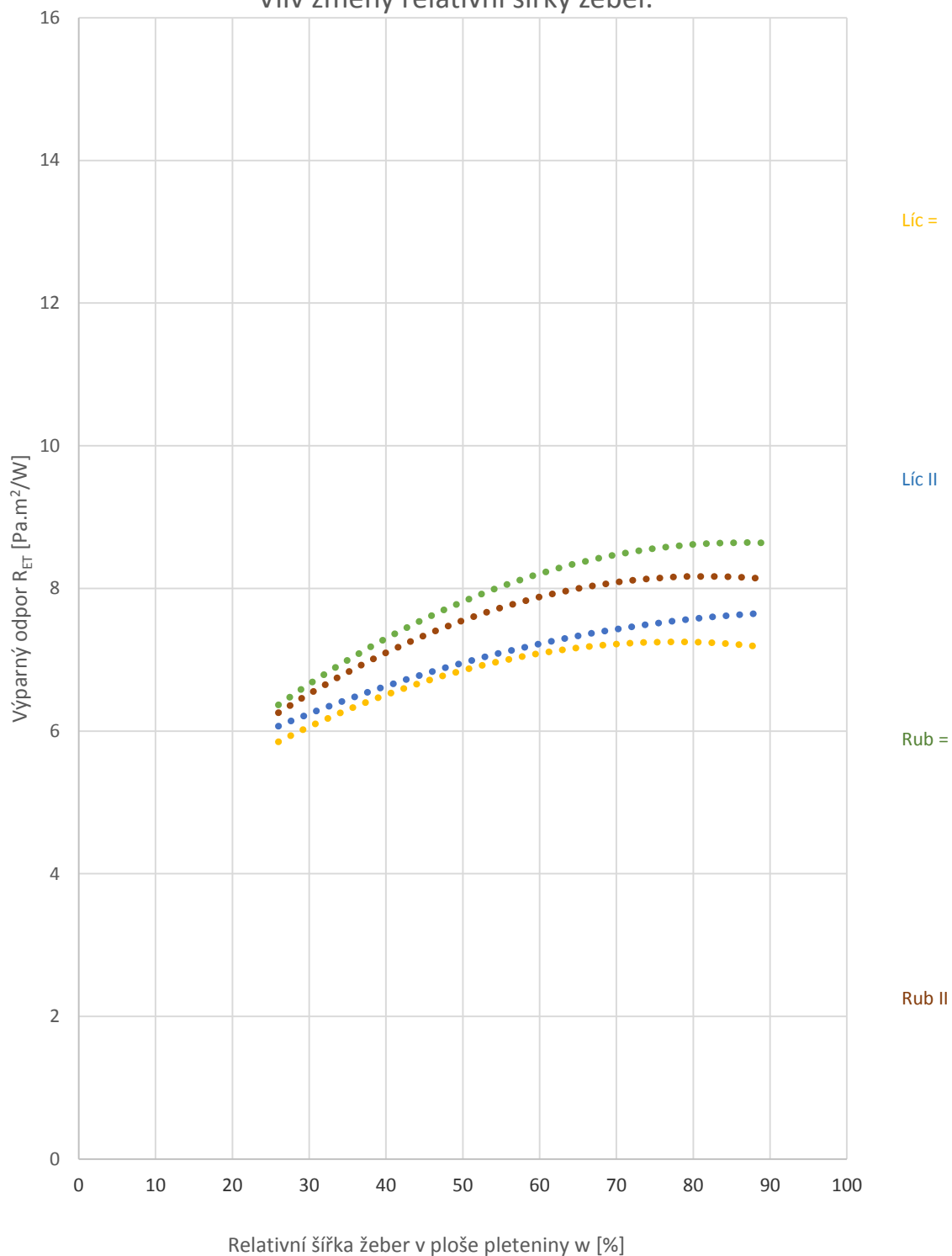
Graf 24: Výparný odpor rubní strany všech úpletů dle jemnostních skupin ovlivněný přibýváním relativní šířky žebér vztahované k celkové ploše pleteniny, orientované horizontálně vůči směru proudění.

Výparný odpor  $R_{ET}$  na rubní straně všech úpletů ovlivněný relativní šířkou (26 - 89%) žeber orientovaných vertikálně



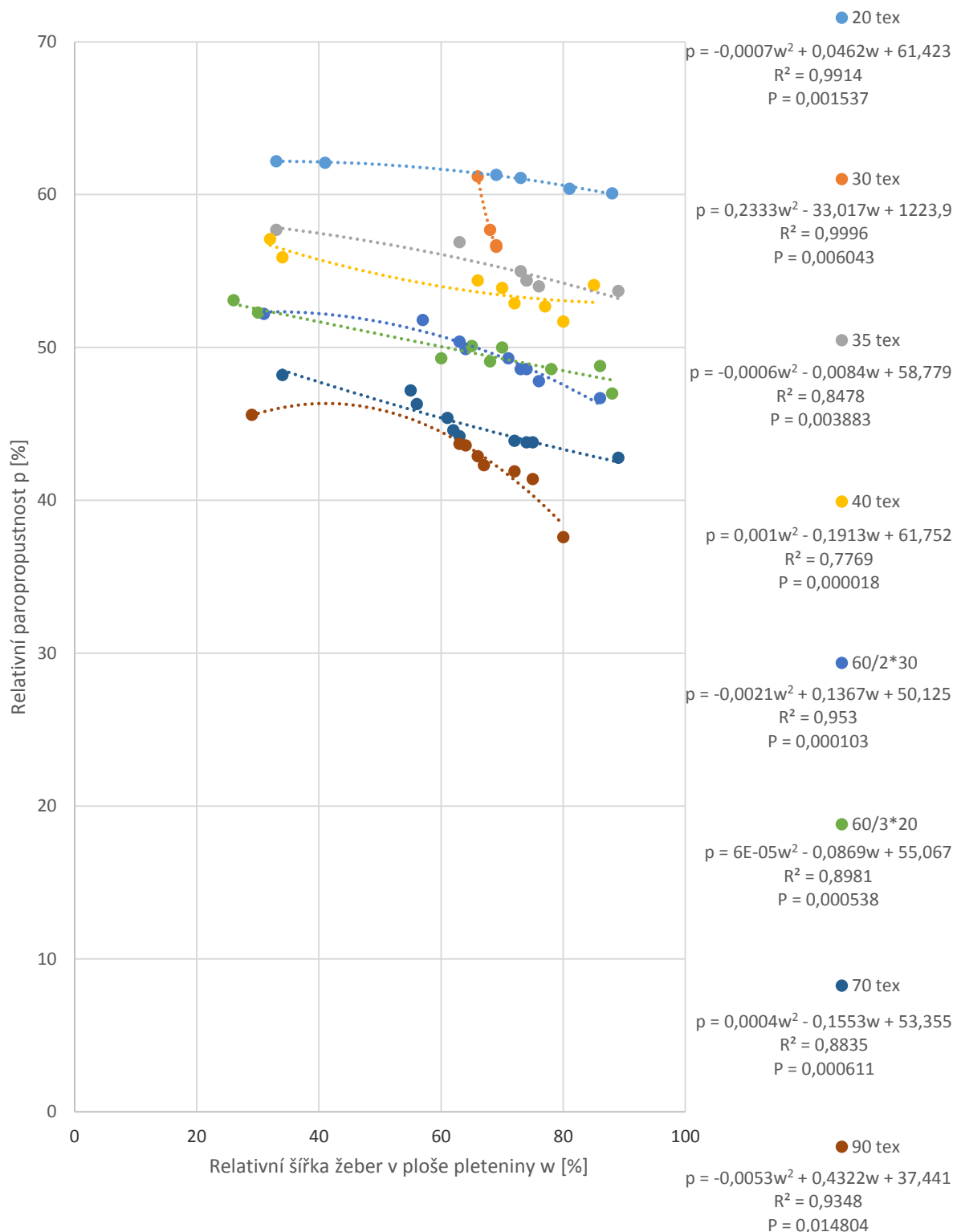
Graf 25: Výparný odpor rubní strany všech úpletů dle jemnostních skupin ovlivněný přibýváním relativní šířky žeber vztahované k celkové ploše pleteniny, orientované vertikálně vůči směru proudění.

Výparný odpor pleteniny  $R_{ET}$ . Srovnání chování lícních  
a rubních stran všech úpletů  
orientovaných horizontálně a vertikálně.  
Vliv změny relativní šířky žebor.

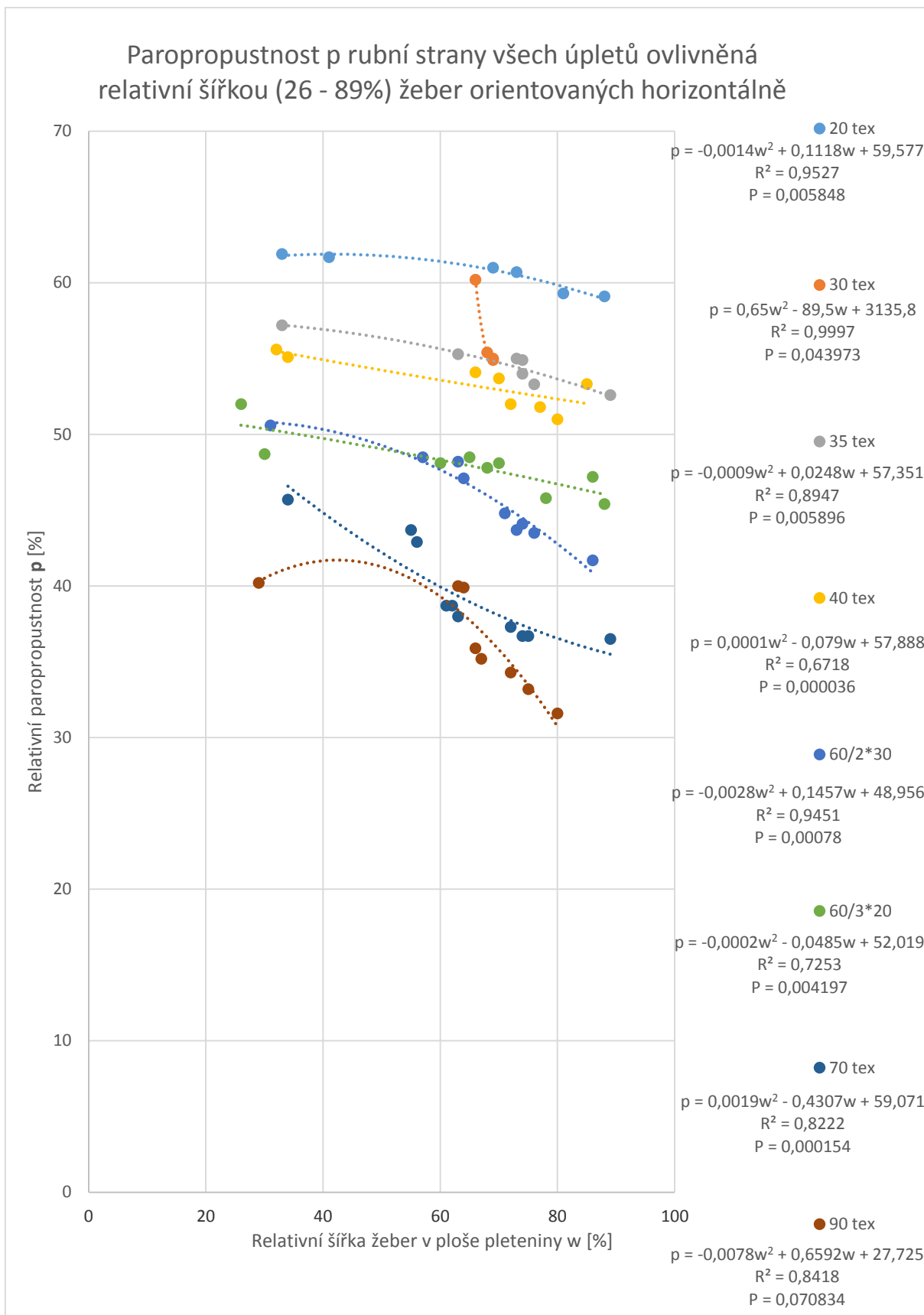


Graf 26: Výparný odpor na lící i rubní straně všech úpletů ovlivněný přibýváním relativní šířky žebor orientovaných vertikálně i horizontálně vůči směru proudění. Srovnání trendů chování.

Paropropustnost p na lící straně všech úpletů, ovlivněná relativní šířkou (26 - 89%) žebor orientovaných horizontálně

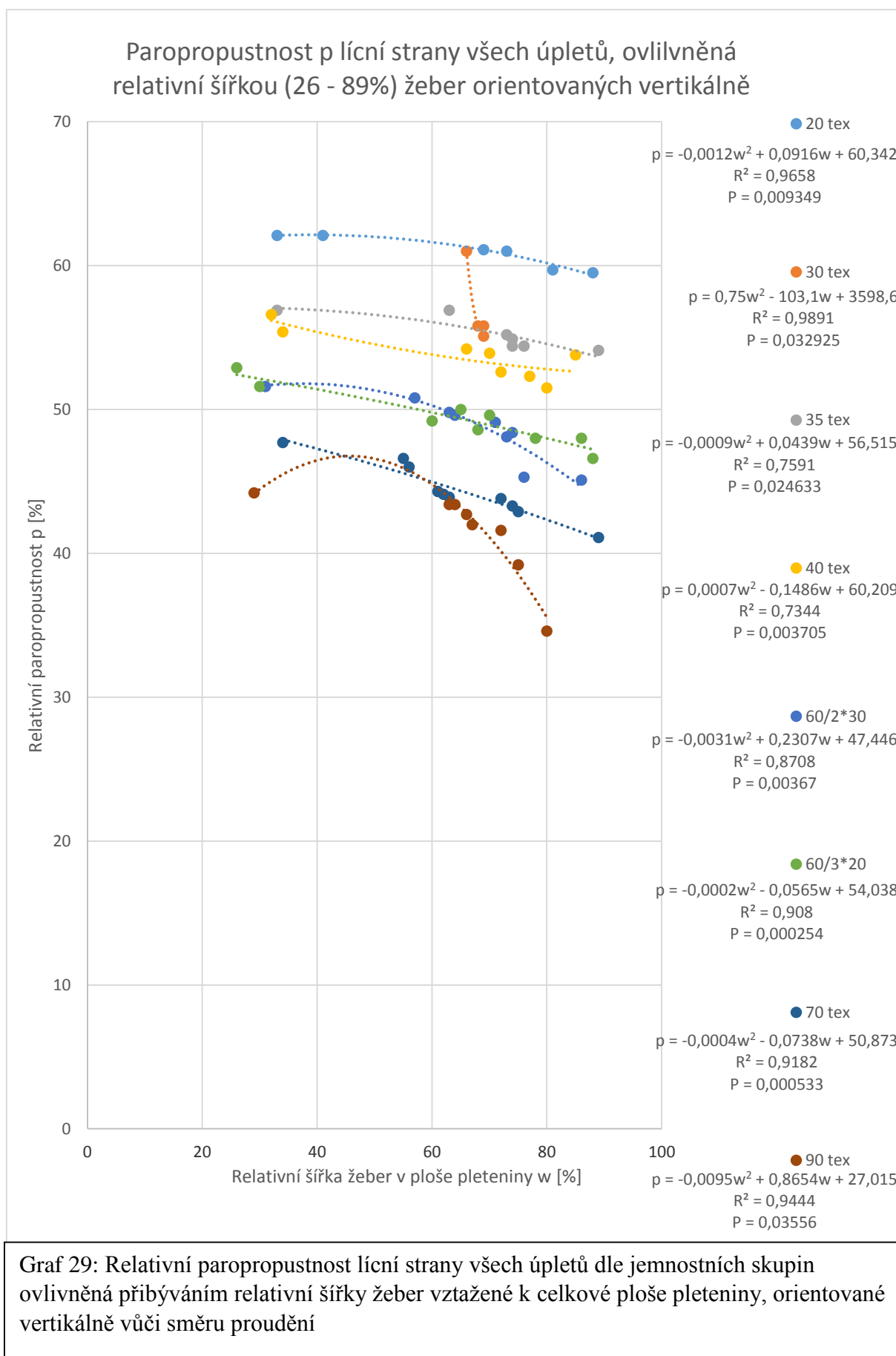


Graf 27: Relativní paropropustnost lící strany všech úpletů dle jemnostních skupin ovlivněná přibýváním relativní šířky žebor vtažené k celkové ploše pleteniny, orientované horizontálně vůči směru proudění.

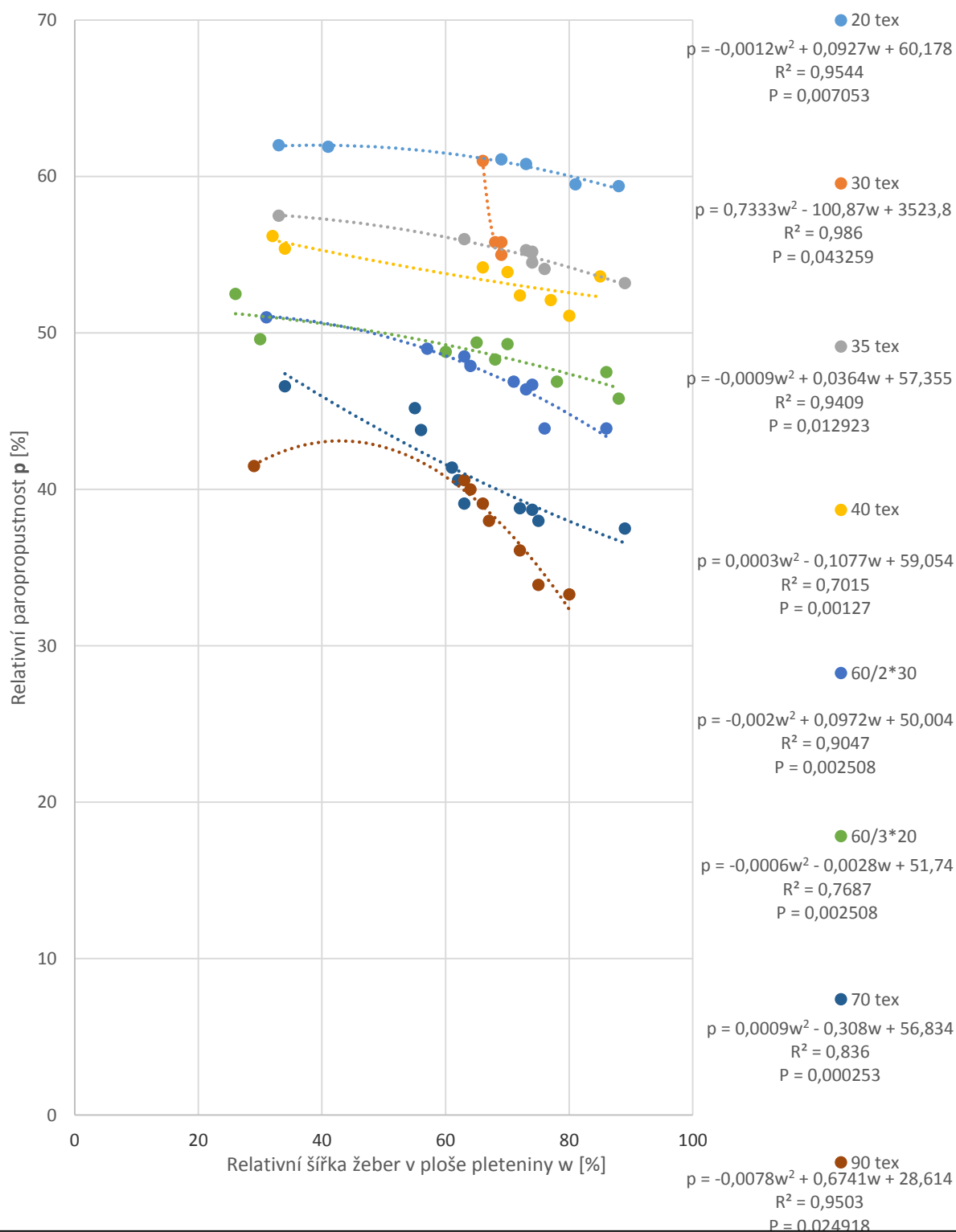


Graf 28: Relativní paropropustnost rubní strany všech úpletů dle jemnostních skupin ovlivněná přibýváním relativní šířky žeber vztažené k celkové ploše pleteniny, orientované horizontálně vůči směru proudění



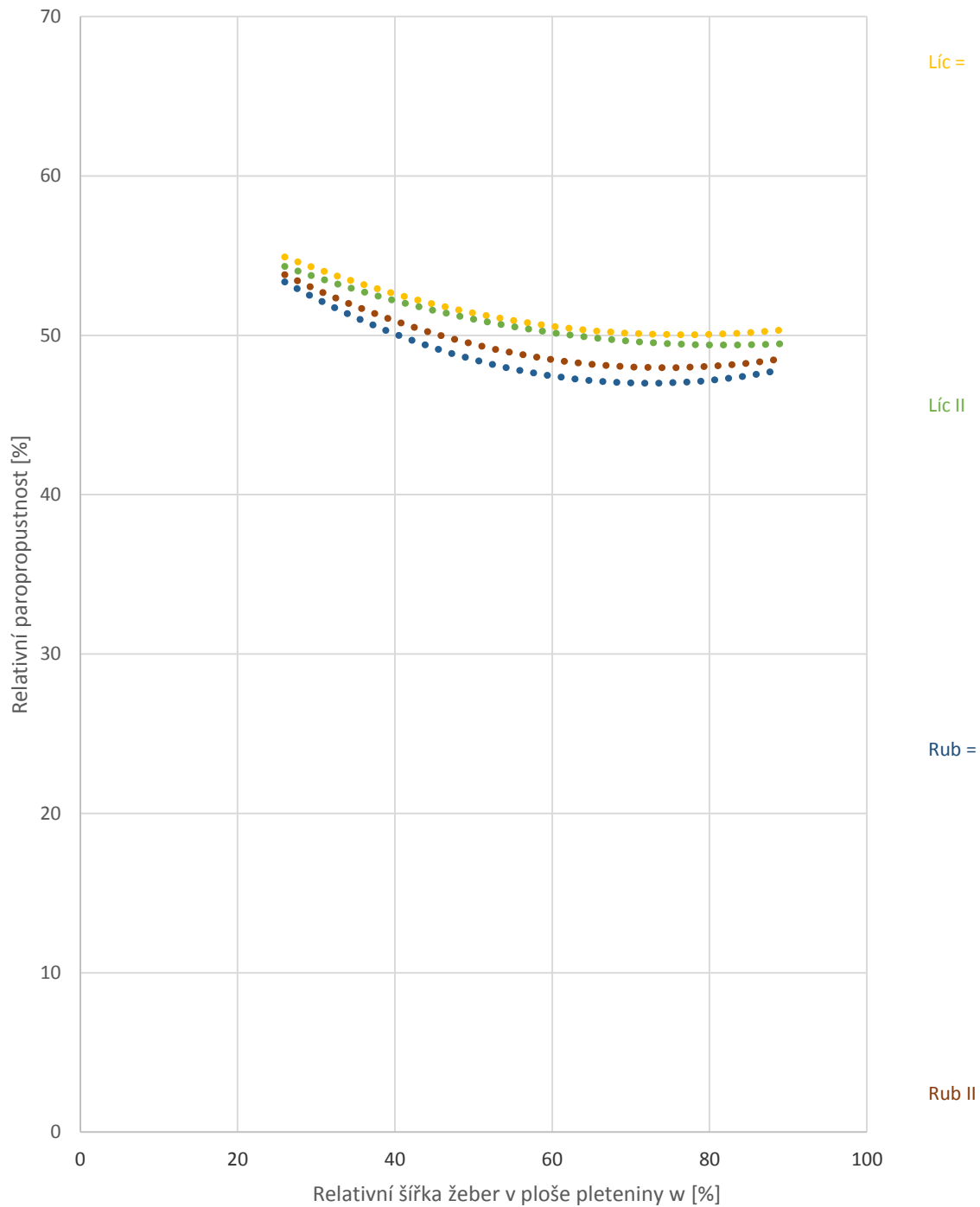


Paropropustnost p rubní strany všech úpletů, ovlivněná relativní šířkou (26 - 89%) žebér orientovaných vertikálně



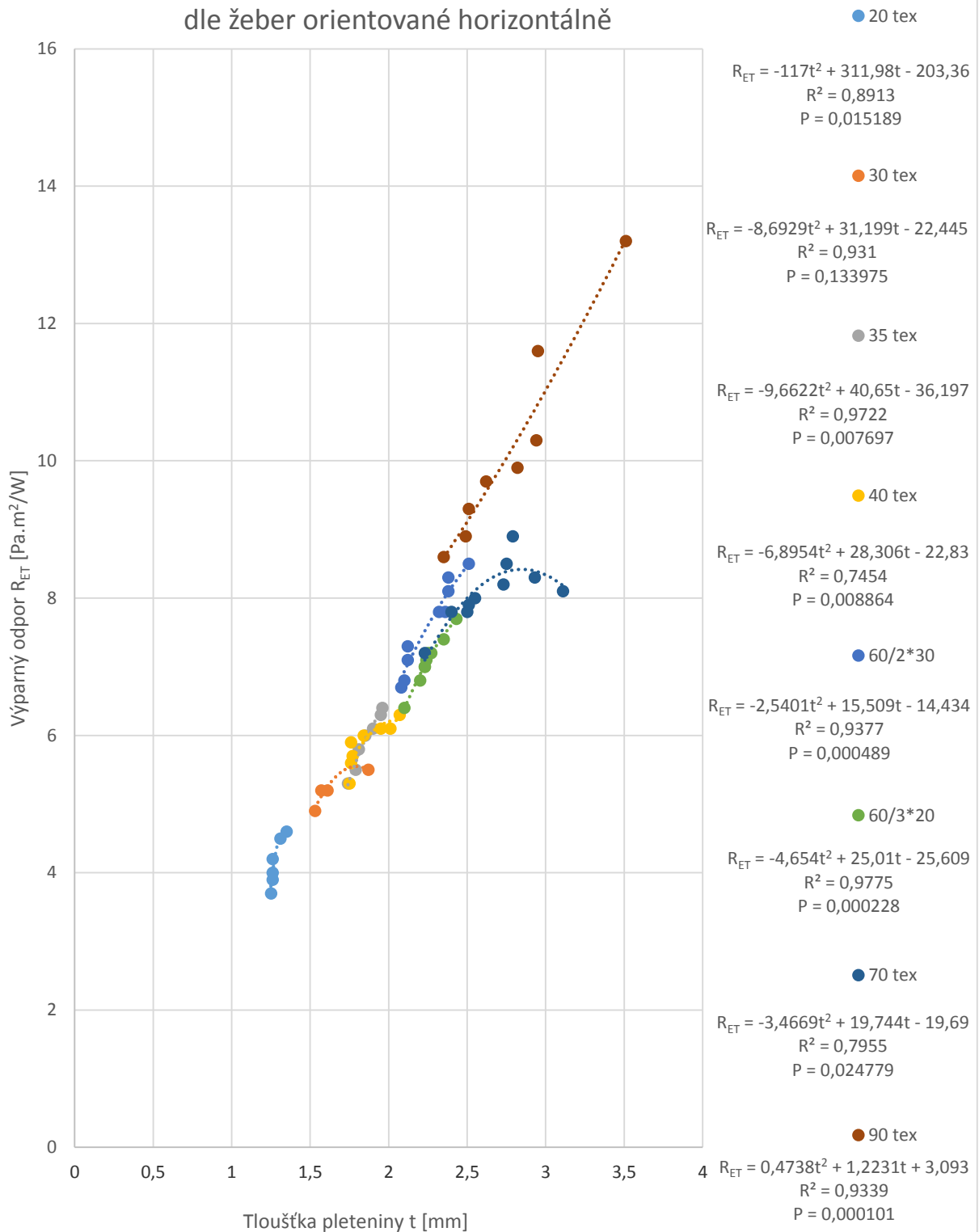
Graf 30: Relativní paropropustnost rubní strany všech úpletů dle jemnostních skupin ovlivněná přibýváním relativní šířky žebér vztažené k celkové ploše pleteniny, orientované vertikálně vůči směru proudění

Relativní paropropustnost, srovnání chování lícních a rubní stran všech úpletů orientovaných horizontálně i vertikálně, vliv změny relativní šířky žebel

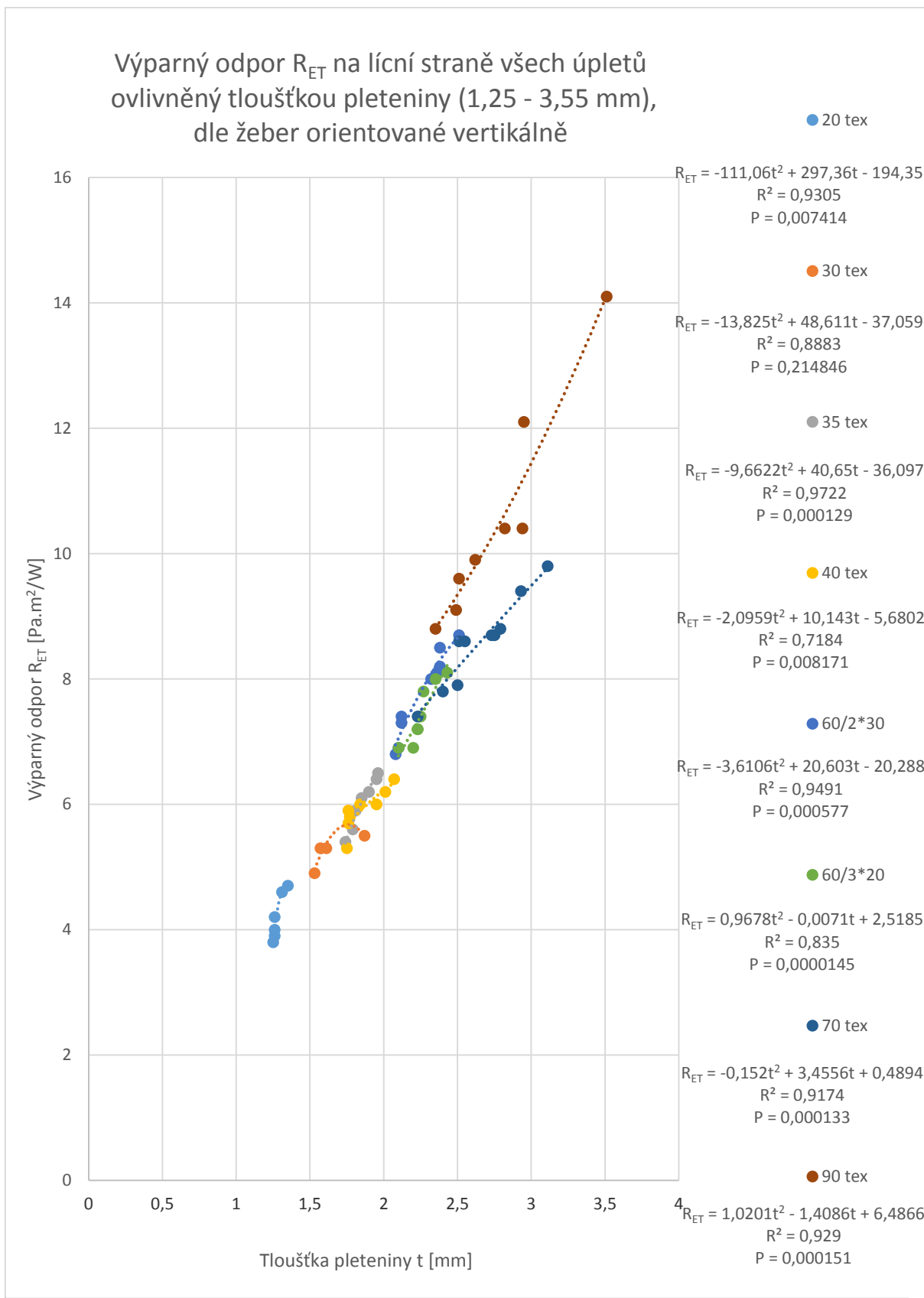


Graf 31: Relativní paropropustnost na lícní i rubní straně všech úpletů ovlivněná přibýváním relativní šířky žebel orientovaných vertikálně i horizontálně vůči směru proudění. Srovnání trendů chování.

Výparný odpor  $R_{ET}$  na lící straně všech úpletů  
ovlivněný tloušťkou pleteniny (1,25 - 3,55 mm),  
dle žebër orientované horizontálně

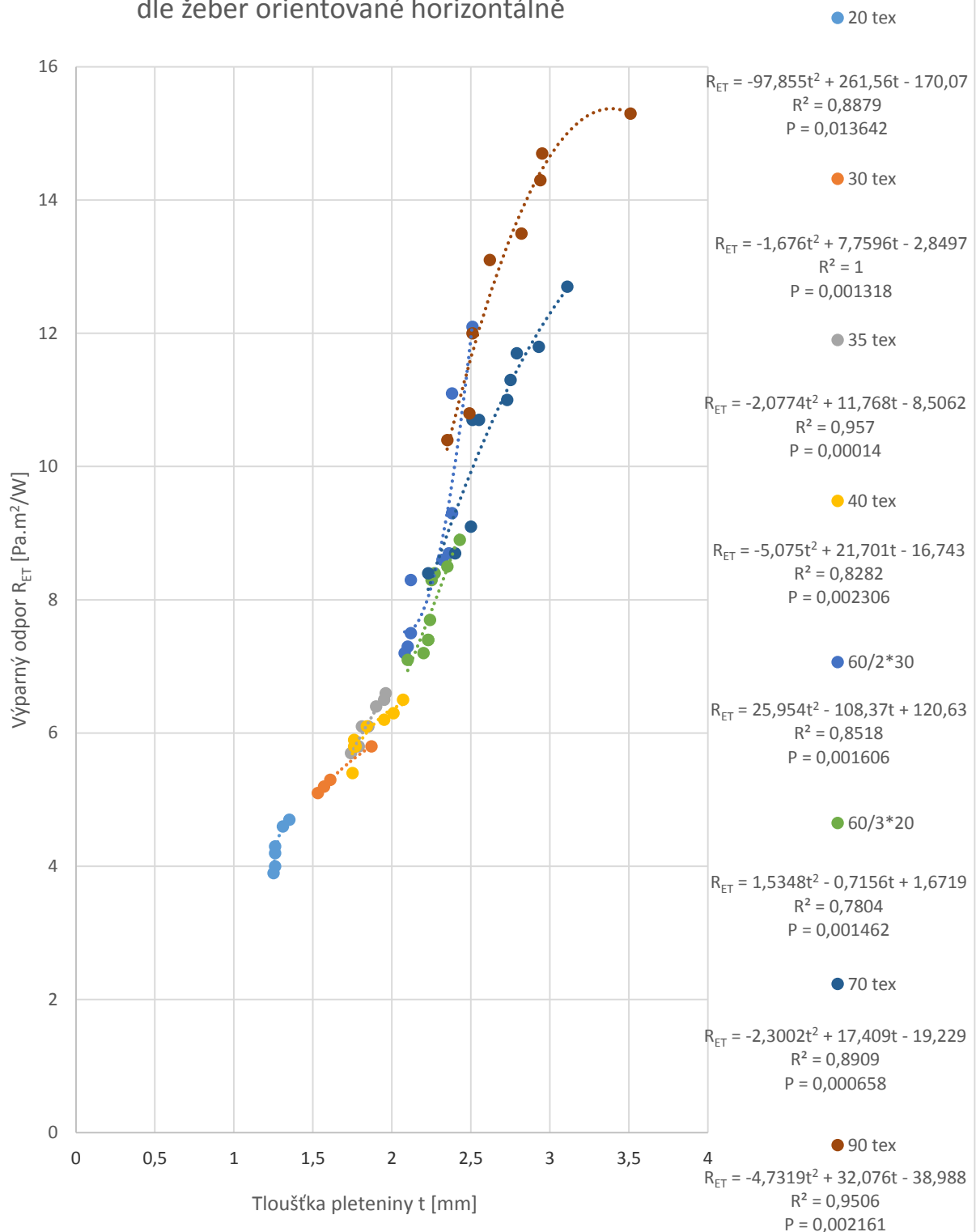


Graf 32: Výparný odpor lící strany všech úpletů podle přibývající tloušťky textilie orientované vertikálně vůči směru proudění.



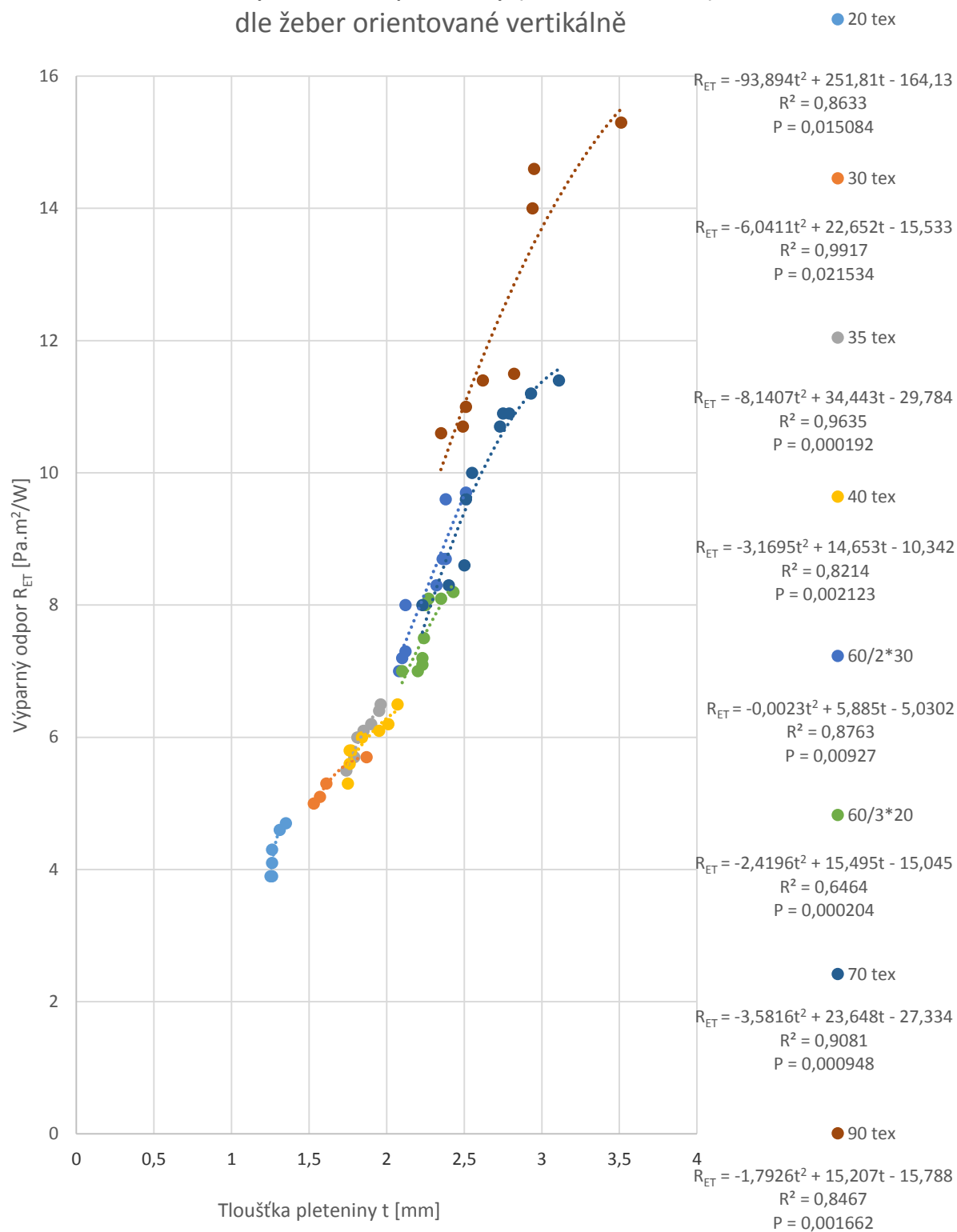
Graf 33: Výparný odpor lící strany všech úpletů podle přibývající tloušťky pleteniny orientované vertikálně

Výparný odpor  $R_{ET}$  na rubní straně všech úpletů  
ovlivněný tloušťkou pleteniny (1,25 - 3,55 mm)  
dle žebér orientované horizontálně



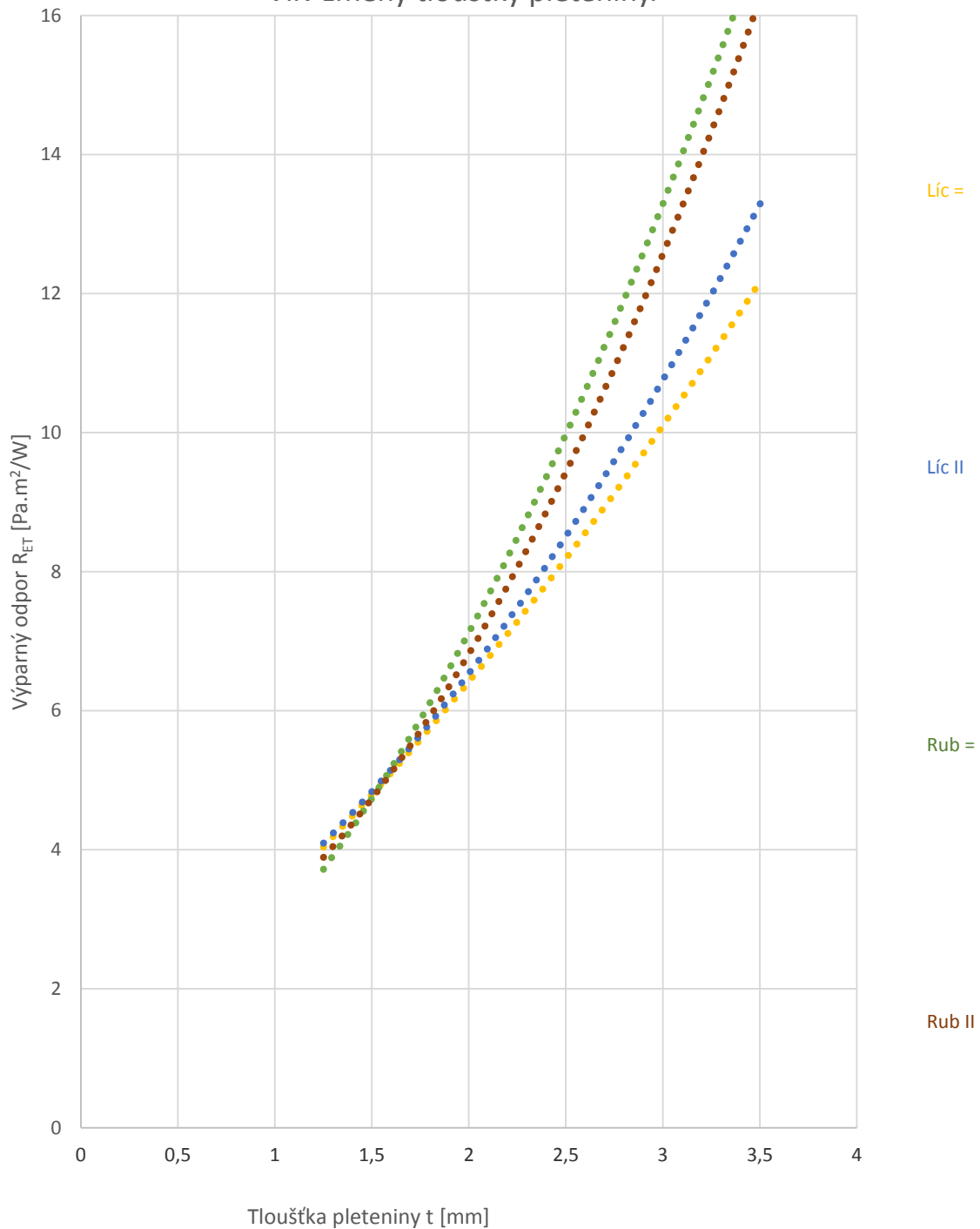
Graf 34: Výparný odpor rubní strany všech úpletů podle přibývající tloušťky pleteniny orientované horizontálně vůči směru proudění.

Výparný odpor  $R_{ET}$  na rubní straně všech úpletů  
ovlivněný tloušťkou pleteniny (1,25 - 3,55 mm)  
dle žebër orientované vertikálně



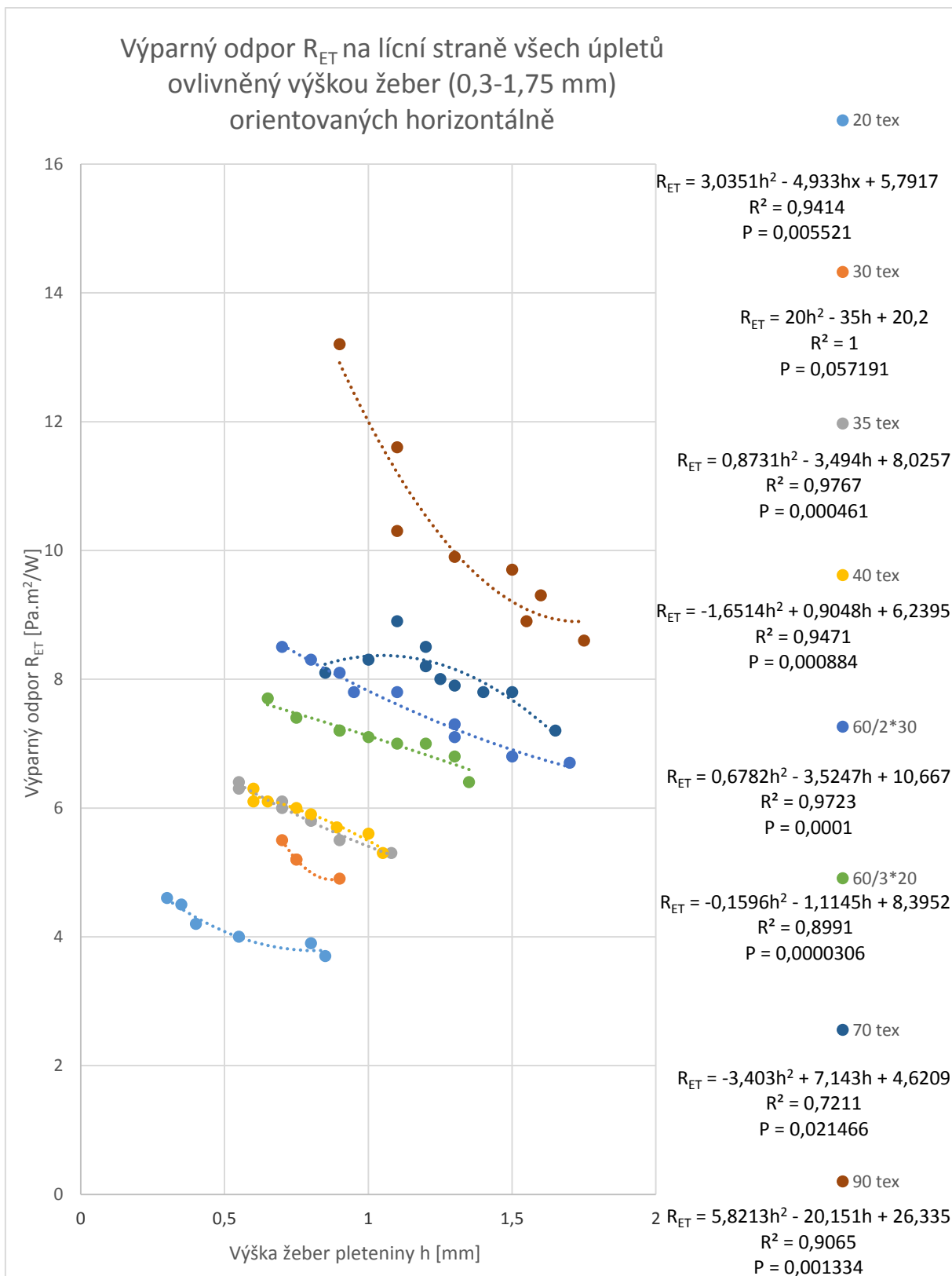
Graf 35: Výparný odpor rubní strany všech úpletů podle přibývající tloušťky pleteniny orientované vertikálně vůči směru proudění.

Výparný odpor pleteniny  $R_{ET}$ . Srovnání chování lícních  
a rubních stran všech úpletů  
orientovaných horizontálně a vertikálně.  
Vliv změny tloušťky pleteniny.



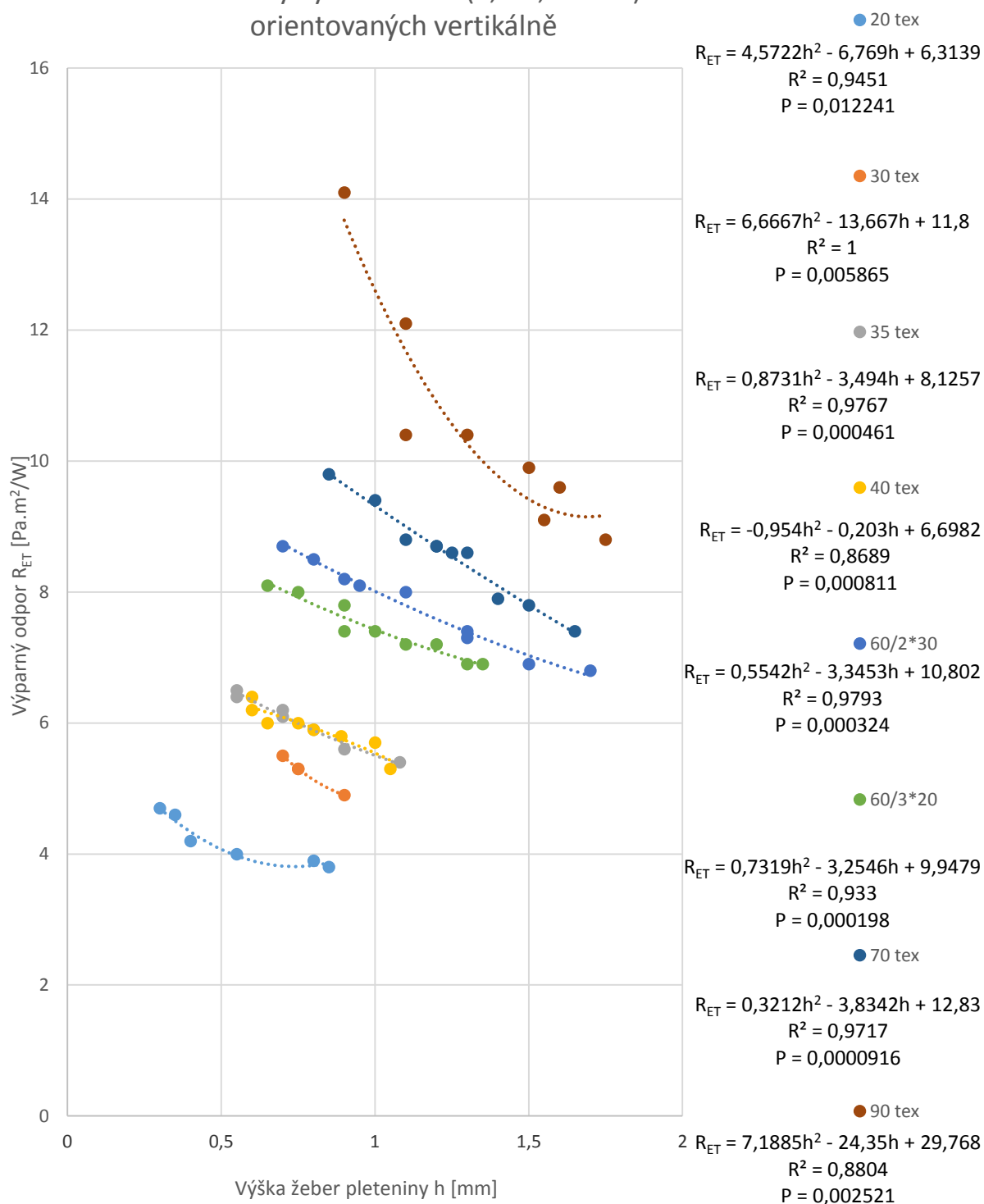
Graf 36: Výparný odpor ovlivněný přibývající tloušťkou pleteniny. Srovnání trendů chování rubní a lící strany všech úpletů orientovaných horizontálně i vertikálně vůči směru proudění.





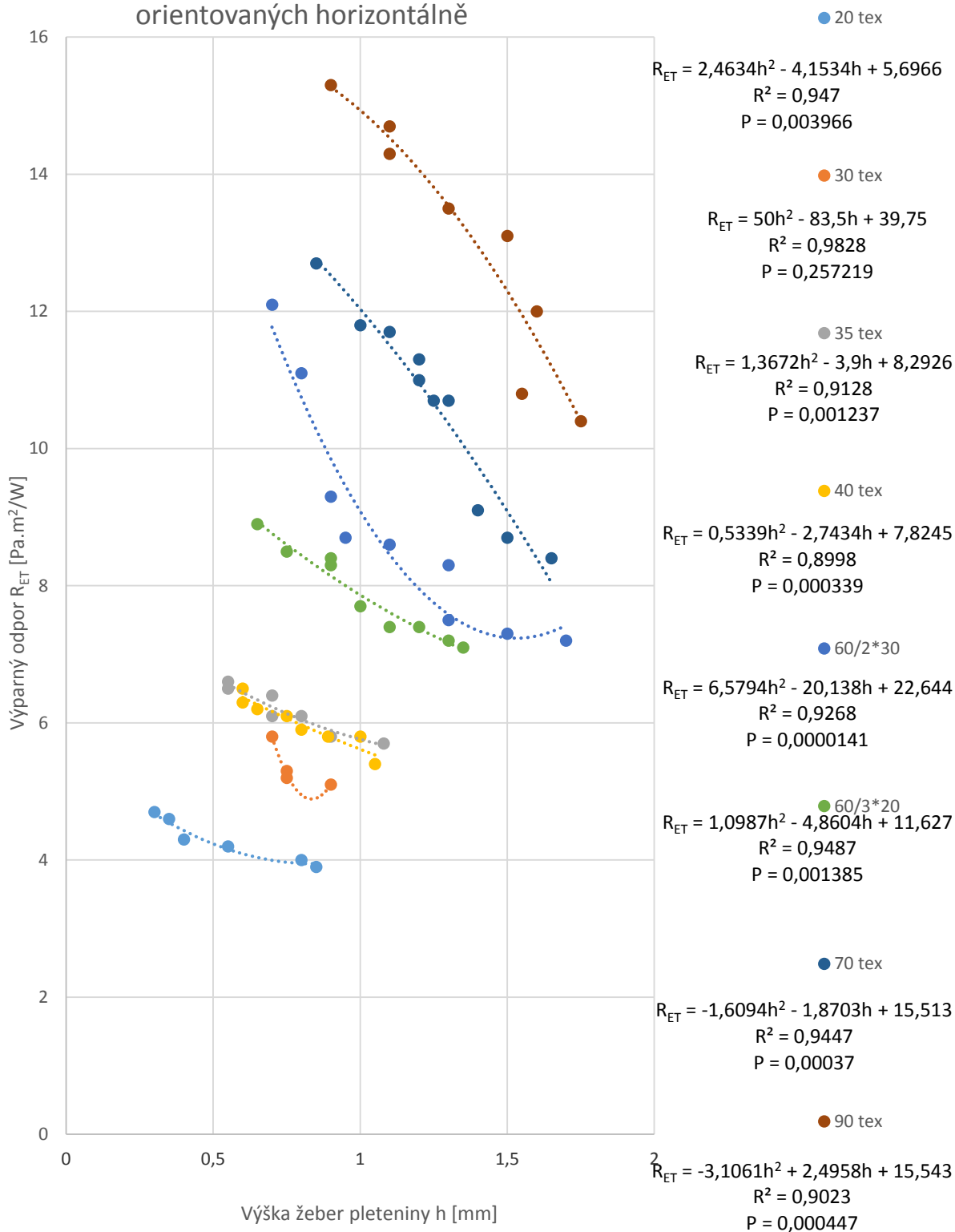
**Graf 37: Výparný odpor lící strany strany všech úpletů dle jemnostních skupin ovlivněný přibýváním výšky žebër pleteniny orientované horizontálně vůči směru proudění.**

Výparný odpor  $R_{ET}$  na lící straně všech úpletů  
ovlivněný výškou žebër (0,3-1,75 mm)  
orientovaných vertikálně

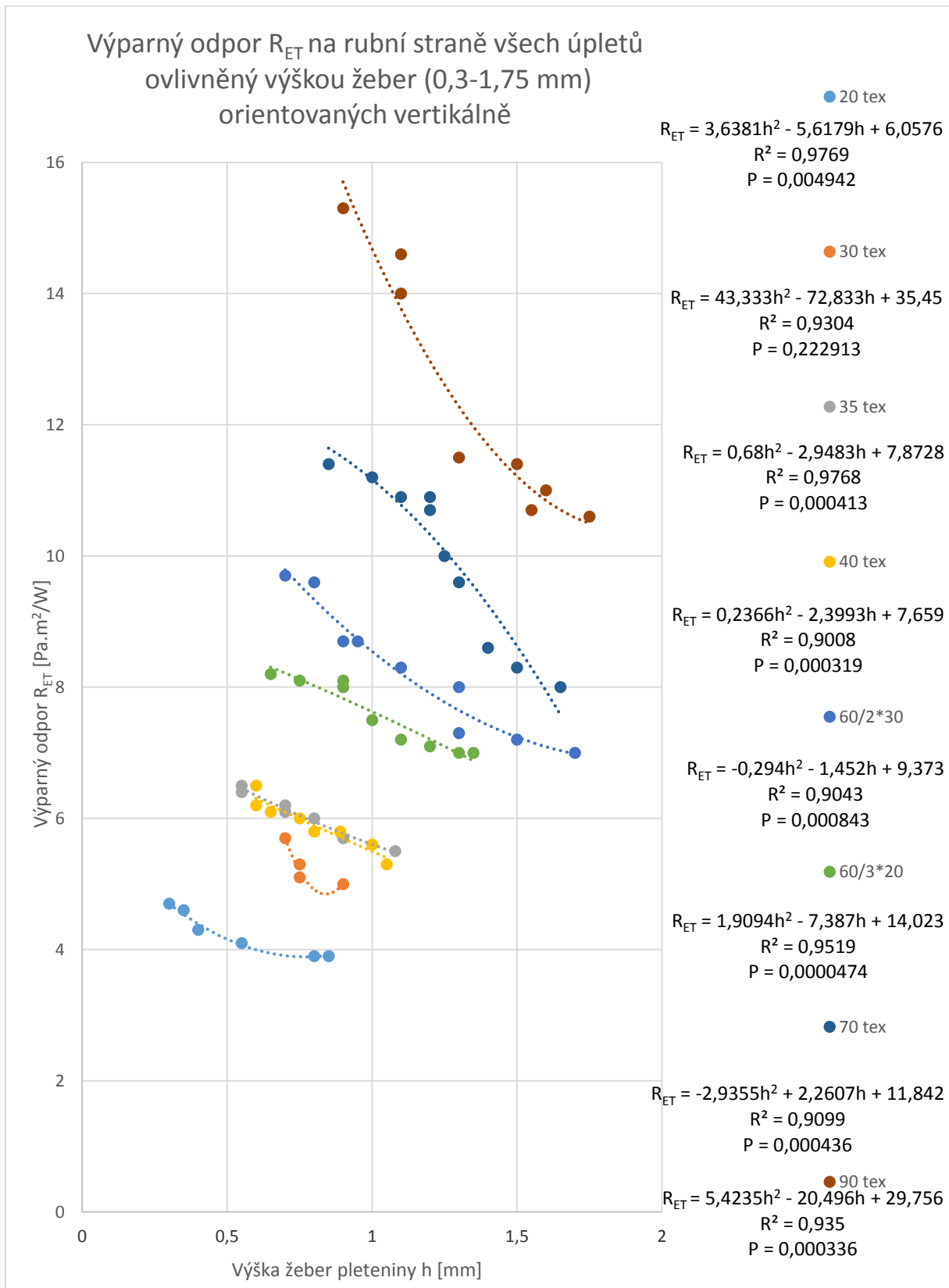


Graf 38: Výparný odpor lící strany strany všech úpletů dle jemnostních skupin ovlivněný přibýváním výšky žebër pleteniny orientované vertikálně vůči směru proudění.

Výparný odpor  $R_{ET}$  na rubní straně všech úpletů  
ovlivněný výškou žeber (0,3-1,75 mm)  
orientovaných horizontálně

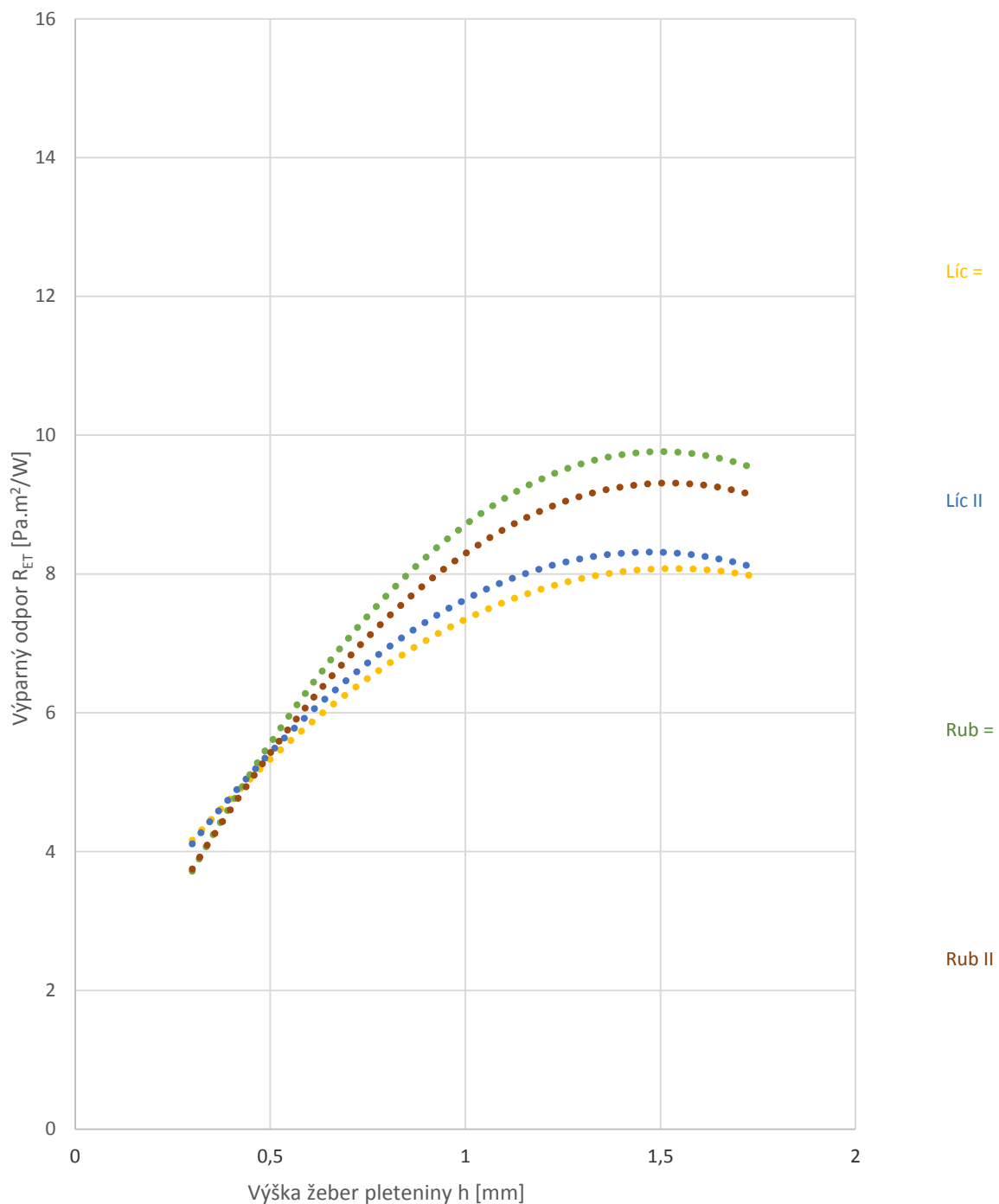


Graf 39: Výparný odpor rubní strany strany všech úpletů dle jemnostních skupin ovlivněný přibýváním výšky žeber pleteniny orientované horizontálně vůči směru proudění.



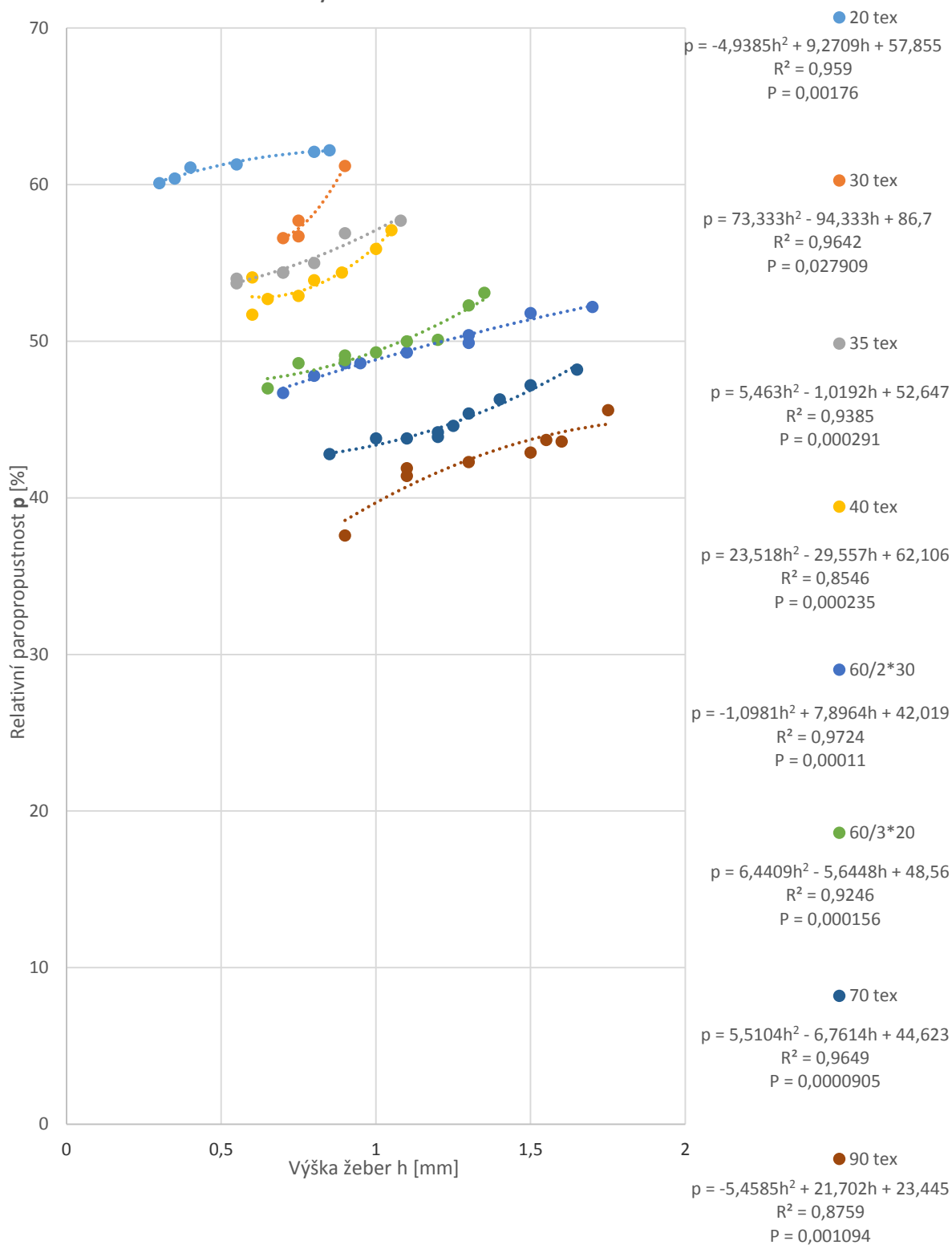
Graf 40: Výparný odpor rubní strany strany všech úpletů dle jemnostních skupin ovlivněný přibýváním výšky žeber pleteniny orientované vertikálně vůči směru proudění.

Výparný odpor pleteniny  $R_{ET}$ . Srovnání chování lícních a rubních stran všech úpletů orientovaných horizontálně a vertikálně. Vliv změny výšky žeber.

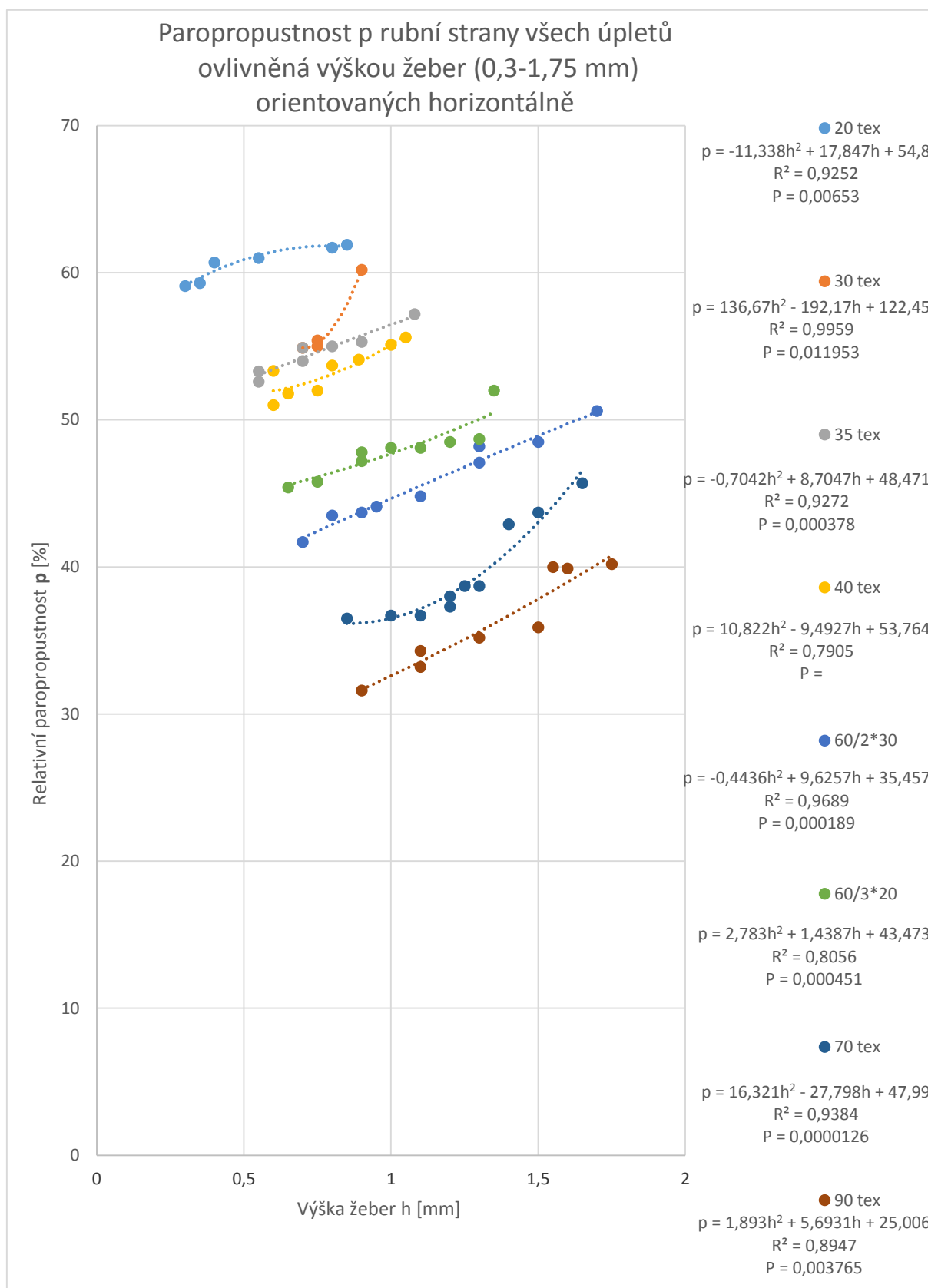


Graf 41: Výparný odpor ovlivněný přibýváním výšky žeber. Srovnání trendů chování rubu a líce všech úpletů orientovaných horizontálně i vertikálně vůči směru proudění.

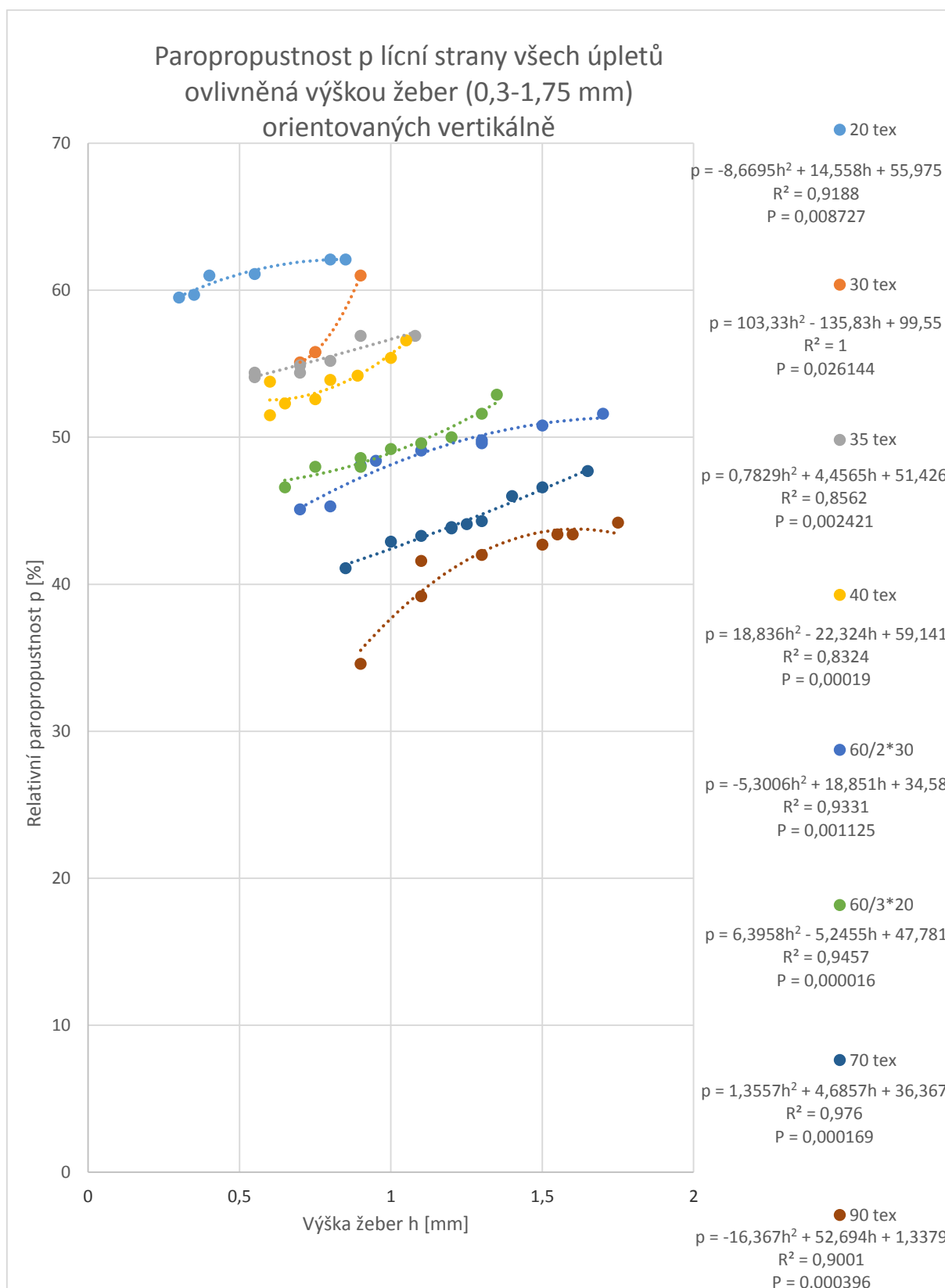
Paropropustnost p lící strany všech úpletů  
ovlivněná výškou žebér (0,3-1,75 mm)  
orientovaných horizontálně



Graf 42: Relativní paropropustnost lící strany strany všech úpletů dle jemnostních skupin ovlivněná přibýváním výšky žebér pleteniny orientované horizontálně vůči směru proudění.

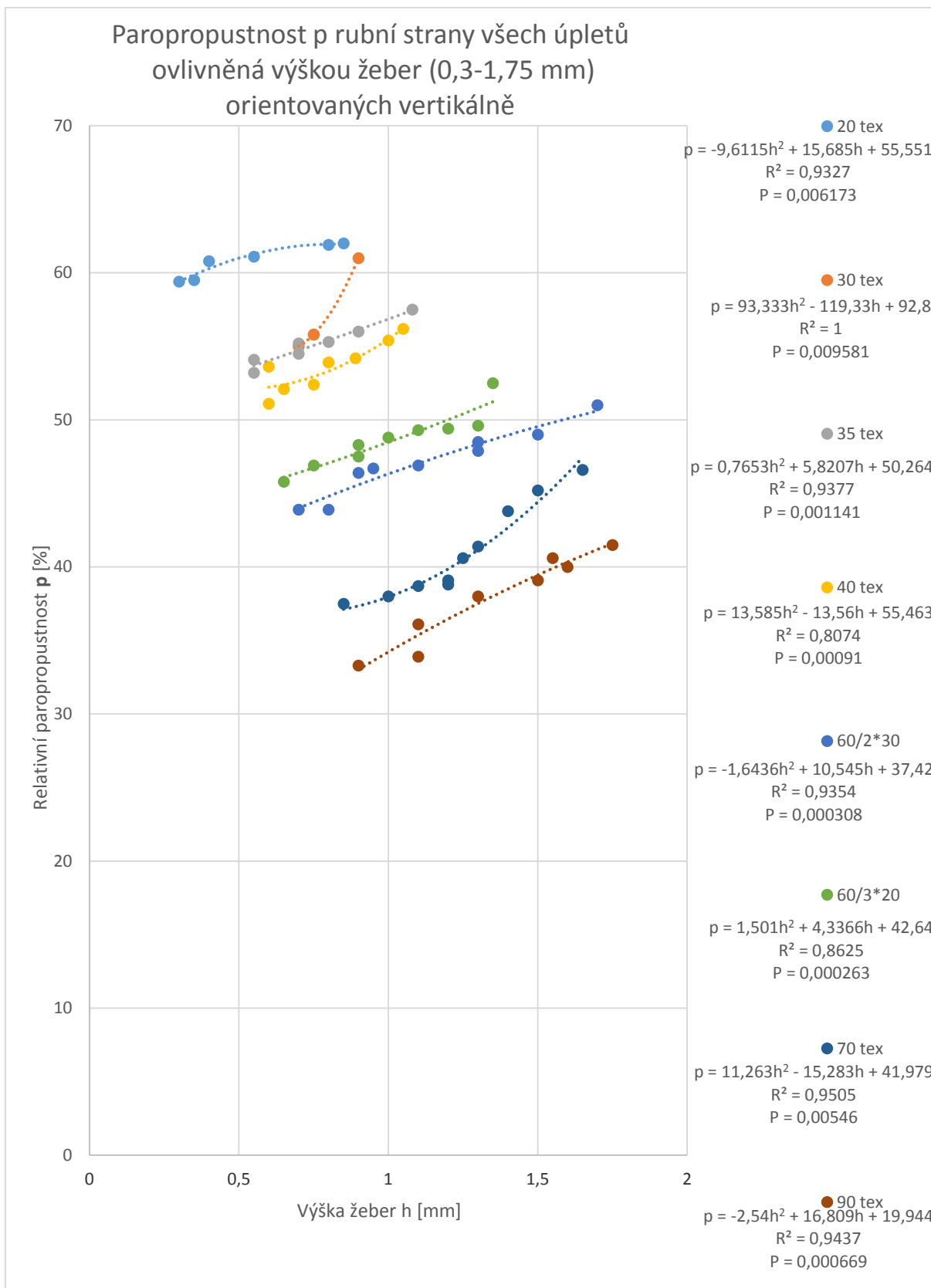


Graf 43: Relativní paropropustnost rubní strany strany všech úpletů dle jemnostních skupin ovlivněná přibýváním výšky žebér pleteniny orientované horizontálně vůči směru proudění.



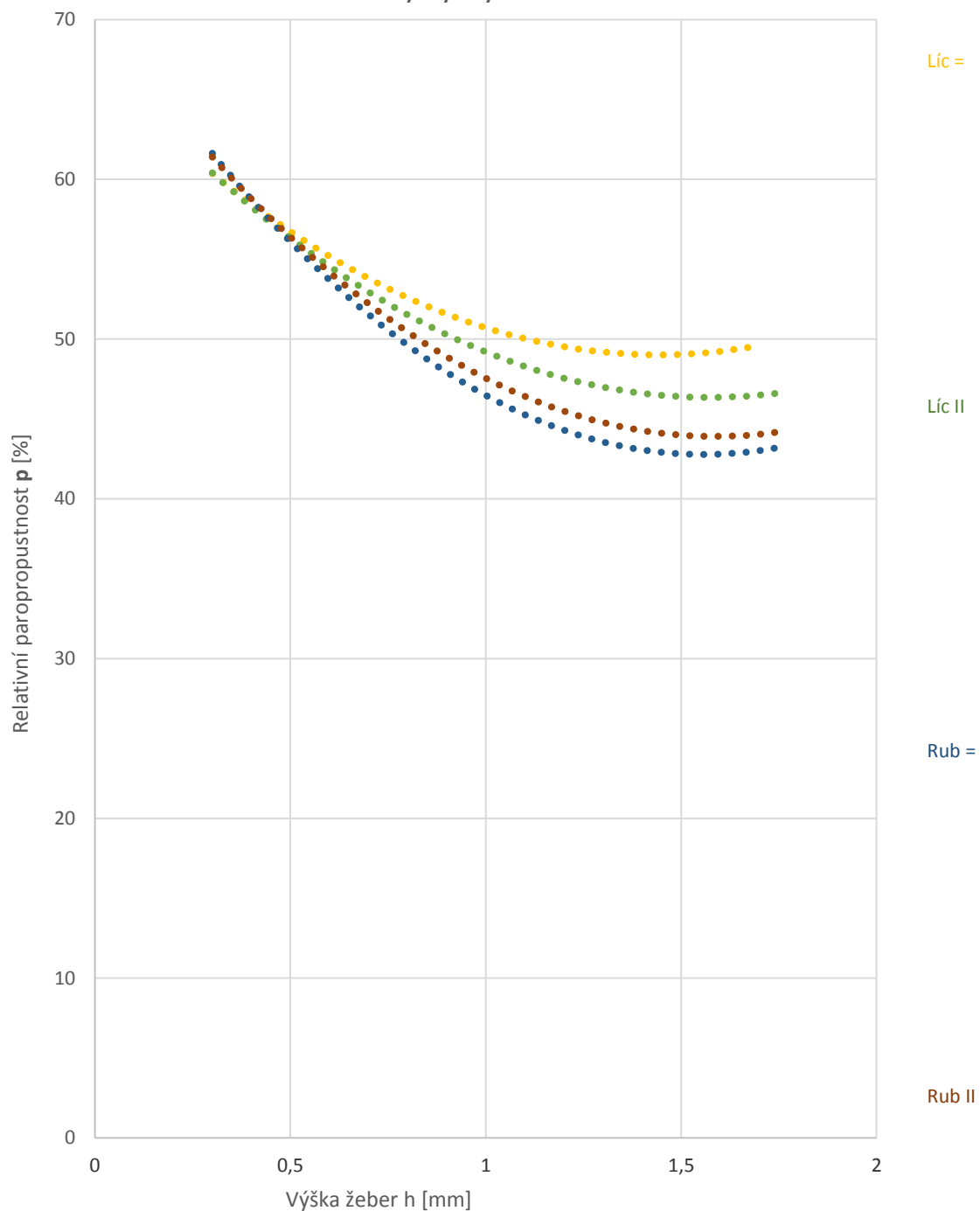
Graf 44: Relativní paropropustnost lící strany strany všech úpletů dle jemnostních skupin ovlivněná přibýváním výšky žebor pleteniny orientované vertikálně vůči směru proudění.





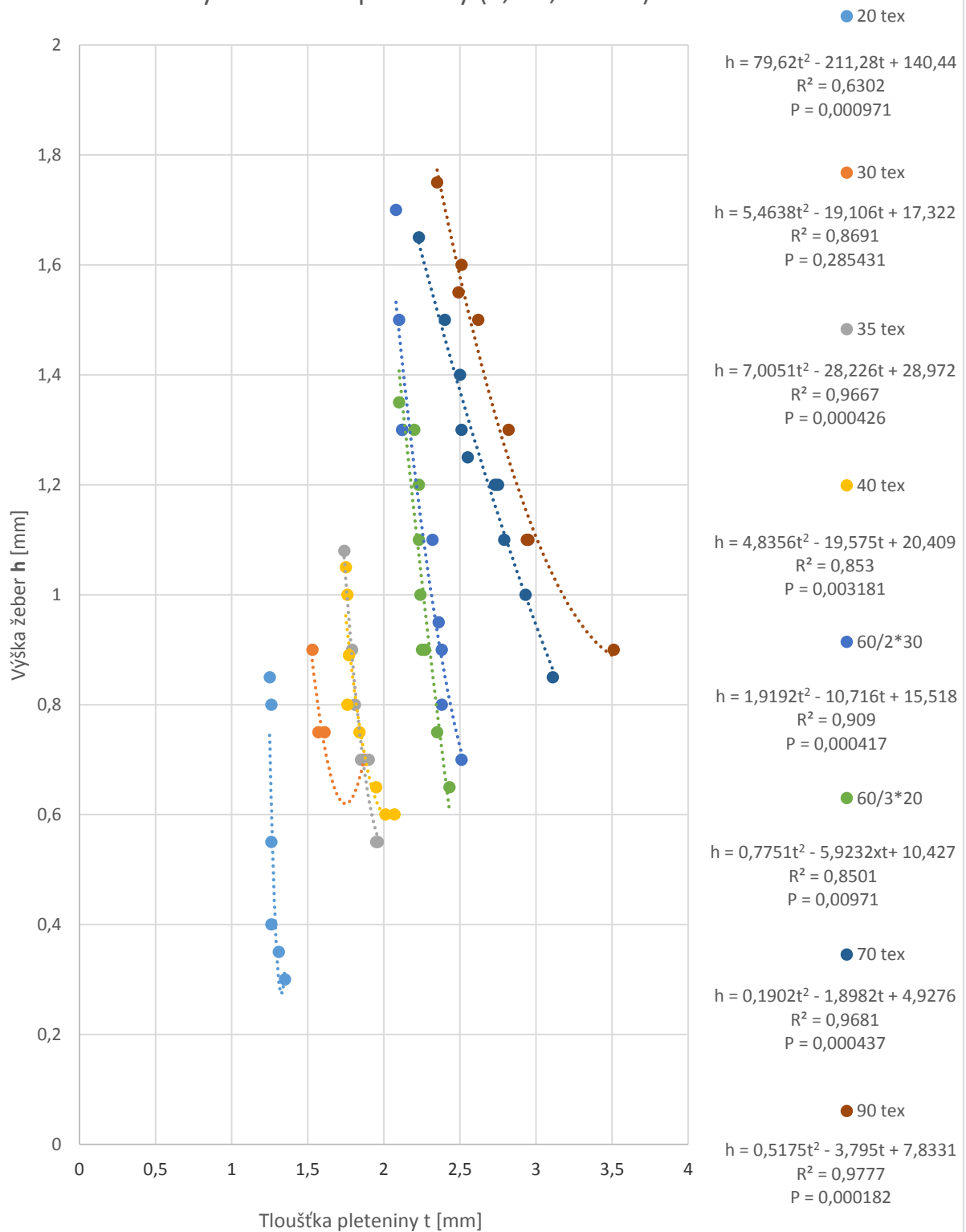
Graf 45: Relativní paropropustnost rubní strany strany všech úpletů dle jemnostních skupin ovlivněná přibýváním výšky žebér pleteniny orientované vertikálně vůči směru proudění.

Relativní paropropustnost. Srovnání chování rubní a lící strany všech úpletů orientovaných horizontálně i vertikálně.  
Vliv změny výšky žeber



Graf 46: Relativní paropropustnost ovlivněna přibývající výškou žeber. Srovnání trendů chování rubu a líce všech úpletů orientovaných horizontálně i vertikálně vůči směru proudění.

Vliv tloušťky  $t$  (1,25 - 3,51mm) pleteniny  
na výšku žeber  $h$  pleteniny (0,3-1,75 mm)



Graf 47: Vliv tloušťky pleteniny na výšku žeber aktuálních proměřovaných vzorků.

### 3.5 Vyhodnocení experimentu

Cílený experiment provedený na vzorcích z bavlněné pleny, u které byla měněna její struktura vazebním provázáním ale i jemností použité příze, pomohl zmapovat vliv těchto obměn na vytýčené vlastnosti pleteniny:

Měrná tepelná vodivost

Tepelná jímavost

Plošný odpor vedení tepla

Výparný odpor

Relativní paropropustnost

Byl sledován trend chování těchto veličin na rubní a lící straně pleteniny a jelikož pletenina vazebním provázáním tvoří žebrování, byl rovněž sledován trend chování páry, která simuluje výpar z lidského těla při prostupu žebrovanou pleteninou i podle orientace žeber. Byl stanoven technický líc a rub pleteniny podle výskytu rubních a lících oček.

Vzorky byly rozděleny na skupiny podle jemnosti příze, z které byly vyhotoveny. Hmotnost vzorků ze stejné příze se však vždy lišila také kvůli způsobu provázání pleteniny, proto bylo přistoupeno k vyjádření hmotnostních skupin dle jemnosti  $T[g/m]$  pomocí osy  $x$  vynesemím plošné hmotnosti vzorků. Na ose  $x$  se dále nachází sledovaný vliv relativní šířky žeber v ploše pleteniny a také vliv výšky žeber vystupujících z plochy pleteniny.

Ukázalo se, že měrná tepelná vodivost, tepelná jímavost a plošný odpor vedení tepla pleteniny stoupají s nárůstem plošné hmotnosti pleteniny. Podle výpočtů regresních rovnic se jedná o stoupání polynomicky, nicméně v rámci vyhodnocování spojnic trendu se regresní rovnice velmi blížily nárůstu exponenciálnímu. Také lze spatřit rozdíly v naměřených hodnotách, pokud se měří rub a líc pleteniny.

Rovněž se projeví i vlhkotepelné vlastnosti proměřované pleteniny. Zde lze spatřit rozdíly v naměřených hodnotách jednak při měření rubu a líce pleteniny, ale i při změně orientace žeber pleteniny vůči směru proudění uvnitř měřící jednotky. Výparný odpor na lící straně pleteniny vykazuje téměř mocninný (polynomický) nárůst. Při orientaci žeber vertikálně je mocninná křivka strmější. Oproti růstu výparného odporu na lící straně, roste výparný odpor na rubní straně téměř (polynomický) exponenciálně a opět se strmějším průběhem křivky při vertikální

orientaci žeber. Relativní paropropustnost na lící straně klesá téměř (polynomicky) logaritmicky. Strmější křivka se nachází opět u vzorků orientovaných vertikálně. Oproti lící straně, u níž křivka klesá logaritmicky, na rubní straně křivka klesá téměř (polynomicky) exponenciálně. Při ohledu na orientaci žeber, je křivka opět strmější u vertikálně orientovaných žeber.

Hmota materiálu má významný vliv na sledované vlastnosti pleteniny, přesto lze graficky znázornit i vliv struktury pleteniny, v tomto případě vliv relativní šířky/plochy žeber a jejich výšky.

Při zachování stejného technologického postupu a při změně pouze parametru jemnosti přidáním či odebráním vlákenné hmoty, je očekávána změna průměru výsledné příze. V praxi nelze vždy dodržet pouze jednu změnu parametru, mnohdy je v takovém případě zapotřebí s rostoucí hodnotou jemnosti více či méně zvýšit i počet zákrutů, které větší shluk vláken lépe přidržují u sebe. S vyšším počtem zákrutů však i při zachování hodnoty jemnosti klesá průměr příze. Tento fakt se projevuje v Grafu 44, kdy s tloušťkou pleteniny ale zároveň klesá výška žebra, ačkoli by se dalo očekávat, že s tloušťkou pleteniny poroste i výška žebra.

Ze strukturálního hlediska zde byla možnost sledovat trendy chování vzorků dvou druhů pleteniny upletené z příze o stejné jemnosti, 60 tex, avšak tyto pleteniny se lišily přízí, která v jednom případě byla seskána ze dvou přízí o jemnosti 30 tex a v druhém případě ze tří přízí o jemnosti 20 tex. Rozdíly mezi touto rozdílnou strukturou příze se projeví zejména u hodnot výparného odporu, kdy trojmoskaná příze vykazuje nevýrazně nižší odpor k vypařování. Téměř bez rozdílu jsou hodnoty měření plošného odporu vedení tepla.

*Shrnutí poznatků:*

### **S rostoucí relativní šířkou žeber**

čím dál rychleji klesá plošný odpor vedení tepla, kdy naměřené hodnoty z lící strany převyšují hodnoty naměřené z rubní strany. Rozdíl mezi naměřenými hodnotami se postupně zmenšuje.

roste měrná tepelná vodivost, kdy hodnoty naměřené z rubní strany převyšují hodnoty naměřené z lící strany.

roste tepelná jímavost, kdy hodnoty podobně jako u měrné tepelné vodivosti u rubu převyšují hodnoty líce. Rozdíl mezi naměřenými hodnotami se postupně zmenšuje.

roste výparný odpor a hodnoty se od sebe čím dál více vzdalují. Zásadní převahu hodnot zaujímá rubní strana pleteniny nad lícní stranou. Horizontální orientace pleteniny vůči proudění vzduchu umocňuje míru chování líce a rubu, vertikální orientace pleteniny toto chování tlumí.

klesá relativní paropropustnost, chování paropropustnosti se inverzně shoduje s chováním výparného odporu.

### **S výškou žeber rostoucí s hodnotou jemnosti**

roste plošný odpor vedení tepla, kdy naměřené hodnoty z lícní strany převyšují hodnoty naměřené z rubní strany. Rozdíl mezi naměřenými hodnotami se postupně zmenšuje.

roste čím dál pomaleji měrná tepelná vodivost, kdy hodnoty naměřené z rubní strany převyšují hodnoty naměřené z lícní strany. Rozdíl mezi naměřenými hodnotami se postupně zvětšuje.

roste čím dál rychleji tepelná jímavost, kdy podobně jako u tepelné vodivosti hodnoty rubu převyšují hodnoty z líce a rozdíl mezi naměřenými hodnotami se postupně zvětšuje.

roste čím dál pomaleji výparný odpor ve stejném sledu jako při sledování vlivu relativní šířky: se zásadní převahou rubní strany pleteniny nad lícem a s menším vlivem také horizontální orientace pleteniny umocňující míru chování líce a rubu a vertikální orientace tlumící toto chování. Rozdíly mezi hodnotami se zvětšují.

čím dál pomaleji a se zvětšujícími rozdíly v hodnotách také klesá relativní paropropustnost, kdy opět chování paropropustnosti se inverzně shoduje s chováním výparného odporu.

### 3.5.1 Metody zjištění plochy žeber

Obecně tato práce čelí dvěma úskalím a těmi jsou neznámá kontaktní plocha a nedostatečný počet proměřovatelných vzorků pro získání statisticky významného počtu hodnot.

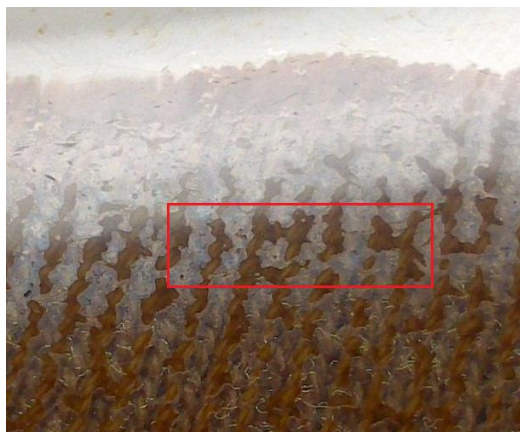
Ve snaze získat přehled o kontaktní ploše pleteniny s deskou přístroje Almbeta při proměření měrné tepelné vodivosti, plošného odporu vedení tepla a tepelné jímavosti, bylo přistoupeno ke snímání povrchu pleteniny laserem a zpracování výsledného obrazu pomocí počítačového softwaru. Přístrojové vybavení však neumožnilo zjistit přesnou velikost kontaktní plochy s patřičným přtlakem, s kterým měří přístroj Almbeta, což může určitou měrou pozměnit nahlížení na získané výsledky. Do budoucna by mohla být pro zjišťování přesnějších hodnot velikosti kontaktní plochy vhodná fotoanalýza, např. prahování obrazu. Pro získání dobře prahovatelného obrazu při dodržení přtlaku by mohla patrně posloužit průhledná skleněná deska se stejným průměrem jako měřicí plocha přístroje a s takovou hmotností, která na vzorek vyvine stejný tlak jako je přtlak stroje.

Pravděpodobně by bylo možné použít dvě metody zjišťování kontaktní plochy za pomoci fotografie a průhledné skleněné desky:

#### 3.5.1.1 a) Světelným odrazem vzduchových kapes

kde by bylo možno využít světelného efektu odrazu záření od lesklé plochy skla. Vznikají vzduchové kapsy mezi kontaktující a nekontaktující pleteninou, která byla předem namočená do kontrastní kapaliny. Tyto kapsy jsou ozářené světlem a působí jako výrazně světlejší. Kontaktní plocha pleteniny namočené do kontrastní kapaliny není zesvětlená a s kontrastní kapalinou pak mají o několik řádů tmavší barvu jen ta místa, která se dotýkají. Při obrazové analýze tak lze graficky mnohem snadněji nalézt pomocí grafů nejvhodnější prahovací hodnotu. S odhadováním plochy tímto způsobem se pak pojí hledání nejvhodnější úrovně zvlhčení textilie, případně vhodné viskozity smáčecí kapaliny. Příliš mokrá textilie vytvoří příliš velký otisk a zkreslí kontaktní plochu. Omezit kontaktní plochu by rovněž mohla i kapalina s nižší viskozitou (v případě zjištění lepších výsledků s vyšší viskozitou), případně i s upraveným povrchovým napětím přidáním povrchově aktivních látek. Viskozita kapaliny ovlivňuje rychlost tečení tekutiny, respektive její odpor vůči toku [výroba netkanek][3]. Vysoký odpor vůči toku způsobuje u smočeného předmětu obalování větší vrstvou kapaliny, která v tomto

případě může způsobit sama o sobě větší kontaktní plochu zkreslující výsledek. Rovněž povrchové napětí kapaliny může ovlivnit kontaktní plochu. Vysoké povrchové napětí kapaliny utváří kapku s co nejmenším možným povrchem, tj. tvar kapky se blíží dokonalé kouli [34]. Při kontaktu s jiným povrchem se kapalina rozprostře na tomto povrchu jen takovou měrou, aby byl zachován co největší objem a nejmenší povrch kapky. Vzhledem k těmto faktům by bylo zajímavé zjistit, zda by při měření takovýmto způsobem byla nápomocná povrchová úprava skla s hydrofobním efektem.

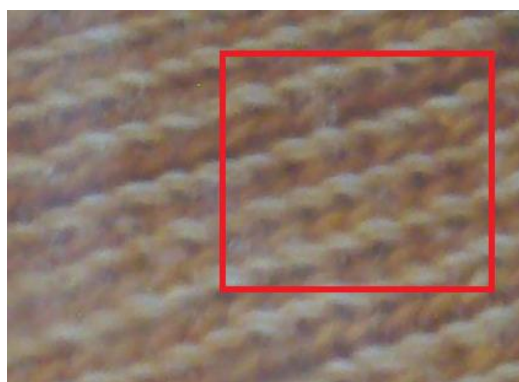


Na Obr. 23 je pletenina zalita suspenzí vody a instantní černé kávy a následně lehce vyždímána a překryta sklem s přtlakem (pletenina je pouze zvlhčená).

Obr. 23: Experiment zjišťování kontaktní plochy pleteniny a desky vzduchovými kapsami

### 3.5.1.2 *b) Nejsvětlejší plocha v kontrastní kapalině*

Další metodou, která by mohla pomoci přiblížit odhad kontaktní plochy by mohlo být smáčení textilie v kontrastní kapalině, která nemá sklon k sedimentaci. Případná sedimentace by mohla ovlivňovat barevnost kapaliny uvnitř nádoby i bez přítomnosti sledované textilie. Přiložením průhledného skla s patřičným přtlakem se v jednotné barvě objeví kontaktní plocha textilie, z které je na těchto místech kontrastní kapalina vytlačena, nekontaktující část textilie je zalita kontrastní kapalinou a jeví se jiným odstínem.



Obr. 24: Experiment zjišťování kontaktní plochy pleteniny a desky světlou plochou



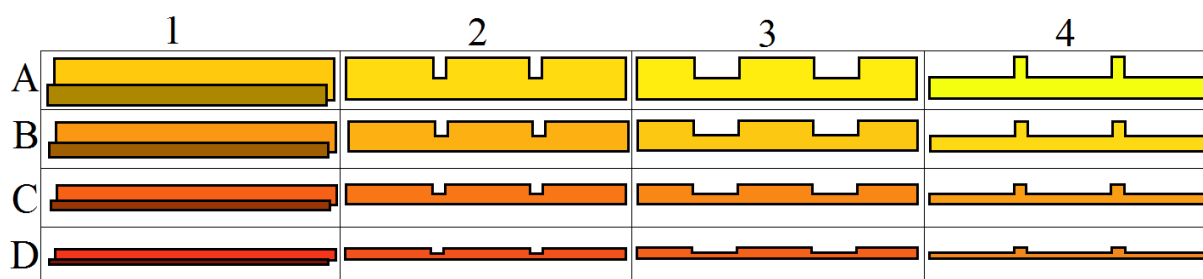
V obrazové analýze by se dal v histogramu vyhledat interval odstínů vyhovujících kontaktní ploše a spočítat jejich obsah.

Na Obr. 24 jsou vidět barevné rozdíly původně zcela bílé pleteniny. Pletenina je zalita suspenzí vody a instantní černé kávy v nádobě s hladinou kapaliny přesahující tloušťku pleteniny (pletenina plave v kapalině).

### 3.5.2 Volba vzorků k proměření

Pokud by bylo dosaženo nějaké vhodné metody zjišťování kontaktní plochy pleteniny s měřicí deskou přístroje Alambeta, bylo by dále vhodné zajistit i dostatečný počet textilních vzorků vždy pro každou skupinu měření a utvořit takové skupiny vzorků, ze kterých by bylo možné odečíst přesněji chování jednotlivých měřených veličin.

Pro vliv žebrování pleteniny na vypsané veličiny, by bylo vhodné zajistit vzorky parametricky stejné, jen se strukturálním rozdílem bez žebrování jak ve verzi jednocílní, tak i oboucílní kvůli vlivu tloušťky pleteniny.



Obr. 25: Tabulka barevně odlišených skupin vzorků

Na Obr. 25 je barevně naznačen postup návrhu vhodných vzorků k proměření. Sloupec A<sub>1</sub> – D<sub>1</sub> je náznakem varianty jednocílní a oboucílní pleteniny bez žebrování. Obecně ve směru řádků je naznačena změna plochy žeber a ve směru sloupců změna jemnosti použité příze. V tabulce je naznačena každá potřebná skupina vzorků k proměření pomocí barvy. Vzhledem k obměnám tak vzniklo 20 jednotlivých variant potřebných typů pleteniny. Po proměření by bylo možné vytvořit odhad vlivu tloušťky pleteniny (s tím související plošná hmotnost) a odhad vlivu plochy žeber (s tím související plošná hmotnost). Vzhledem k faktu, že soubor vzorků, který byl pro účely této diplomové práce k dispozici obsahoval vysoce individuální vzorky pleteniny, nebylo prakticky možné odečíst přesný vliv plochy žeber ani přesný vliv tloušťky pleteniny. V podstatě byl zjištěn pouze vliv plošné hmotnosti na zjišťované vlastnosti pleteniny.

Stejně jako je naznačeno v Obr. 25 výšku žeber ovlivňuje jemnost použité příze. Pro zjišťování vlivu výšky žeber pleteniny, by bylo potřeba zajistit vzorky pleteniny o stejné tloušťce pouze s rozdílnou výškou/hloubkou žeber. Vzhledem k faktu, že výšku žeber lze ovlivňovat pouze změnou jemnosti použité příze při zachování stejných výrobních parametrů, čímž i změnou tloušťky pleteniny, bude patrně vliv výšky žeber pleteniny pouze zahrnut do obecnějšího vlivu plošné hmotnosti pleteniny na výše uvedené vlastnosti pleteniny.

### 3.5.3 **Návrh využitelnosti vybraných struktur pleteniny**

Paropropustnost oděvního materiálu zvyšuje komfort právě tam, kde se lidské tělo nejvíce potí. Z oděvem zakrývaných oblastí se jedná o podpaždní jamky[49]. Z experimentálně zjišťovaných hodnot tohoto parametru u zapůjčených vzorků textilií bylo zjištěno, že nejvyšší paropropustností disponuje pletenina s nejnižší plošnou hmotností. Zajímavého efektu se dá docílit pomocí žebrování, kdy žebra pleteniny mohou svou hutnější strukturou ovlivňovat pocit tepla pomocí nízké tepelné jímavosti a přitom plocha mezi žebry s vyšší paropropustností může dopomoci k pocitu sucha díky umožnění odpařování vlhkosti. Pro přesnější informace by bylo potřeba provést experiment zaměřený na míru pocení při různě intenzivní fyzické zátěži a dostatečnost paropropustnosti kterého vzorku žebrované pleteniny při které míře pocení.

Tepelná jímavost oděvního materiálu propůjčuje pocit chladu anebo tepla při kontaktu materiálu s pokožkou. Textilie s nízkou tepelnou jímavostí se uplatní tam a tehdy, kde v chladném prostředí člověk uvítá pocit tepla. Naopak vysokou tepelnou jímavost člověk uvítá v horku, kdy oděv propůjčuje pocit chladu. U experimentálně proměřovaných zapůjčených vzorků textilie se již od pohledu jedná o materiál vhodný k výrobě svetřů, čili oděvů vhodných do chladného prostředí pro získání pocitu tepla. K tomuto účelu poslouží nejvíce pleteniny s plošnou hmotností středních až nejvyšších hodnot, pakliže by se nízká tepelná jímavost měla uplatnit na trupu těla, kde se nachází játra s mechanismem přeměny živin na teplo. Jelikož trup těla vyzařuje nejvíce tepla a jeho absorbce v oděvu by mohla zapříčinit nevyžádané zahřívání – pocit vedra a tím způsobit intenzivnější pocení, bylo by vhodnější zvolit právě takový oděvní materiál, který zaručí komfort při zachování pocitu tepla, ale tepelná izolace bude jen přiměřená, což neznamená vždy maximální.

Tepelnou izolaci popisuje veličina plošného odporu vedení tepla. Nejlepší tepelný izolát z proměřovaných zapůjčených vzorků pleteniny se jeví být pletenina s největší plošnou

hmotností, která má rovněž i největší tloušťku. Z hlediska metabolismu a fyziologické konstrukce lidského těla trpí tepelnou ztrátou z odívaných partií nejvíce paže, a proto by pro udržení nejen pocitu tepla ale i fyziologicky správné teploty mohla posloužit právě pletenina s největší plošnou hmotností zde.

Pokud se jedná o vysoce funkční textilie, lze kontrolovanými procesy dosáhnout přesně požadovaných vlastností při zachování nízké plošné hmotnosti a modifikací lze upravit žádoucím směrem i jiné další parametry. Zpravidla se jedná o textilie ze syntetických polymerů či textilie ze směsi syntetických polymerů a přírodních vláken. Cena těchto textilií se pohybuje kvůli nákladnější výrobě výše než u textilií vyrobených běžnými postupy pomocí klasických strojů a přístrojů a z přírodních vláken. Cenu ovlivňuje samozřejmě ze strany syntetických polymerů ekologický přístup, který může zvednout cenu a na druhé straně etika při získávání přírodních vláken, která může nespravedlivě snížit cenu. Zde se zavádí pojmy welfare (životní podmínky chovaných zvířat) [50] a fairtrade (pracovní/životní podmínky lidí) [51].

Ze zapůjčených proměřovaných vzorků pleteniny je patrné, že se nejedná o vysoce funkční textilie, ale o textilie „běžně oděvní“, náležející dle oděvního protokolu (dresscode) k neformálnímu stylu oblékání (Casual)[52], přesněji by se mohlo jednat o nedbalou eleganci ale i bussines casual. Přestože není kladen žádný velký nárok na vysokou funkčnost oděvů z reprezentovaných vzorků pleteniny, dle zjištěných poznatků by bylo možné zkonstruovat v podobné cenové relaci podobně vypadající oděv – svetr s „vylepšenými“ vlhkotepelnými vlastnostmi pro získání vyššího komfortu odívání.

V dnešní době vzniká trend vyrábět oděvní kusy vypadající jako svetr, avšak fungující jako vysocefunkční bunda. Jedná se o dvouvrstvý materiál, vespod softshell a navrchu objemná svetrová pletenina. Cena těchto oděvních kousků se pohybuje vysoko jednak díky designovému prvku, ale i díky použitému spodnímu funkčnímu materiálu. Tento fakt potvrzuje, že i přes existenci vysocefunkčních textilií zřejmě nezánikne zájem o běžnou svetrovou pleteninu, a proto má smysl zabývat se vlastnostmi těchto pletenin nejen z důvodu finanční úspory, ale i z toho důvodu, že pletenina jako materiál tolik nepodléhá vrtochům trendů.

## 4 ZÁVĚR

---

Od této práce bylo očekáváno, že se zjistí vliv struktury a textury pleteniny, konkrétně zde žeber pleteniny na tepelnou jímavost, měrnou tepelnou vodivost, plošný odpor vedení tepla, relativní paropropustnost a výparný odpor pleteniny. Žebra pleteniny byla proto zkoumána pomocí laseru a byla zjištěna jejich šířka a výška bez přitlaku. Během měření vyplynula snaha zjistit konkrétně kontaktní plochu pleteniny s měřicí deskou přístroje Alambeta, který měří se zvoleným přitlakem 200 Pa. Byl navržen způsob měření kontaktní plochy měřicí desky a pleteniny pod přitlakem vhodný k dalšímu zkoumání a zdokonalení, jenž by v budoucnu mohl pro svou jednoduchost přiměřeně posloužit. Po provedení měření na přístrojích Alambeta a Permetest na získaných vzorcích pleteniny upletených pro účel této práce vyplynul fakt, že soubor vzorků nebyl ideální pro zjišťování vlivu žebrování pleteniny kvůli nepřesnému stanovení skupin vzorků, a tak byl zajištěn mimo vliv plochy žeber také vliv plošné hmotnosti ovlivněné jednak žebrováním a také jemností příze, z které byly vzorky upleteny, dělenou na dalších několik skupin dle jemnosti  $T[\text{tex} = \text{g/km}]$ . Byl proto také navržen model, podle kterého by bylo vhodné uplést vzorky, po jejichž proměření by se dalo se získanými hodnotami lépe pracovat.

Obecně vyplynulo ze získaných měření, že s narůstající hmotou ovlivněnou výškou a relativní šířkou žeber, narůstá tepelná jímavost, měrná tepelná vodivost, ale i plošný odpor vedení tepla. Plošný odpor vedení tepla roste postupně méně, čím více postupně roste měrná tepelná vodivost. Také se u pletenin projeví vlastnosti relativní paropropustnost a výparný odpor, kdy výparný odpor roste, když paropropustnost klesá.

Ze získaných dat byl také odvozen oděvní kus vhodný k udržení vlhkotepelného komfortu v chladnějším prostředí – zdokonalený svetr při zachování jeho finanční dostupnosti.

## 5 ZDROJE

---

- [1] Dad'ourek, K.: Uhlík a jeho modifikace, studijní materiál TUL, Liberec 2008
- [2] Dostalová M, Křivánková M.: Základy textilní a oděvní výroby, ISBN 80-7083-831-0, Skriptum TUL, Liberec 2004
- [3] Drábková, S. a kol.: Mechanika tekutin, studijní materiál VŠB, Ostrava 2002
- [4] Fléglová Z.: Výroba oděvů, studijní materiál TUL, Liberec 2009
- [5] Grabmüllerová, J.: Elektronová mikroskopie – bavlna, KTM FT TUL, Liberec 2005
- [6] Hes, L.; Sluka, P.: Úvod do komfortu textilií, skriptum TUL, ISBN 8070839260, Liberec 2005
- [7] Jirásková, P.: Výroba délkových textilií, ISBN 80-7083-845-0, skriptum TUL, Liberec 2004
- [8] Kadlec, Z.: Přenos tepla konvekcí, studijní materiál VŠB, Ostrava 2009
- [9] Katalog přístrojů ALAMBETA a PERMETEST, výrobce SENSORA Liberec, ČR
- [10] Kábrt, J., Valach, V.: Stručný lékařský slovník, Avicenum, ISBN 08-004-79, Praha 1979
- [11] Kovačič, V.: Zpracovatelské vlastnosti textilních vláken, studijní materiál TUL, Liberec 2004
- [12] Kovačič, V.: Textilní vlákna, studijní mat. TUL, Liberec 2005
- [13] Kovář, R.: Pletení, skriptum TUL, ISBN 8070834463, Liberec 2005
- [14] Kovařík, P.: Sdílení tepla, studijní materiál ZČU, Plzeň 2013
- [15] Kovařík, P.: Metody testování vlákenné suroviny, studijní materiál ZČU, Plzeň 2005
- [16] Králíček, P.: Úvod do speciální neurofyziologie, Karolinum, ISBN 8072626183, Praha 2002
- [17] Křemenáková, D.: Systém projektování textilních struktur – část 1 „Vlákno-příze“, výzkumná zpráva TU, Liberec 2004
- [18] Kuneš, J. a kol.: Tepelné bariéry, Academia, ISBN 8020012184, Praha 2003

- [19] Militký, J., Vaníček, J.: Vlastnosti vláken, studijní materiál FT TUL, 2004
- [20] Militký, J.: Textilní vlákna klasická a speciální, studijní materiál TUL, 2002
- [21] Neckář, B.: Struktura a vlastnosti textilií, studijní materiál FT TUL, 2007
- [22] Nováček, J.: Měření ochlazovacího účinku prostředí termovizní kamerou Fluke Ti 30, Diplomová práce, Brno 2009
- [23] Novák, Z.: Prostorové měření a hodnocení textury povrchu přístroji Taylor Hobson Ltd., IMECO TH, Brno 2007
- [24] Ocheretna, L.: Přírodní vlákna rostlinného původu v textilních výrobcích, studijní materiál TUL, 2013
- [25] Pavelek, M.: Termomechanika, studijní materiál FSI VUT, Brno 2014
- [26] Pavliňák, D.: Modifikace materiálů v různých formách výbojového plazmatu, Diplomová práce, Brno 2009
- [27] Pavlová, L.: Fyziologie rostlin, studijní materiál CUNI, Praha 2005
- [28] Pichová, J.: Tepelný komfort úpletů ze speciálních vláken za vlhka, Bakalářská práce, TUL 2010
- [29] Pokorný, M.: Sálání tepla, studijní materiál ČVUT, Praha 2006
- [30] Pokorný, M.: Vedení tepla – Kondukce, studijní materiál ČVUT, Praha 2006
- [31] Ronová, J.: Inovace testování použitelnosti spacích pytlů, Bakalářská práce, TUL 2011
- [32] Valentová, K.: Komfortní vlastnosti sportovního oblečení, Bakalářská práce, TUL 2010
- [33] Vik, M.: Textilní vlákna – polyesterová vlákna, studijní materiál TUL 2007
- [34] Vik, M.: Finální úpravy textilií, studijní materiál TUL, 2011
- [35] Výzkumné centrum Textil LN00B090, Stanovení termofyziologických vlastností, Interní norma č. 23-304-01/01, Liberec 2004
- [36] Výzkumné centrum Textil LN00B090, Měření tepelných vlastností na přístroji Alambeta, Interní norma č. 23-304-02/01, Liberec 2004

## Webové odkazy

- [37] Úvod do zpracování a analýzy obrazu, e-learning TUL, 2013, citováno 2. 3. 2015  
Dostupné z: <http://blade1.ft.tul.cz/elearning/Media/File/5/123/P1.pdf>
- [38] Bavlna, citováno 2. 3. 2015  
Dostupné z: <http://cz.texsite.info/Bavlna>
- [39] Pocení, citováno 2. 3. 2015  
Dostupné z: <http://www.celostnimedicina.cz/poceni.htm>
- [40] Tělesná teplota, citováno 2. 3. 2015  
Dostupné z: [info.edu.cz/cs/system/files/Telesna\\_teplota\\_0.ppt](http://info.edu.cz/cs/system/files/Telesna_teplota_0.ppt)
- [41] Lidské tělo, citováno 2. 3. 2015  
Dostupné z: [http://cz.123rf.com/kliparty-vektory/lidsk%C3%A9\\_t%C4%9Blo.html](http://cz.123rf.com/kliparty-vektory/lidsk%C3%A9_t%C4%9Blo.html)
- [42] Záběry z termokamery, citováno 2. 3. 2015  
Dostupné z: <http://www.trailsherpa.com/blog/2013/03/19/the-science-of-sleeping-bag-design/>
- [43] Diamanty, citováno 2. 3. 2015  
Dostupné z: <http://www.diamonds.cz/Gemologie.html>
- [44] Tepelná vodivost různých materiálů, citováno 2. 3. 2015  
Dostupné z: [http://www.engineeringtoolbox.com/thermal-conductivity-d\\_429.html](http://www.engineeringtoolbox.com/thermal-conductivity-d_429.html)
- [45] Vodivost lidského těla, citováno 2. 3. 2015  
Dostupné z:  
[https://search.yahoo.com/search;\\_ylt=AvQsKwH7QAqwJmvzZ1fEwVybvZx4?fr=yfp-t-901-s&toggle=1&fp=1&cop=mss&ei=UTF-8&p=human%20body%20heat%20conduction](https://search.yahoo.com/search;_ylt=AvQsKwH7QAqwJmvzZ1fEwVybvZx4?fr=yfp-t-901-s&toggle=1&fp=1&cop=mss&ei=UTF-8&p=human%20body%20heat%20conduction)
- [46] Výpar vody, citováno 2. 3. 2015  
Dostupné z:  
[http://artemis.osu.cz/MMi/meteo1/diplomka/Ramec2\\_soubory/AAA/vypary.html](http://artemis.osu.cz/MMi/meteo1/diplomka/Ramec2_soubory/AAA/vypary.html)
- [47] Přístrojové vybavení FT TUL, Alambeta, citováno 2. 3. 2015

- Dostupné z: <http://www.ft.tul.cz/index.cgi?detail=113&fun=pristroje>
- [48] Přístrojové vybavení FT TUL, Permetest, citováno 2. 3. 2015  
Dostupné z: <http://www.ft.tul.cz/index.cgi?detail=47&fun=pristroje>
- [49] Patofyziologie, pocení, citováno 2. 3. 2015  
Dostupné z:  
<http://www.fsps.muni.cz/inovace-SEBS-ASEBS/elearning/fyziologie/fyziologie-a-patofyziologie>
- [50] Ochrana zvířat, citováno 2. 3. 2015  
Dostupné z: <http://eagri.cz/public/web/svs/portal/pohoda-zvirat-welfare/>
- [51] Ochrana lidí, citováno 2. 3. 2015  
Dostupné z: <http://www.fairtrade.cz/>
- [52] Etiketa odívání, citováno 2. 3. 2015  
Dostupné z: [http://www.au.af.mil/au/awc/awcgate/state/protocol\\_for\\_diplomats.pdf](http://www.au.af.mil/au/awc/awcgate/state/protocol_for_diplomats.pdf)
- [53] Tepelná vodivost vzduchu, citováno 2. 3. 2015  
Dostupné z: [http://www.engineeringtoolbox.com/thermal-conductivity-d\\_429.html](http://www.engineeringtoolbox.com/thermal-conductivity-d_429.html)