

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI



FAKULTA TEXTILNÍ

Zaměření: **Obor:**
Řízení technologických procesů
Katedra oděvnictví

HODNOCENÍ TERMOIZOLAČNÍCH VLASTNOSTÍ TEXTILÍ PRO EXTRÉMNÍ SPORTY

Thermically-insulating characteristics of materials for extreme sports

Jitka Malá

Vedoucí diplomové práce: Doc. Dr. Ing. Zdeněk Kůs
Konzultant diplomové práce:

Rozsah práce a příloh:

Datum odevzdání: 6.1.2006

Počet stran:	56
Počet obrázků:	19
Počet grafů:	24
Počet tabulek:	34
Počet příloh:	1

Zadávací list

PROHLÁŠENÍ

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

Souhlasím s umístěním diplomové práce v Univerzitní knihovně TUL.

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

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

Beru na vědomí, že si svou diplomovou práci mohu vyzvednout v Univerzitní knihovně TUL po uplynutí pěti let po obhajobě.

V Liberci, dne 16. května 2005

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji panu ing. Radimovi Šubertovi a panu Doc. Dr. Ing. Zdeňkovi Kůsovi za odbornou pomoc a vedení, za cenné rady a připomínky při zpracování diplomové práce.

Dále děkuji své rodině za podporu poskytovanou při studiu.

Anotace

Téma: hodnocení termoizolačních vlastností textilií pro extrémní sporty

Tato diplomová práce se zabývá návrhem a realizací systému pro sběr dat snímačů tepelného toku umístěných v laboratorním větrném tunelu. Pro program, řídící tento sestavený systém, byl použit programovací jazyk G , který je součástí programového vývojového prostředí LabVIEW. Hlavní funkcí řídicího programu je snímání naměřených termonapětí, následný přepočet na tepelný odpor a uložení hodnot do souboru.

Dále bylo provedeno zkušební měření vzorků v laboratorním větrném tunelu.

Dílčím úkolem bylo provést kalibraci snímačů tepelného toku.

Annotation

Subject: Thermically-insulating characteristics of materials for extreme sports

System for collecting data of thermal flow scanners placed in the laboratory windy tunnel - this is the project that my thesis deals with. The programming language G, that is part of the programm development environment LabVIEW, was used for the programm contolling the configured system. The main function of the controlling programm is the scanning of recorded thermo tension, consequential re-count to the thermo resistance and its registration.

Furthermore the pilot measurements of samples in the laboratory windy tunnel was performed.

Calibration of the thermo flow scanners was the partial task to be done.

Klíčová slova

Tepelně izolační vlastnosti

Sběr dat

Snímač tepelného toku

Tepelný odpor

LabVIEW

Pivotal words

Thermically-insulating characteristics

Collection of data

Thermical flow scanner

Thermical resistance

LabVIEW

Seznam použitých symbolů

R_{tep}	celkový tepelný odpor [$\text{K} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{W}^{-1}$]
R_c	průměrná hodnota tepelných odporů R_2 - R_4 [$\text{K} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{W}^{-1}$]
R_2	dílčí průměrná hodnota všech naměřených tepelných odporů na snímači tepelného toku č. 2 za 60s [$\text{K} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{W}^{-1}$]
R_3	dílčí průměrná hodnota všech naměřených tepelných odporů na snímači tepelného toku č. 3 za 60s [$\text{K} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{W}^{-1}$]
R_4	dílčí průměrná hodnota všech naměřených tepelných odporů na snímači tepelného toku č. 4 za 60s [$\text{K} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{W}^{-1}$]
s	směrodatná odchylka
v	variační koeficient [%]
n	počet měření [-]
R_t	tepelný odpor získaný na ALAMBETĚ [$\text{K} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{W}^{-1}$]
Q	množství převedeného tepla [J]
t	čas [s]
λ	součinitel tepelné vodivosti [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]
A	plocha textilie [m^2]
h	tloušťka materiálu [m]
ΔT	teplotní spád [K]
R	tepelný odpor [$\text{K} \cdot \text{J}^{-1}$]
α	teplotní vodivost [$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$]
c	měrná tepelná kapacita [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]
ρ	specifická hustota [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]
b	tepelná jímavost [$\text{W} \cdot \text{s}^{1/2} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$]
C	tepelná kapacita [$\text{J} \cdot \text{K}^{-1}$]
dQ	přírůstek tepla [J]
dT	přírůstek teploty [K]
m	hmotnost látky [kg]
n_i	hmotnostní zlomek i-té komponenty [-]
c_i	měrná tepelná kapacita i-té komponenty [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]
q	tepelný tok vztažený na jednotku plochy [$\text{W} \cdot \text{m}^2$]
α_p	koeficient přestupu tepla [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$]
W	radiační tok vztažený na jednotku plochy [$\text{W} \cdot \text{m}^2$]

ε	emisivita [-]
δ	Stephan-Boltzmanova konstanta [$\text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-4}$]
T	absolutní teplota tělesa [K]
λ_m	vlnová délka s maximální hodnotou radiace [μm]
b	Wienova konstanta [$\mu\text{m.K}$]
W_e	emitovaná energie
W_r	odražená energie
W_t	procházející energie
k	kalibrační konstanta snímače tepelného toku [$\text{W.m}^{-2}.\text{mV}^{-1}$]
U	termonapětí [mV]

Obsah:

1. Úvod	11
2. Teoretická část	13
2.1. Základy měření teploty a tepla	13
2.1.1. Teplo a teplota	13
2.1.2. Přenos tepla vedením	14
2.1.3. Přenos tepla prouděním	15
2.1.4. Přenos tepla zářením	16
2.2. Tepelně izolační vlastnosti	18
2.2.1. Tepelná vodivost	18
2.2.2. Tepelný odpor	18
2.2.3. Teplotní vodivost	19
2.2.4. Tepelná jímavost	19
2.2.5. Tepelná kapacita	20
2.3. Tepelně izolační vlastnosti textilních vláken	20
2.4. Faktory ovlivňující tepelně izolační vlastnosti	21
2.4.1. Vliv jemnosti vláken na tepelně izolační vlastnosti	21
2.4.2. Vliv vlhkosti vláken na tepelně izolační vlastnosti	21
2.4.3. Vliv stlačení textilií na tepelně izolační vlastnosti	22
2.4.4. Vliv zaplnění na tepelně izolační vlastnosti	22
2.4.5. Vliv směru toku tepla na tepelně izolační vlastnosti	23
2.5. Měření tepelně izolačních vlastností	23
3. Experimentální část	25
3.1. Navrhněte zařízení pro hodnocení termoizolačních vlastností textilních materiálů	25
3.1.1. Multifunkční karta 6034E	25
3.1.2. Nastavení multifunkční karty 6034E	26
3.1.3. Skříňka pro úpravu signálu SC-2345 se zásuvným modulem s izolačním zesilovačem SCC-AI07	27
3.1.4. Vyhřívaný váleček	28
3.2. Zařízení realizujte včetně potřebného programového vybavení, využijte programové prostředí Lab VIEW.	30
3.2.1. Programové vývojové prostředí LabVIEW	30
3.2.2. Řídící program	31
3.2.3. Přepočítání termonapětí snímačů tepelného toku na tepelný odpor	31
3.2.4. Tepelné odpory jednotlivých snímačů tepelného toku a celkový tepelný odpor	33
3.2.5. Ukládání dat do souboru	33
3.2.6. Přední panel a měření dat	34
3.3. Vhodnými prostředky proveďte kalibraci snímačů tepelného toku	35

3.4.	Ověřte činnost zařízení podle předchozích bodů, prověřte vybranou sadu vzorků.....	42
3.4.1.	Příprava vzorků.....	42
3.4.2.	Zkušební měření v laboratorním větrném tunelu.....	43
4.	Závěr.....	55
5.	Použitá literatura	56

1. Úvod

VLASTNOSTI ODĚVNÍCH MATERIÁLŮ

Aby mohly být textilie používány jako oděvní materiály, musí vyhovovat především požadavkům, kladeným na ně během užívání, tj. při nošení oděvů z nich zhotovených. Nezbytnou podmínkou uplatnění oděvních textilií jsou i ty jejich vlastnosti, které umožňují jejich zpracování v oděvním průmyslu. Oděvní textilie musí mít tedy vyhovující **zpracovatelské** a **užitné** vlastnosti.

Zpracovatelské vlastnosti

Zpracovatelností se rozumí obtížnost zpracování oděvního materiálu v oddělovacím, spojovacím a tvarovacím procesu. Na zpracovatelské vlastnosti oděvních materiálů je potřeba brát ohled již při tvorbě modelů. Zpracovatelské vlastnosti ovlivňují produktivitu práce ve stříhárnách, v dílnách spojovacího procesu a při tepelném nebo vlhkotepelném tvarování. Zpracovatelské vlastnosti textilií pro oděvní účely jsou nezbytnou součástí celkové užitné hodnoty textilie a je nutné aby se při vývoji a konstrukci textilií k této skutečnosti přihlíželo.

Užitné vlastnosti

Mezi užitné vlastnosti patří ty, které se uplatňují při používání textilií. Vlastnosti musí být takové, aby oděvní výrobky z nich zhotovené plnily všechny funkce oděvu. Podle požadavků, kladených na oděvy a oděvní materiály, je možné užitné vlastnosti obecně rozdělit do několika základních skupin:

trvanlivost - schopnost odolávat poškození a opotřebení.

- pevnost v tahu a tažnost textilií
- pevnost a tažnost švů
- odolnost v oděru v ploše, v hraně
- odolnost proti posuvu nití ve švu

estetické vlastnosti - ovlivňují vzhled oděvů

- stálobarevnost
- lesk
- splývavost

- mačkavost
- žmolkovitost
- zátrhavost

fyziologické vlastnosti - umožňují regulovat oděvní mikroklima, které podmiňuje subjektivní pocity člověka

- Savost
- Nasákavost
- Vysýchavost
- Propustnost vodních
- Tepelně izolační vlastnosti

možnost údržby - možnost opakovaného praní, chemického čištění, žehlení, atd.

ostatní užité vlastnosti - zvláštní požadavky, kladené jen na určité druhy oděvů, s ohledem na jejich použití.

- nepromokavost,
- nehořlavost
- nepropustnost
- atd.

Tato diplomová práce je zaměřena na tepelně izolační vlastnosti textilních materiálů, jejich měření a faktory ovlivňující tyto vlastnosti.

Experimentální část diplomové práce si klade za hlavní cíl sestavení systému pro sběr dat ze snímačů tepelného toku umístěných v laboratorním větrném tunelu a navržení řídicího programu k takto připravenému systému, tak aby snímaná data byla přepočtena na celkový průměrný odpor zkoušeného vzorku umístěného do laboratorního větrného tunelu a následné uložení dat do souboru.

Pro ověření funkčnosti systému je vhodné porovnat naměřené hodnoty s jinou metodou.

2. Teoretická část

2.1. Základy měření teploty a tepla

2.1.1. Teplo a teplota

Teplota je mírou termální energie obsažené v jakémkoli objektu. Teplota kteréhokoliv objektu se dá změřit množstvím metod a prostředků a je definován teplotní stupnicí. Teplota nám ve své podstatě říká, kterým směrem poteče tepelný tok mezi dvěma objekty[1].

Teplota se vyjadřuje v absolutních nebo relativních jednotkách. Máme dvě absolutní stupnice, nazývané "Kelvin" (metrický systém) a "Rankine" (Anglický systém). Tomu odpovídají relativní stupnice: "Celsius" popř. "centigrade" (metrický systém) a "Fahrenheit" (Anglický systém). Absolutní nula je teplota při které nemají molekuly látek žádný pohyb. Říkáme "nula Kelvina" nebo "nula Rankies" (0 K nebo 0 R). Relativní teploty se vyjadřují jako "stupeň Celsia" nebo "stupeň Fahrenheita" (°C nebo °F). Číselné vztahy mezi jednotlivými jednotkami jsou následující:

$$T_{\text{Celsius}} = 5/9(T_{\text{Fahrenheit}} - 32)$$

$$T_{\text{Fahrenheit}} = 9/5(T_{\text{Celsius}} + 32)$$

$$T_{\text{Kelvin}} = T_{\text{Celsius}} + 273,16$$

$$T_{\text{Rankies}} = T_{\text{Fahrenheit}} + 459,7$$

Absolutní nula je rovna -273,16°C nebo -459,7°F.[2]

Teplo je část vnitřní energie, kterou těleso přijme nebo odevzdá při tepelné výměně druhému tělesu. Vyjadřuje změnu stavu tělesa.

Teplo vypočítáme podle vztahu:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \quad (1)$$

kde:	Q	množství převedeného tepla [J]
	m	hmotnost [kg]
	c	měrná tepelná kapacita [J.kg ⁻¹ .K ⁻¹]
	Δt	teplotní spád [K]

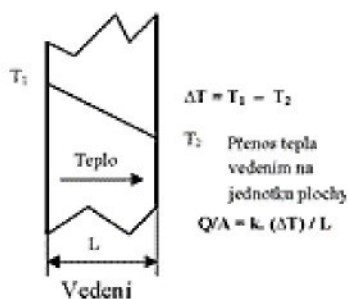
Existují 3 základní typy přenosů tepla:

- vedení (kondukce)
- proudění (konvekce)
- záření (radiace) [3]

Všechno teplo je přenášeno jedním z těchto tří typů přenosů, obvykle ale kombinací dvou nebo všech tří typů přenosů. [2]

2.1.2. Přenos tepla vedením

Přenos tepla vedením se uplatňuje hlavně u pevných těles, ale také ho lze použít u kapalin a plynů. Jde vlastně o přenos vibrací (kmitání) atomů pevných těles nebo srážky molekul plynů, čímž dochází k pohybu energie od teplejší molekuly směrem ke studenější (viz. Obr.2.1).



Obr.2.1: Přenos tepla vedením

Přenos tepla vedením lze vyjádřit matematicky pomocí **Fourierova zákona**:

$$q = \lambda \frac{\Delta T}{h} \quad (2)$$

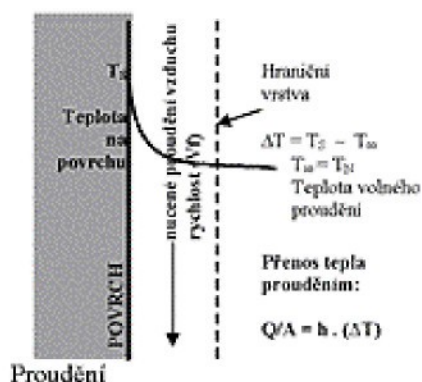
Kde:	q	tepelný tok vztažený na plochu [W.m ²]
	λ	součinitel tepelné vodivosti [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]
	ΔT	teplotní spád (rozdíl teplot) [K]
	h	tloušťka materiálu [m]

Znamená to, že rychlost přenosu tepla poste se zvětšujícím se rozdílem teplot a zvětšováním tepelné vodivosti a klesá s rostoucí tloušťkou desky. Všeobecně je tepelná vodivost u kovů vyšší a u nekovových a porézních materiálů (jako např. cihla) nižší. [2]

2.1.3. Přenos tepla prouděním

Přenos tepla prouděním se uplatňuje u pohybujících se skupenství a je většinou vždy u přenosu tepla mezi pevným a kapalným (plynným) skupenstvím. Volné proudění se uplatňuje pokud přenos tepla způsobuje změnu hustoty kapaliny a teplejší část stoupá vzhůru jako výsledek vzrůstajícího tlaku. Nucené proudění se uplatňuje i tehdy, kdy vnější zdroj, jako např. ventilátor chlazení, uvádí kapalinu (plyn) do pohybu. Pro ilustraci si můžeme představit tepelné proudění na povrchu výměníku tepla a vzduchem, který je hnán ventilátorem směrem k výměníku. Tepelná energie na povrchu výměníku se přenáší do vzduchu a dochází tak k ochlazování povrchu výměníku a oteplování vzduchu.

Na Obr. 2 máme schéma, které nám popisuje situaci přenosu tepla z pevné desky na pohybující se kapalinu (plyn).



Obr. 2.2: Přenos tepla prouděním

U přenosu tepla prouděním se přenos tepla děje dvojím způsobem. Přímé vedení tepla kapalinou (plynem) a pohybem vlastní kapaliny (plynu).

Přítomnost desky způsobuje volnou rychlost kapaliny v , která klesá u povrchu desky na nulu a mění se proměnné vzdálenosti nazvané hraniční vrstva. Tloušťka hraniční vrstvy nepřímo úměrně závisí na volné rychlosti kapaliny a je větší pro volné proudění a menší pro proudění nucené. Rychlost proudění tepla závisí na tloušťce hraniční vrstvy a tepelném rozdílu T_s a T_N , kde první je teplota povrchu a druhá teplota volné kapaliny (plynu) mimo prostor hraniční vrstvy.

Přenos tepla prouděním na jednotku plochy si můžeme vyjádřit upraveným **Newtonovým pravidlem**:

$$q = \alpha_p \cdot \Delta T \quad (3)$$

kde:	q	tepelný tok vztažený na plochu [W.m ²]
	α_p	koeficient přestupu tepla [W.m ⁻² .K ⁻¹]
	ΔT	teplotní spád (rozdíl teplot) [K]

Přirozené vysvětlení této formulky nám říká, že rychlost tepelného toku roste s rostoucím rozdílem teplot a s rostoucím koeficientem přestupu tepla. Vyrůstající rychlost kapaliny (plynu) má za následek rostoucí koeficient přestupu. [2]

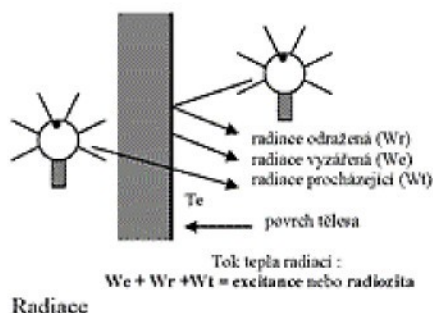
2.1.4. Přenos tepla zářením

Přenos tepla radiací se od předcházejících dvou liší v několika aspektech:

- může procházet vakuem,
- uskutečňuje se elektromagnetickou emisí a absorpcí,
- probíhá rychlostí světla a chová se jako světlo,

Pro ilustraci přenosu tepla radiací si uvedeme příklad montáže výkonového odporu vedle diody na desce obvodů. Množství tepelné energie vytvořené výkonovým odporem se vyzáří z povrchu odporu a určitá část je absorbována povrchem diody. Dioda se tímto ohřívá a odpor ochlazuje.

Tepelná infračervená radiace opouštějící povrch tělesa se nazývá radiační excitance nebo radiosita. Ta může být emitována z povrchu, odražená od povrchu nebo může procházet povrchem, tak jak je zobrazena na Obr. 2.3.



Obr.2.3: Přenos tepla radiací

Celková excitance je rovna součtu jednotlivých komponent tj. části emitované **We**, odražené **Wr** a části procházející **Wt**. Teplota povrchu je ovšem závislá pouze na jedné komponentě a to na emitované **We**.

Pro popis zákonitostí vyzařované energie z povrchu těles máme dva klíčové zákony.

Pro teplo vyzařované z povrchu těles **Stephan-Boltzmannův zákon**:

$$W = \delta \cdot \varepsilon \cdot T^4 \quad (4)$$

kde: W radiační tok vztažený na jednotkou plochy [W/m^2],
 ε emisivita (jednotka pro černé těleso) [-]
 δ Stephan-Boltzmannova konstanta = $5,673 \times 10^{-8} \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-4}$
 T absolutní teplota tělesa [K]

Pro hodnotu vlnové délky s maximální radiací λ_m na povrchu tělesa platí

Wienův zákon:

$$\lambda_m = \frac{b}{T} \quad (5)$$

kde: λ_m vlnová délka s maximální hodnotou radiace [μm]
 b Wienova konstanta = $2897 [\mu\text{m.K}]$
 T absolutní teplota tělesa [K]

Celková excitace dostupná měřicímu přístroji z povrchu tělesa má tři komponenty :

emitovanou energii (We)

odraženou energii (Wr) od prostředí a dalších odrazových předmětů

procházející energii (Wt) skrz povrch tělesa a emitovanou dalšími tělesy

Pokud máme vyzařující černé těleso, pak má emisivitu = 1 a neodráží ani jim neprochází žádná energie. Pokud máme vyzařující těleso šedé, pak se spektrální rozložení podobá rozložení tělesa černého, ale protože emisivita je menší než jedna, může také energii odrážet nebo propouštět. Pro emitující našedlé těleso také platí, že energie je odrážena a přenášena. Vzhledem k tomu, že souvislost mezi teplotou povrchu tělesa a vyzařovanou energií má pouze komponenta **We**, začíná být jasné, že nejdůležitější krok, který uděláme při infračerveném měření teploty, je eliminace nebo kompenzace zbylých dvou komponent. [2]

2.2. Tepelně izolační vlastnosti

2.2.1. Tepelná vodivost

Tepelná vodivost je vyjádřena součinitelem tepelné vodivosti, který udává schopnost látky vést teplo. Představuje množství tepla, které projde za sekundu stěnou krychle se stranou jeden metr.

Rychlost odvodu tepla vrstvou je dána vztahem:

$$\frac{Q}{t} = \lambda \frac{A \Delta T}{h} \quad (6)$$

kde:	Q	množství převedeného tepla [J]
	t	čas[s]
	λ	součinitel tepelné vodivosti [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]
	A	plocha textilie [m ²]
	h	tloušťka textilie [m]
	ΔT	teplotní spád (rozdíl teplot) [K]

Látky s velkým součinitelem tepelné vodivosti jsou dobrými vodiči tepla. Patří mezi ně kovy, neboť u nich vedení tepla uskutečňují hlavně volné elektrony. Ostatní pevné látky kromě tuhy mají podstatně menší součinitel tepelné vodivosti než kovy. Nejmenší součinitel tepelné vodivosti mají plyny, proto také pevné látky, v nichž je velké množství malých mezer nebo dutin obsahujících vzduch, vedou teplo velmi špatně a používají se jako dobré tepelné izolanty. Tepelná vodivost takových látek závisí na jejich vlhkosti, struktuře materiálu, na objemové hmotnosti, jemnosti vláken aj. [4]

2.2.2. Tepelný odpor

Tepelný odpor je odpor, který klade nějaké těleso proti šíření tepla.

Plošný tepelný odpor vyjadřuje množství tepla prošlého za jednotku času vrstvou materiálu o jednotkové ploše při jednotkovém teplotním spádu.

Teplotní odpor je dán vztahem:

$$R = \frac{\Delta T}{Q} = \frac{h}{\lambda} \quad (7)$$

kde:	R	tepelný odpor [K.J ⁻¹]
	ΔT	teplotní spád (rozdíl teplot) [K]
	Q	množství převedeného tepla [J]
	h	tloušťka textilie [m]
	λ	tepelná vodivost [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]

Ze vzorce vyplývá závislost tepelného odporu na tepelné vodivosti a tloušťce textilie. [5]

2.2.3. Teplotní vodivost

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

Je dána vztahem:

$$\alpha = \frac{\lambda}{c \cdot \rho} \quad (8)$$

kde:	α	teplotní vodivost [m ² .s ⁻¹]
	λ	tepelná vodivost [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]
	c	měrná tepelná kapacita [J.kg ⁻¹ .K ⁻¹]
	ρ	specifická hustota [kg.m ⁻³]

2.2.4. Tepelná jímavost

Tepelná jímavost, označovaná jako tepelný puls, charakterizuje dynamiku tepelného děje při kontaktu s okolím.

Je dána vztahem:

$$b = \frac{\lambda}{\alpha^{1/2}} \quad (9)$$

kde:	b	tepelná jímavost [W.s ^{-1/2} .m ⁻² .K ⁻¹]
	λ	tepelná vodivost [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]
	α	teplotní vodivost [m ² .s ⁻¹]

Tepelná jímavost vyjadřuje pocit chladu a tepla. Platí závislost, čím menší je tepelná jímavost, tím větší je hřejivost textile.

Tepelná jímavost závisí na složení, struktuře a povrchu materiálu.

2.2.5. Tepelná kapacita

V termodynamice je častým jevem ohřívání látek. Přijme-li, jinak izolované těleso v termodynamické soustavě, element tepla dQ a zvýší-li se jeho teplota o dT , říkáme, že soustava má tepelnou kapacitu. [6]

Tepelná kapacita je dána vztahem:

$$C = \frac{dQ}{dT} \quad (10)$$

kde:	C	tepelná kapacita [J.K ⁻¹]
	dQ	přírůstek tepla [J]
	dT	přírůstek teploty [K]

Vztáhneme-li tuto kapacitu na jednotku hmotnosti, dostaneme měrnou tepelnou kapacitu:

$$c = \frac{C}{m} \quad (11)$$

kde:	c	měrná tepelná kapacita [J.kg ⁻¹ .K ⁻¹]
	C	tepelná kapacita [J.K ⁻¹]
	m	hmotnost látky [kg]

Měrné teplo směsi je dáno vztahem:

$$c = \sum_{i=1}^n n_i \cdot c_i \quad (12)$$

kde:	c	měrná tepelná kapacita [J.kg ⁻¹ .K ⁻¹]
	n _i	hmotnostní zlomek i-té komponenty [-]
	c _i	měrná tepelná kapacita i-té komponenty [J.kg ⁻¹ .K ⁻¹]

2.3. Tepelně izolační vlastnosti textilních vláken

Udržení tepla a ochrana proti chladu je jednou z velmi důležitých podmínek pro posouzení vhodnosti vláken pro odívání. Z praktických zkušeností je známo, že vlna zachovává tělesné teplo velmi dobře, naproti tomu len daleko méně. Proto se vlněných látek požívalo pro chladnější období, kdežto lněných šatovek pro léto.

Ačkoliv nejsou přímá měření tepelné vodivosti vláken, je možno podle různých měření vodivosti srovnávat. Přitom se ukazuje, že v tepelných vodivostech vláken nebudou pravděpodobně příliš velké rozdíly, které by mohly vysvětlit velmi rozdílné tepelné izolační vlastnosti vláken. Daleko výrazněji se projevuje přítomnost vzduchu ve vláknech i v hotové textilií.

Množství a rozložení vzduchu v textilním materiálu je hlavní podmínkou dobrých izolačních vlastností vláken. Podle toho, jak těsně jsou vlákna uložena, se mění tepelná vodivost. Při větším stěsnání je tepelná vodivost podstatně nižší a naopak. [7]

2.4. Faktory ovlivňující tepelně izolační vlastnosti

Tepelně izolační vlastnosti textilií ovlivňuje celá řada vnějších i vnitřních vlivů: parametry vláken, technologie zpracování, struktura textilie, zaplnění, stlačitelnost, materiálové konstanty, součinitele přestupu a prostupu tepla a řada dalších faktorů.

2.4.1. Vliv jemnosti vláken na tepelně izolační vlastnosti

Nejmenší tepelnou vodivost a největší tepelný odpor mají materiály z velmi jemných vláken, neboť jejich použitím získáme v textilií velký počet uzavřených pórů naplněných vzduchem. Použitím hrubých vláken, která zajistí dostatečnou odolnost vůči stlačení, se snižuje tepelný odpor. Hrubá vlákna nepříznivě ovlivňují izolační vlastnosti, protože se v materiálu nevytvoří dostatečné množství uzavřených pórů.

Proto je vždy nutné zajistit optimální složení vlákenné směsi, aby výrobek plnil svoji funkci tepelně izolační a vyhovoval i z hlediska vlastností podstatných při namáhání stlačováním.[8]

2.4.2. Vliv vlhkosti vláken na tepelně izolační vlastnosti

Se zvyšující se vlhkostí textilie roste její tepelná vodivost. Důvodem je „ztráta“ vzduchových pórů. Ji-li bráno v úvahu, že $\lambda_{\text{vzduchu}} = 0,0217 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ a $\lambda_{\text{vody}} = 0,5 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$, pak má voda 23x větší tepelnou vodivost než vzduch v klidném stavu. Vodou nasycený pór prakticky představuje tepelný můstek, kde nic nebrání přenosu tepla, nejvíce vedením. [9]

K dalšímu navýšení vodivosti dojde v případě přenosu výparného tepla, jehož zdrojem je odpařování kapaliny na jedné straně a její kondenzace na straně druhé.

Obsah vlhkosti udáváme jako poměrnou hmotnostní vlhkost ω_m .

$$\omega_m = \frac{(m_v - m_s)}{m_s} \cdot 100 \quad (13)$$

kde: ω_m poměrná hmotnostní vlhkost [%]
 m_v hmotnost vlhké látky [kg]
 m_s hmotnost suché látky [kg]

Obsah vlhkosti je závislý na prostředí, ve kterém se materiál používá. Známe několik zdrojů vlhkosti:

- technologický
- provozní
- sorpční
- srážkový
- zemní
- zkondenzovaný [11]

2.4.3. Vliv stlačení textilií na tepelně izolační vlastnosti

Stlačení textilie má velmi podstatný vliv na tepelně izolační vlastnosti. Tloušťka vrstvy, struktura materiálu, objemová hmotnost, tvar a velikost mezivlákněných prostorů – všechny tyto veličiny stlačení textilie výrazně ovlivňuje a tím i její tepelně izolační vlastnosti. Obecně lze říci, že se zatěžováním textilie klesá její tloušťka a s ní i tepelný odpor. Možným řešením je požití hrubých vláken, která zajistí dostatečnou odolnost vůči stlačení. Ta však na druhé straně nepříznivě ovlivňují izolační vlastnosti textilií, protože se v materiálu nevytvoří dostatečné množství uzavřených pórů, jako v případě použití jemných vláken. [9]

2.4.4. Vliv zaplnění na tepelně izolační vlastnosti

Na zaplnění závisí podíl textilie připadající na mezivlákněné prostory. Ten přímo ovlivňuje tepelně izolační vlastnosti textilií. Schopnosti izolovat závisí na počtu, tvaru a parametry vláken a technologii zpracování. Použití krátkých, jemných a zkadeřených vláken vede k velkému počtu uzavřených pórů vyplněných vzduchem. Volbou technologie při výrobě rouna lze ovlivnit rozložení vláken v prostoru. [9]

2.4.5. Vliv směru toku tepla na tepelně izolační vlastnosti

Tepelný tok paralelní s orientací převážné většiny vláken způsobuje vyšší tepelnou vodivost než tepelný tok kolmý na vlákna. Souběžně s vláknem se tvoří souvislá vodivá vrstva, zatímco při kolmém toku tepla je tato vodivá vrstva přerušována vzduchovými mezerami.

Látky s převážnou orientací vláken kolmo k tepelnému toku mají výhodnější izolační vlastnosti než látky s vlákny rovnoměrně rozptýlenými ve všech směrech a ještě výhodnější než látky s vlákny uspořádanými rovnoběžně s tepelným tokem.[11]

2.5. Měření tepelně izolačních vlastností

Jednou z mnoha dobrých vlastností textilií je jejich tepelně izolační schopnost (nepropustnost tepla). Proto se jich využívá jak v oděvním, tak v technickém průmyslu jako nepostradatelné izolanty. Z čehož vyplývá důležitost zkoumání tepelně izolačních vlastností textilií. Faktory, které ovlivňují tepelně izolační vlastnosti textilií s sebou přinášejí řadu vnějších i vnitřních vlivů, materiálových konstant, součinitelů prostupu a přestupu tepla i dalších hodnot a veličin, které je pro textilní materiály velmi nesnadné a někdy i nemožné nalézt. To způsobuje problémy při hodnocení tepelně izolačních vlastností a vyžaduje používání spolehlivých testovacích prostředků a metod zkoumání.

Princip všech metod měření tepelně izolačních vlastností je přivedení tepla k textilii, jeho průchod zkoumaným materiálem a odvod tepla. Při tomto procesu jsou měřeny povrchové teploty, množství tepla na začátku a na konci děje, tloušťka textilie, atd. Měření se provádí buď za stacionárního nebo nestacionárního stavu, tj. teplota se v závislosti na čase mění nebo nemění. Další rozdělení metod je možné podle stavu tepelného toku na metody dynamické a statické. Měření za stacionárního stavu je spolehlivější a výsledek je přesnější. Nevýhodou je dlouhá doba ustalování (až několik hodin u některých zařízení). Všechny používané metody vyžadují dlouhý čas nebo jsou zatíženy experimentální chybou.[9]

Izolační schopnost textilií se dá stanovit z tepelné vodivosti a tepelného odporu.

Nejznámějšími testovacími metodami jsou:

Nestacionární tepelný tok

metoda válce: přístroj Poegenové a Bockové ČSN 727011

metoda desková: přístroj Van Rinsunův ČSN 727012

metoda koule: přístroj Nuseltův ČSN 727013

Stacionární tepelný tok

TOGMETER (přístroj SDL M259) ISO 5085

ALAMBETA

přístroj TP2

Jednoduchou dynamickou metodu vyvinuli Martin a Lamb, dále byla rozpracována a zdokonalena na TU Liberec. Tato metoda však vykazuje nepředvídatelnou chybu, která se projevuje především u porézních materiálů. Z toho důvodu je dynamická metoda prakticky nepoužitelná k měření porézních materiálů.[10]

3. Experimentální část

3.1. Navrhněte zařízení pro hodnocení termoizolačních vlastností textilních materiálů

Tak , aby mohl osobní počítač (PC) přijímat data z měřicího přístroje, musí být patřičně propojen měřicí přístroj s PC. K tomu aby byla zajištěna komunikace měřicího přístroje s PC, je potřeba nainstalovat do PC vhodnou měřicí kartu. Dále pro zesílení naměřeného signálu je důležitý zesilovač.

Sběr dat a komunikaci s přístrojem zajišťuje programovací vývojové prostředí Lab VIEW. Tento program a komponenty byly pořízeny a nainstalovány do PC.

3.1.1. Multifunkční karta 6034E

Přímo do PC byla nainstalována multifunkční měřicí karta řady E s 16-bitovým rozlišením do PCI sběrnice od firmy National instruments (viz.Obr. 3.1).



Obr.3.1: Multifunkční měřicí karta pro PCI sběrnici

Karta obsahuje:

- šestnáct jednoduchých 16-bitových analogových vstupů
- dva 16-bitové analogové výstupy,
- osm digitálních vstupů a výstupů
- dva 24-bitové čítače/ časovače

maximální vzorkovací frekvence – 200 kS/s

spouštění programově.

Další technické parametry v příloze č.2.[12]

3.1.2. Nastavení multifunkční karty 6034E

Pomocí programovacího vývojového prostředí LabVIEW byla nastavena multifunkční karta 6034E.

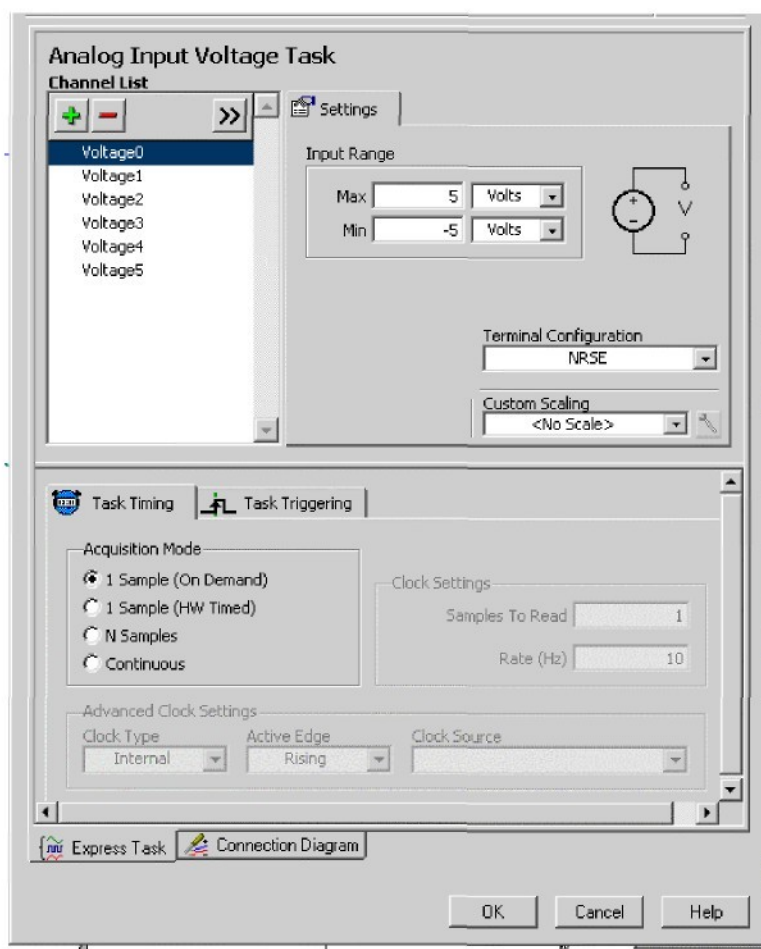
Do prázdného virtuálního přístroje (VI)- program v Lab VIEW- z palety **Input** byl vybrán expresní VI **DAQ Assistant** (viz. Obr.3.2).



Obr.3.2: Ikona expresního VI

Pomocník DAQ Assistant automaticky otevře dialogové okno **Create New**. Kliknutím na tlačítko **Analog Input** byly zobrazeny možnosti nastavení analogových vstupů. V dialogovém okně **Voltage** (analogový vstup napětí) byl zobrazen seznam kanálů s kterými disponuje multifunkční karta. V tomto případě pracuje se šesti kanály (každému snímači tepelného toku byl přiřazen jeden kanál).

V okně se seznamem kanálů **My Physical Channels** bylo zvoleno číslo fyzického kanálu, ke kterému byl připojen signál. Po kliknutí na tlačítko **finish**, DAQ Assistant otevřel okno, ve kterém byly nastaveny možnosti zvoleného kanálu (viz. Obr.3.3).



Obr.3.3: Nastavení zvoleného kanálu

Input Range: Max +5 Volts
 Min -5 Volts
 Acquisition Mode: 1 Sample (On Demand)

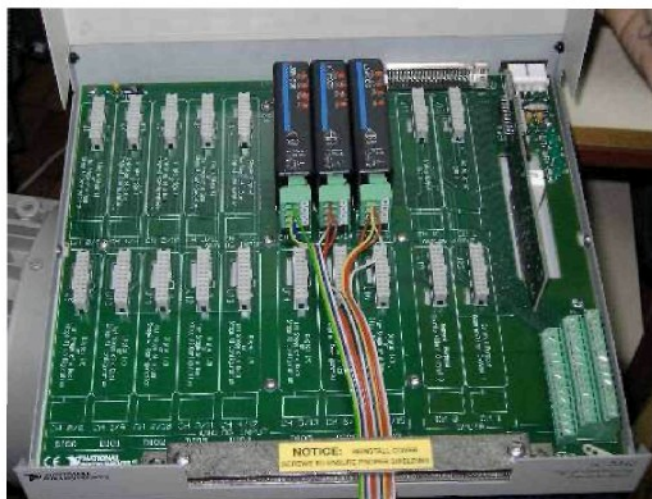
Takto byly nastaveny všechny použité kanály. [13]

3.1.3. Skříňka pro úpravu signálu SC-2345 se zásuvným modulem s izolačním zesilovačem SCC-AI07

Skříňka pro úpravu signálu SC-2345 se skládá z SC-2345 připojovací svorkovnice a z SC-2345 panelu s konfigurovatelnými konektory, které přijímají uživatelský I/O pro přímou komunikaci se zásuvnými moduly s izolačním zesilovačem SCC-AI07. Tyto moduly spojí měřený signál s multifunkční kartou 6034E.

Zásuvné moduly obsahují objímky pro SCC jednotky, spolu se šroubovými svorkami pro spojení signálu s měřicí kartou.

Modul je dvoukanálový, proto pro 6 snímačů tepelného toku byly použity tři kusy.



Obr. 3.4: Skříňka pro úpravu signálu



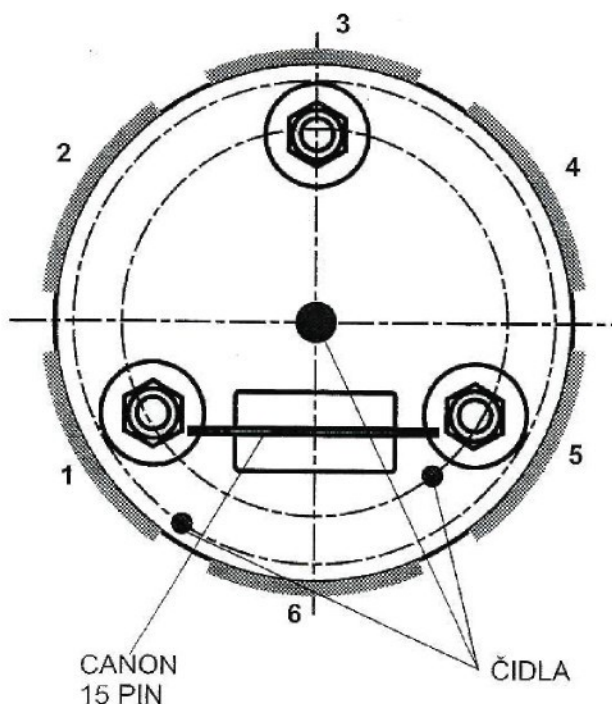
Obr. 3.5: Zásuvný modul s izolovaným zesilovačem

Zásuvný modul s izolačním zesilovačem, pro vstupní rozsah ± 50 mV, zesílí signál 200x na maximální rozsah karty ± 10 V.

Více technických informací v příloze č.3. [12]

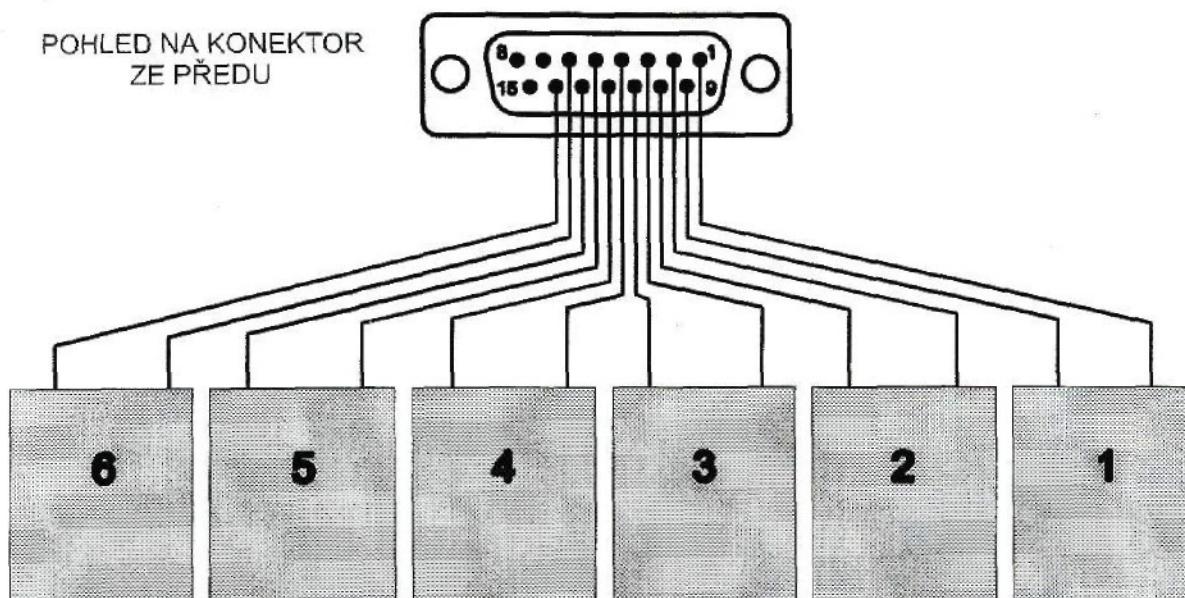
3.1.4. Vyhříváný váleček

Vyhříváný váleček je přímo součástí laboratorního větrného tunelu. Je vyhříván elektricky a regulován PID regulátorem. Váleček je vyhříván na 37°C , aby simuloval tělesnou teplotu člověka. Čidla teploty jsou rozmístěna uvnitř válečku. Jak je zobrazeno na Obr.3.6. Na povrchu válečku je přilepeno šest snímačů tepelného toku souměrně po jeho obvodu.



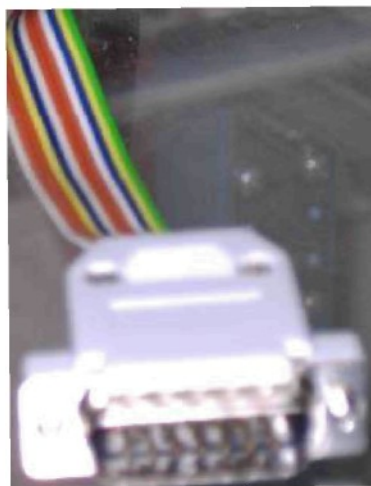
Obr.3.6: Pohled na vyhříváný váleček shora

Váleček je opatřen 15ti pinovým konektorem pro sběr naměřených dat. Obr.3.7 naznačuje přivedení napětí ze snímačů tepelného toku do konektoru. Využito je 12 pinů.



Obr.3.7: Přivedení napětí ze snímačů tepelného toku do konektoru

Pomocí kabelu byl váleček spojen se zásuvnými moduly s izolačním zesilovačem (Obr.3.8).

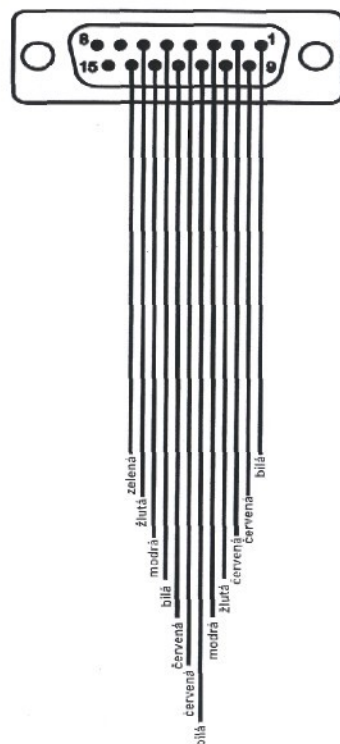


Obr.3.8: 12ti pinový kabel

Protože modul je dvoukanálový, jak je uvedeno v kapitole 3.1.2., má modul 4 vstupy. Na Obr. 3.9 je znázorněno, jak je spojen kabel vedoucí z tepelného válečku s moduly s izolačním zesilovačem.



Obr.3.9: 12ti pinový kabel spojen s moduly s izolačním zesilovačem



Obr.3.10: Konektor s 12ti pinovým kabelem

3.2. Zařízení realizujte včetně potřebného programového vybavení, využijte programového prostředí Lab VIEW.

Řídící program k připravenému systému, který je popsán v předchozí kapitole, byl zkonstruován v programovém vývojovém prostředí LabVIEW programovacím jazykem G. Blokové schéma, používající programovací jazyk G, je přehlednější a vhodnější k řešení problému v této diplomové práci.

3.2.1. Programové vývojové prostředí LabVIEW

LabVIEW je programovací vývojové prostředí, stejné jako prostředí C nebo Basic a LabWindows/CVI. Prostředí LabVIEW se však od nich liší v jednom ohledu. Ostatní programovací systémy používají programovací jazyky vystavené na základech textových příkazů, zatímco LabVIEW používá programovací jazyk G k vytváření programu ve formě blokových diagramů. LabVIEW je programovací systém pro obecné použití s rozšiřujícími knihovnami funkcí pro jakoukoliv programovací úlohu. Také obsahuje knihovny pro

získávání dat, ovladače GPIB a sériového rozhraní, pro analýzu dat, prezentaci dat a pro jejich uchovávání. Obsahuje též klasické programovací nástroje, kterými lze nastavit místa přerušení běhu programu, animovat chod sledu příkazů, aby bylo zřejmé, jak data procházejí programem a krokovat program pro jednodušší doladování programu a další vývoj. Dále LabVIEW obsahuje vestavené knihovny pro sériové komunikace, více než 550 přístrojových ovladačů, rozšiřitelnou knihovnu analýz pro zpracování signálu, statistiku.

Programy, tvořené v LabVIEW jsou nazývány Virtual instruments (VIs) (virtuální přístroje), protože jejich vzhled a činnost připomíná skutečné přístroje. VIs se skládají z interaktivního uživatelského rozhraní a z diagramu dat.

Uživatelské rozhraní (přední panel) obsahuje otočné knoflíky, tlačítka, grafy a ostatní ovládací a indikační prvky. Následně se sestavuje diagram dat (blokový diagram), který zastupuje zdrojový kód.[14]

3.2.2. Řídící program

Ve vývojovém programovém prostředí LabVIEW v příslušném VI byl sestaven řídicí program pro sběr naměřených dat v laboratorním větrném tunelu pomocí snímačů tepelného toku. Napětí, která byla snímána ze snímačů tepelného toku, byla přepočítána na tepelný odpor jednotlivých snímačů a následně pak vypočten celkový tepelný odpor jednotlivých snímačů. Tyto hodnoty jsou ukládány do souboru na pevný disk.

3.2.3. Přepočítání termonapětí snímačů tepelného toku na tepelný odpor

Snímač tepelného toku na vyhřívaném válečku byl zajišťován přímým měřením termonapětí U .

Hustotu tepelného toku q v místě snímače byla obdržena vynásobením tohoto termonapětí kalibrační konstantou k . Hustota tepelného toku má tvar:

$$q = k \cdot U \quad (14)$$

kde:	q	hustota tepelného toku [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$]
	k	kalibrační konstanta snímače tepelného toku [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{mV}^{-1}$]
	U	termonapětí [mV]

Z toho důvodu v řídicím programu snímaná data byla vynásobena příslušnou kalibrační konstantou (viz. obr.8). Konstanta v řídicím programu se nachází v blokovém diagramu na paletě function: function >> numeric >> numeric constant

-1150

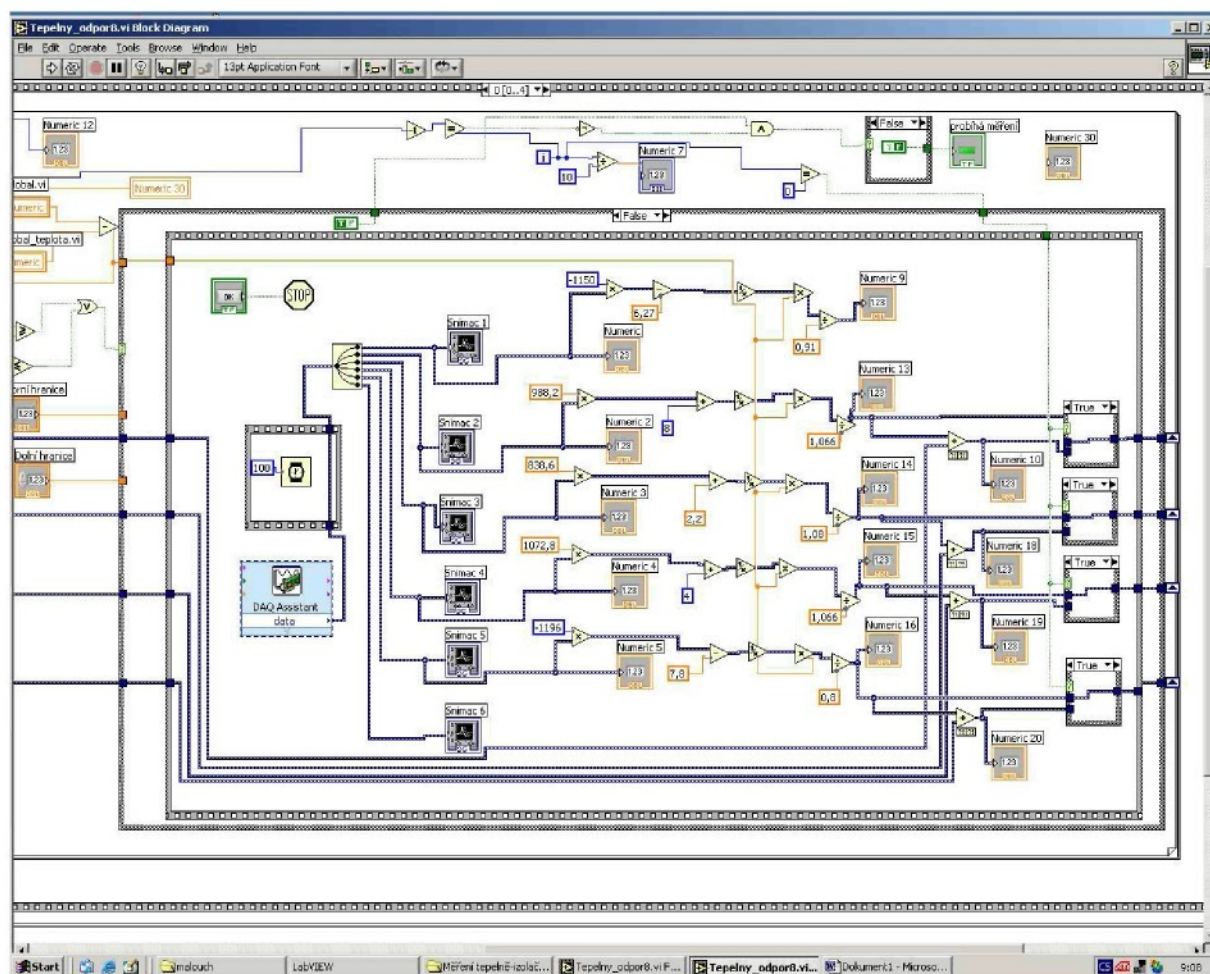
Po vynásobení teplotního spádu ΔT s reciprokou hodnotou hustoty tepelného toku q bylo dosaženo tepelného odporu R .

Vztah pro tepelný odpor je popsán v teoretické části v kapitole 2.2.2.

Teplotní spád je udáván pomocí globálních proměnných. Globální proměnná je jedinečná pro všechny programy VI vytvořené ve vývojovém prostředí LabVIEW. V této diplomové práci je globální proměnná použita jako teplota v laboratorním tunelu a teplota vyhřívaného válečku.

Po odečtení těchto dvou proměnných, byl získán teplotní spád ΔT .

Aby měření bylo co nejpřesnější, je třeba zajistit téměř konstantní teplotní spád. Z toho důvodu byly do řídicího programu naprogramovány toleranční hranice teplotního spádu, které jsou nastavitelné. Po překročení jedné z tolerančních hranic, program se pozastaví a čeká, až bude teplotní spád v toleranci, po té se automaticky spustí.



Obr.3.11: Zdrojový kód pro přepočítání dat na tepelný odpor

Jak je patrné z Obr.3.11, v řídicím programu reciproká hodnota byla ošetřena v blokovém diagramu:

function >> numeric >> reciprocal

3.2.4. Tepelné odpory jednotlivých snímačů tepelného toku a celkový tepelný odpor

Ze získaných tepelných odporů jednotlivých snímačů tepelného toku R_1, R_2, R_3, R_4 byl vypočten celkový průměrný odpor R_c , podle vzorce váženého průměru :

$$R_c = \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{n} \quad n = 4, i = 1, 2, 3, 4 \quad (15)$$

kde: R_c celkový průměrný tepelný odpor [$K \cdot m^{-2} \cdot W^{-1}$]
 R_1, R_2, R_3, R_4 tepelné odpory jednotlivých snímačů tepelného toku [$K \cdot m^{-2} \cdot W^{-1}$]
 n počet snímačů tepelného toku [$K \cdot m^{-2} \cdot W^{-1}$]

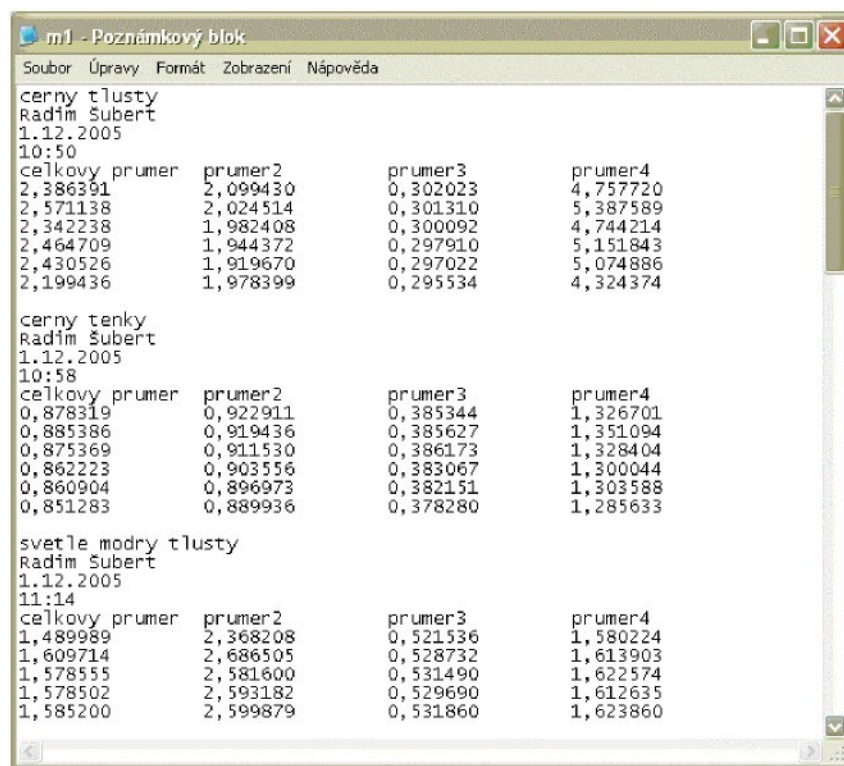
Jelikož snímače tepelného toku byly nalepeny po obvodu vyhřívaného válečku souměrně, naměřená data snímačů tepelného toku jsou osově souměrná. Z toho důvodu celkový tepelný odpor byl počítán ze čtyřech vybraných snímačů tepelného toku. Celkový tepelný odpor byl počítán se snímačů tepelného toku č. 2, 3, 4, 5.

3.2.5. Ukládání dat do souboru

Hodnoty, které byly naměřeny a přepočteny, lze ukládat do souboru, pro případné další zpracování a vyhodnocování.

Do souboru jsou ukládány tepelné odpory snímačů tepelného toku č. 2, 3, 4, 5 a celkový tepelný odpor těchto tří snímačů.

Uložený soubor má přidělenou příponu .lvm a lze ho otevřít v běžném poznámkovém bloku (viz. Obr.3.12).

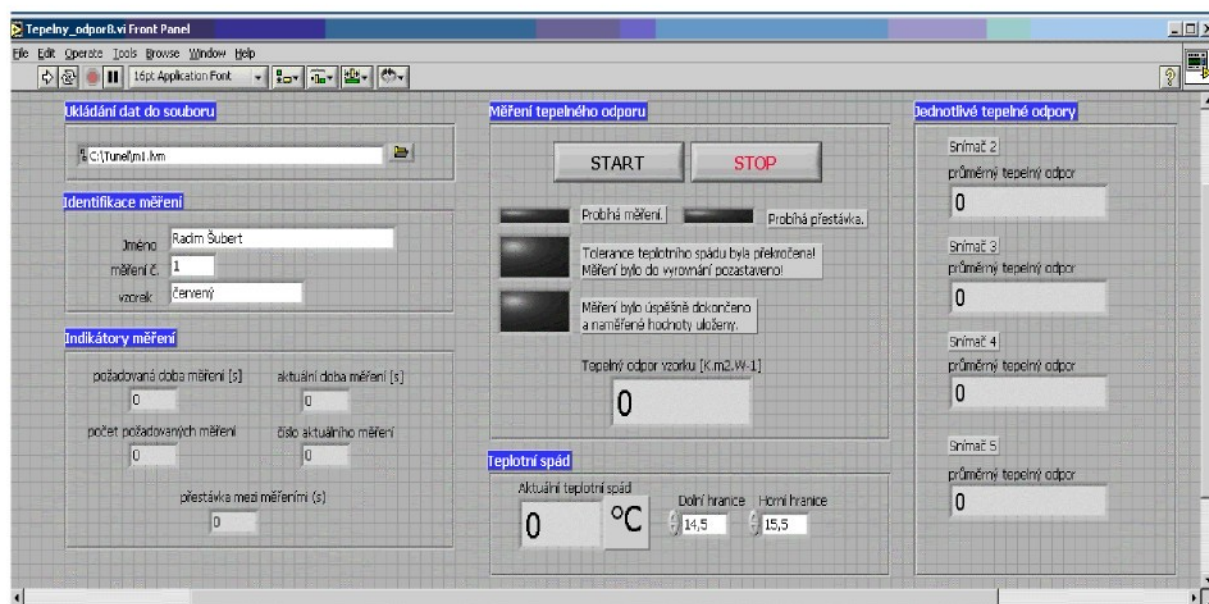


Obr.3.12: Uložená data v souboru

Cesta pro ukládání dat do souboru je nastavitelná.

3.2.6. Přední panel a měření dat

Jak už bylo řečeno v kapitole 2.3.1., řídicí program se skládá z předního panelu a blokového diagramu. Blokový diagram obsahuje zdrojový kód programu a přední panel simuluje přístrojovou desku měřícího přístroje. To je patrné z Obr.3.13.



Obr.3.13: Přední panel řídicího programu

Přední panel se skládá ze šesti sekcí:

Indikátory měření

V této sekci lze nastavit dobu, po kterou bude probíhat měření a počet měření

Ukládání dat do souboru

Nastavení cesty souboru, do níž se uloží naměřená data

Identifikace měření

Tato sekce tvoří poznámku při ukládání dat do souboru. Slouží pro lepší přehlednost uložených dat.

Měření tepelného odporu

Tato sekce zajišťuje spouštění a přerušení programu. Lignalizuje, zda program je spuštěn nebo pozastaven. Po úspěšném dokončení měření se zobrazí celkový tepelný odpor.

Jednotlivé tepelné odpory

Po úspěšném dokončení měření se zobrazí tepelné odpory jednotlivých snímačů tepelného toku.

Teplotní spád

Lze nastavit toleranční hranice teplotního spádu, při nichž nedojde k pozastavení programu. Čím bude tolerance menší, tím bude měření přesnější.

3.3. Vhodnými prostředky proved'te kalibraci snímačů tepelného toku

V klimatické komoře byla provedena 4 měření. V každém jednotlivém měření bylo pracováno s pěti různými teplotními spády v rozsahu (5 – 25)°C. Pokaždé byl teplotní spád zvyšován o 5°C a jednotlivé tepelné toky snímačů **Q1 – Q5** byly zapisovány do Tab.3.1.

Průměrné tepelné toky při jednotlivých tepelných spádech P_i ($i = 1, \dots, 4$) byly vypočteny podle vztahu:

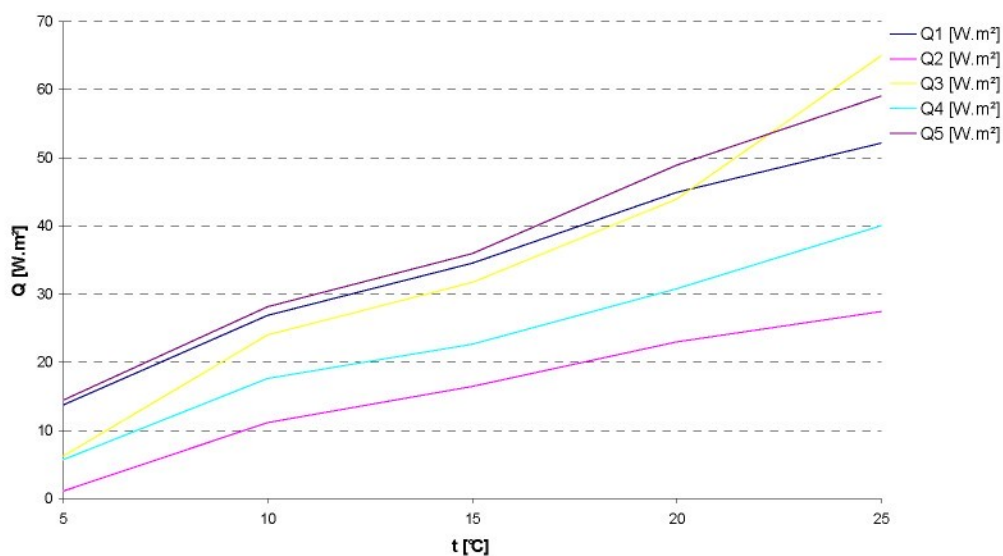
$$P_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n Q_j \quad n = 5 \quad (16)$$

Po vyhodnocení získaných dat byly zjištěny rozdíly v chování jednotlivých snímačů tepelného toku. Rozdíly jsou patrné z Grafů 3.1 – 3.4.

t [°C]	Q1 [W.m ⁻²]	Q2 [W.m ⁻²]	Q3 [W.m ⁻²]	Q4 [W.m ⁻²]	Q5 [W.m ⁻²]	P1 [W.m ⁻²]
5	13,7693206	1,115470724	6,275338924	5,750709947	14,47458799	8,277085636
10	26,90613355	11,17869058	24,06220811	17,66032549	28,19016866	21,59950528
15	34,56937442	16,50000000	31,75868946	22,67592389	36,00000000	28,30079755
20	44,94578239	23,02607653	43,95287275	30,79006985	48,95801778	38,33456386
25	52,19333837	27,4767946	64,98032795	40,04485884	59,05329927	48,74972381

Tab.3.1: Tepelné toky jednotlivých snímačů tepelného toku v měření č.1

Měření č.1 v klimatické komoře

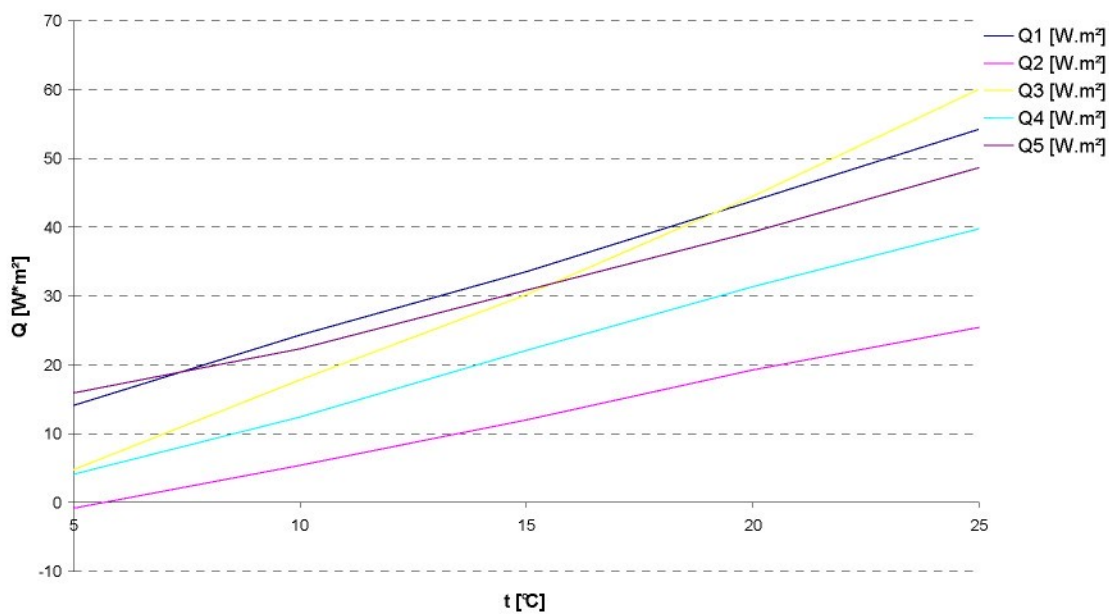


Graf 3.1: Tepelné toky jednotlivých snímačů tepelného toku v měření č.1

t [°C]	Q1 [W.m ⁻²]	Q2 [W.m ⁻²]	Q3 [W.m ⁻²]	Q4 [W.m ⁻²]	Q5 [W.m ⁻²]	P2 [W.m ⁻²]
5	14,09672294	-0,843154474	4,739132648	4,08153805	15,91451036	7,597749906
10	24,29008204	5,395869546	17,80090872	12,42925971	22,33125965	16,44947593
15	33,5251384	11,98694176	30,17847742	22,09356468	30,81569083	25,71996262
20	43,78629589	19,25794887	44,44463785	31,33396206	39,27723721	35,62001637
25	54,20893516	25,42563848	60,04465925	39,76640415	48,61989105	45,61310562

Tab. 3.2: Tepelné toky jednotlivých snímačů tepelného toku v měření č.2

Měření č.2 v klimatické komoře

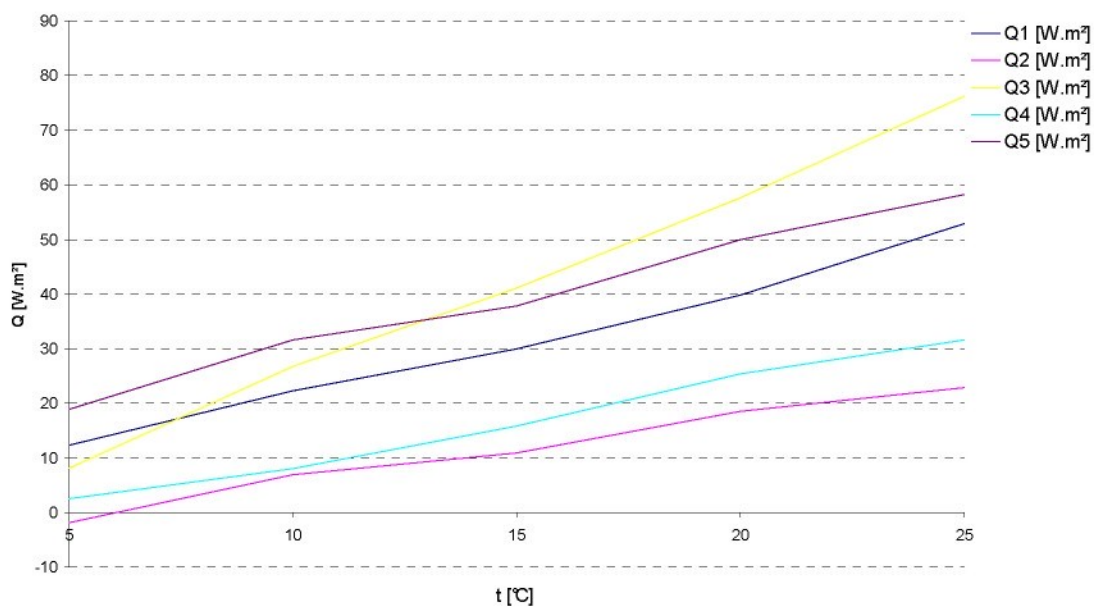


Graf 3. 2: Tepelné toky jednotlivých snímačů tepelného toku v měření č.2

t [°C]	Q1 [W.m ⁻²]	Q2 [W.m ⁻²]	Q3 [W.m ⁻²]	Q4 [W.m ⁻²]	Q5 [W.m ⁻²]	P3 [W.m ⁻²]
5	12,3393067	1,837716239	8,116170125	2,538633983	18,92340485	8,015959884
10	22,27747236	6,937466393	26,71329411	8,073286103	31,60290083	19,12088396
15	29,94741538	10,89829962	41,11343842	15,85115487	37,82497402	27,12705646
20	39,83359516	18,52536215	57,64298848	25,4133585	49,99650678	38,28236221
25	52,91278105	22,87251412	76,19911083	31,59784419	58,23541044	48,36353213

Tab. 3.3: Tepelné toky jednotlivých snímačů tepelného toku v měření č.3

Měření č.3 v klimatické komoře

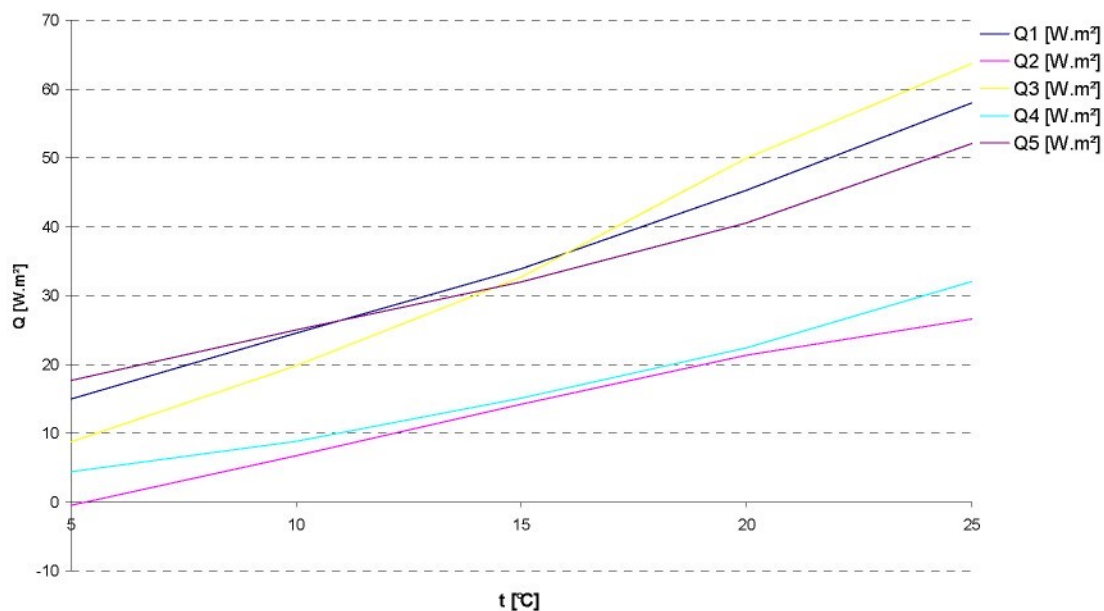


Graf 3. 3: Tepelné toky jednotlivých snímačů tepelného toku v měření č.3

t [°C]	Q1 [W.m ⁻²]	Q2 [W.m ⁻²]	Q3 [W.m ⁻²]	Q4 [W.m ⁻²]	Q5 [W.m ⁻²]	P4 [W.m ⁻²]
5	14,96896026	0,490064615	8,685360063	4,377273607	17,66744506	9,041794874
10	24,51264644	6,697543487	19,76374048	8,805889812	25,00588011	16,95714007
15	33,87689986	14,20967159	32,69258038	15,10651655	31,97071968	25,57127761
20	45,28977507	21,32153333	49,92213787	22,37531981	40,50692973	35,88313916
25	57,98358319	26,5606492	63,66501365	31,99659875	52,09337336	46,45984363

Tab.3. 4: Tepelné toky jednotlivých snímačů tepelného toku v měření č.4

Měření č.4 v klimatické komoře



Graf 3.4: Tepelné toky jednotlivých snímačů tepelného toku v měření č.4

Ze všech čtyř měření bylo stanoveno chování „ideálního“ tepelného toku podle vztahu:

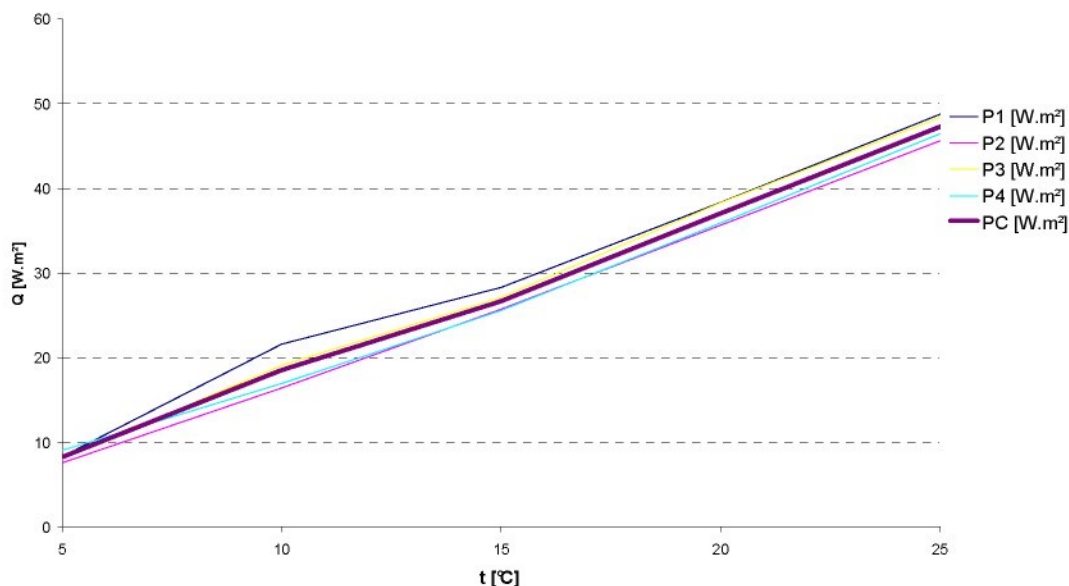
$$PC = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i \quad n = 4 \quad (17)$$

Graficky zobrazeno v Grafu 3.5.

t [°C]	P1 [W.m ⁻²]	P2 [W.m ⁻²]	P3 [W.m ⁻²]	P4 [W.m ⁻²]	PC [W.m ⁻²]
5	8,277085636	7,597749906	8,015959884	9,041794874	8,233147575
10	21,59950528	16,44947593	19,12088396	16,95714007	18,53175131
15	28,30079755	25,71996262	27,12705646	25,57127761	26,67977356
20	38,33456386	35,62001637	38,28236221	35,88313916	37,0300204
25	48,74972381	45,61310562	48,36353213	46,45984363	47,2965513

Tab. 3.5: Průměrné hodnoty tepelných toků všech měření a celkový průměrný tepelný tok

"Ideální" chování snímačů tepelného toku



Graf 3. 5: Průměrné hodnoty tepelných toků všech měření a celkový průměrný tepelný tok

Kalibrační konstanty, které byly v příloženém kalibračním protokolu od výrobce, byly upraveny tak aby se chování všech použitých tepelných toků přibližovalo ke stanovenému „ideálnímu“ tepelnému toku. Úprava kalibračních konstant je v Tab.3.6.

snímač č.	k [W.m ⁻² .mV ⁻¹]	úprava k [W.m ⁻² .mV ⁻¹]	výsledná k [W.m ⁻² .mV ⁻¹]
1	1150	*(-1) – 6,27	-1150 - 6,27
2	732	*1,35 + 8	988,2 + 8
3	1198	*0,7 + 2,2	838,6 + 2,2
4	894	*1,2 + 4	1072,8 + 4
5	1096	*(-1) – 7,8	-1096 – 7,8

Tab.3.6: Úprava kalibračních konstant

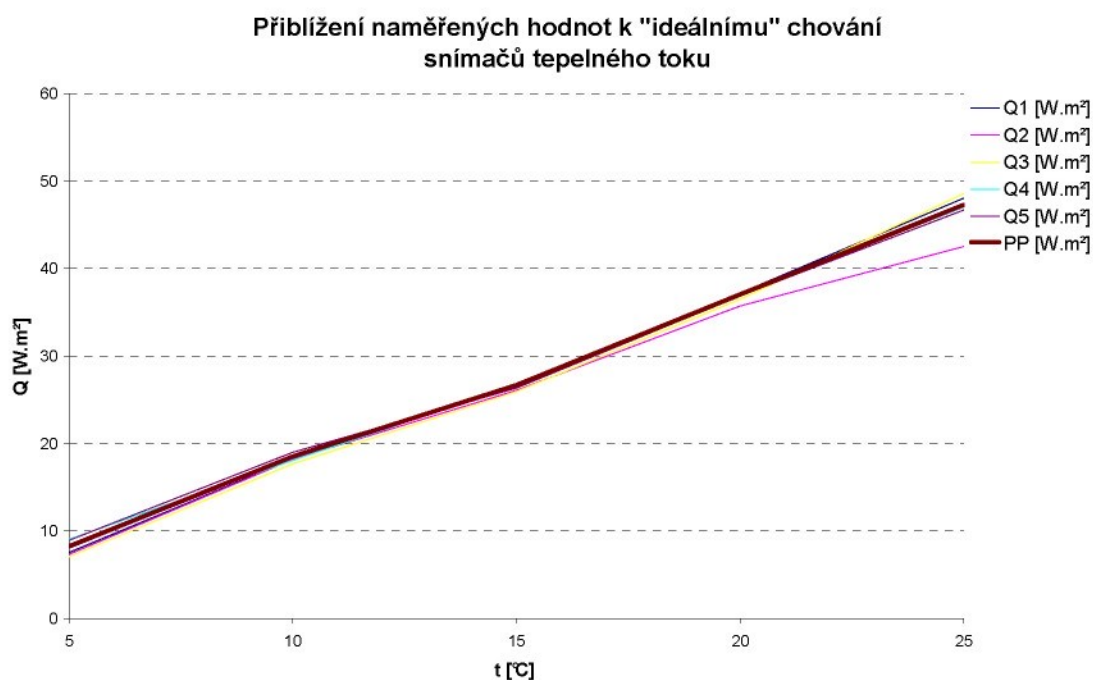
Přiblížení k „Ideálnímu“ chování snímačů tepelného toku zachycuje Graf 3.6.

Celkový průměrný tepelný tok **PP** byl vypočten podle vztahu:

$$PP = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n Q_j \quad n = 5 \quad (18)$$

t [°C]	Q1 [W.m ⁻²]	Q2 [W.m ⁻²]	Q3 [W.m ⁻²]	Q4 [W.m ⁻²]	Q5 [W.m ⁻²]	PP [W.m ⁻²]
5	7,523577623	7,306280696	7,067800308	9,024446676	8,944987066	8,233147575
10	18,2265836	18,19572988	17,6595265	18,09062833	18,98255232	18,53175131
15	26,70970702	26,08828313	25,95505749	26,718148	26,35284613	26,67977356
20	37,19386213	35,7191858	36,49346147	36,97381307	36,88467288	37,0300204
25	48,05465944	42,53826379	48,55559454	47,02171178	46,70049353	47,2965513

Tab.3. 7: Přiblížení naměřených tepelných toků k „ideálnímu“ tepelnému toku



Graf 3.6: Přiblížení naměřených tepelných toků k „ideálnímu“ tepelnému toku

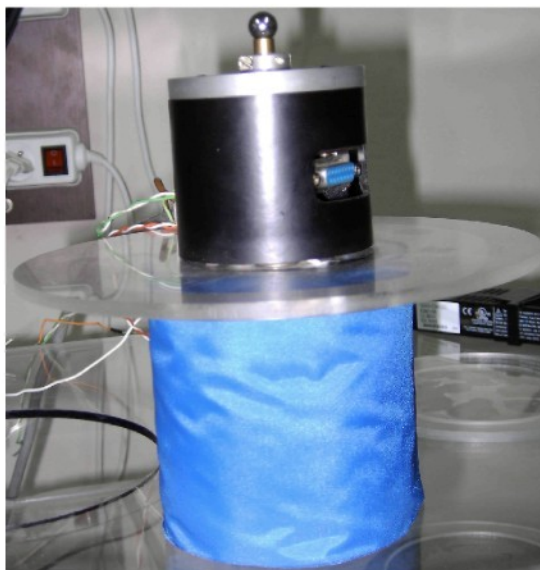
3.4. Ověřte činnost zařízení podle předchozích bodů, prověřte vybranou sadu vzorků

Vzorek č.	Zdroj	materiál	plošná hmotnost [g.m ⁻²]	povrchová úprava
Vrchový materiál				
1	DIRECTALPINE Pontetorto	No wind Pro	395,534	3-vrstvý laminát
2	Blue arrow	Vinový - micro	261,546	-
3	MAYTEX Ružomberok	ALMON UNI HF ZA 1/201	94,879	PU zátěr z pasty
Výplněk				
R6	Vigona	EDITA 100	100	Chemicky pojené
R8	Vigona	EDITA 200	200	Chemicky pojené

Tab.3.8: Testované vzorky

3.4.1. Příprava vzorků

Z výše uvedených materiálů byly vytvořeny vzorky ve tvaru dutého válce, tak aby se daly navléci na vyhřívaný váleček ve větrném tunelu. Vrchový materiál je nasazen na vyhřívaný váleček, který je obalen výplňkovým materiálem (viz. Obrázek 3.14 a 3.15).



Obr.3.14: Vyhřívaný váleček se zkoušeným vzorkem



Obr.3.15: Vzorky pro zkušební měření

Každý vrchový materiál má dva výplňkové materiály, proto bylo vytvořeno šest zkušebních vzorků:

Vzorek č.	Název vzorku	Popis vzorku
1	Vzorek 1 - R6	vrchový materiál č.1 a výplňkový materiál č.R6
2	Vzorek 1 - R8	vrchový materiál č.1 a výplňkový materiál č.R8
3	Vzorek 2 - R6	vrchový materiál č.2 a výplňkový materiál č.R6
4	Vzorek 2 - R8	vrchový materiál č.2 a výplňkový materiál č.R8
5	Vzorek 3 - R6	vrchový materiál č.3 a výplňkový materiál č.R6
6	Vzorek 3 - R8	vrchový materiál č.3 a výplňkový materiál č.R8

Tab.3.9: Popis zkušebních vzorků

3.4.2. Zkušební měření v laboratorním větrném tunelu

Do větrného tunelu byl vložen vyhřívaný váleček se vzorkem č. 1-6. Každý vzorek byl zkoušen při rychlosti proudění vzduchu v tunelu 5 m/s, 10 m/s, 15 m/s a 20 m/s po dobu 5 minut. Snímané hodnoty byly ukládány každých 0,5 s. Pomocí výše uvedeného programu byla naměřena tato data:

R_c [K.m².W⁻¹]- průměrná hodnota měření 1.-5. tepelných odporů $R_2 - R_5$

R_2 [K.m².W⁻¹]- dílčí průměrná hodnota všech naměřených tepelných odporů na snímači tepelného toku č.2 za 300 s

R_3 [$K.m^2.W^{-1}$] - dílčí průměrná hodnota všech naměřených tepelných odporů na snímači tepelného toku č.3 za 300 s

R_4 [$K.m^2.W^{-1}$] - dílčí průměrná hodnota všech naměřených tepelných odporů na snímači tepelného toku č.4 za 300 s

R_5 [$K.m^2.W^{-1}$] - dílčí průměrná hodnota všech naměřených tepelných odporů na snímači tepelného toku č.5 za 300 s

Pro ověření funkčnosti snímačů tepelného toku bylo provedeno zkušební měření s nulovou rychlostí proudění vzduchu. Vyhodnocení tohoto měření bylo vloženo do přílohy č.1.

Tepelný váleček byl natočen tak, aby snímače tepelného toku č.2 a č.5 byly situovány paralelně se směrem proudění vzduchu. Snímač tepelného toku č.3 byl v poloze 60° vůči proudění vzduchu ve větrném tunelu a snímač tepelného toku v poloze 120° vůči proudění vzduchu v tunelu.

snímač. č.	poloha
1	0°
2	60°
3	120°
4	180°

Rychlost proudění vzduchu v tunelu 5 m/s.

Měření každého vzorku bylo provedeno 5-krát

Vzorek č.1

č. měření	R2 [K.m2.W-1]	R3 [K.m2.W-1]	R4 [K.m2.W-1]	R5 [K.m2.W-1]
1. měření	1,825341337	1,218336886	1,746317192	1,119452487
2. měření	1,798398257	1,211771981	1,71405413	1,125878588
3. měření	1,86375272	1,230385701	1,800481322	1,128187746
4. měření	1,779624092	1,225606521	1,741251502	1,108435577
5. měření	1,807188065	1,219848845	1,756532979	1,117089308

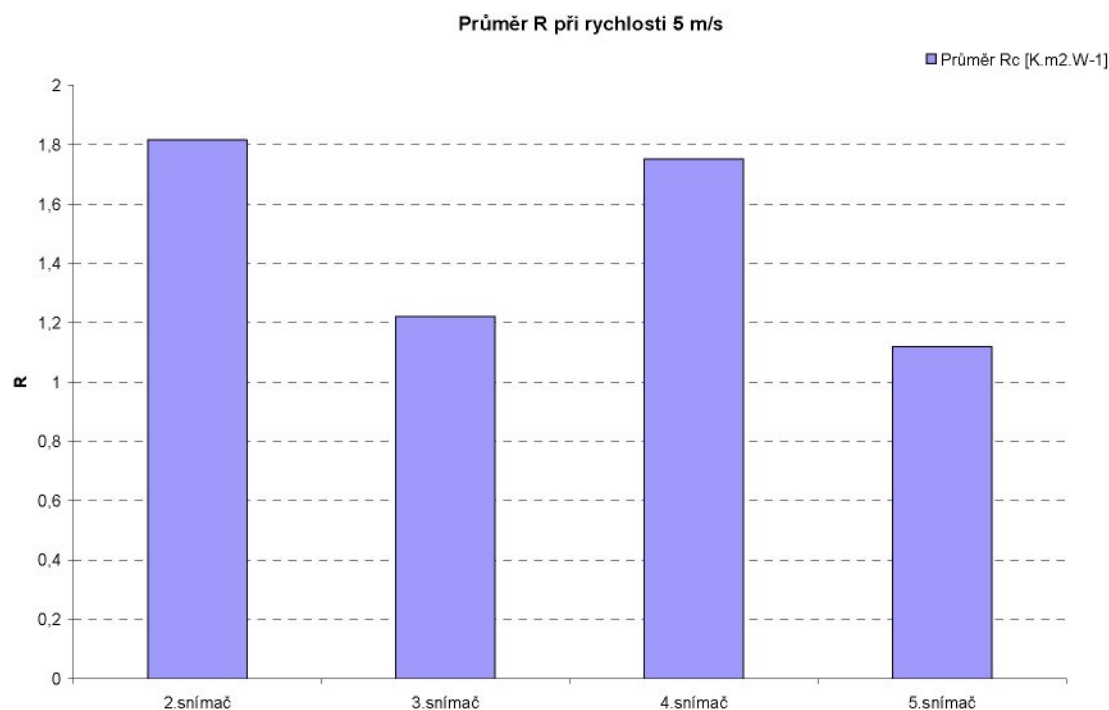
Tab.3.10: průměrné hodnoty jednotlivých měření vzorku č.1

č. měření	s [K.m2.W-1]	s [K.m2.W-1]	s [K.m2.W-1]	s [K.m2.W-1]
1. měření	0,346478817	0,099252013	0,337392403	0,101154842
2. měření	0,32904951	0,094862154	0,320447452	0,100169344
3. měření	0,358711742	0,104206987	0,407858959	0,104187542
4. měření	0,286172689	0,099470345	0,310420081	0,098565507
5. měření	0,312028603	0,092087353	0,348462281	0,096574544

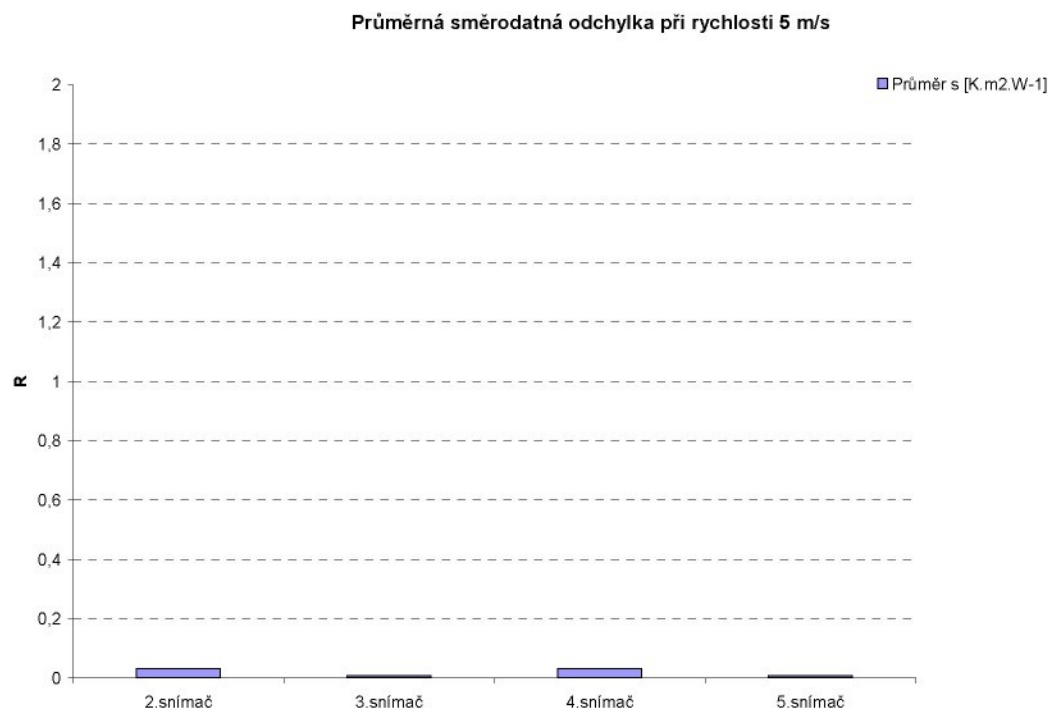
Tab.3.11: směrodatné odchylky vzorku č.1

	R2 [K.m2.W-1]	R3 [K.m2.W-1]	R4 [K.m2.W-1]	R5 [K.m2.W-1]
Průměr Rc [K.m2.W-1]	1,814860894	1,221189987	1,751727425	1,119808741
Průměr s [K.m2.W-1]	0,031905224	0,007118719	0,031457625	0,007808999

Tab.3.12: Průměrné hodnoty vzorku č.1



Graf 3.7: průměrné hodnoty vzorku č.1



Graf 3.8: průměrné směrodatné odchylky vzorku č.1

Vzorek č.2

č. měření	R2 [K.m2.W-1]	R3 [K.m2.W-1]	R4 [K.m2.W-1]	R5 [K.m2.W-1]
1. měření	2,736230823	2,254830981	4,152982738	1,425936046
2. měření	2,833791275	2,187618327	3,58968551	1,42310427
3. měření	2,864151444	2,213276661	4,247509287	1,427801814
4. měření	2,789389542	2,239291873	3,864519339	1,442352066
5. měření	2,705715097	2,182078886	3,483546361	1,422570979

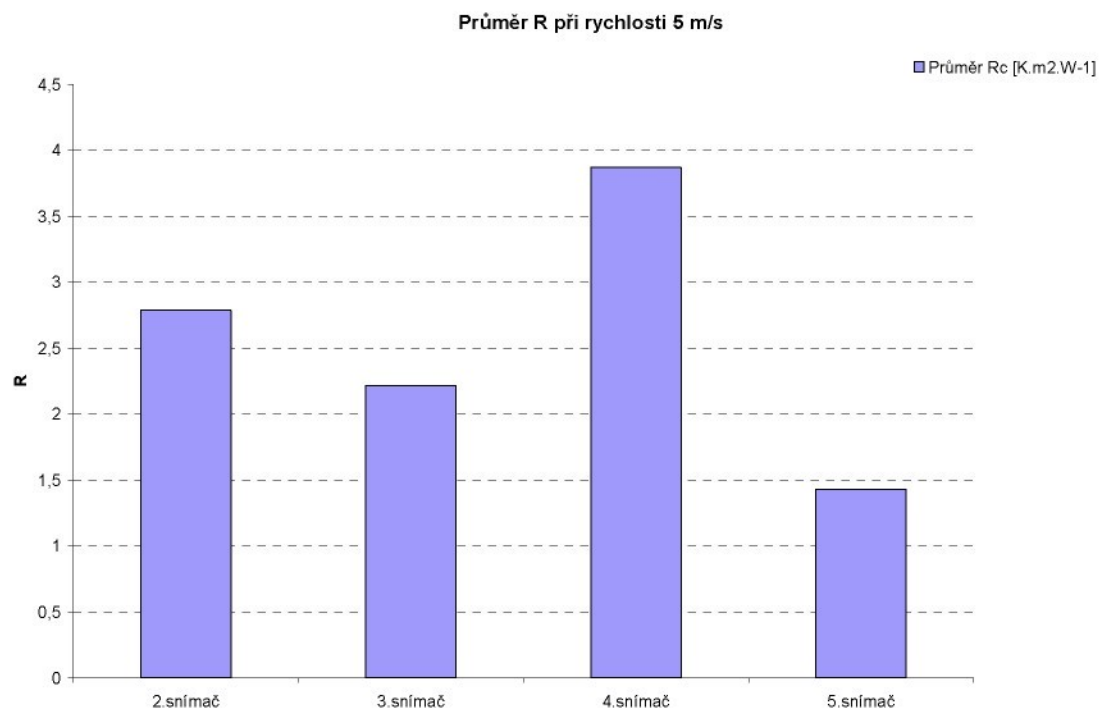
Tab.3.11: průměrné hodnoty jednotlivých měření vzorku č.2

č. měření	s [K.m2.W-1]	s [K.m2.W-1]	s [K.m2.W-1]	s [K.m2.W-1]
1. měření	0,736011865	0,381485589	12,31449294	0,19434525
2. měření	1,154265446	0,373218373	9,639648268	0,180857662
3. měření	0,944610995	0,332073591	11,33877503	0,182765156
4. měření	0,870758338	0,361852876	10,10636386	0,207512702
5. měření	0,830069812	0,329965237	6,720214683	0,171911779

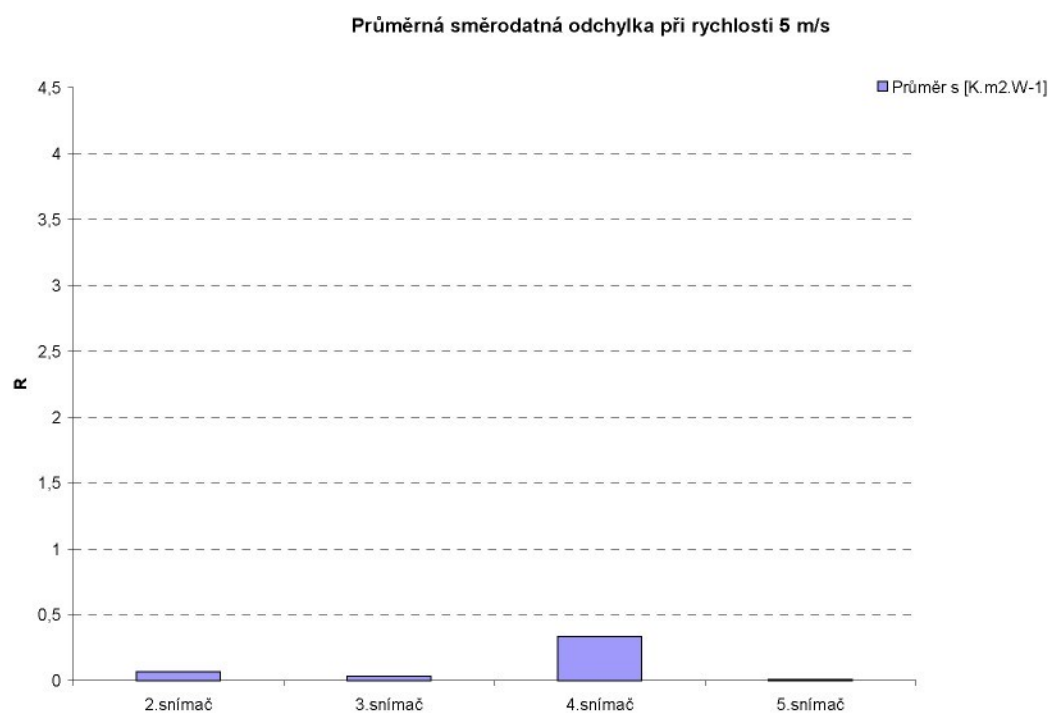
Tab.3.13: směrodatné odchylky vzorku č.2

	R2 [K.m2.W-1]	R3 [K.m2.W-1]	R4 [K.m2.W-1]	R5 [K.m2.W-1]
Průměr Rc [K.m2.W-1]	2,785855636	2,215419345	3,867648647	1,428353035
Průměr s [K.m2.W-1]	0,065813516	0,031671156	0,335603007	0,008110183

Tab.3.14: Průměrné hodnoty vzorku č.2



Graf 3.9: průměrné hodnoty vzorku č.2



Graf 3.10: průměrné směrodatné odchylky vzorku č.2

Vzorek č.3

č. měření	R2 [K.m2.W-1]	R3 [K.m2.W-1]	R4 [K.m2.W-1]	R5 [K.m2.W-1]
1. měření	1,283723796	0,395987576	4,232991998	0,556468966
2. měření	1,315050528	0,39650569	6,126196436	0,561189513
3. měření	1,29515159	0,395258691	5,567887796	0,561610109
4. měření	1,257348435	0,387562063	6,478006046	0,555695784
5. měření	1,266325717	0,387159488	6,43083462	0,552162793

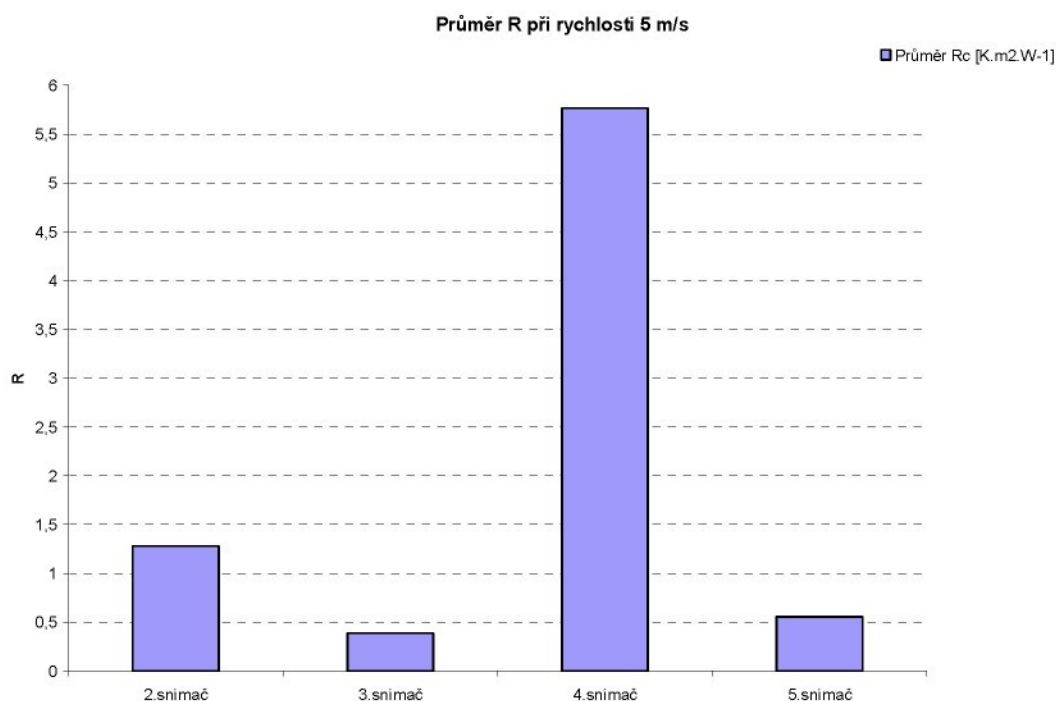
Tab.3.15: průměrné hodnoty jednotlivých měření vzorku č.3

č. měření	s [K.m2.W-1]	s [K.m2.W-1]	s [K.m2.W-1]	s [K.m2.W-1]
1. měření	0,162128128	0,009412166	17,25296458	0,027080771
2. měření	0,167993288	0,010298294	25,75782506	0,024950082
3. měření	0,163391548	0,01026034	18,64953971	0,025439996
4. měření	0,155084484	0,01014377	17,33181935	0,026006195
5. měření	0,157048831	0,009857324	17,04231715	0,02301228

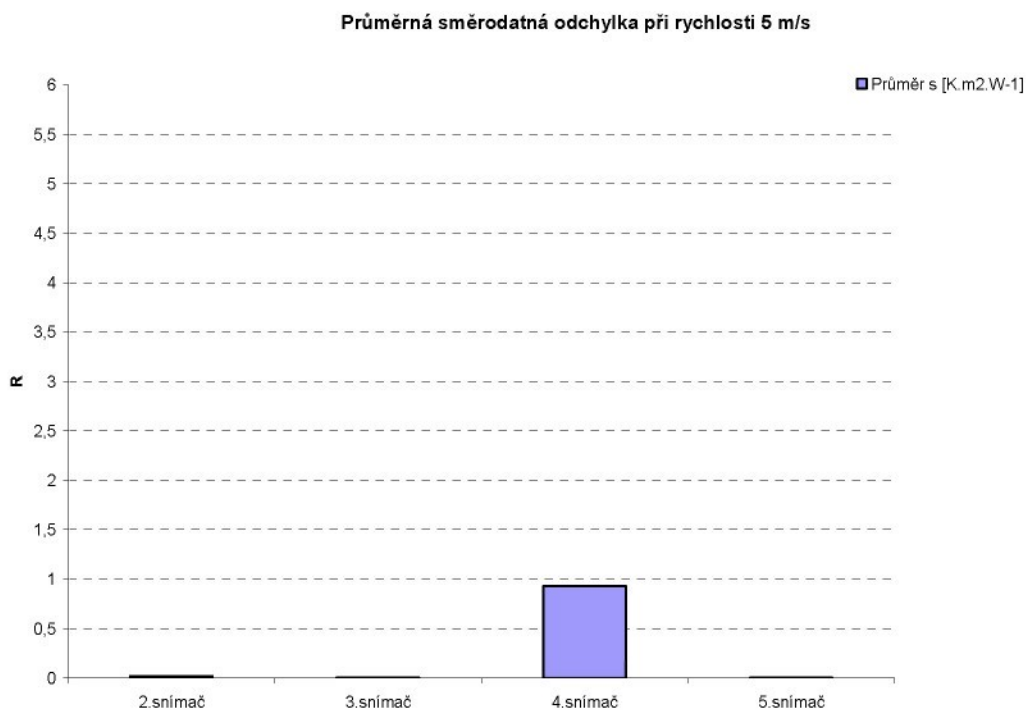
Tab.3.16: směrodatné odchylky vzorku č.3

	R2 [K.m2.W-1]	R3 [K.m2.W-1]	R4 [K.m2.W-1]	R5 [K.m2.W-1]
Průměr Rc [K.m2.W-1]	1,283520013	0,392494702	5,767183379	0,557425433
Průměr s [K.m2.W-1]	0,022967933	0,004709651	0,931135615	0,00397749

Tab.3.18: Průměrné hodnoty vzorku č.3



Graf 3.11: průměrné hodnoty vzorku č.3



Graf 3.12: průměrné směrodatné odchylky vzorku č.3

Vzorek č.4

č. měření	R2 [K.m2.W-1]	R3 [K.m2.W-1]	R4 [K.m2.W-1]	R5 [K.m2.W-1]
1. měření	1,518707954	0,438725299	7,733501529	0,613318494
2. měření	1,550950634	0,441426806	1,2228194	0,613993236
3. měření	1,532344031	0,438592709	2,882670079	0,613822077
4. měření	1,521612274	0,439711466	4,69236355	0,61359213
5. měření	1,557921396	0,441770885	2,823702185	0,616682991

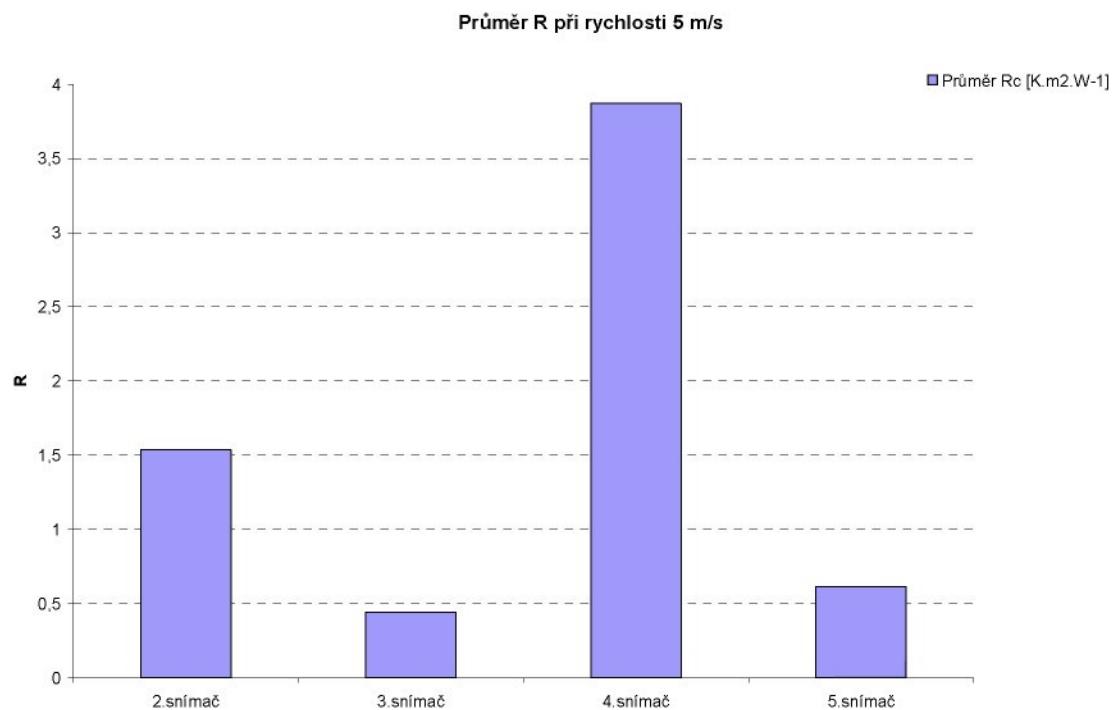
Tab.3.19: průměrné hodnoty jednotlivých měření vzorku č.4

č. měření	s [K.m2.W-1]	s [K.m2.W-1]	s [K.m2.W-1]	R5 [K.m2.W-1]
1. měření	0,227313092	0,012468018	57,31577783	0,613318494
2. měření	0,217573102	0,013236821	52,47182417	0,613993236
3. měření	0,227555585	0,01218259	58,16365497	0,613822077
4. měření	0,234790377	0,012765139	57,50686362	0,61359213
5. měření	0,228627254	0,012866964	58,92216532	0,616682991

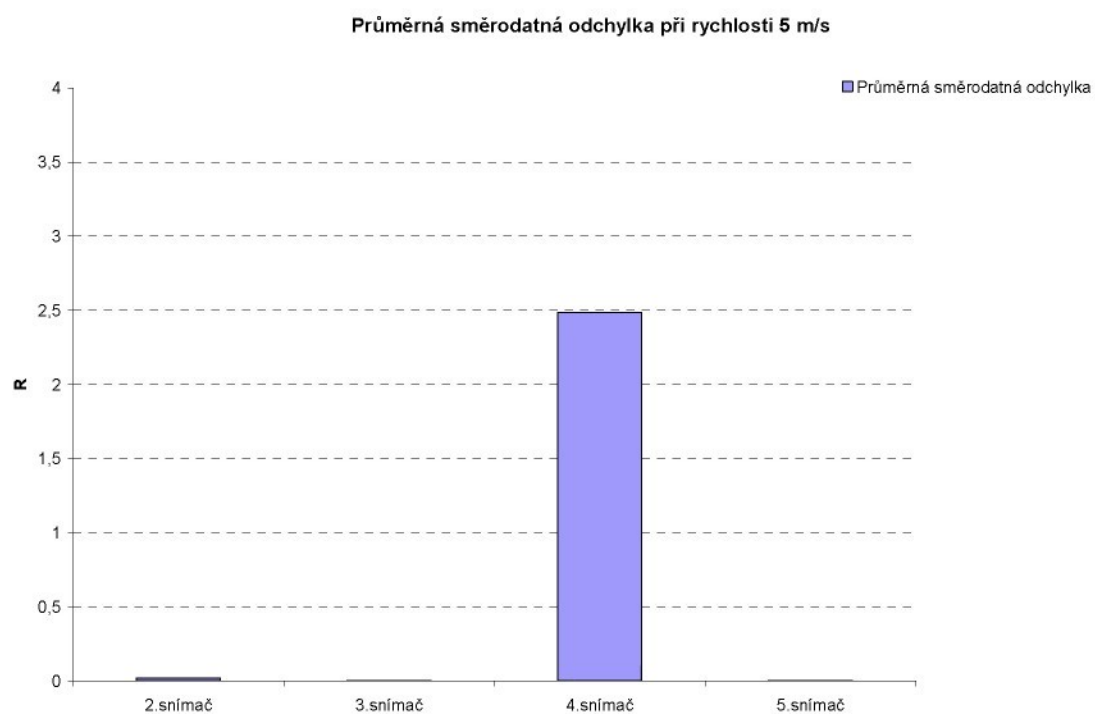
Tab.3.20: směrodatné odchylky vzorku č.4

	R2 [K.m2.W-1]	R3 [K.m2.W-1]	R4 [K.m2.W-1]	R5 [K.m2.W-1]
Průměr Rc [K.m2.W-1]	1,536307258	0,440045433	3,871011348	0,614281786
Průměr s [K.m2.W-1]	0,017485599	0,001487454	2,483950753	0,00136601

Tab.3.21: Průměrné hodnoty vzorku č.4



Graf 3.13: průměrné hodnoty vzorku č.4



Graf 3.14: průměrné směrodatné odchylky vzorku č.4

Vzorek č.5

č. měření	R2 [K.m2.W-1]	R3 [K.m2.W-1]	R4 [K.m2.W-1]	R5 [K.m2.W-1]
1. měření	1,324284905	1,687656599	1,486272003	1,077233507
2. měření	1,307370156	1,668345654	1,464008476	1,076332761
3. měření	1,304189965	1,686891731	1,478582226	1,0718798
4. měření	1,325662574	1,676932922	1,491689579	1,09087695
5. měření	1,294579203	1,656436238	1,484410973	1,082094307

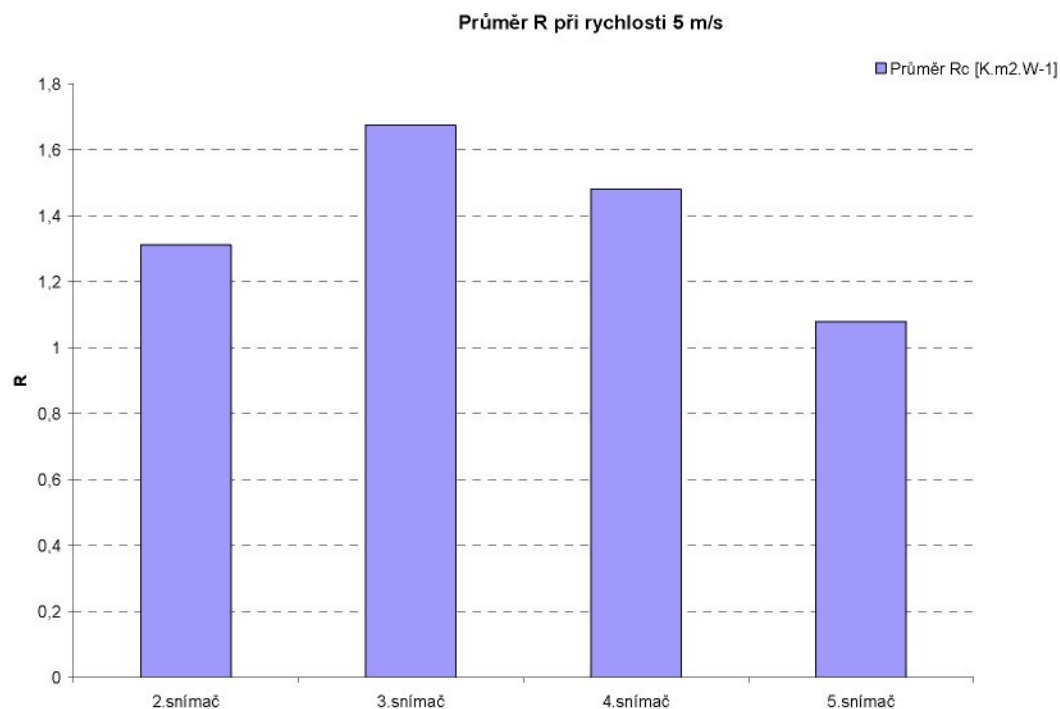
Tab.3.22: průměrné hodnoty jednotlivých měření vzorku č.5

č. měření	s [K.m2.W-1]	s [K.m2.W-1]	s [K.m2.W-1]	s [K.m2.W-1]
1. měření	0,152583174	0,188397958	0,237632577	0,09011131
2. měření	0,161685145	0,186715138	0,245557232	0,089352735
3. měření	0,174745795	0,195993346	0,22561631	0,091844163
4. měření	0,167114082	0,194567237	0,235739316	0,088997702
5. měření	0,154061557	0,192782952	0,235012765	0,099922557

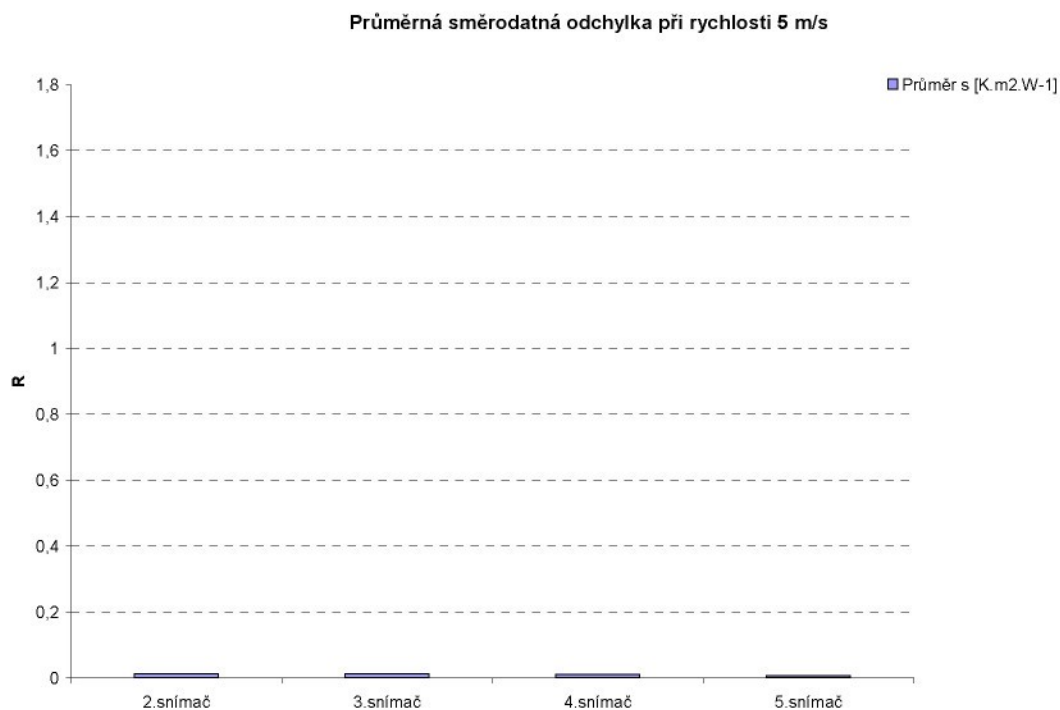
Tab.3.23: směrodatné odchylky vzorku č.5

	R2 [K.m2.W-1]	R3 [K.m2.W-1]	R4 [K.m2.W-1]	R5 [K.m2.W-1]
Průměr Rc [K.m2.W-1]	1,311217361	1,675252629	1,480992651	1,079683465
Průměr s [K.m2.W-1]	0,013420493	0,013171118	0,010585994	0,007232444

Tab.3.24: Průměrné hodnoty vzorku č.5



Graf 3.15: průměrné hodnoty vzorku č.5



Graf 3.16: průměrné směrodatné odchylky vzorku č.5

Vzorek č.6

č. měření	R2 [K.m2.W-1]	R3 [K.m2.W-1]	R4 [K.m2.W-1]	R5 [K.m2.W-1]
1. měření	2,631364834	2,146604884	4,636834553	1,361901216
2. měření	2,593928832	2,133442265	4,185942284	1,354495747
3. měření	2,714014553	2,198339141	4,95390207	1,374580469
4. měření	2,566996445	2,156314476	3,809643934	1,334638082
5. měření	2,627948989	2,254629268	5,118638499	1,34764388

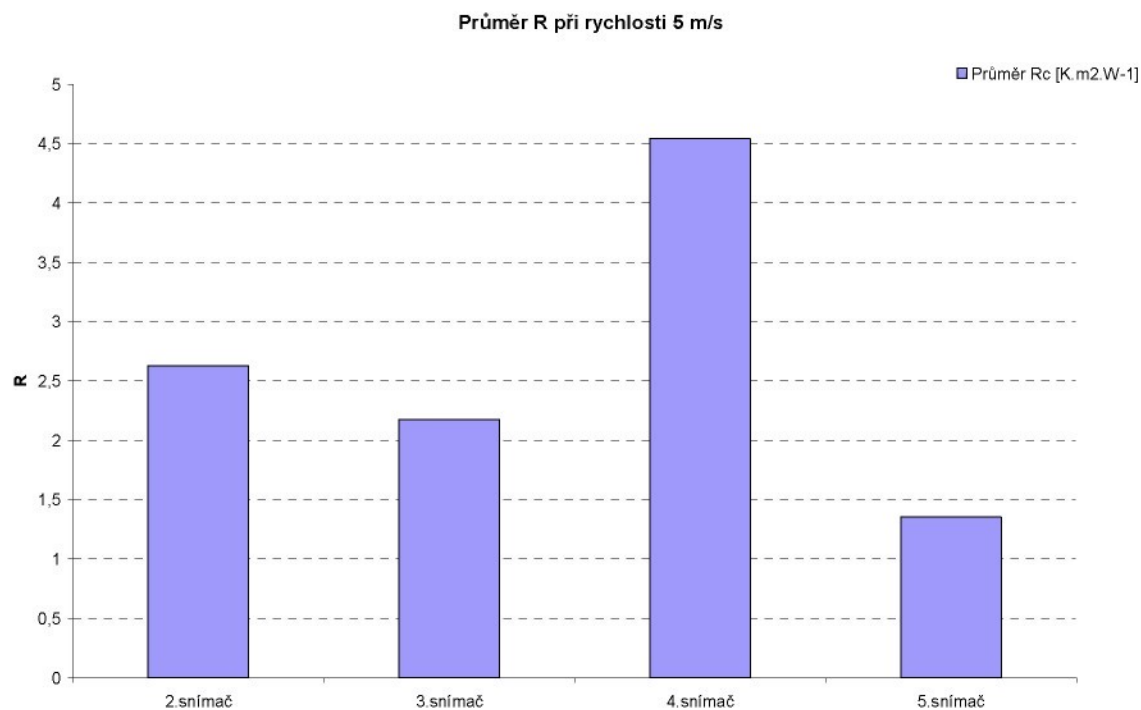
Tab.3.25: průměrné hodnoty jednotlivých měření vzorku č.6

č. měření	s [K.m2.W-1]	s [K.m2.W-1]	s [K.m2.W-1]	s [K.m2.W-1]
1. měření	0,760916236	0,345141337	14,29204996	0,195488897
2. měření	0,726637704	0,302167145	18,05654565	0,141195339
3. měření	0,790932206	0,332355976	14,98394516	0,165072791
4. měření	0,73218156	0,313484902	12,12474187	0,155592122
5. měření	0,695842272	0,436061691	17,31310453	0,145648072

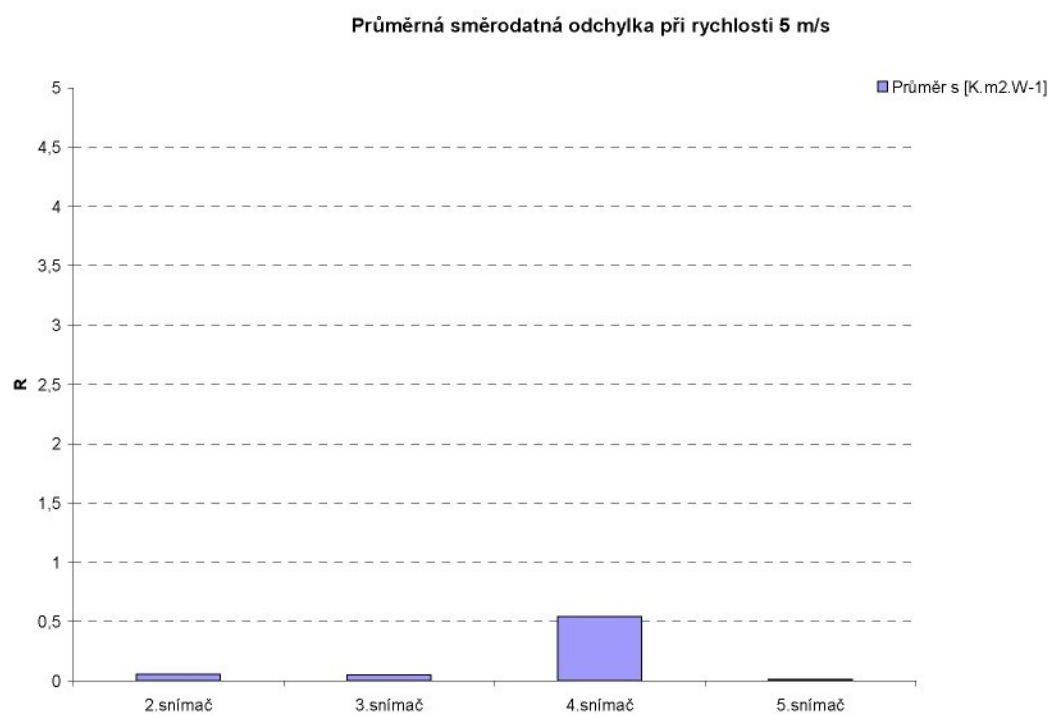
Tab.3.26: směrodatné odchylky vzorku č.6

	R2 [K.m2.W-1]	R3 [K.m2.W-1]	R4 [K.m2.W-1]	R5 [K.m2.W-1]
Průměr Rc [K.m2.W-1]	2,626850731	2,177866007	4,540992268	1,354651879
Průměr s [K.m2.W-1]	0,055419992	0,049312632	0,541822456	0,014994917

Tab.3.27: Průměrné hodnoty vzorku č.6



Graf 3.17: průměrné hodnoty vzorku č.6



Graf 3.18: průměrné směrodatné odchylky vzorku č.6

Měření při rychlosti 10 m/s, 15 m/s a 20 m/s bylo vloženo do přílohy 1.

Měření prokázalo velkou variabilitu naměřených hodnot, což je patrné z velikosti směrodatných odchylek, vypočtených z jednotlivých průměrů. Nejvíce variabilní se prokázal snímač tepelného toku č.4.

4. Závěr

Hlavním úkolem této diplomové bylo navrhnout a realizovat systém pro sběr dat snímačů tepelného toku, umístěných v laboratorním větrném tunelu. Dílčím úkolem bylo provést kalibraci snímačů tepelného toku.

Kalibrací byly zjištěny kalibrační konstanty, potřebné k určení tepelného toku.

V rámci experimentální části této diplomové práce byl sestaven systém pro sběr dat ze snímačů tepelného toku, souměrně nalepených po obvodu vyhřívaného válečku v laboratorním větrném tunelu. K tomuto sestavenému systému byl navržen řídicí program. Na vytvoření tohoto programu byl použit programovací jazyk G, který je součástí vývojového prostředí LabVIEW.

Řídicím programem bylo snímáno termonapětí ze snímačů tepelného toku, pomocí kalibračních konstant byl zjištěn tepelný tok a následně přepočten na tepelný odpor. Váženým průměrem byl stanoven celkový tepelný odpor testovaného vzorku navléknutém na vyhřívaném válečku v laboratorním větrném tunelu.

V řídicím programu na předním panelu lze zadat požadovaný čas měření, požadovaný počet měření jednoho vzorku, název souboru a cesta pro jeho uložení, toleranční meze teplotního spádu a stručné poznámky o provedeném měření.

Tento způsob měření by mohl být vhodný pro zjišťování tepelného odporu textilních materiálů při různé rychlosti proudění vzduchu v laboratorním větrném tunelu.

5. Použitá literatura

- [1] Středa, I.: Základy rovnovážné termodynamiky, Liberec, TUL 2001
- [2] <http://www.termovize.com>
- [3] Urbášek, J.: Termomechanika a mechanika tekutin, Liberec TUL 1990
- [4] Levinský, O.: Technický slovník, SNTL, Praha 1985
- [5] Horák, Z., Krupka, F.: Fyzika, SNTL, Praha 1970
- [6] Kmoníček, V.: Termomechanika, ČVUT, Praha 1979
- [7] Hladík, V.: Textilní vlákna, SNTL, Praha 1970
- [8] Dosedlová, I.: Tepelně izolační vlastnosti kolmo kladených textilií a obsahem bavlny (diplomová práce), TUL 1998
- [9] Žalud, V.: Hodnocení tepelně izolačních vlastností objemových textilií (diplomová práce), TUL 1997
- [10] Tuzarová, M.: Tepelně izolační vlastnosti objemových textilií s obsahem bavlny (diplomová práce), TUL 2000
- [11] Kovolová, G.: Měření tepelně izolačních vlastností 3D textilií (bakalářská práce), TUL 2000
- [12] <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/en/nid/11916>
- [13] <http://www.ni.com/labview>
- [14] <http://www.utko.feec.vutbr.cz/labview/labview.html.iso-8859-1>
- [15] http://centrum.vslib.cz/centrum/centrum/2Pristroje/2.5_normy

Příloha 1

Zkušební měření: rychlost proudění vzduchu v tunelu 0 m/s

č. měření	R2 [K.m2.W-1]	R3 [K.m2.W-1]	R4 [K.m2.W-1]	R5 [K.m2.W-1]
1. měření	0,651845669	0,649593287	0,66676591	0,676922492
2. měření	0,653650816	0,678171269	0,665444656	0,673133249
3. měření	0,660357474	0,772862121	0,686160028	0,695803533
4. měření	0,640409071	0,736582116	0,695103385	0,675631314
5. měření	0,631892549	0,715508703	0,658123939	0,67268461

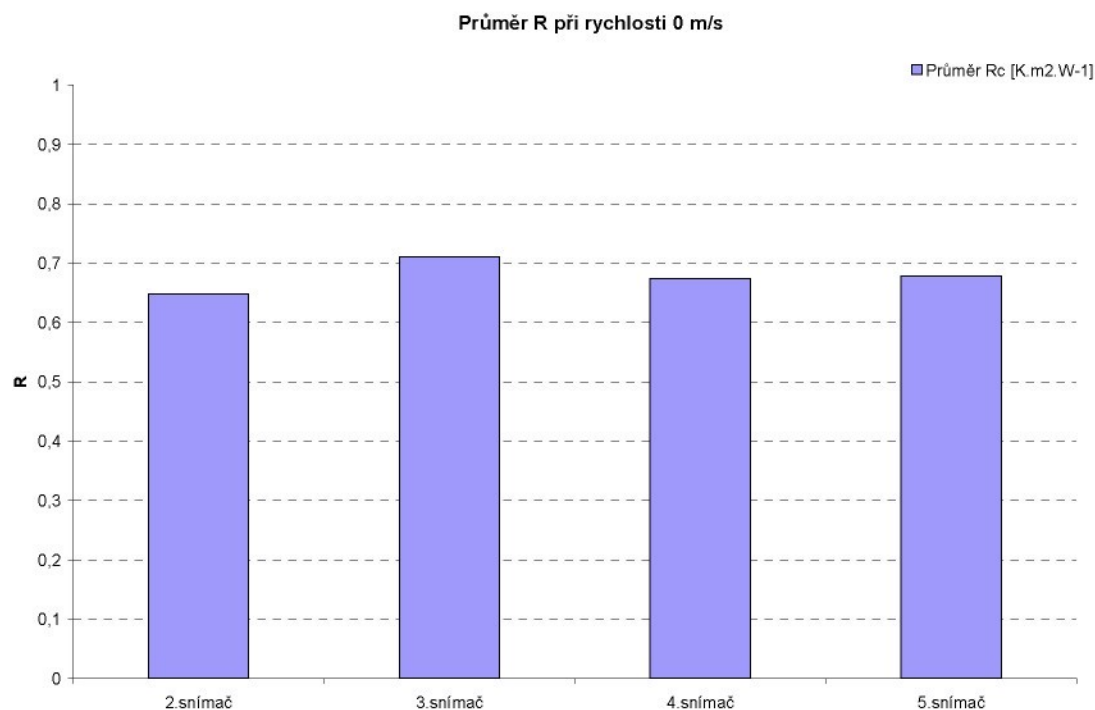
Tab.1: průměrné hodnoty jednotlivých měření

č. měření	s [K.m2.W-1]	s [K.m2.W-1]	s [K.m2.W-1]	s [K.m2.W-1]
1. měření	0,047516556	0,023262684	0,048515724	0,040764735
2. měření	0,039964467	0,05617916	0,043363406	0,037555318
3. měření	0,05419771	0,037406022	0,065015957	0,041387109
4. měření	0,039394105	0,036366533	0,04755188	0,033900779
5. měření	0,036604173	0,037528313	0,049774647	0,041102357

Tab.2: směrodatné odchylky jednotlivých měření

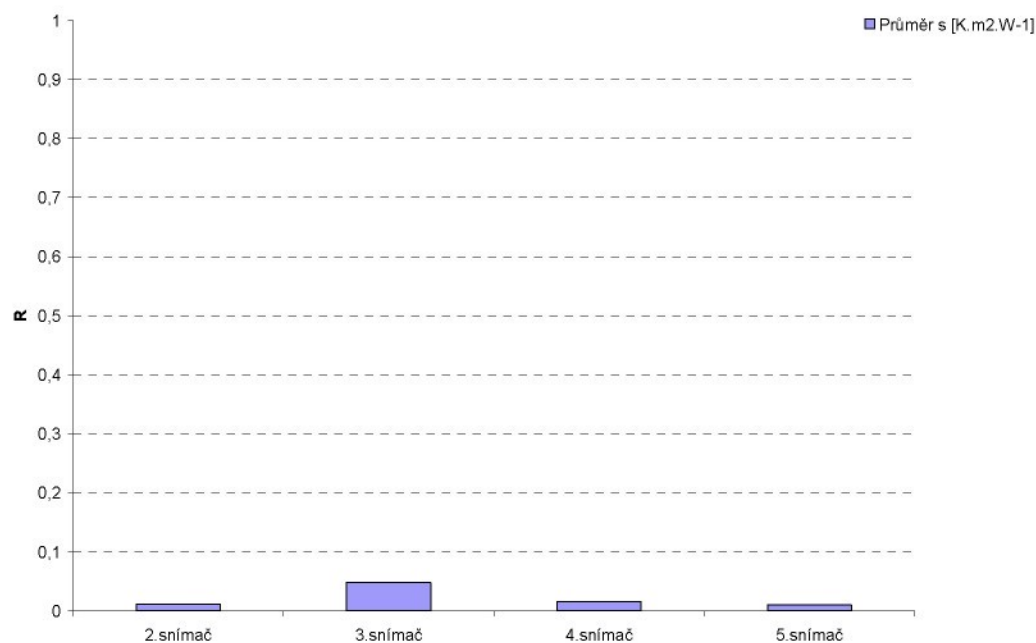
	R2 [K.m2.W-1]	R3 [K.m2.W-1]	R4 [K.m2.W-1]	R5 [K.m2.W-1]
Průměr Rc [K.m2.W-1]	0,647631116	0,710543499	0,674319584	0,67883504
Průměr s [K.m2.W-1]	0,011355834	0,048345535	0,015574689	0,009646109

Tab.3: průměrné hodnoty



Graf 1: průměrné hodnoty

Průměrná směrodatná odchylka při rychlosti 0 m/s



Graf 2: průměrné směrodatné odchylky

Rychlost proudění vzduchu v tunelu 10 m/s.

Vzorek č.1

č. měření	R2 [K.m2.W-1]	R3 [K.m2.W-1]	R4 [K.m2.W-1]	R5 [K.m2.W-1]
1. měření	1,439393058	0,744494912	1,983284357	0,882794572
2. měření	1,423763066	0,737906332	1,996980811	0,880128018
3. měření	1,446227471	0,74103121	2,077111911	0,880308171
4. měření	1,423509308	0,734911197	2,008251134	0,878863691
5. měření	1,427015889	0,731985167	2,022398493	0,874788202

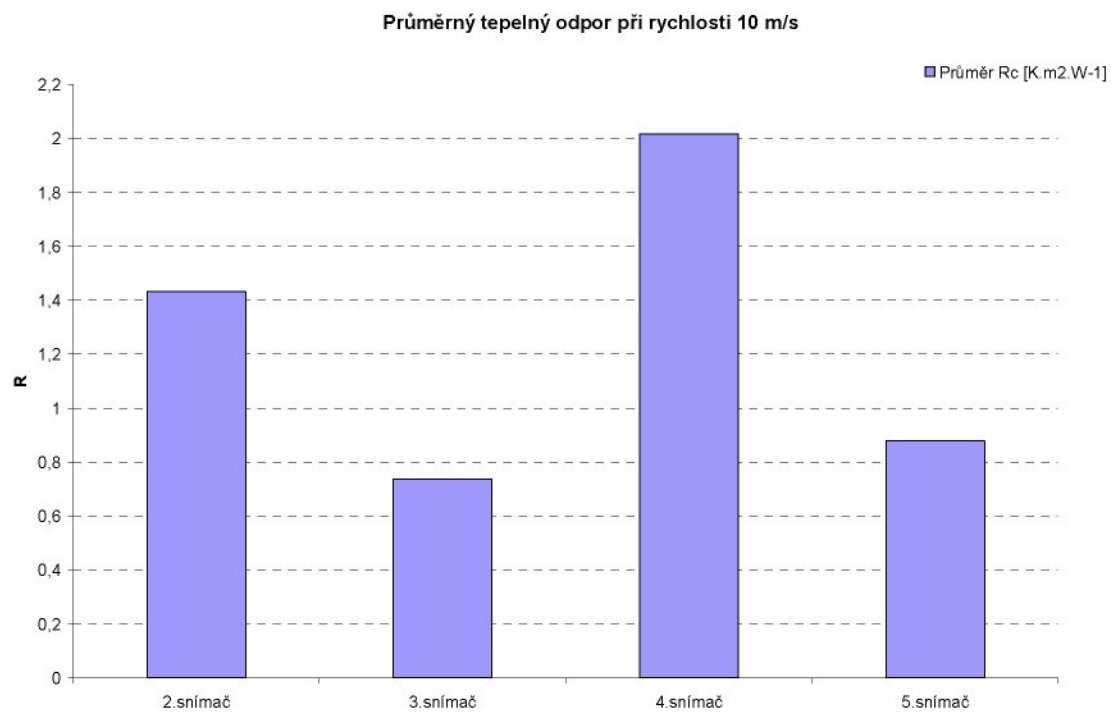
Tab.4: průměrné hodnoty jednotlivých měření

č. měření	s [K.m2.W-1]	s [K.m2.W-1]	s [K.m2.W-1]	s [K.m2.W-1]
1. měření	0,190871255	0,037249822	0,449086501	0,059049514
2. měření	0,190945454	0,038598325	0,499257014	0,064121059
3. měření	0,195893528	0,033914317	0,682104591	0,061475905
4. měření	0,192414194	0,035498869	0,542752837	0,062895467
5. měření	0,178646487	0,036472433	0,493901168	0,059218994

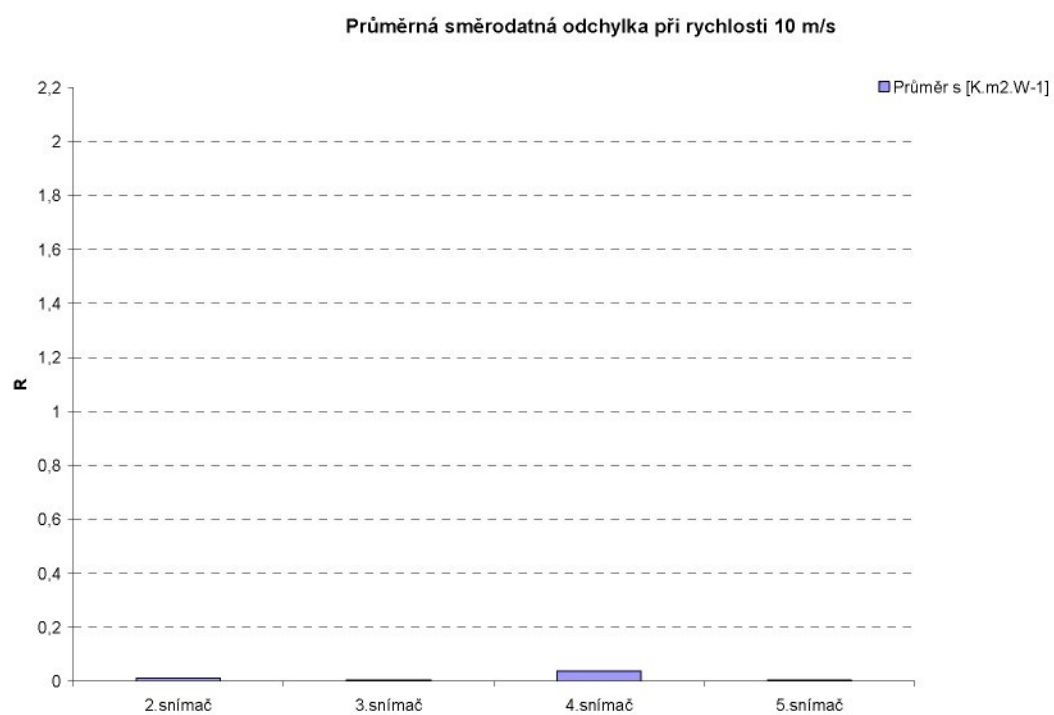
Tab.5: směrodatné odchylky jednotlivých měření

	R2 [K.m2.W-1]	R3 [K.m2.W-1]	R4 [K.m2.W-1]	R5 [K.m2.W-1]
Průměr Rc [K.m2.W-1]	1,431981758	0,738065764	2,017605341	0,879376531
Průměr s [K.m2.W-1]	0,010269578	0,004926413	0,036245029	0,002933916

Tab.6: průměrné hodnoty



Graf 3: průměrné hodnoty



Graf 4: průměrné směrodatné odchylky

Vzorek č. 2

č. měření	R2 [K.m2.W-1]	R3 [K.m2.W-1]	R4 [K.m2.W-1]	R5 [K.m2.W-1]
1. měření	2,160977476	1,044737334	4,957414928	1,084110452
2. měření	2,144439284	1,037806784	5,997525277	1,075017639
3. měření	2,035159612	1,006573736	6,140852334	1,058382014
4. měření	2,109397697	1,025174675	4,256950622	1,066840844
5. měření	2,039911485	1,004779433	4,766431614	1,063392481

Tab.7: průměrné hodnoty jednotlivých měření

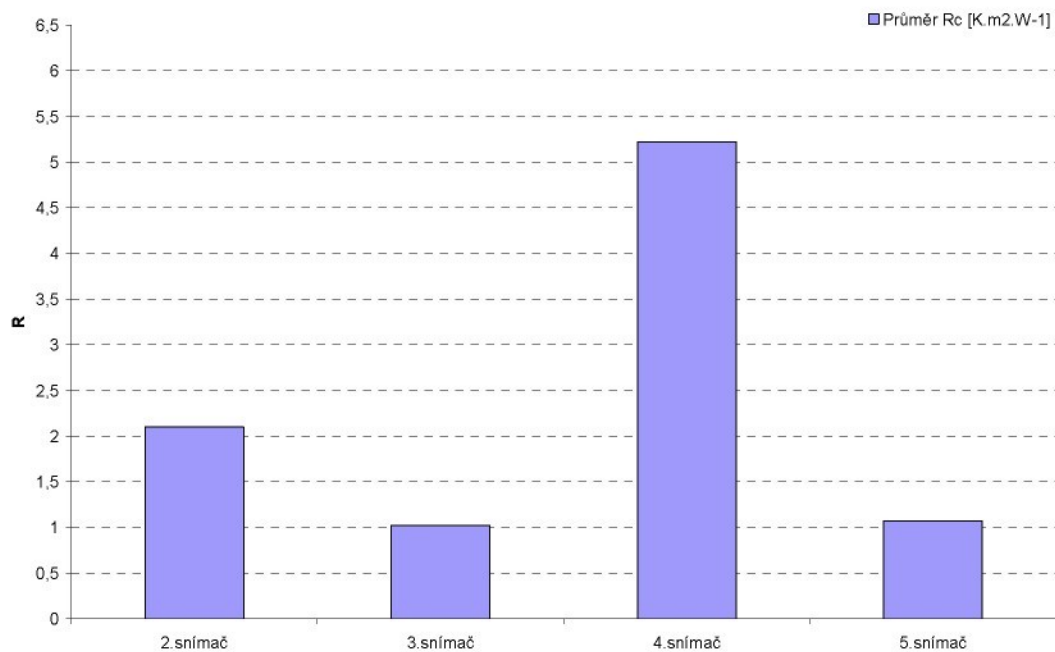
č. měření	s [K.m2.W-1]	s [K.m2.W-1]	s [K.m2.W-1]	s [K.m2.W-1]
1. měření	0,490106872	0,0837305	8,61269072	0,104389905
2. měření	0,507469741	0,071560462	19,12015071	0,095215236
3. měření	0,478907647	0,06690182	15,91857038	0,096828526
4. měření	0,426949857	0,066653349	11,13900991	0,097971038
5. měření	0,394793601	0,067701376	8,454237253	0,091850357

Tab.8: směrodatné odchylky jednotlivých měření

	R2 [K.m2.W-1]	R3 [K.m2.W-1]	R4 [K.m2.W-1]	R5 [K.m2.W-1]
Průměr Rc [K.m2.W-1]	2,097977111	1,023814392	5,223834955	1,069548686
Průměr s [K.m2.W-1]	0,058257756	0,017992893	0,814644147	0,010147417

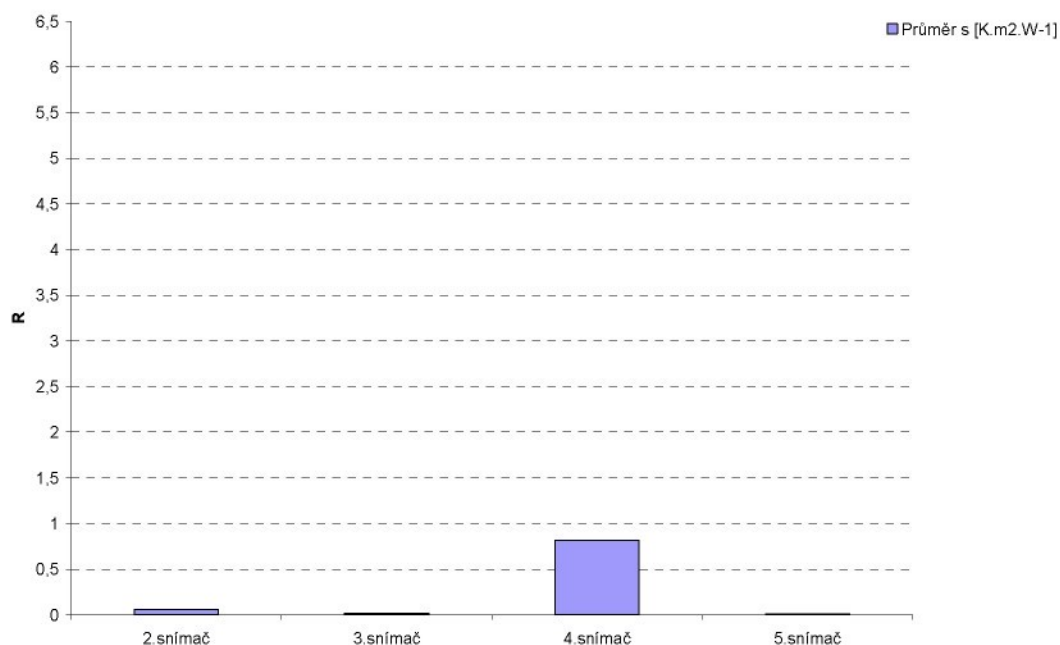
Tab.9: průměrné hodnoty

Průměrný tepelný odpor při rychlosti 10 m/s



Graf 5: průměrné hodnoty

Průměrná směrodatná odchylka při rychlosti 10 m/s



Graf 6: průměrné směrodatné odchylky

Vzorek č.3

č. měření	R2 [K.m2.W-1]	R3 [K.m2.W-1]	R4 [K.m2.W-1]	R5 [K.m2.W-1]
1. měření	0,786096683	0,203358133	3,086417062	0,341675858
2. měření	0,785146856	0,202521491	2,649575243	0,340388998
3. měření	0,776127601	0,201552186	2,862446229	0,33977216
4. měření	0,770343151	0,201151102	2,643360367	0,338377692
5. měření	0,774734153	0,201976817	2,772999552	0,33874824

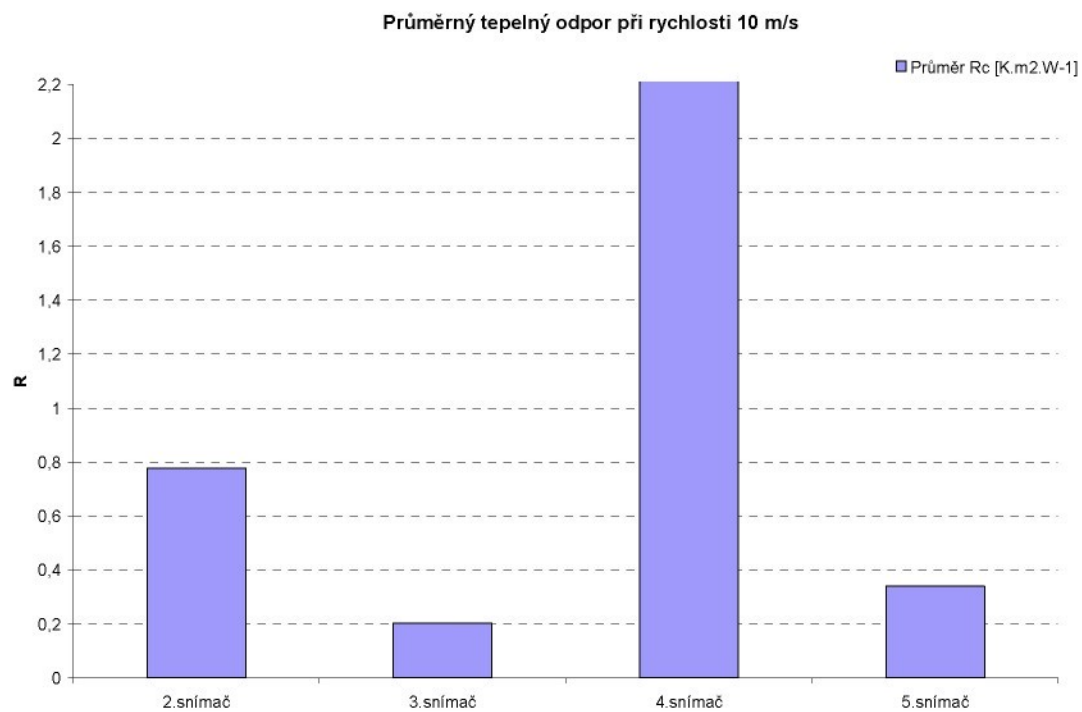
Tab.10: průměrné hodnoty jednotlivých měření

č. měření	s [K.m2.W-1]	s [K.m2.W-1]	s [K.m2.W-1]	s [K.m2.W-1]
1. měření	0,061563534	0,002837917	7,450381638	0,009635056
2. měření	0,060893867	0,002827889	0,792212373	0,009555629
3. měření	0,062272256	0,002721828	3,343115002	0,010170859
4. měření	0,056788553	0,003215984	1,374426124	0,010269699
5. měření	0,057326211	0,003088724	1,334514917	0,009333679

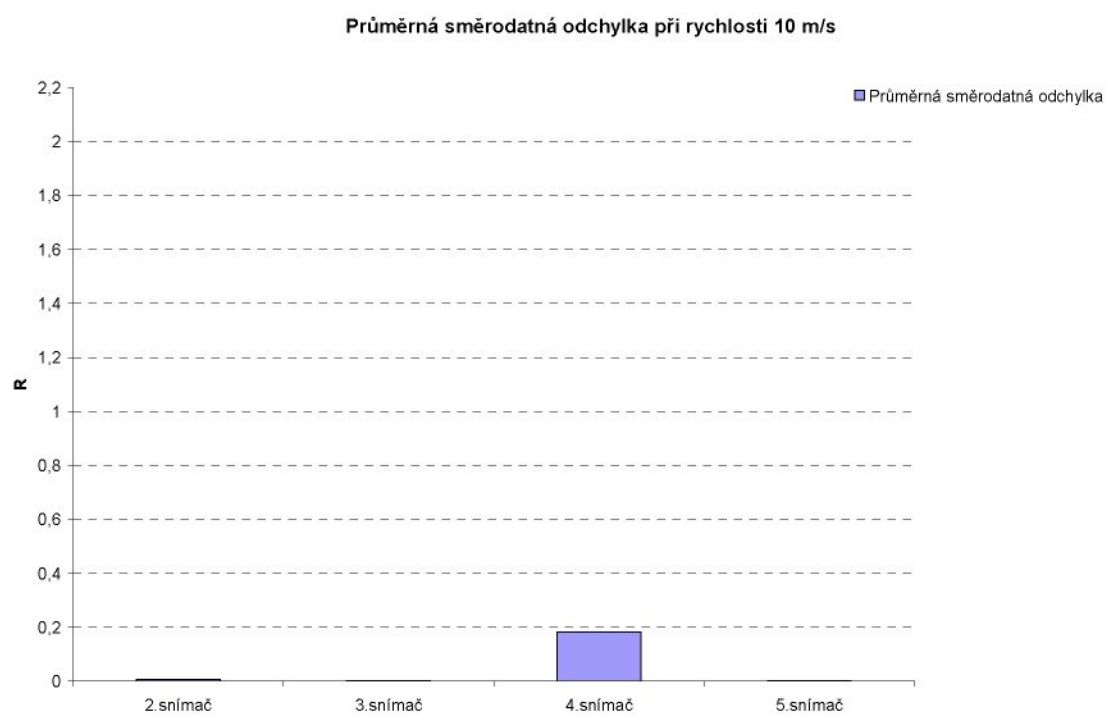
Tab.11: směrodatné odchylky jednotlivých měření

	R2 [K.m2.W-1]	R3 [K.m2.W-1]	R4 [K.m2.W-1]	R5 [K.m2.W-1]
Průměr Rc [K.m2.W-1]	0,778489689	0,202111946	2,80295969	0,339792589
Průměr s [K.m2.W-1]	0,006859917	0,000862485	0,182881842	0,001322443

Tab.12: průměrné hodnoty



Graf 7: průměrné hodnoty



Graf 8: průměrné směrodatné odchylky

Vzorek č.4

č. měření	R2 [K.m2.W-1]	R3 [K.m2.W-1]	R4 [K.m2.W-1]	R5 [K.m2.W-1]
1. měření	0,661811662	0,229650363	4,078941696	0,338282721
2. měření	0,655749069	0,228301531	4,345994966	0,33593252
3. měření	0,653000012	0,228028277	4,13864723	0,33607498
4. měření	0,650307898	0,228620968	3,770787261	0,337497891
5. měření	0,652364316	0,227700873	4,821413823	0,335746964

Tab.13: průměrné hodnoty jednotlivých měření

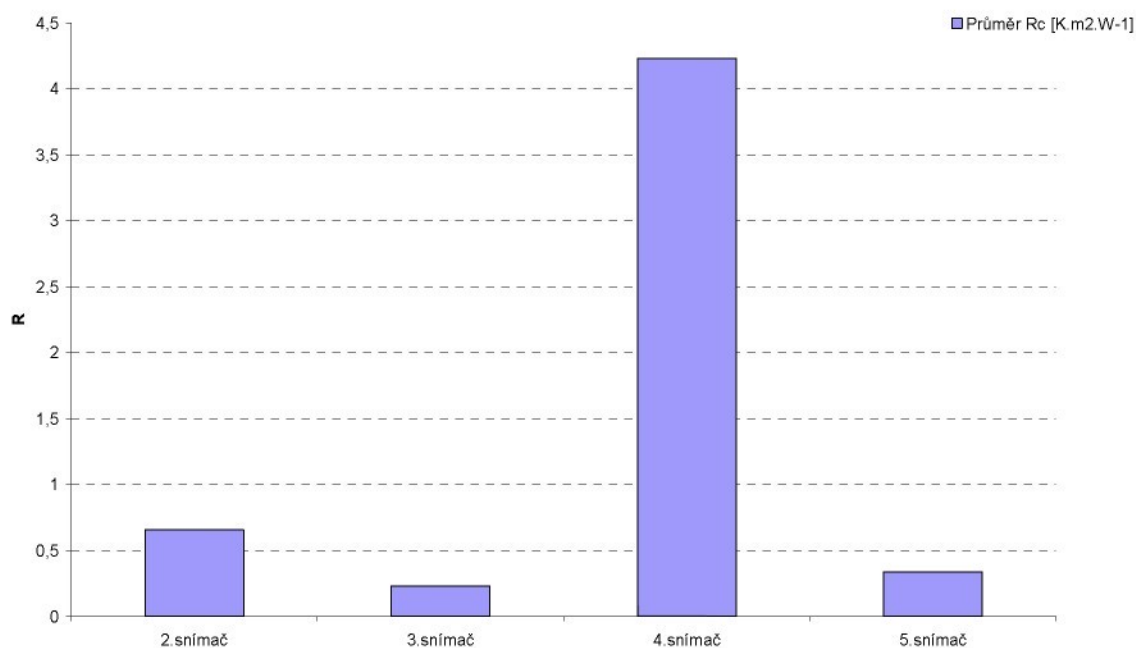
č. měření	s [K.m2.W-1]	s [K.m2.W-1]	s [K.m2.W-1]	s [K.m2.W-1]
1. měření	0,03915505	0,00379966	9,809570146	0,009052748
2. měření	0,041246625	0,003516406	8,298919982	0,009183406
3. měření	0,039729912	0,003458288	7,354253869	0,008330792
4. měření	0,042293723	0,003432069	9,294713937	0,01011403
5. měření	0,042978361	0,003326083	12,79055045	0,009851288

Tab.14: směrodatné odchylky jednotlivých měření

	R2 [K.m2.W-1]	R3 [K.m2.W-1]	R4 [K.m2.W-1]	R5 [K.m2.W-1]
Průměr Rc [K.m2.W-1]	0,654646591	0,228460402	4,231156995	0,336707015
Průměr s [K.m2.W-1]	0,00445247	0,000746767	0,388991879	0,00112131

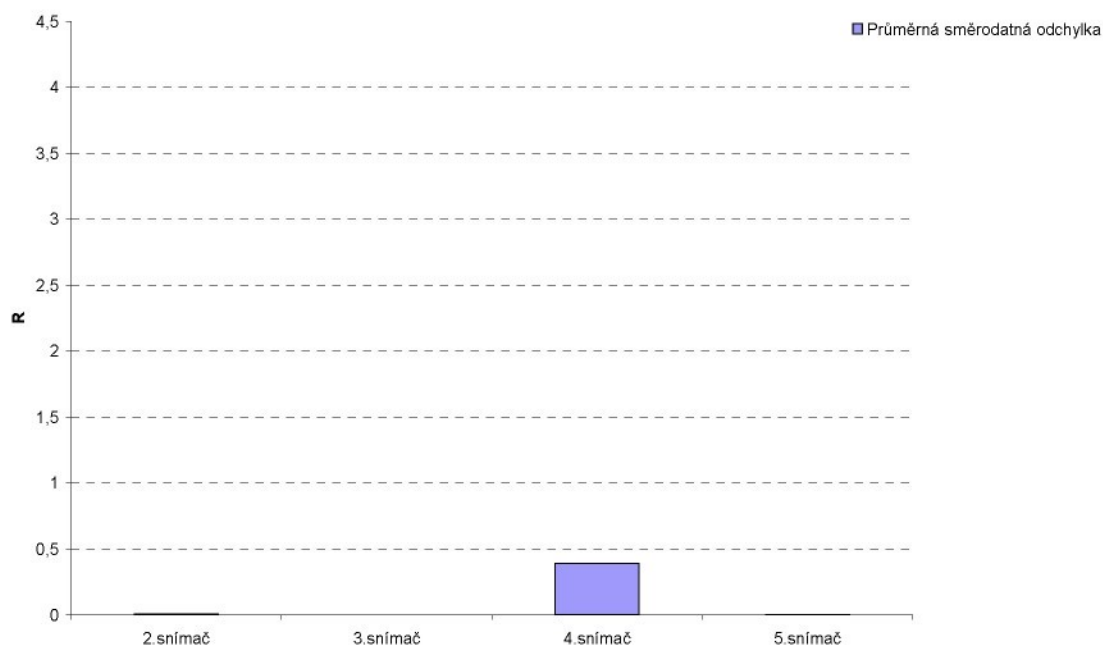
Tab.15: průměrné hodnoty

Průměrný tepelný odpor při rychlosti 10 m/s



Graf 9: průměrné hodnoty

Průměrná směrodatná odchylka při rychlosti 10 m/s



Graf 10: průměrné směrodatné odchylky

Vzorek č.5

č. měření	R2 [K.m2.W-1]	R3 [K.m2.W-1]	R4 [K.m2.W-1]	R5 [K.m2.W-1]
1. měření	1,285467143	1,521575915	1,450904755	1,052388167
2. měření	1,297543889	1,515968764	1,463088522	1,057321815
3. měření	1,284014833	1,500623085	1,465096172	1,063876
4. měření	1,285385057	1,494037433	1,456135229	1,057730572
5. měření	1,293859266	1,494916821	1,466137899	1,079934447

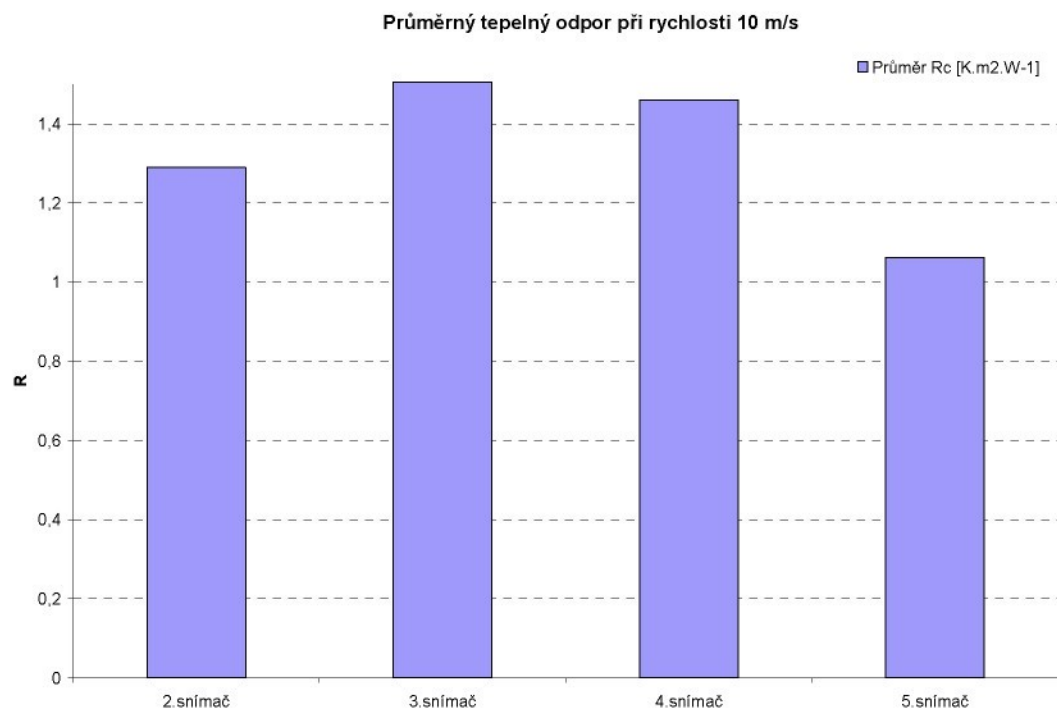
Tab.16: průměrné hodnoty jednotlivých měření

č. měření	s [K.m2.W-1]	s [K.m2.W-1]	s [K.m2.W-1]	s [K.m2.W-1]
1. měření	0,149656227	0,149532857	0,246254791	0,090418732
2. měření	0,168388395	0,156967642	0,226430925	0,085454681
3. měření	0,152073355	0,155653142	0,264760944	0,094195045
4. měření	0,151881053	0,142815869	0,271334147	0,087681663
5. měření	0,158659534	0,145598974	0,245862801	0,104116381

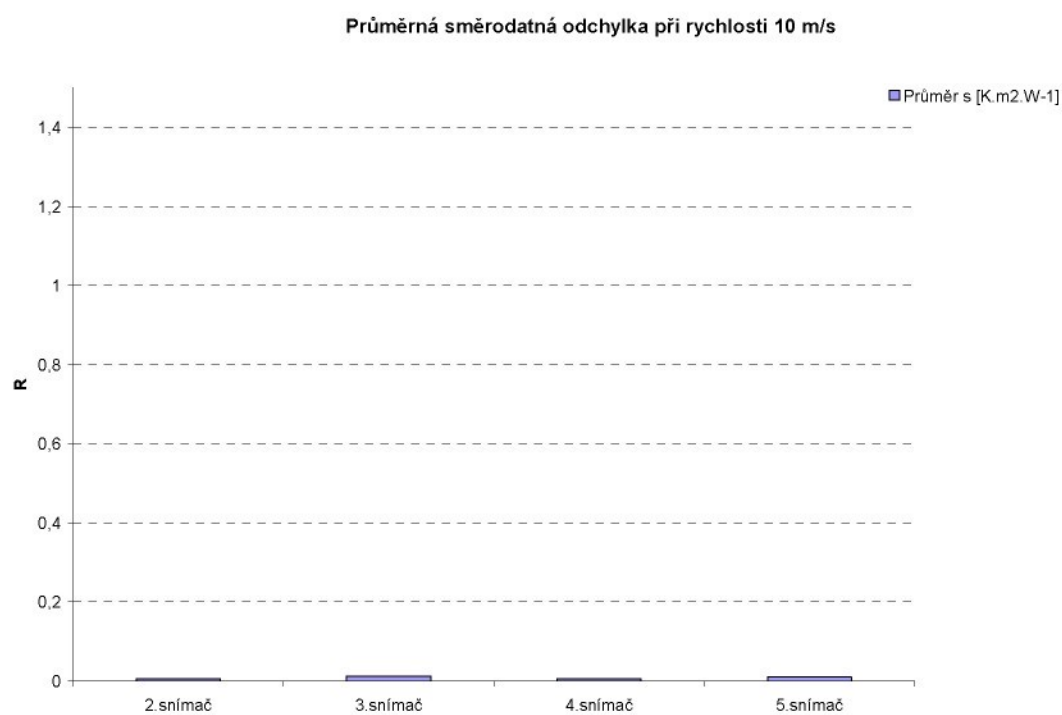
Tab.17: směrodatné odchylky jednotlivých měření

	R2 [K.m2.W-1]	R3 [K.m2.W-1]	R4 [K.m2.W-1]	R5 [K.m2.W-1]
Průměr Rc [K.m2.W-1]	1,289254037	1,505424404	1,460272516	1,0622502
Průměr s [K.m2.W-1]	0,006055754	0,012601388	0,006528253	0,01069289

Tab.18: průměrné hodnoty



Graf 11: průměrné hodnoty



Graf 12: průměrné směrodatné odchylky

Vzorek č.6

č. měření	R2 [K.m2.W-1]	R3 [K.m2.W-1]	R4 [K.m2.W-1]	R5 [K.m2.W-1]
1. měření	2,511952236	1,453916319	6,972981698	1,082613665
2. měření	2,395080771	1,437686583	6,390223515	1,079803419
3. měření	2,523697055	1,471071369	6,337512792	1,101796673
4. měření	2,442053902	1,458646337	6,289144997	1,089048149
5. měření	2,434154007	1,474284977	6,472936602	1,079566458

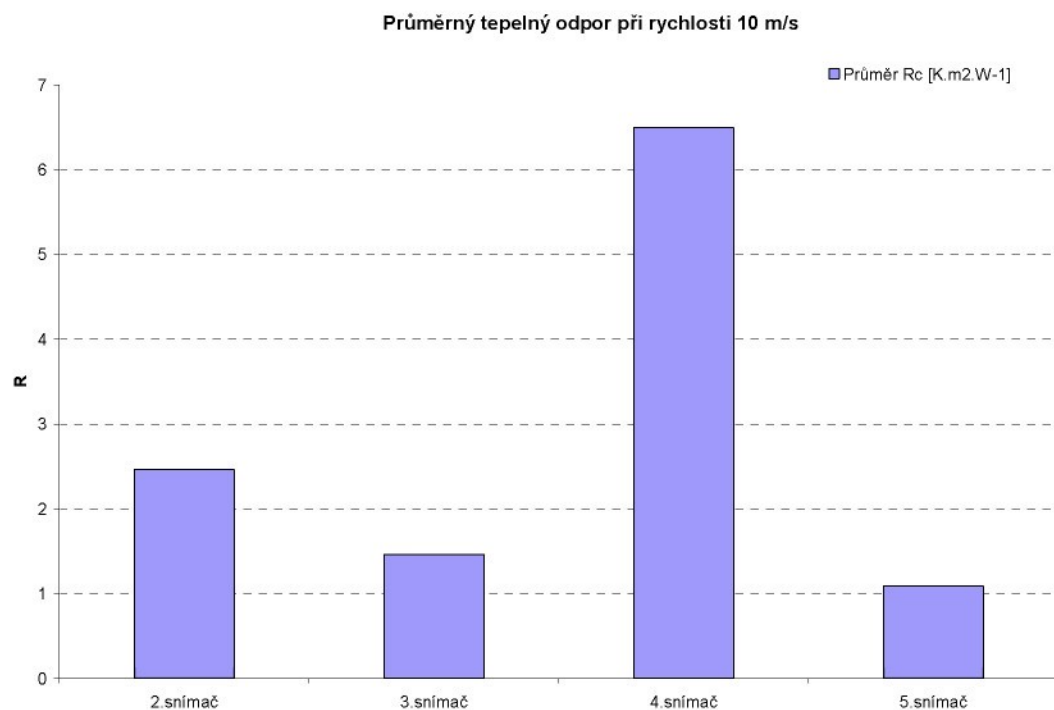
Tab.19: průměrné hodnoty jednotlivých měření

č. měření	s [K.m2.W-1]	s [K.m2.W-1]	s [K.m2.W-1]	s [K.m2.W-1]
1. měření	0,71539719	0,137657778	24,68005395	0,10291019
2. měření	0,634608372	0,134106847	21,7663909	0,094459962
3. měření	0,659074036	0,150511479	17,7239391	0,109652095
4. měření	0,646140646	0,142345699	21,40079998	0,099769881
5. měření	0,583490807	0,143508851	17,04814216	0,104764875

Tab.20: směrodatné odchylky jednotlivých měření

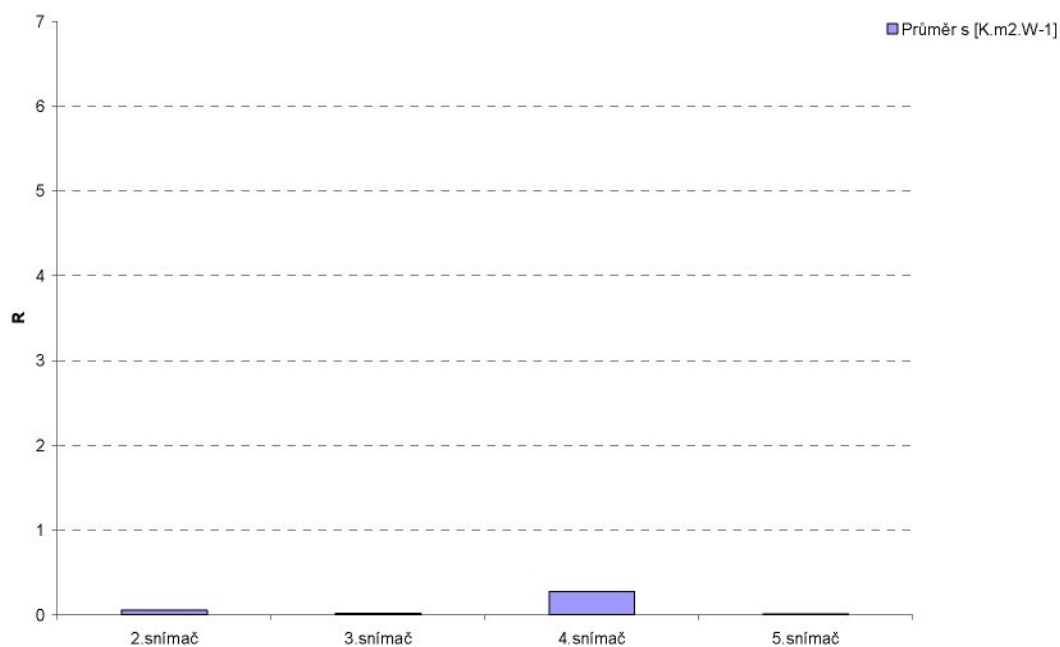
	R2 [K.m2.W-1]	R3 [K.m2.W-1]	R4 [K.m2.W-1]	R5 [K.m2.W-1]
Průměr Rc [K.m2.W-1]	2,461387594	1,459121117	6,492559921	1,086565673
Průměr s [K.m2.W-1]	0,054661016	0,014658664	0,277074061	0,00933383

Tab.21: průměrné hodnoty



Graf 13: průměrné hodnoty

Průměrná směrodatná odchylka při rychlosti 10 m/s



Graf 14: průměrné směrodatné odchylky

Rychlost proudění vzduchu v tunelu 15 m/s.

Vzorek č.1

č. měření	R2 [K.m2.W-1]	R3 [K.m2.W-1]	R4 [K.m2.W-1]	R5 [K.m2.W-1]
1. měření	0,721375708	0,483870402	1,216141584	0,6998715
2. měření	0,697797745	0,483340858	1,202331735	0,704582951
3. měření	0,683965967	0,483339361	1,202689843	0,701196517
4. měření	0,680501181	0,48242042	1,216629062	0,706349357
5. měření	0,659600759	0,479071867	1,203725446	0,701742705

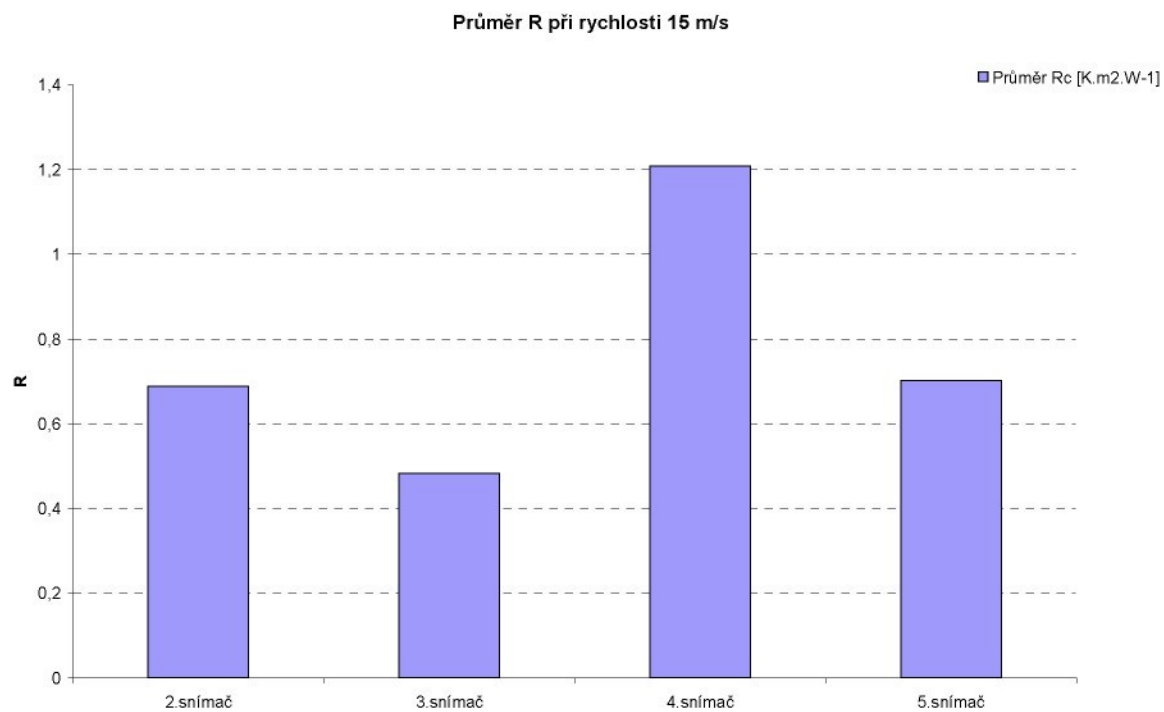
Tab.22: průměrné hodnoty jednotlivých měření

č. měření	s [K.m2.W-1]	s [K.m2.W-1]	s [K.m2.W-1]	s [K.m2.W-1]
1. měření	0,054195633	0,017509842	0,156998878	0,039728533
2. měření	0,052887325	0,016269746	0,155436899	0,039117026
3. měření	0,050110085	0,016242404	0,152791504	0,041008474
4. měření	0,046958658	0,01575947	0,161744394	0,039528847
5. měření	0,043397678	0,016716757	0,18364093	0,038918787

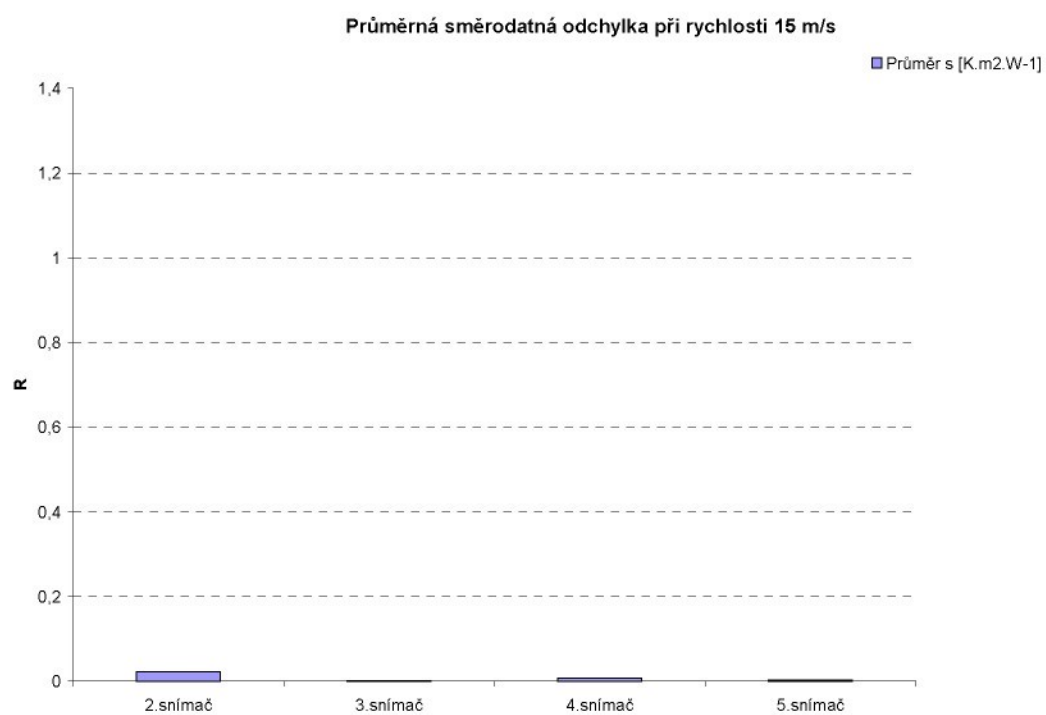
Tab.23: směrodatné odchylky jednotlivých měření

	R2 [K.m2.W-1]	R3 [K.m2.W-1]	R4 [K.m2.W-1]	R5 [K.m2.W-1]
Průměr Rc [K.m2.W-1]	0,688648272	0,482408581	1,208303534	0,702748606
Průměr s [K.m2.W-1]	0,022841054	0,001936893	0,007397368	0,002647111

Tab.24: průměrné hodnoty



Graf 15: průměrné hodnoty



Graf 16: průměrné směrodatné odchylky

Vzorek č.2

č. měření	R2 [K.m2.W-1]	R3 [K.m2.W-1]	R4 [K.m2.W-1]	R5 [K.m2.W-1]
1. měření	1,222596079	0,565334631	4,984377099	0,773666888
2. měření	1,190299368	0,563354352	4,016814187	0,766512872
3. měření	1,192289658	0,566335129	4,352446889	0,769689206
4. měření	1,177128463	0,569189129	5,332858529	0,764787958
5. měření	1,169784693	0,565366443	4,530714088	0,764161095

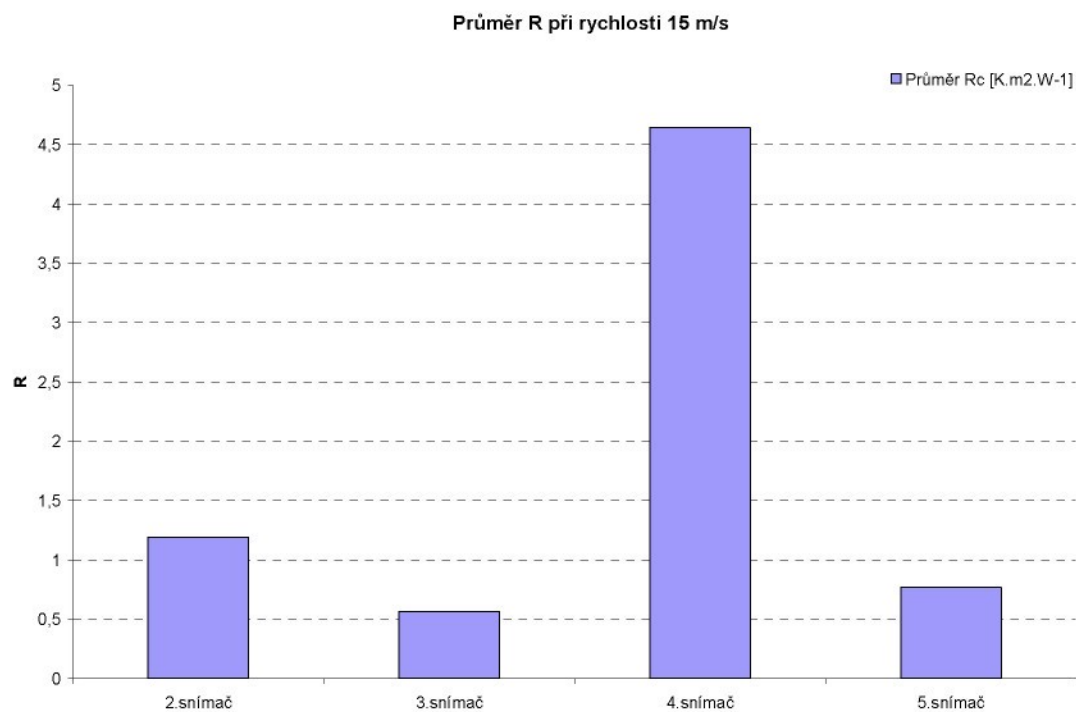
Tab.25: průměrné hodnoty jednotlivých měření

č. měření	s [K.m2.W-1]	s [K.m2.W-1]	s [K.m2.W-1]	s [K.m2.W-1]
1. měření	0,149090682	0,021614496	22,93919107	0,051751386
2. měření	0,141408195	0,020883795	14,62353479	0,044764716
3. měření	0,139587057	0,021310081	10,64415403	0,051144067
4. měření	0,130417289	0,019912523	15,74692715	0,049195113
5. měření	0,133173816	0,02005735	13,45391108	0,048161629

Tab.26: směrodatné odchylky jednotlivých měření

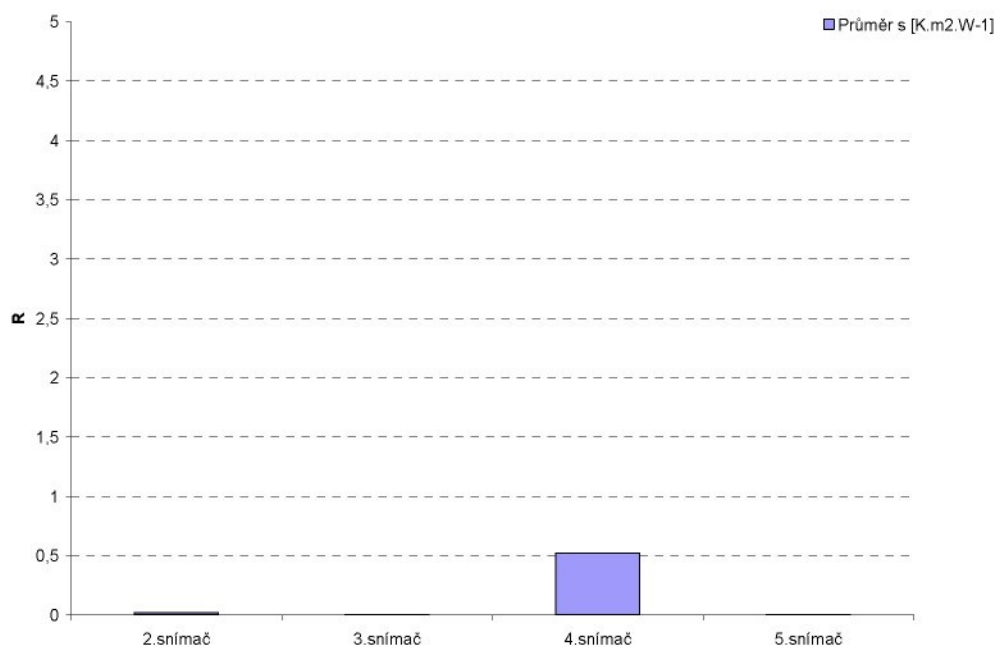
	R2 [K.m2.W-1]	R3 [K.m2.W-1]	R4 [K.m2.W-1]	R5 [K.m2.W-1]
Průměr Rc [K.m2.W-1]	1,190419652	0,565915937	4,643442158	0,767763604
Průměr s [K.m2.W-1]	0,020256425	0,002126681	0,519995203	0,00393553

Tab.27: průměrné hodnoty



Graf 17: průměrné hodnoty

Průměrná směrodatná odchylka při rychlosti 15 m/s



Graf 18: průměrné směrodatné odchylky

Vzorek č.3

č. měření	R2 [K.m2.W-1]	R3 [K.m2.W-1]	R4 [K.m2.W-1]	R5 [K.m2.W-1]
1. měření	0,414894707	0,140334104	1,083734342	0,240958103
2. měření	0,414577633	0,140825823	1,079557535	0,242364227
3. měření	0,40701402	0,139795161	1,041140638	0,2410158
4. měření	0,405256098	0,140481494	1,035493395	0,241779111
5. měření	0,406872505	0,140290968	1,043821969	0,241769174

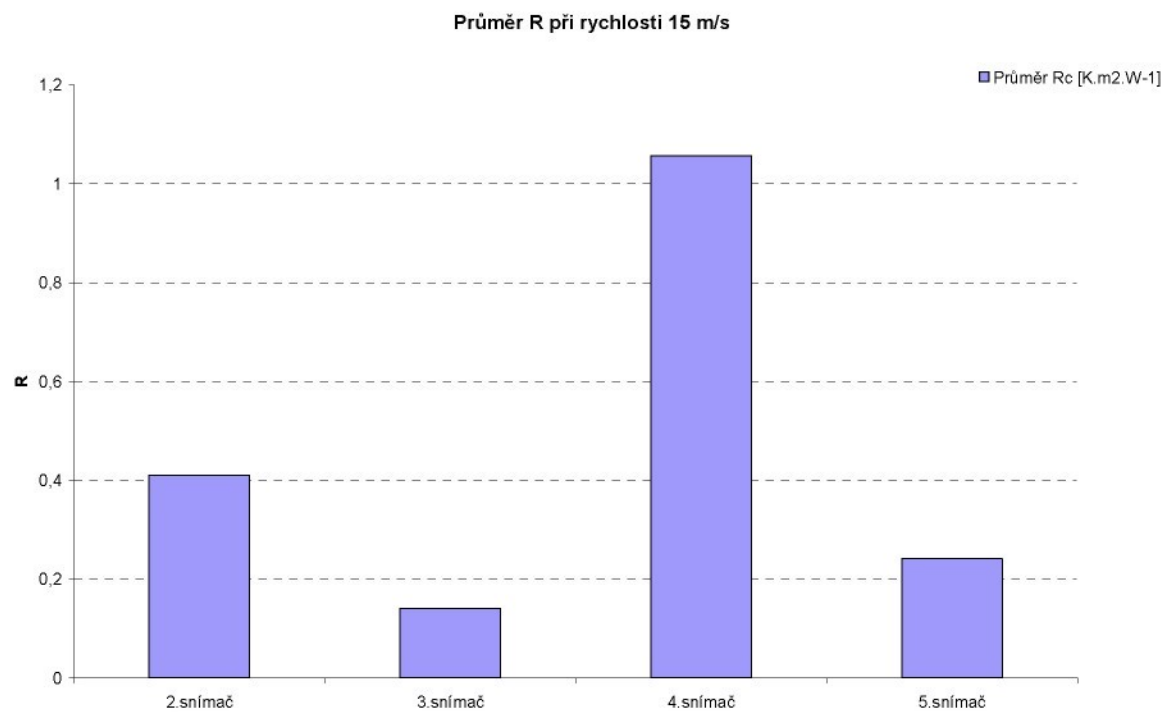
Tab.28: průměrné hodnoty jednotlivých měření

č. měření	s [K.m2.W-1]	s [K.m2.W-1]	s [K.m2.W-1]	s [K.m2.W-1]
1. měření	0,018604634	0,001683012	0,131923354	0,005374597
2. měření	0,016773935	0,001636215	0,128229536	0,004810065
3. měření	0,015998715	0,001614673	0,116736712	0,005000803
4. měření	0,016300481	0,001635557	0,11413656	0,005256421
5. měření	0,016876335	0,001631791	0,121633261	0,005055322

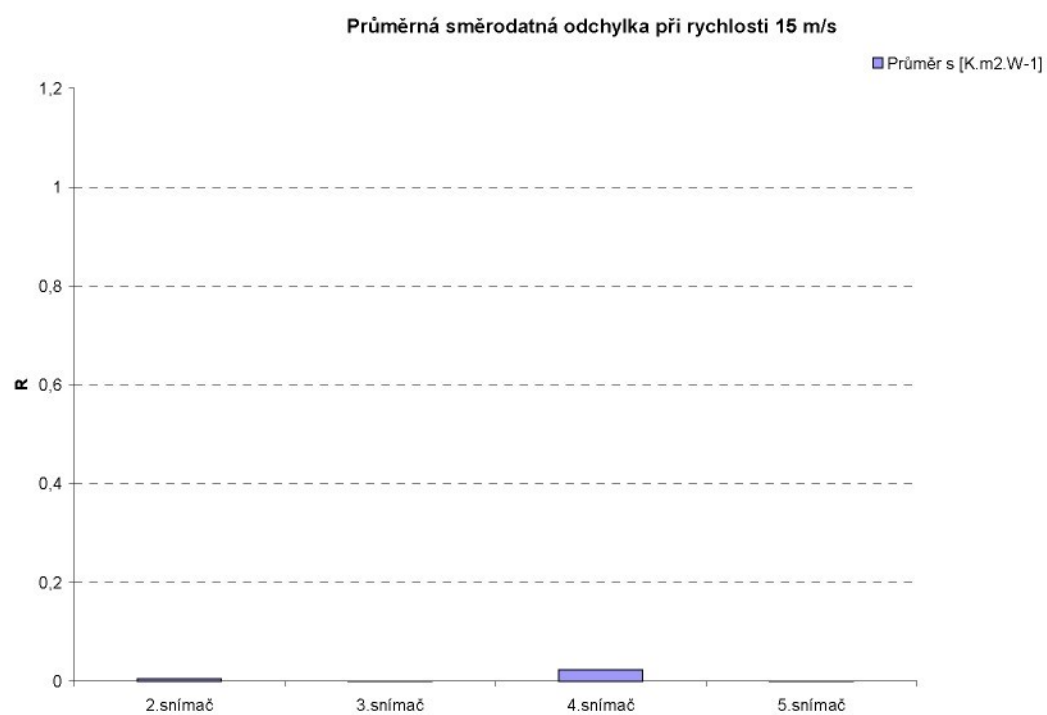
Tab.29: směrodatné odchylky jednotlivých měření

	R2 [K.m2.W-1]	R3 [K.m2.W-1]	R4 [K.m2.W-1]	R5 [K.m2.W-1]
Průměr Rc [K.m2.W-1]	0,409722993	0,14034551	1,056749576	0,241577283
Průměr s [K.m2.W-1]	0,004629555	0,000372553	0,022972635	0,000590653

Tab.30: průměrné hodnoty



Graf 19: průměrné hodnoty



Graf 2: průměrné směrodatné odchylky

Vzorek č.4

č. měření	R2 [K.m2.W-1]	R3 [K.m2.W-1]	R4 [K.m2.W-1]	R5 [K.m2.W-1]
1. měření	0,402777887	0,162660313	1,856363658	0,235726914
2. měření	0,400284504	0,163200717	1,889128183	0,236882612
3. měření	0,392814473	0,161546545	1,82974165	0,234785326
4. měření	0,39070817	0,161342049	1,835294104	0,234359438
5. měření	0,388121709	0,161139603	1,851917774	0,234864285

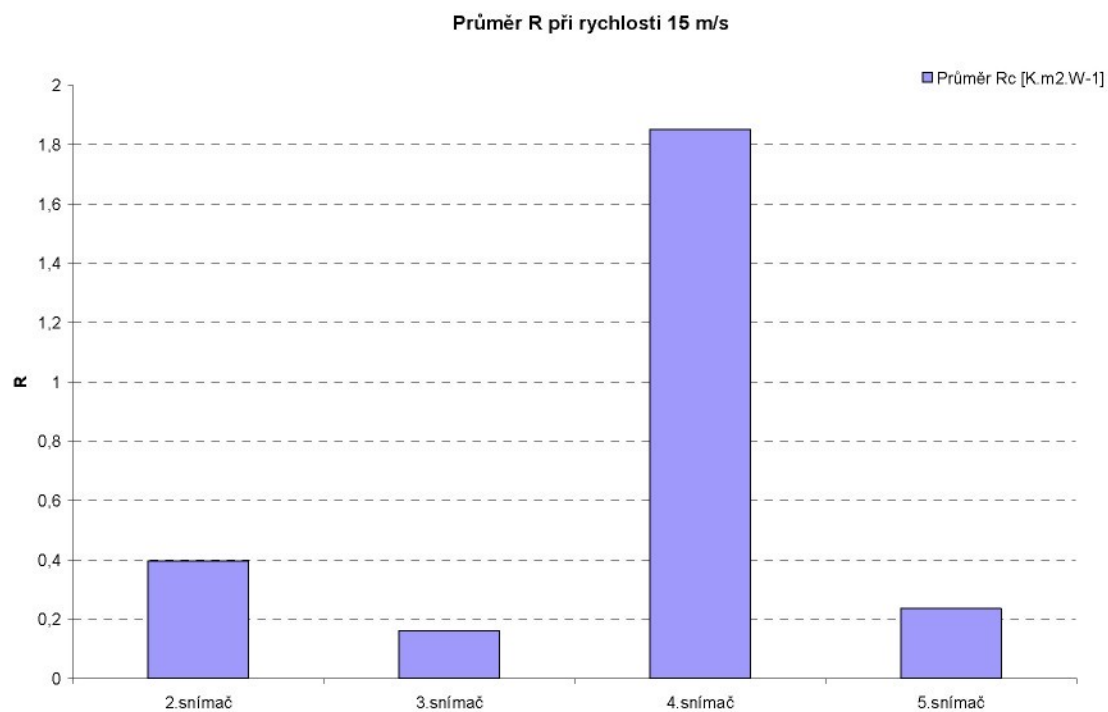
Tab.31: průměrné hodnoty jednotlivých měření

č. měření	s [K.m2.W-1]	s [K.m2.W-1]	s [K.m2.W-1]	s [K.m2.W-1]
1. měření	0,016321039	0,002486701	0,389605095	0,0051347
2. měření	0,015281342	0,001978798	0,417241361	0,004842418
3. měření	0,015818314	0,002121633	0,383788052	0,004870919
4. měření	0,015182705	0,002101062	0,411104176	0,004578999
5. měření	0,015375651	0,001993124	0,408795541	0,004567925

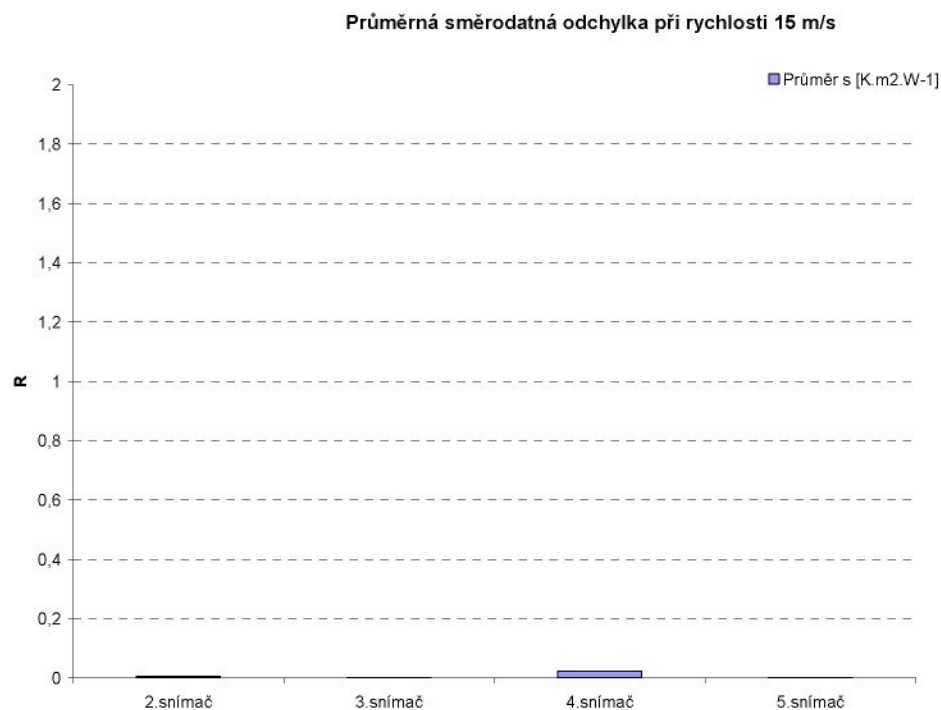
Tab.32: směrodatné odchylky jednotlivých měření

	R2 [K.m2.W-1]	R3 [K.m2.W-1]	R4 [K.m2.W-1]	R5 [K.m2.W-1]
Průměr Rc [K.m2.W-1]	0,394941349	0,161977845	1,852489074	0,235323715
Průměr s [K.m2.W-1]	0,006303006	0,000901954	0,023296327	0,001002933

Tab.33: průměrné hodnoty



Graf 20: průměrné hodnoty



Graf 21: průměrné směrodatné odchylky

Vzorek č.5

č. měření	R2 [K.m2.W-1]	R3 [K.m2.W-1]	R4 [K.m2.W-1]	R5 [K.m2.W-1]
1. měření	0,807399707	1,038987049	0,854868479	0,887699686
2. měření	0,65336004	0,993911239	0,716015082	0,89304865
3. měření	0,625058288	0,974359267	0,669787287	0,885739428
4. měření	0,603233016	0,966315621	0,655662628	0,899194357
5. měření	0,591667458	0,961378035	0,63910511	0,902683246

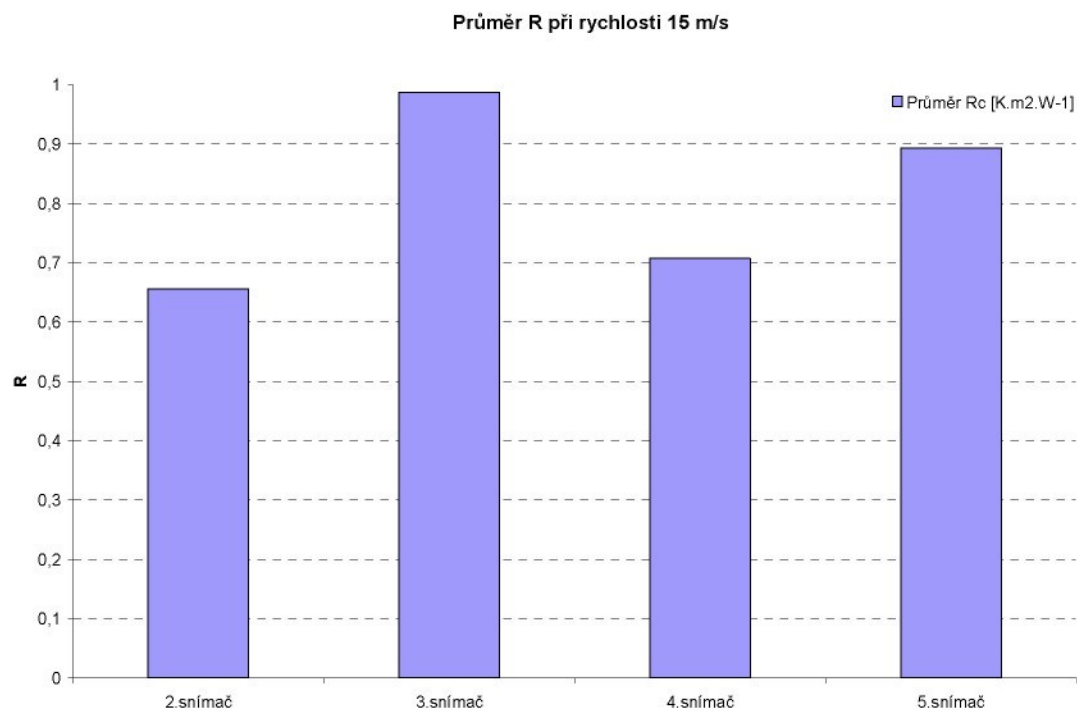
Tab.34: průměrné hodnoty jednotlivých měření

č. měření	s [K.m2.W-1]	s [K.m2.W-1]	s [K.m2.W-1]	s [K.m2.W-1]
1. měření	0,130757334	0,081935444	0,13293309	0,065176145
2. měření	0,069161605	0,064076205	0,104763255	0,064343033
3. měření	0,065736044	0,060411048	0,103164048	0,064316904
4. měření	0,058135347	0,062042205	0,091332784	0,065654489
5. měření	0,056464651	0,058299448	0,089565668	0,067487683

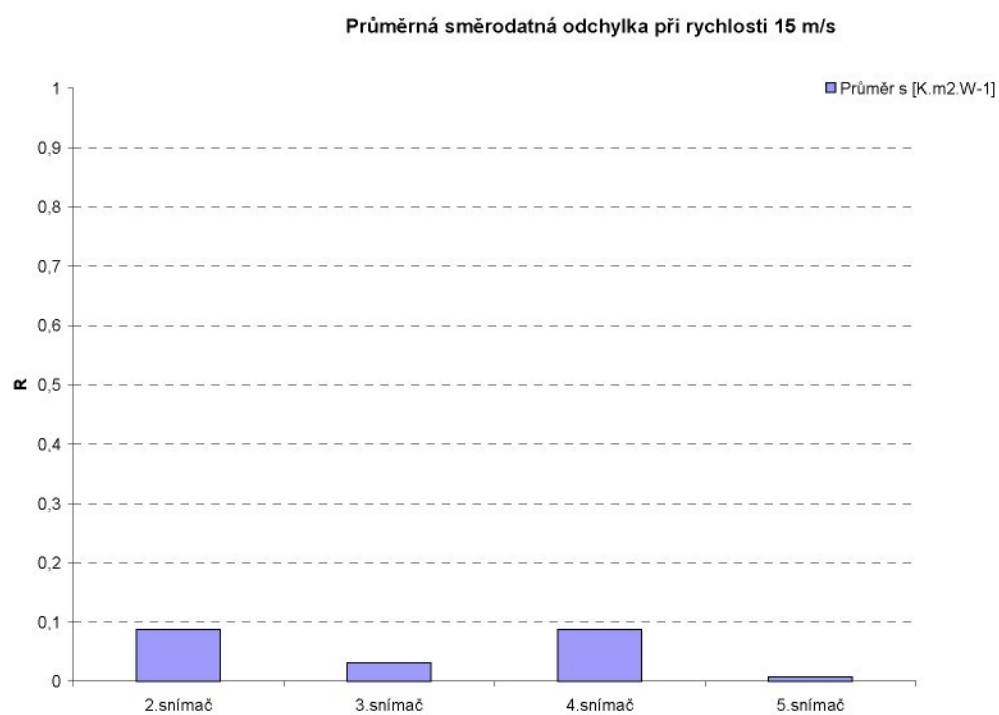
Tab.35: směrodatné odchylky jednotlivých měření

	R2 [K.m2.W-1]	R3 [K.m2.W-1]	R4 [K.m2.W-1]	R5 [K.m2.W-1]
Průměr Rc [K.m2.W-1]	0,656143702	0,986990242	0,707087717	0,893673073
Průměr s [K.m2.W-1]	0,087762688	0,031601166	0,08743047	0,007257441

Tab.36: průměrné hodnoty



Graf 22: průměrné hodnoty



Graf 23: průměrné směrodatné odchylky

Vzorek č.6

č. měření	R2 [K.m2.W-1]	R3 [K.m2.W-1]	R4 [K.m2.W-1]	R5 [K.m2.W-1]
1. měření	1,223701188	0,939426668	8,863768896	0,761055555
2. měření	1,15769846	0,936239769	11,62965408	0,745495567
3. měření	1,146326326	0,926102674	5,174430951	0,744457271
4. měření	1,110621225	0,912347109	9,851771257	0,737601788
5. měření	1,110267441	0,928270148	10,08435988	0,750275942

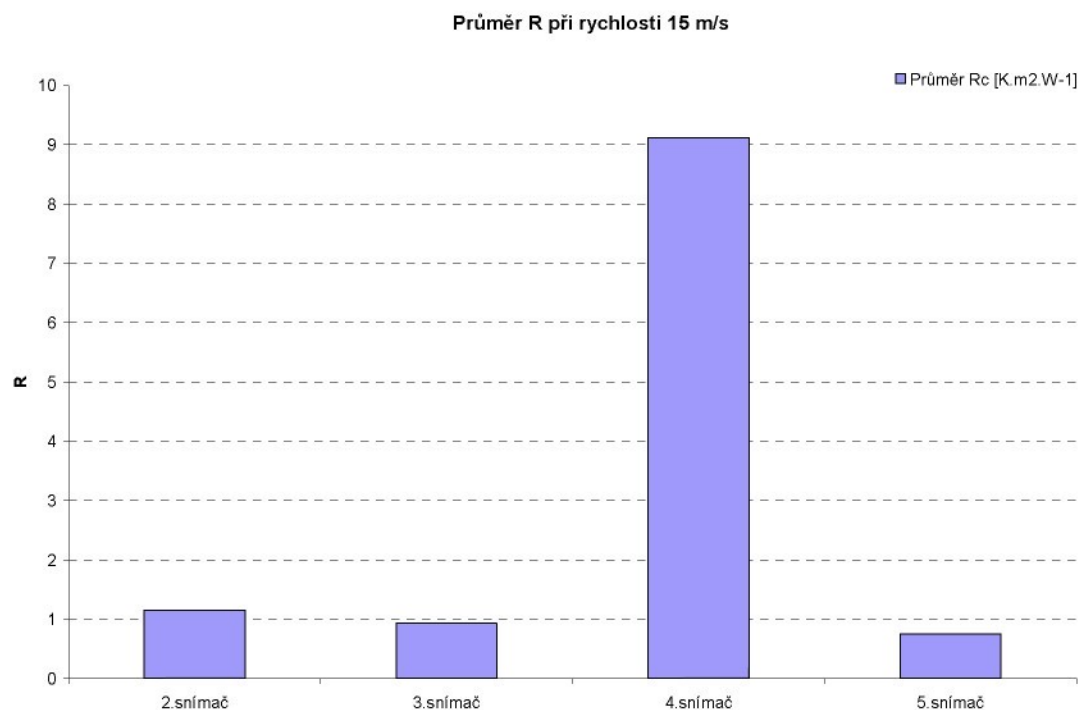
Tab.37: průměrné hodnoty jednotlivých měření

č. měření	s [K.m2.W-1]	s [K.m2.W-1]	s [K.m2.W-1]	s [K.m2.W-1]
1. měření	0,156779779	0,061084696	36,38090063	0,048235045
2. měření	0,142649458	0,053995279	45,4864079	0,044199292
3. měření	0,142274296	0,056213314	38,0800389	0,047006556
4. měření	0,134712567	0,05097853	38,89577072	0,044112904
5. měření	0,143797371	0,060072914	43,82504621	0,057020782

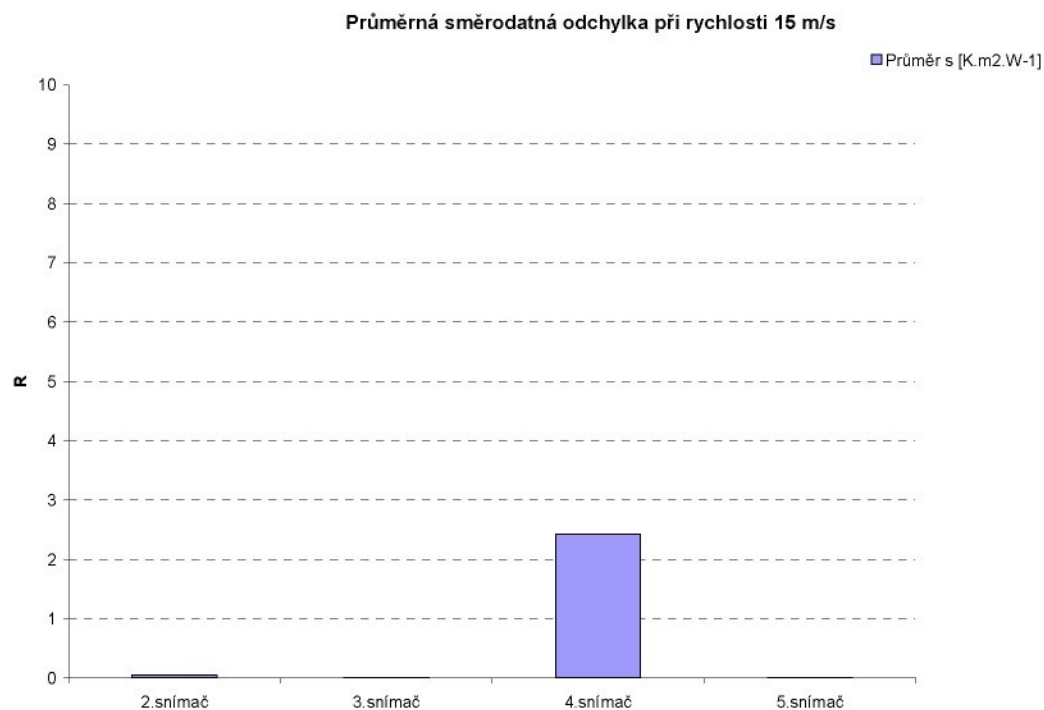
Tab.38: směrodatné odchylky jednotlivých měření

	R2 [K.m2.W-1]	R3 [K.m2.W-1]	R4 [K.m2.W-1]	R5 [K.m2.W-1]
Průměr Rc [K.m2.W-1]	1,149722928	0,928477274	9,120797014	0,747777225
Průměr s [K.m2.W-1]	0,046458604	0,010559467	2,418522746	0,008693751

Tab.39: průměrné hodnoty



Graf 24: průměrné hodnoty



Graf 25: průměrné směrodatné odchylky

Rychlost proudění vzduchu v tunelu 20 m/s.

Vzorek č.1

č. měření	R2 [K.m2.W-1]	R3 [K.m2.W-1]	R4 [K.m2.W-1]	R5 [K.m2.W-1]
1. měření	1,563142086	0,387198981	1,523825017	0,662101258
2. měření	1,619597246	0,383775619	1,492332741	0,666926318
3. měření	1,649831778	0,382476737	1,444802218	0,664301578
4. měření	1,655365756	0,383938058	1,506410605	0,666690706
5. měření	1,641995424	0,384670807	1,498178756	0,670674931

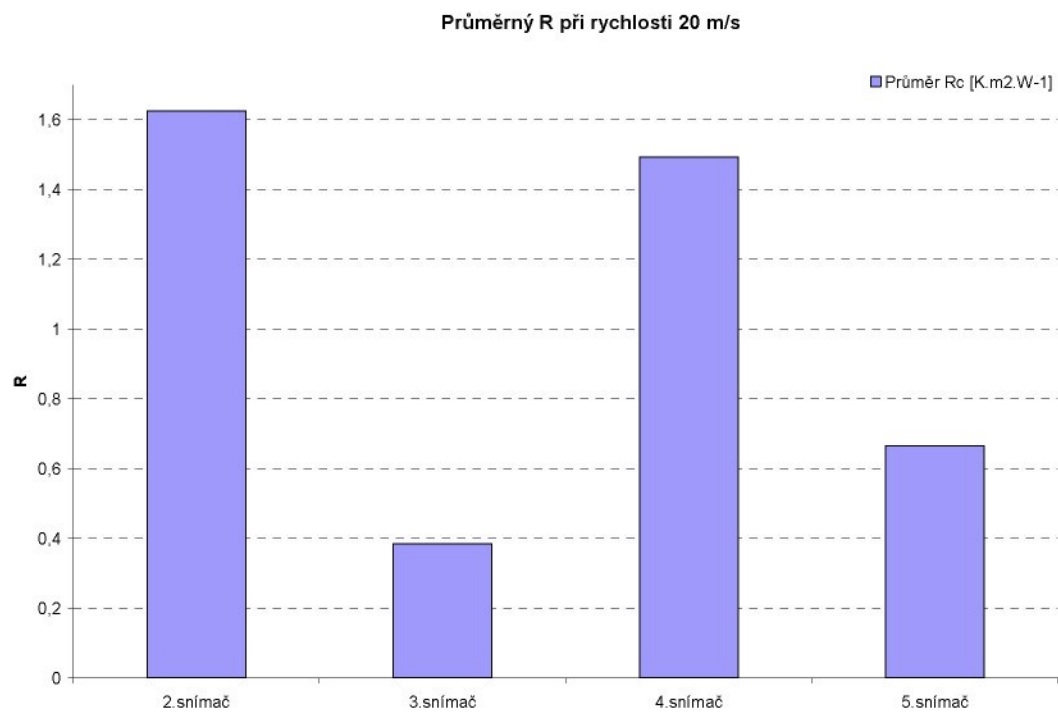
Tab.40: průměrné hodnoty jednotlivých měření

č. měření	s [K.m2.W-1]	s [K.m2.W-1]	s [K.m2.W-1]	s [K.m2.W-1]
1. měření	0,243711085	0,010444824	0,267656215	0,033497173
2. měření	0,254643996	0,010258406	0,269905512	0,037971495
3. měření	0,278620393	0,010086352	0,227771085	0,03492422
4. měření	0,291753083	0,010113288	0,307957072	0,036479607
5. měření	0,272660748	0,010410605	0,258666395	0,038731445

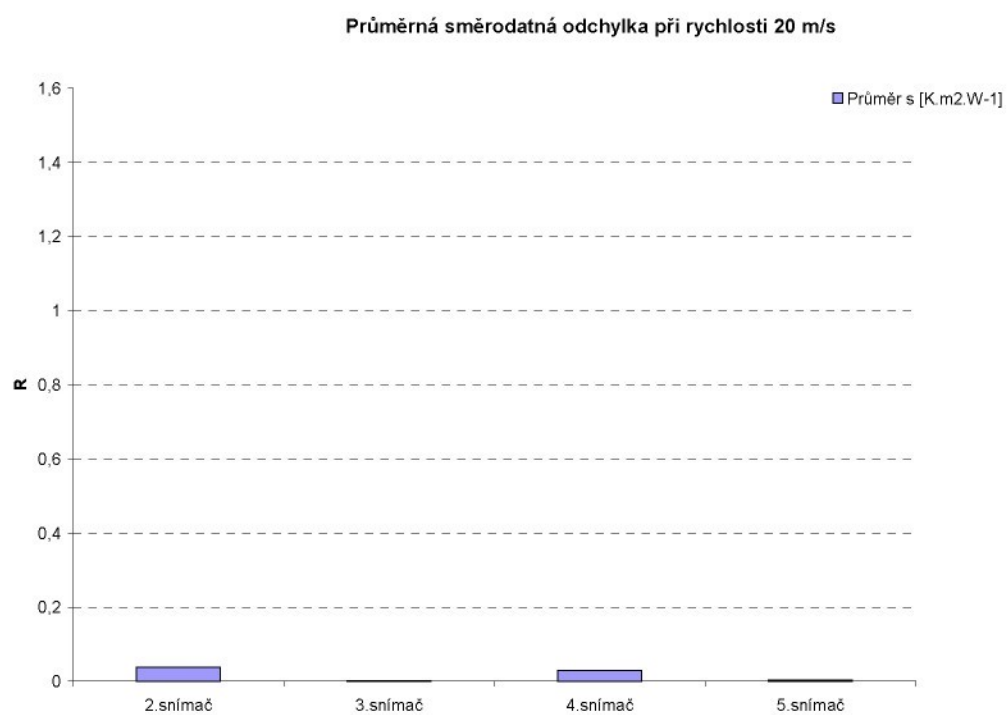
Tab.41: směrodatné odchylky jednotlivých měření

	R2 [K.m2.W-1]	R3 [K.m2.W-1]	R4 [K.m2.W-1]	R5 [K.m2.W-1]
Průměr Rc [K.m2.W-1]	1,625986458	0,384412041	1,493109867	0,666138958
Průměr s [K.m2.W-1]	0,037677137	0,001747075	0,02949685	0,00320852

Tab.42: průměrné hodnoty



Graf 26: průměrné hodnoty



Graf 27: průměrné směrodatné odchylky

Vzorek č.2

č. měření	R2 [K.m2.W-1]	R3 [K.m2.W-1]	R4 [K.m2.W-1]	R5 [K.m2.W-1]
1. měření	3,361614456	0,443123678	1,512979821	0,71906097
2. měření	3,265299524	0,44058312	1,43243214	0,718657707
3. měření	3,068325513	0,440145816	1,385041906	0,72085704
4. měření	2,983952361	0,437550806	1,348471292	0,712428575
5. měření	2,733767706	0,438060833	1,3471603	0,712939491

Tab.43: průměrné hodnoty jednotlivých měření

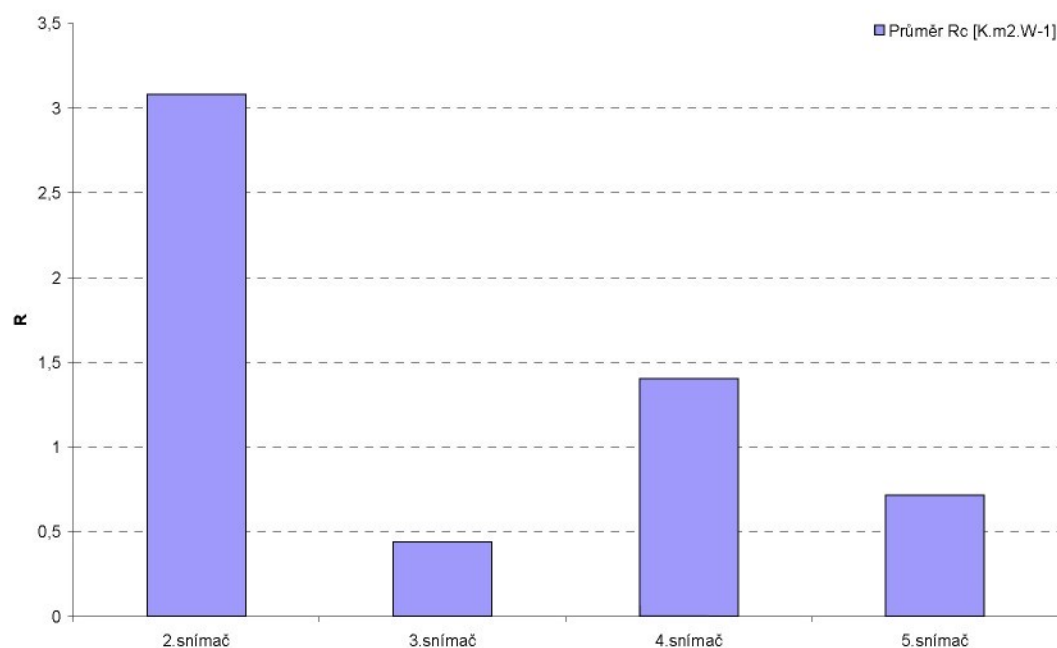
č. měření	s [K.m2.W-1]	s [K.m2.W-1]	s [K.m2.W-1]	s [K.m2.W-1]
1. měření	2,007192056	0,01407062	0,279678319	0,043309233
2. měření	1,246831991	0,012371612	0,204024437	0,041942649
3. měření	1,099855653	0,012875387	0,215393792	0,042681652
4. měření	1,179691325	0,01252689	0,21163274	0,039483171
5. měření	5,533408739	0,01313078	0,215068586	0,039581827

Tab.44: směrodatné odchylky jednotlivých měření

	R2 [K.m2.W-1]	R3 [K.m2.W-1]	R4 [K.m2.W-1]	R5 [K.m2.W-1]
Průměr Rc [K.m2.W-1]	3,082591912	0,439892851	1,405217092	0,716788757
Průměr s [K.m2.W-1]	0,246397681	0,002225993	0,069554259	0,003841708

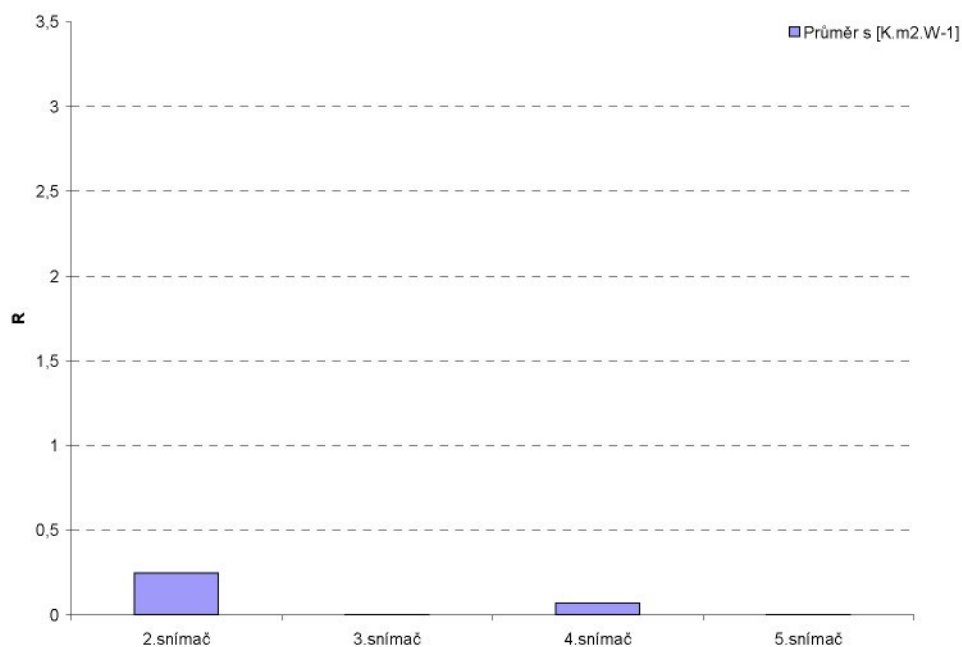
Tab.45: průměrné hodnoty

Průměrný R při rychlosti 20 m/s



Graf 28: průměrné hodnoty

Průměrná směrodatná odchylka při rychlosti 20 m/s



Graf 29: průměrné směrodatné odchylky

Vzorek č.3

č. měření	R2 [K.m2.W-1]	R3 [K.m2.W-1]	R4 [K.m2.W-1]	R5 [K.m2.W-1]
1. měření	0,364458954	0,114297868	0,861921995	0,196608046
2. měření	0,352044913	0,114267472	0,88690914	0,193903816
3. měření	0,349662907	0,114574062	0,899417865	0,193656067
4. měření	0,34606991	0,114386784	0,900998117	0,192747855
5. měření	0,350617078	0,115389587	0,902598248	0,194173428

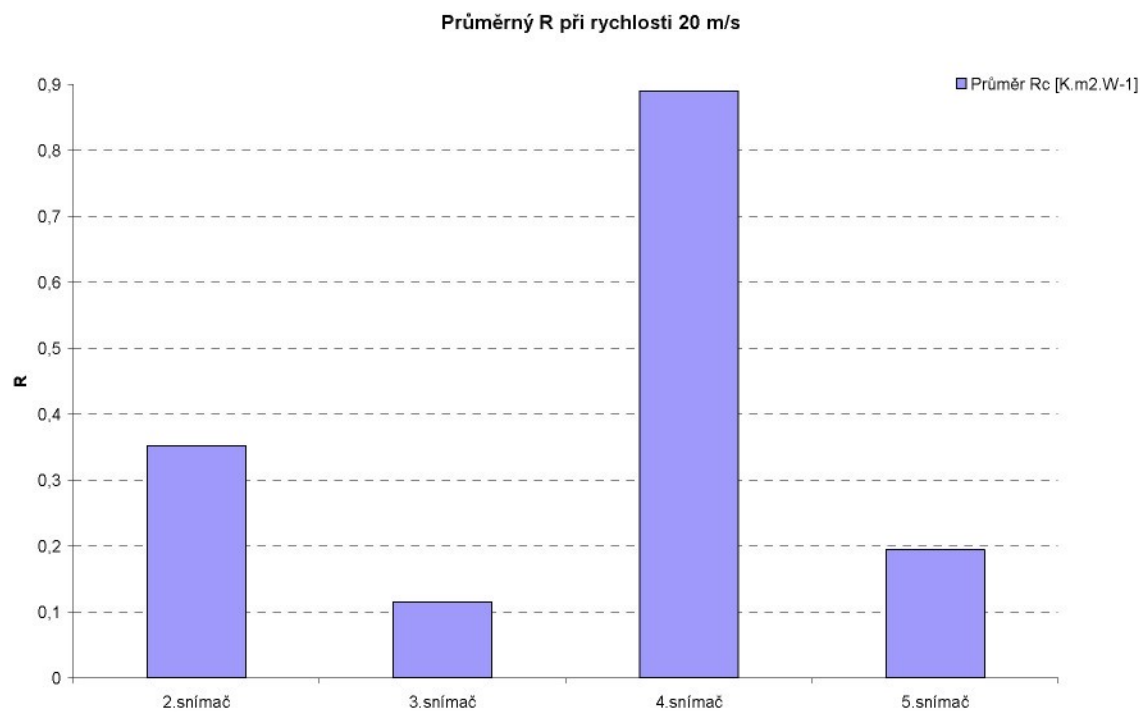
Tab.46: průměrné hodnoty jednotlivých měření

č. měření	s [K.m2.W-1]	s [K.m2.W-1]	s [K.m2.W-1]	s [K.m2.W-1]
1. měření	0,014720523	0,001293654	0,086176558	0,003522733
2. měření	0,013194751	0,001181101	0,085907395	0,003311664
3. měření	0,01187349	0,00110619	0,082267781	0,003369182
4. měření	0,012683225	0,001221668	0,087642708	0,003389191
5. měření	0,085946064	0,015867792	0,102658179	0,028051786

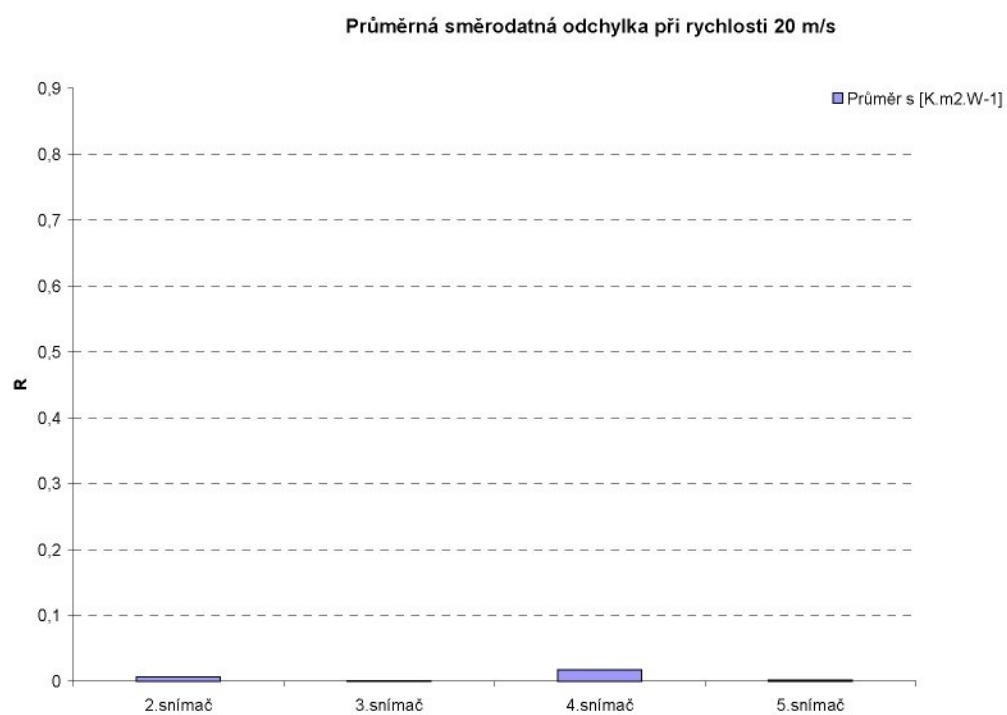
Tab.47: směrodatné odchylky jednotlivých měření

	R2 [K.m2.W-1]	R3 [K.m2.W-1]	R4 [K.m2.W-1]	R5 [K.m2.W-1]
Průměr Rc [K.m2.W-1]	0,352570752	0,114583155	0,890369073	0,194217842
Průměr s [K.m2.W-1]	0,007002485	0,000466375	0,017070569	0,001439628

Tab.48: průměrné hodnoty



Graf 30: průměrné hodnoty



Graf 31: průměrné směrodatné odchylky

Vzorek č.4

č. měření	R2 [K.m2.W-1]	R3 [K.m2.W-1]	R4 [K.m2.W-1]	R5 [K.m2.W-1]
1. měření	0,32102025	0,131071938	1,313169626	0,190649873
2. měření	0,299325297	0,130448213	1,165950545	0,1894106
3. měření	0,28505173	0,130763301	1,074420532	0,188724223
4. měření	0,272683432	0,131320573	1,040514728	0,188644032
5. měření	0,266251718	0,131158255	0,991414352	0,188453827

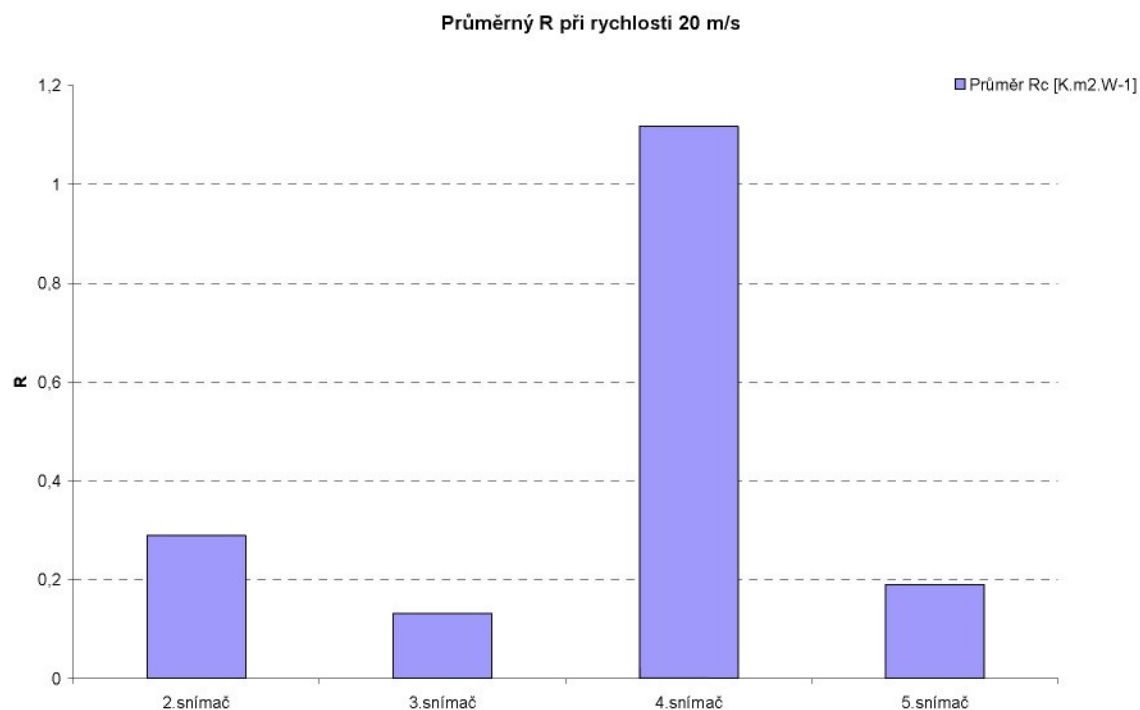
Tab.49: průměrné hodnoty jednotlivých měření

č. měření	s [K.m2.W-1]	s [K.m2.W-1]	s [K.m2.W-1]	s [K.m2.W-1]
1. měření	0,013656549	0,001645306	0,21185024	0,003412704
2. měření	0,011158058	0,001544691	0,150706017	0,003603865
3. měření	0,010555935	0,001553573	0,141773255	0,003266173
4. měření	0,009245743	0,001508035	0,132361159	0,003491515
5. měření	0,008990095	0,001535511	0,110595567	0,003366908

Tab.50: směrodatné odchylky jednotlivých měření

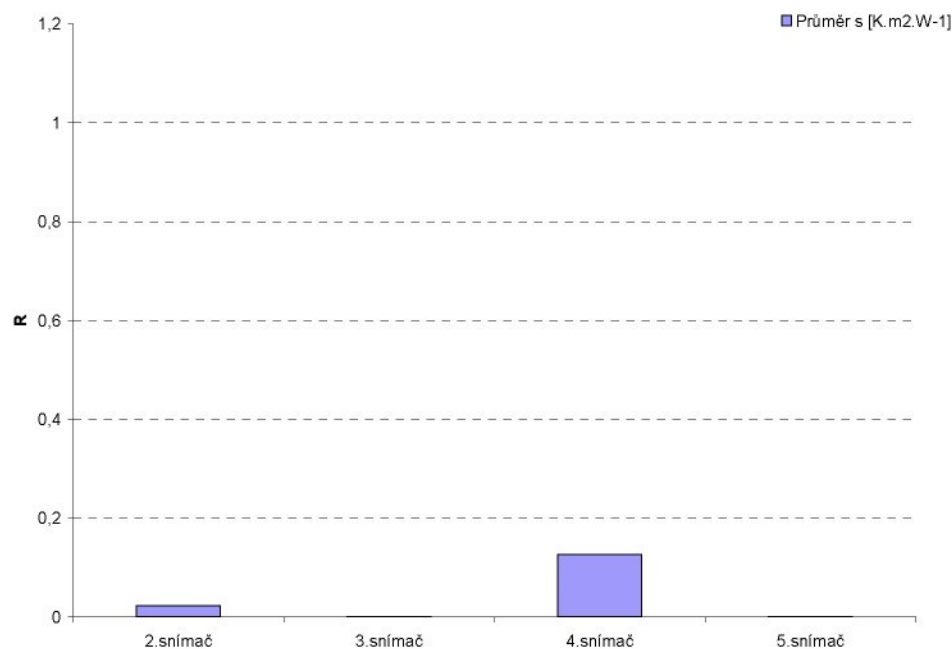
	R2 [K.m2.W-1]	R3 [K.m2.W-1]	R4 [K.m2.W-1]	R5 [K.m2.W-1]
Průměr Rc [K.m2.W-1]	0,288866486	0,130952456	1,117093957	0,189176511
Průměr s [K.m2.W-1]	0,02197227	0,000347196	0,126800431	0,00089944

Tab.51: průměrné hodnoty



Graf 32: průměrné hodnoty

Průměrná směrodatná odchylka při rychlosti 20 m/s



Graf 33: průměrné směrodatné odchylky

Vzorek č.5

č. měření	R2 [K.m2.W-1]	R3 [K.m2.W-1]	R4 [K.m2.W-1]	R5 [K.m2.W-1]
1. měření	1,763176331	0,944191167	1,195256803	0,881108298
2. měření	1,947290324	0,939483544	1,173300341	0,880564564
3. měření	1,976672695	0,935755193	1,176501105	0,879761935
4. měření	1,995562519	0,927884868	1,162569396	0,8793051
5. měření	2,01165958	0,92820363	1,164895686	0,879170135

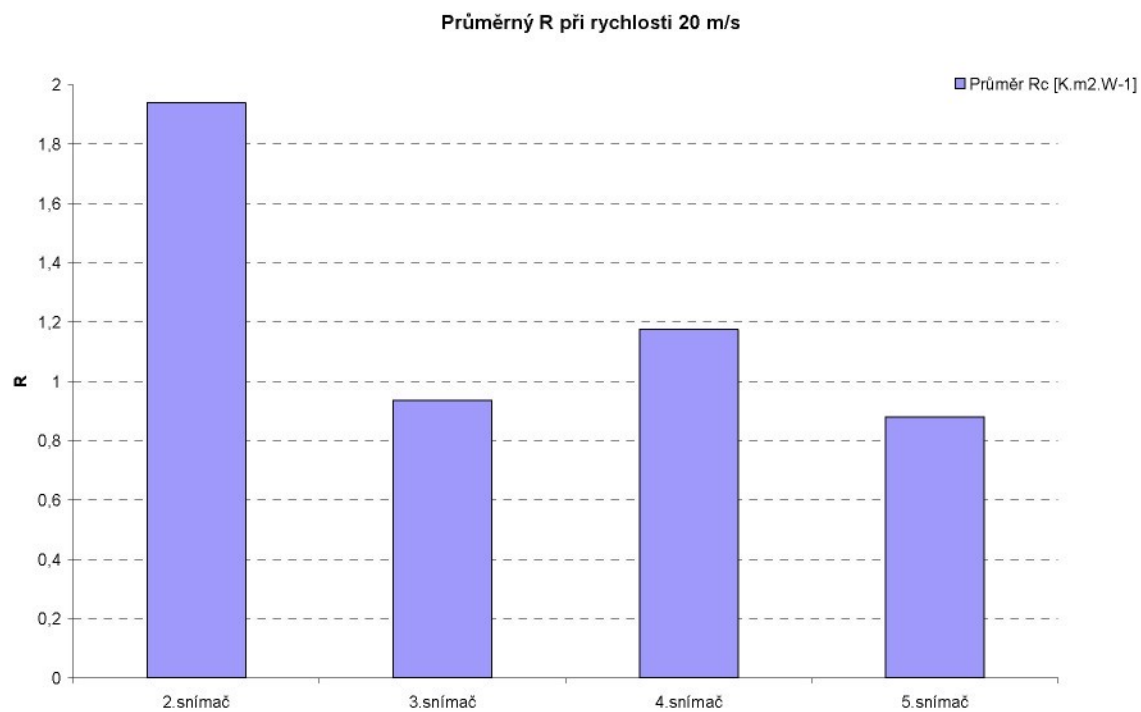
Tab.52: průměrné hodnoty jednotlivých měření

č. měření	s [K.m2.W-1]	s [K.m2.W-1]	s [K.m2.W-1]	s [K.m2.W-1]
1. měření	0,339484977	0,060630309	0,159782808	0,061955412
2. měření	0,422170498	0,056409816	0,149494876	0,064386636
3. měření	0,398181233	0,061108145	0,150243006	0,060834257
4. měření	0,422719882	0,058115245	0,146192244	0,063742037
5. měření	0,427797261	0,056816888	0,150950738	0,056620868

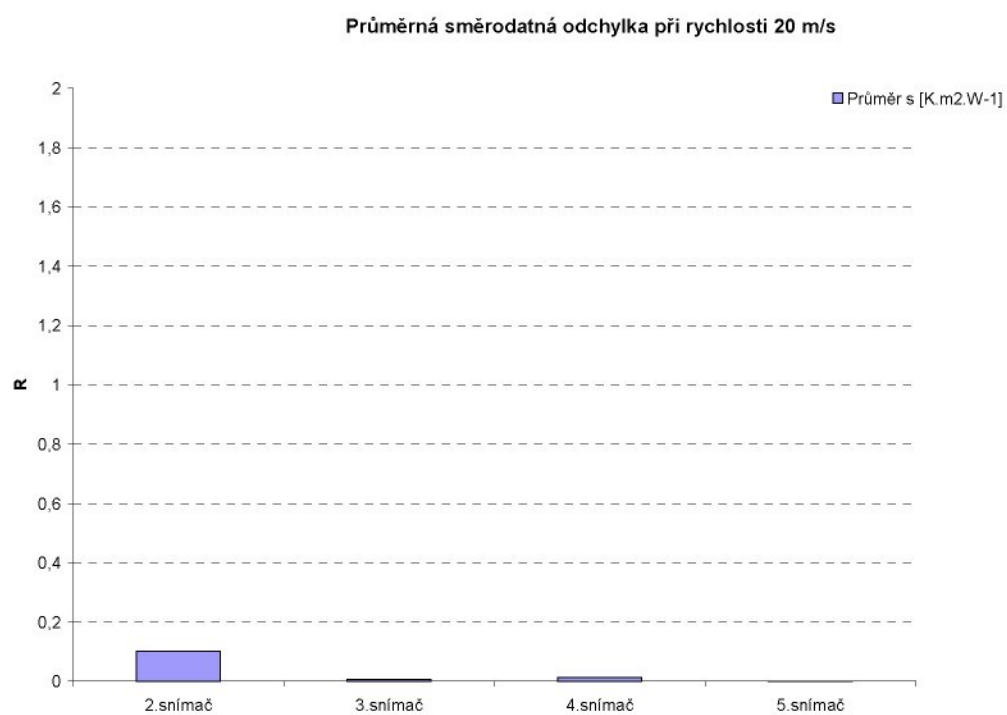
Tab.53: směrodatné odchylky jednotlivých měření

	R2 [K.m2.W-1]	R3 [K.m2.W-1]	R4 [K.m2.W-1]	R5 [K.m2.W-1]
Průměr Rc [K.m2.W-1]	1,93887229	0,93510368	1,174504666	0,879982006
Průměr s [K.m2.W-1]	0,101094727	0,007104788	0,012950584	0,000832718

Tab.54: průměrné hodnoty



Graf 34: průměrné hodnoty



Graf 35: průměrné směrodatné odchylky

Vzorek č.6

č. měření	R2 [K.m2.W-1]	R3 [K.m2.W-1]	R4 [K.m2.W-1]	R5 [K.m2.W-1]
1. měření	2,079109769	0,704676641	1,643127445	0,650350648
2. měření	2,050035889	0,71400039	1,667239701	0,659431759
3. měření	1,805196662	0,708317235	1,726339785	0,653317353
4. měření	1,845291831	0,724423635	1,791495958	0,663066494
5. měření	1,764587656	0,714526377	1,760014448	0,659393175

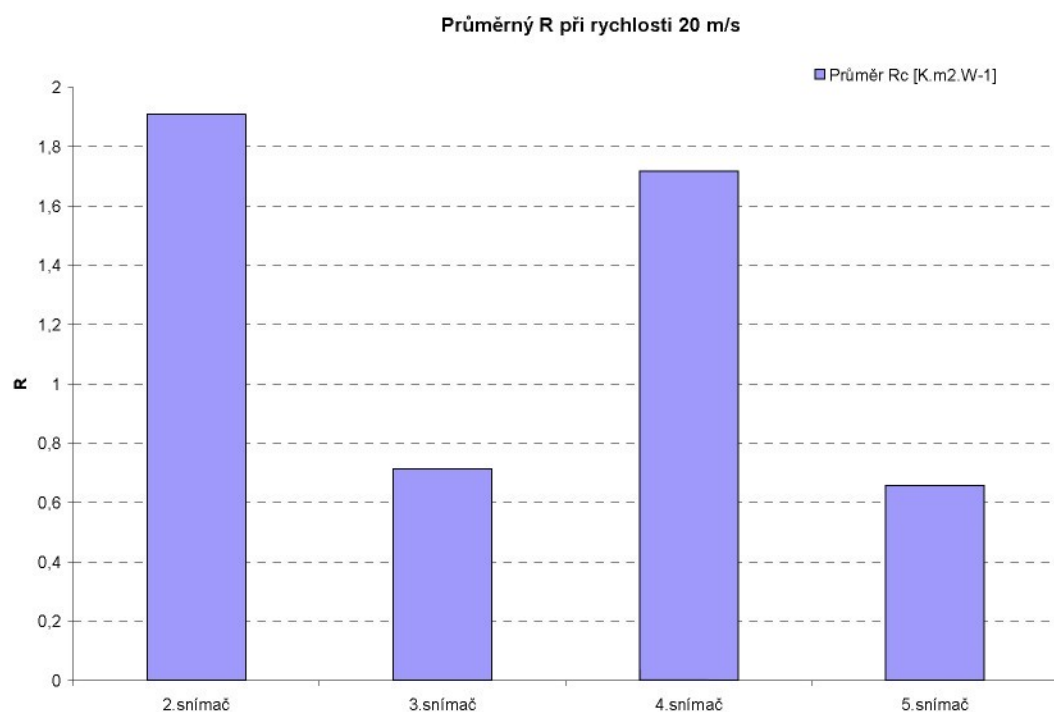
Tab.55: průměrné hodnoty jednotlivých měření

č. měření	s [K.m2.W-1]	s [K.m2.W-1]	s [K.m2.W-1]	s [K.m2.W-1]
1. měření	0,445771998	0,035644909	0,330633363	0,038049474
2. měření	0,473920217	0,035432001	0,368126536	0,03353305
3. měření	0,321040493	0,032958063	0,317808357	0,032076954
4. měření	0,37689874	0,033278154	0,366315469	0,039655249
5. měření	0,30413026	0,034317014	0,333392875	0,034558421

Tab.56: směrodatné odchylky jednotlivých měření

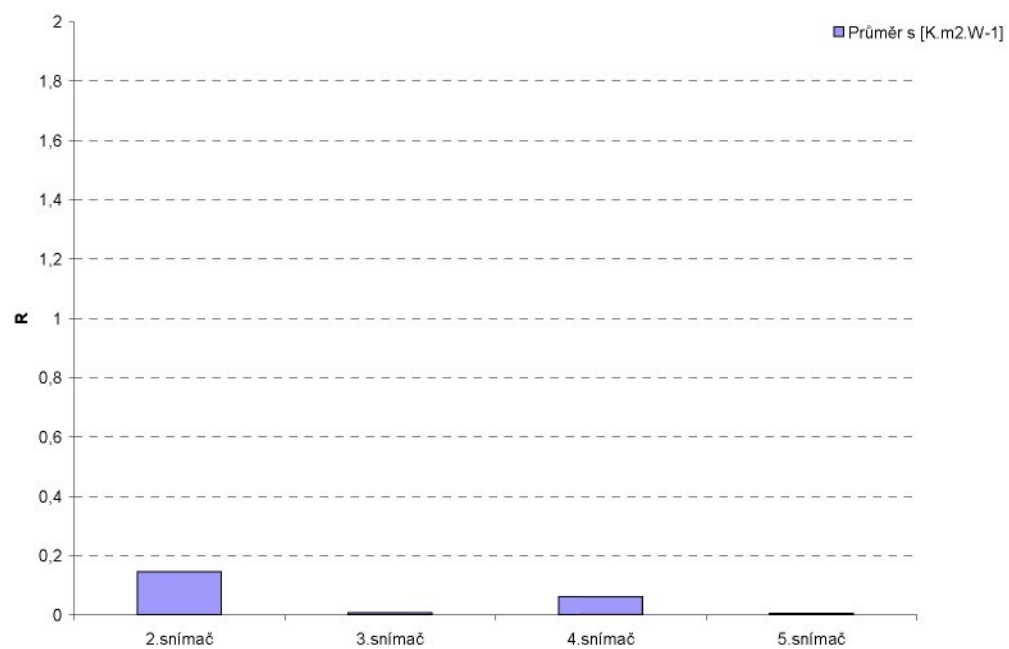
	R2 [K.m2.W-1]	R3 [K.m2.W-1]	R4 [K.m2.W-1]	R5 [K.m2.W-1]
Průměr Rc [K.m2.W-1]	1,908844361	0,713188856	1,717643467	0,657111886
Průměr s [K.m2.W-1]	0,145359144	0,007497638	0,062085211	0,005151609

Tab.57: průměrné hodnoty



Graf 36: průměrné hodnoty

Průměrná směrodatná odchylka při rychlosti 20 m/s



Graf 37: průměrné směrodatné odchylky