



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV APLIKOVANÉ INFORMATIKY A ŘÍZENÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMATION AND COMPUTER SCIENCE

METROLOGICKÉ CHARAKTERISTIKY SNÍMAČE OPERATIVNÍ TEPLoty

METROLOGICAL CHARACTERISTICS OF OPERATIVE TEMPERATURE SENSOR

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

PETR JUNEK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

ING. FRANTIŠEK VDOLEČEK, CSC.

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automatizace a informatiky

Akademický rok: 2013/14

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Petr Junek

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Aplikovaná informatika a řízení (3902R001)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Metrologické charakteristiky snímače operativní teploty

v anglickém jazyce:

Metrological characteristics of operative temperature sensor

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

V dnešní době je stále větší pozornost věnována sledování a řízení parametrů prostředí. To vede jednak k příznivější pohodě člověka, ale také výrazným úsporám energií.

Cíle bakalářské práce:

Jedním ze souhrnných parametrů hodnocení tepelné pohody prostředí je operativní teplota. Na našem pracovišti vznikl v rámci projektů komplexní snímač operativní teploty. Pro potvrzení jeho použitelnosti v praxi je třeba otestovat parametry, s nimiž je schopen pracovat. Navrhněte uspořádání pracoviště a realizujte soubory měření, kterými ověříte základní metrologické charakteristiky tohoto snímače srovnáním s podobnými přístroji.

Doporučená osnova práce:

1. Operativní teplota jako významný parametr prostředí
2. Návrh testů pro ověření základních metrologických charakteristik
3. Realizace a vyhodnocení experimentů

Seznam odborné literatury:

CHUDÝ, V.; Palenčár, R.; Kureková, E.; Halaj, M.; Meranie technických veličín : 1.vydání
Bratislava : Vydavateľstvo STU, 1999. 688s. ISBN 80-227-1275-2.

KREIDL, M.; Měření teploty – Senzory a měřicí obvody : 1. vydání Praha : BEN – technická
literatura, 2005. 240 s. ISBN 80-7300-145-4.

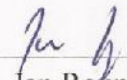
PAVELEK, M.; ŠTĚTINA, J. Experimentální metody v technice prostředí. : 2. vydání Brno:
Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. Brno. 2007. 222.s. ISBN 978-80-214-3426-4
Firemní literatura

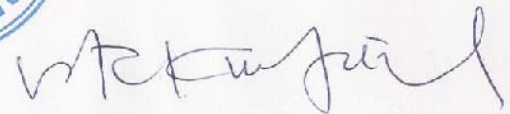
Vedoucí bakalářské práce: Ing. František Vdoleček, CSc.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/14.

V Brně, dne 19.11.2013




Ing. Jan Roupec, Ph.D.
Ředitel ústavu


prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan

Abstrakt

Cílem této práce je seznámit čtenáře s pojmem „operativní teplota“ a ověřit metrologické charakteristiky komplexního snímače operativní teploty, který byl zkompletován na fakultě strojního inženýrství VUT v Brně, srovnáváním s jinými měřicími přístroji. Práce obsahuje informace o průběhu měření a jejich vyhodnocení.

Abstract

Aim of this work is to explain the concept of "operative temperature" and verify metrological characteristics of complex operating temperature sensor, which was completed at the Faculty of Mechanical Engineering VUT Brno, by comparing with other measuring instruments. The work contains information about measurement and evaluation.

Klíčová slova

Snímač, operativní teplota, střední radiační teplota, vlhkost vzduchu, teplota vzduchu, proudění vzduchu, tepelná pohoda.

Keywords

sensor, operating temperature, mean radiant temperature, air humidity, air temperature, air flow, thermal comfort.

Bibliografická citace

JUNEK, P. *Metrologické charakteristiky snímače operativní teploty*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 42 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. František Vdoleček, CSc.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že tuto bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s využitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce.

V Brně dne 29. 05. 2014

.....

Poděkování

Děkuji panu Ing. Františku Vdolečkovi, CSc. za odborné konzultace a připomínky při psaní této bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat své rodině a blízkým, kteří mě při psaní práce a celém studiu podporovali.

Obsah

1	Úvod	- 15 -
2	Operativní teplota jako významný parametr prostředí.....	- 17 -
2.1	Definice operativní teploty.....	- 17 -
2.2	Výpočet operativní teploty.....	- 17 -
2.3	Využití operativní teploty	- 17 -
2.3.1	Tepelná pohoda pro člověka	- 17 -
2.3.2	Energické úspory	- 17 -
3	Informace o komplexním snímači operativní teploty	- 19 -
3.1	Hardwarové vybavení	- 19 -
3.1.1	Napájecí adaptér	- 19 -
3.1.2	Měřicí jednotka	- 19 -
3.1.3	Zobrazovací jednotka.....	- 21 -
3.2	Softwarové vybavení.....	- 21 -
4	Návrh testů pro ověření základních metrologických charakteristik snímače operativní teploty	- 23 -
4.1	Obecné podmínky	- 23 -
4.2	Návrh měření teploty vzduchu	- 23 -
4.3	Návrh měření střední radiační teploty prostředí.....	- 23 -
4.4	Návrh měření proudění vzduchu	- 23 -
4.5	Návrh měření vlhkosti vzduchu	- 23 -
5	Realizace a vyhodnocení experimentu	- 25 -
5.1	Teplota vzduchu	- 25 -
5.2	Střední radiační teplota	- 27 -
5.2.1	Měření se ztlumenými zdroji radiační teploty	- 27 -
5.2.2	Měření se záměrným ozařováním.....	- 29 -
5.3	Proudění vzduchu.....	- 31 -
5.3.1	Měření v tunelu s jedním ventilátorem	- 31 -
5.3.2	Měření se dvěma ventilátory.....	- 33 -
5.4	Vlhkost vzduchu.....	- 35 -
5.5	Vyhodnocení měření	- 36 -
6	Použité měřicí přístroje	- 37 -
6.1	TESTO 445 a TESTO 454	- 37 -
6.2	COMMETER D3120 a TH Pen8708	- 38 -
7	Závěr	- 39 -
	Použitá literatura.....	- 41 -
	Přílohy.....	- 42 -

1 Úvod

V historii člověka byl vždy kladený důraz na jeho komfort. Lidé vymýšleli různá vylepšení, aby byl pro ně jejich život co nejjednodušší a pohodlný.

V dnešní době je tato tendence obzvláště viditelná, například pomocí multimediálních telefonů, tabletů, notebooků a počítačů se člověk dokáže snadno zabavit, může pracovat efektivněji a jednodušeji, komunikovat s ostatními nebo si třeba objednat zboží z velké dálky, které mu bude do několika málo dní doručeno. Samozřejmě se jedná jen o nástin přístrojů a stejně tak jejich možností, které člověku přinášejí komfort. Další skupinou by mohla být například doprava (automobily, vlaky, letadla, atd.), potravinářský průmysl, textilní průmysl nebo služby. Výčet věcí, které člověk zrealizoval pro své pohodlí je opravdu velmi dlouhý a nadále se rozšiřuje a rozvíjí.

Platí to stejně tak i pro pohodlí člověka v místnostech či jiných uzavřených prostorech, kde pouhé měření teploty vzduchu a následná regulace teploty, nejsou dostačující. Je důležité znát i ostatní parametry prostředí, jakými jsou například vlhkost vzduchu, střední radiační teplota nebo rychlost proudění vzduchu a pomocí těchto znalostí zjistit teplotu operativní, která je důležitá právě pro vytvoření tepelné pohody v dané místnosti.

Na Vysokém učení technickém v Brně, fakultě strojního inženýrství, ústavu aplikované informatiky a automatizace byl nedávno sestaven komplexní snímač operativní teploty, který by mohl být mnohonásobně levnější variantou pro zajištění tepelné pohody v menších prostorech nebo místnostech.

2 Operativní teplota jako významný parametr prostředí

2.1 Definice operativní teploty

Operativní teplota je jednotná teplota černého uzavřeného prostoru, ve kterém by lidské tělo sdílelo prouděním i sáláním stejné množství tepla jako ve skutečném teplotně nesourodém prostředí. [1]

2.2 Výpočet operativní teploty

Pokud známe dané parametry prostředí, můžeme operativní teplotu spočítat podle vzorce 1.1. [2]

$$t_o = \frac{t_a \cdot \sqrt{10 \cdot v_a} + \bar{t}_r}{1 + \sqrt{10 \cdot v_a}} \quad (2.1)$$

t_o – operativní teplota (°C)

t_a – teplota vzduchu (°C)

v_a – rychlost proudění vzduchu ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

\bar{t}_r – střední radiační teplota (°C)

2.3 Využití operativní teploty

2.3.1 Tepelná pohoda pro člověka

Umět zjistit hodnotu operativní teploty v místnosti, je jeden ze základních předpokladů pro zajištění tepelné pohody pro člověka. Tepelnou pohodu lze popsat jako stav rovnováhy mezi člověkem a okolím bez zatížení lidského termoregulačního systému.[3]

2.3.2 Energické úspory

Správná regulace teploty v místnosti tak, aby nedocházelo ke zbytečnému přehřívání nebo ochlazování, vede k významným úsporám energií a tedy i finančních nákladů.

Přístroje schopné měřit operativní teplotu jsou sice cenově poněkud dražší, ale návratnost investice by neměla překročit horizont několika let, samozřejmě záleží na měřicím přístroji a prostoru, který je monitorován.

3 Informace o komplexním snímači operativní teploty

3.1 Hardwarové vybavení

3.1.1 Napájecí adaptér



Obrázek 3.1: Napájecí adaptér.

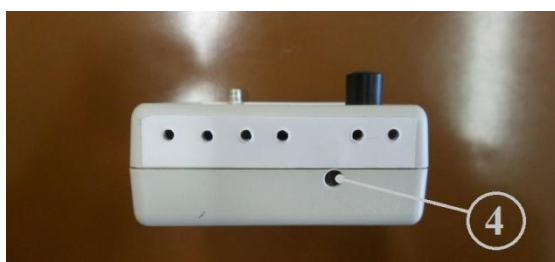
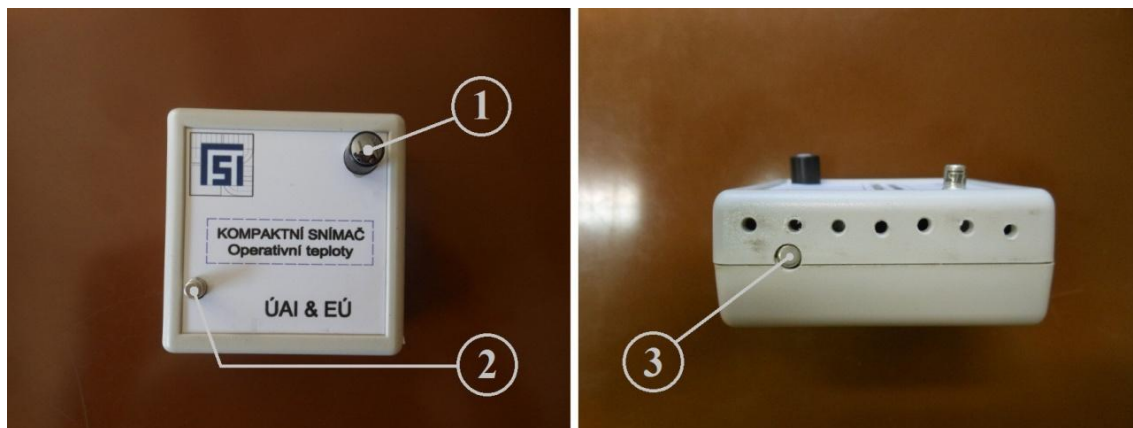
Na obrázku 3.1 je vyfocen napájecí adaptér, který je napájen ze sítě o velikosti napětí 230 V a na jeho výstupu je v provozu 5 V a 15 V. [4]

3.1.2 Měřicí jednotka



Obrázek 3.2: Měřicí jednotka.

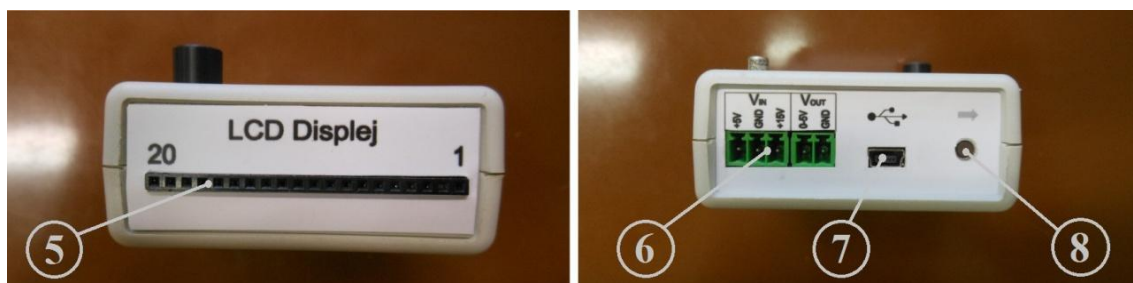
Měřicí jednotka (obrázek 3.2) je ze všech tří částí hardwarového vybavení nejsložitější a je k nim záměrně připojena pouze pomocí kabelů, aby teplota napájecího adaptéru a zobrazovací jednotky neovlivňovala výsledné hodnoty při měření. [4]



Obrázek 3.3: Zobrazení jednotlivých snímačů.

Měřicí jednotku lze dále dělit na (obrázky 3.3 a 3.4): [4]

- 1 – Snímač střední radiální teploty A2TPMI334.
- 2,3 – Digitální tranzistorový termoanemometr.
- 4 – Snímač teploty a vlhkosti vzduchu SHT25.



Obrázek 3.4: Zobrazení konektorů snímače.

- 5 – Konektor pro připojení k zobrazovací jednotce.
- 6 – Vstup pro napájecí adaptér.
- 7 – USB rozhraní pro připojení k počítači.
- 8 – Tlačítko Restart.

3.1.3 Zobrazovací jednotka

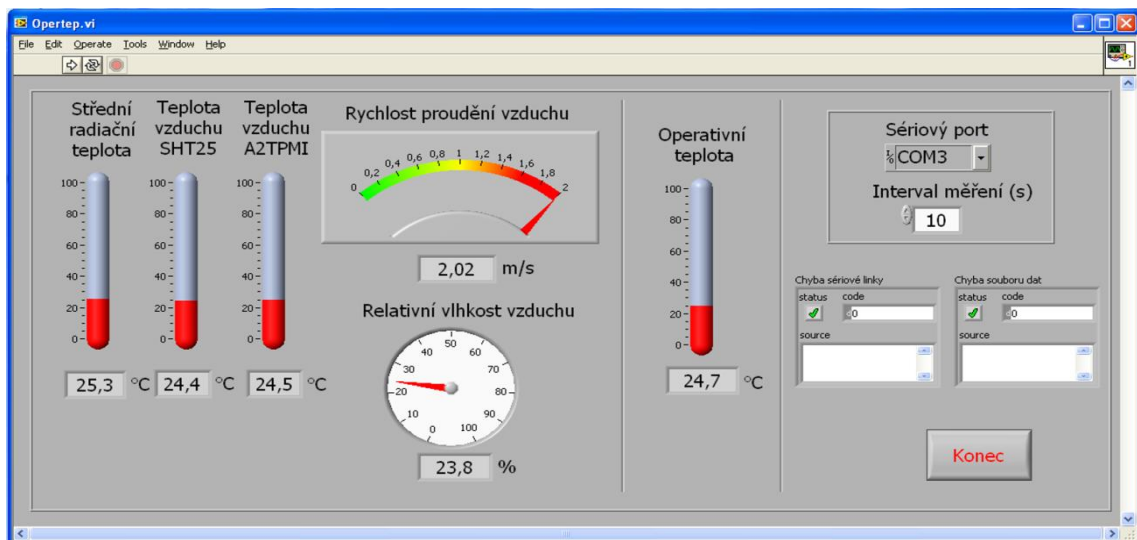


Obrázek 3.5: Zobrazovací jednotka.

Zobrazovací jednotka (obrázek 3.5) je funkční pouze tehdy, pokud je zapnutá měřící jednotka. Pomocí tří tlačítek je možné na jejím displeji prohlížet aktuálně naměřené hodnoty.

3.2 Softwarové vybavení

Uvnitř měřící jednotky se nachází mikrokontrolér ATMEGA 128, který zpracovává všechna naměřená data snímačů a je naprogramován tak, aby z nich zároveň vypočítal operativní teplotu. [4]



Obrázek 3.6: Program vytvořený v LabVIEW pro komunikaci mezi snímačem a počítačem.

Na obrázku 3.6 je program vytvořený v LabVIEW, pomocí kterého lze spojit a zpracovávat data mezi snímačem operativní teploty a počítačem, na kterém je program spuštěný. Tento program má na rozdíl od zobrazovací jednotky i několik dalších funkcí. Naměřené hodnoty včetně vypočítané operativní teploty je možné ukládat do textového souboru a zároveň se k této funkci dá nastavit i časový interval zápisu. Měřící jednotka sice snímá hodnoty každou sekundu, ale ukládání je možné zúžit například na každou desátou. [4]

4 Návrh testů pro ověření základních metrologických charakteristik snímače operativní teploty

4.1 Obecné podmínky

Bylo by zcela regulérní, aby měření metrologických charakteristik snímače operativní teploty probíhalo na akreditovaném pracovišti v přesně definovaných podmínkách. Avšak snímač byl navržen jako levná alternativa, která je určena do běžného prostředí, kterým může být například obývací místnost nebo učebna. Je tedy dostačující, aby na proměření metrologických charakteristik snímače byla laboratorní místnost uzpůsobena tak, aby nepříznivé okolní vlivy na měření byly minimální.[4], [5]

4.2 Návrh měření teploty vzduchu

Celková teplota vzduchu v místnosti se během měření téměř nemění. Proto je dostačující, aby data byla ze snímače operativní teploty, stejně jako z porovnávacího teploměru, odečítána a zapisována jednou za minutu po dobu 40 minut. Oba přístroje by měly být vůči sobě velmi blízko, protože teplota vzduchu v místnosti není konstantní.

4.3 Návrh měření střední radiační teploty prostředí

Na rozdíl od teploty vzduchu se střední radiační teplota může měnit rychleji, proto je nutné, aby se její hodnota z přístrojů zapisovala každých 10 sekund po dobu 40 minut. Opět je nutné udržet blízkou vzdálenost mezi měřidly a je vhodné, aby při měření byly všechny zdroje střední radiační teploty ztlumeny nebo vypnuty.

4.4 Návrh měření proudění vzduchu

Pro toto měření je vhodné použít ventilátor s tunelem, do kterého se oba snímače zavedou. Po zapnutí ventilátoru bude v tunelu proudit vzduch a tím bude nasimulován průvan v místnosti. Je nutné využít regulovatelnosti ventilátoru a měření realizovat při jeho různých výkonech. Hodnoty s anemometrů by se měly zapisovat každých 10 sekund po dobu 10 minut.

4.5 Návrh měření vlhkosti vzduchu

Pro měření vlhkosti vzduchu platí podobné podmínky jako pro měření teploty vzduchu, její hodnota se s časem výrazně nemění, proto je dostačující, aby byla zapisována jednou za minutu po dobu 40 minut.

5 Realizace a vyhodnocení experimentu

Pro nadcházející tabulky 5.1 až 5.4 byl použit vzorec 5.1 pro výpočet aritmetického průměru: [6]

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i \quad (5.1)$$

\bar{x} – aritmeticky průměrná hodnota

n – počet všech prvků v počítaném souboru hodnot

i – index prvků v počítaném souboru hodnot

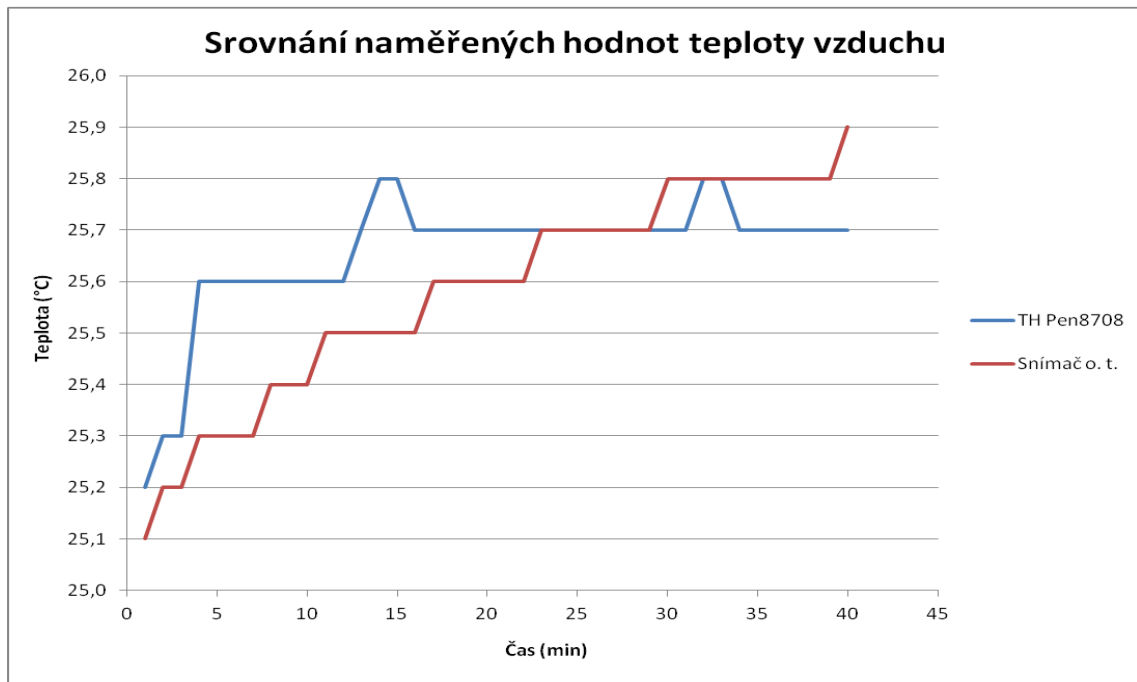
x_i – i -tý prvek v počítaném souboru hodnot

5.1 Teplota vzduchu

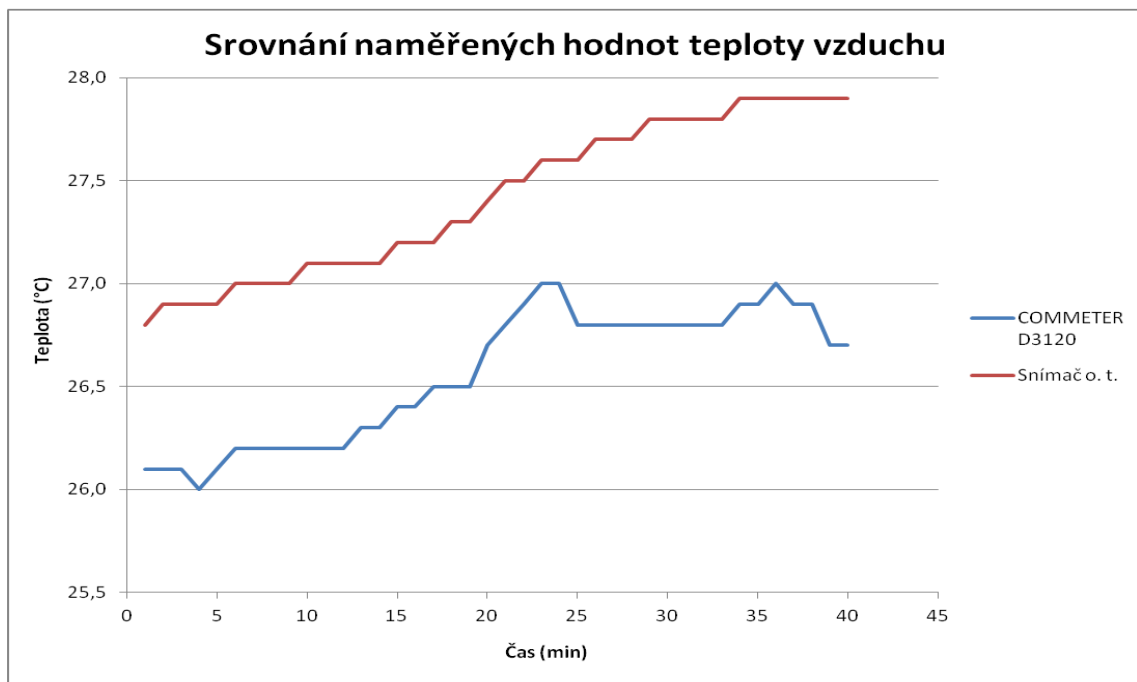
Teplota vzduchu byla měřena současně se střední radiační teplotou. Pro první čtyři sady měření byl použit teploměr TH Pen8708, který nebylo možné propojit s počítačem ani ho nastavit tak, aby naměřená data ukládal. Bylo tedy zapotřebí, aby každou jednu minutu v průběhu měření, byla hodnota odečtena a zapsána ručně. Tato metoda měření se nakonec ukázala jako poněkud nepřesná, protože nebylo vždy možné hodnotu zaznamenat v přesně stejnou dobu, jako snímač operativní teploty, který měl nastavený časový interval na ukládání dat do souboru. Zbývající 4 sady měření tedy byly měřeny teploměrem COMMETER D3120 a s pomocí jeho funkce automatického ukládání dat se tato nepřesnost vytratila.

Tabulka 5.1: Průměrné odchylky snímače operativní teploty od přístrojů TH Pen8708 a COMMETER D3120 při měření teploty vzduchu, kde v levém sloupci je zkrácený název souboru z příloh, ze kterého bylo čerpáno a v prvním řádku je indexování jeho listů. Odchylky mají jednotku °C a byly vypočítány podle vzorce 5.1.

	1	2	3	4	5	6	7	8
Teplota_vzduch	-0,07	0,38	1,64	2,15	0,81	0,86	0,97	0,92



Obrázek 5.1: Ukázka porovnání naměřených hodnot teploty vzduchu.



Obrázek 5.2: Ukázka porovnání naměřených hodnot teploty vzduchu.

Na obrázcích 5.1 a 5.2 je zobrazeno grafické srovnání naměřených hodnot teploty vzduchu snímačem operativní teploty a přístroji TH Pen8708 a COMMETER D3120. Oba tyto grafy je možné najít v přílohách v souboru „grafy_teplota_vzduchu“ v List1 a List6.

Z tabulky 5.1 lze pro obě měření zjistit jejich průměrnou odchylku. Tedy pro graf na obrázku 5.1 má výchylka hodnotu $-0,07\text{ °C}$, kde minusová hodnota znamená, že snímač operativní teploty v průběhu měření ukazoval průměrně o $0,07\text{ °C}$ méně než přístroj TH Pen8708. Naopak je tomu u obrázku 5.2, kde je průměrná výchylka kladná a má hodnotu $0,86\text{ °C}$.

5.2 Střední radiální teplota

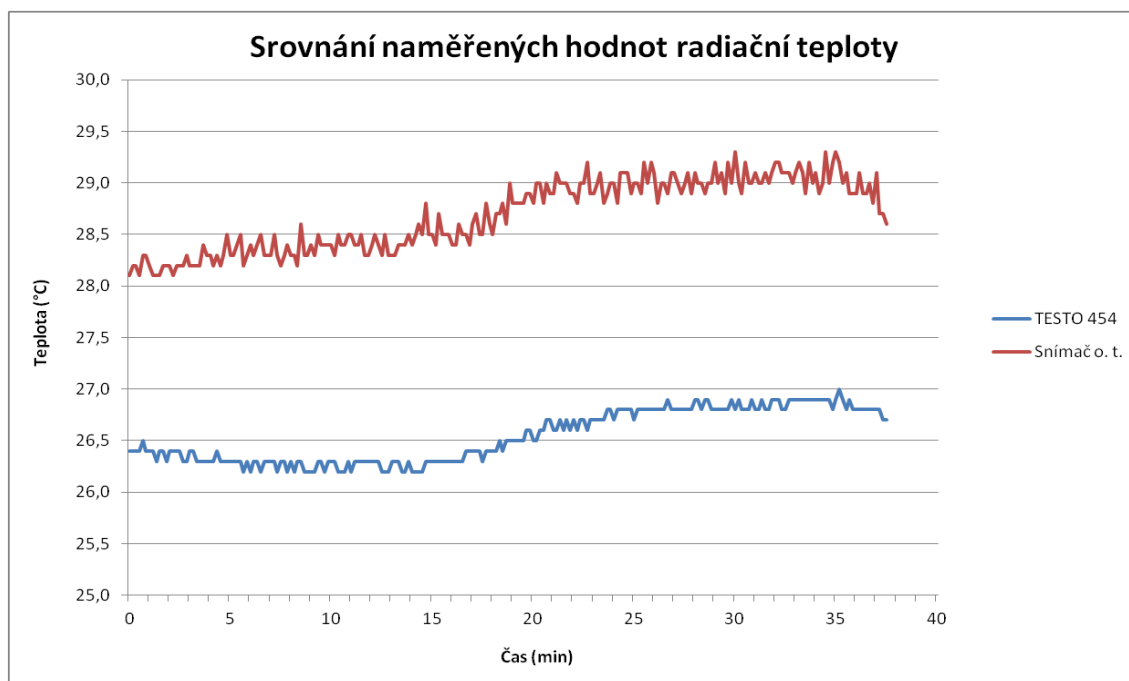
Tato veličina byla měřena přístroji TESTO 445 a TESTO 454 s využitím kulového teploměru.

Tabulka 5.2: Průměrné odchylky snímače operativní teploty od přístrojů TESTO 445 a TESTO 454 při měření střední radiální teploty, kde v levém sloupci jsou zkrácené názvy souborů z příloh, ze kterých bylo čerpáno a v prvním řádku je indexování jejich listů. Odchylky mají jednotku °C a byly vypočítány podle vzorce 5.1.

	1	2	3	4	5	6	7	8
Radiační_tep.	2,33	1,33	2,27	1,81	2,03	2,15	1,70	1,71
Rad_tep_žár.	2,20	2,28	1,77	2,01	-	-	-	-

5.2.1 Měření se ztlumenými zdroji radiální teploty

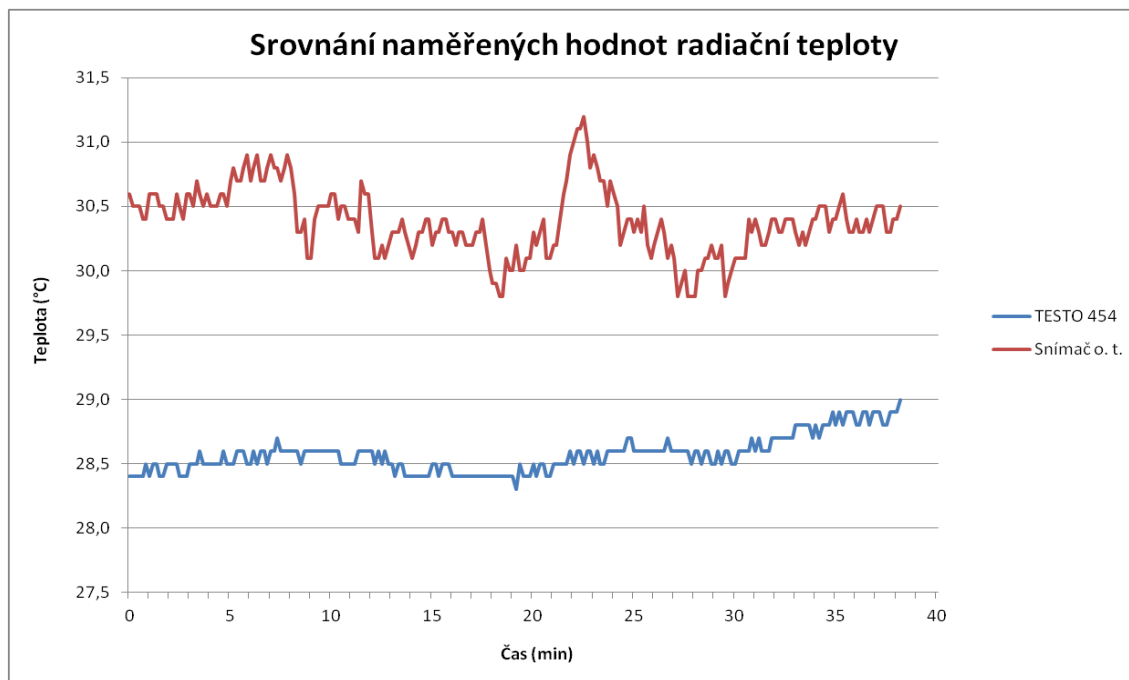
Přístroj TESTO 445 byl použit pouze na první dvě sady měření, protože dokázal v jeden okamžik měřit pouze jednu veličinu, tento fakt neměl na měření střední radiální teploty žádný důsledek, přitom druhý měřicí přístroj TESTO 454 nabízel možnost měřit veličiny dvě, respektive snímat data ze dvou zapojených sond najednou. Aby při měření mohlo být orientačně monitorováno více hodnot, byl proto původní přístroj nahrazen za druhý. Dohromady bylo naměřeno osm sad.



Obrázek 5.3: Ukázka porovnání naměřených hodnot radiální teploty.

Obrázek 5.3 znázorňuje graf, na kterém je porovnání naměřených hodnot střední radiální teploty mezi snímačem operativní teploty a přístrojem TESTO 454 s kulovým teploměrem. Graf lze najít v přílohách v souboru „grafy_radiacni_teploata“ v List6.

Z tabulky 5.2 je patrná průměrná odchylka mezi hodnotami o velikosti $2,15^{\circ}\text{C}$. Z grafu je dále možné vyčíst, že mezi 15. a 25. minutou měření hodnota střední radiační teploty v místnosti vzrostla a to i přes snahu udržet ji na stejné úrovni. Tento jev byl pravděpodobně zapříčiněn náhlým slunečním svitem do oken laboratoře a ani zatáhnuté žaluzie nedokázaly růst teploty potlačit.



Obrázek 5.4: Ukázka porovnání naměřených hodnot radiační teploty.

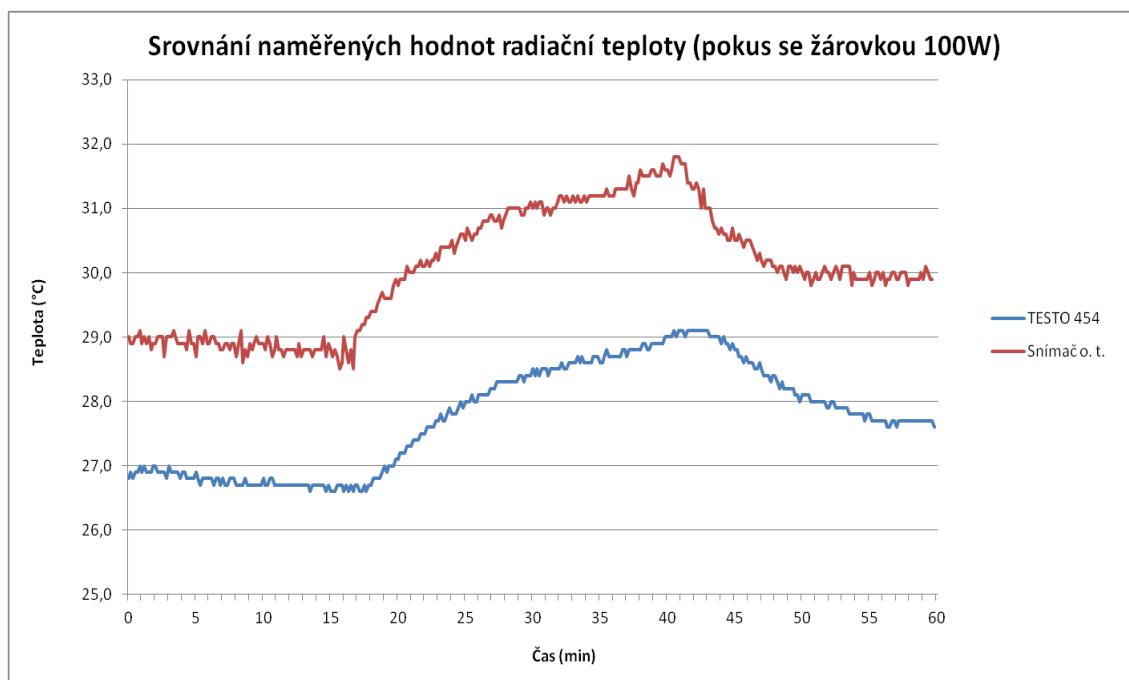
Na obrázku 5.4 se nachází graf, který je možné najít v přílohách v souboru „grafy_radiacni_teplota“ v List4. V tomto grafu se naměřené hodnoty ze všech měřících sad od sebe odchyľují nejvíce. Během průběhu tohoto měření byla podle snímače operativní teploty v místnosti několikrát krátkodobě zvýšena a snížena hodnota střední radiační teploty, příčinou mohl být pohyb osob kolem měřících přístrojů nebo silný přerušovaný sluneční svit do oken místnosti. Na tyto krátkodobé výchyľky však reagoval pouze snímač operativní teploty, protože jeho elektronický senzor A2TPMI334 dokáže reagovat na změny s minimálním zpožděním. Naopak kulový teploměr má velkou teplotní setrvačnost a proto krátké teplotní výchyľky nezaznamenal.

5.2.2 Měření se záměrným ozařováním



Obrázek 5.5: Snímač operativní teploty a kulový teploměr měří radiační teplotu prostředí s rozsvícenou žárovkou.

Pro toto měření zůstalo vše stejné, jako pro měření předchozí s výjimkou toho, že přibližně 30 centimetrů od snímače operativní teploty a kulového teploměru byla nainstalovaná lampa tak, aby její žárovka mířila směrem k oběma přístrojům, jak lze vidět na obrázku 5.5. V průběhu měření byla lampa v určité chvíli zapnuta a vypnuta.

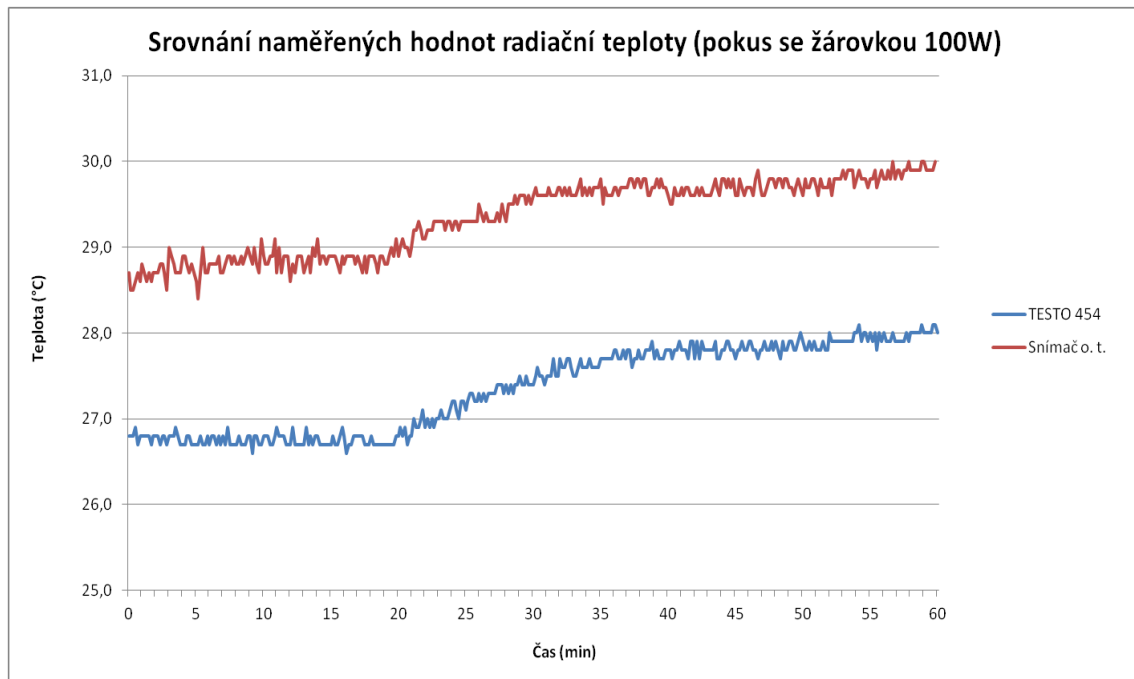


Obrázek 5.6: Ukázka porovnání naměřených hodnot radiační teploty.

Obrázek 5.6 je grafickým srovnáním mezi přístroji měřící střední radiační teplotu, avšak na rozdíl od předešlých měření byl tento pokus doplněn o úmyslné ozařování

obou měřidel. Samotný graf lze nalézt v přílohách v souboru „grafy_radiacni_teplota_zarovka“ v List2.

V první fázi měření probíhalo obdobným způsobem jako doposud, ale v 16. minutě a 40. sekundě byla zapnuta přichystaná lampa se žárovkou o výkonu 100 W. Rozsvícená žárovka se tedy stala velkým zdrojem střední radiální teploty, avšak její teplotní vzrůst nebyl okamžitý, takže na pozvolné změny prostředí reagoval zároveň i kulový teploměr. Lampa byla vypnuta ve 41. minutě a 40. sekundě a do konečné 60. minuty měření byla pozorována reakce snímačů na chladnutí žárovky. Průměrná odchylka mezi hodnotami obou přístrojů má podle tabulky 5.2 velikost 2,28 °C, což je podobný výsledek, jako u měření z obrázku 5.3.



Obrázek 5.7: Ukázka porovnání naměřených hodnot radiální teploty.

Tento pokus se žárovkou se od předchozího liší tím, že v průběhu měření už lampa nebyla vypnuta. Z obrázku 5.7 lze vidět, že největší teplotní růst byl zaznamenán po prvních přibližně 10 minutách od zapnutí lampy a v posledních 20 minutách měření teplota téměř stagnuje.

Graf i s hodnotami je možné najít v přílohách v souboru „grafy_radiacni_teplota_zarovka“ v List4.

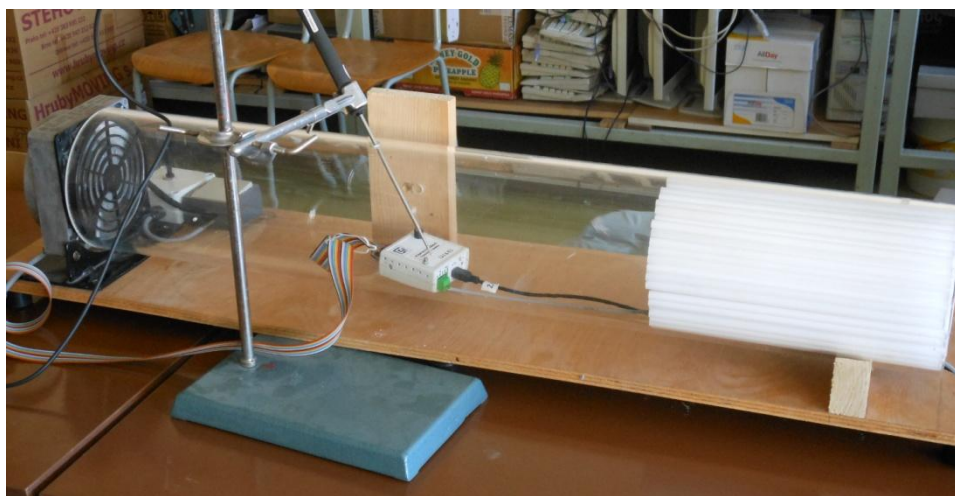
5.3 Proudění vzduchu

Pro měření rychlosti proudění vzduchu byl opět využitý přístroj TESTO 454, na který byla připojena žhavená kuličková sonda.

Tabulka 5.3: Průměrné odchylky snímače operativní teploty od přístroje TESTO 454 při měření rychlosti proudění vzduchu, kde v levém sloupci jsou zkrácené názvy souborů z příloh, ze kterých bylo čerpáno a v prvním řádku je indexování jejich listů. Odchylky mají jednotku m/s a byly vypočítány podle vzorce 5.1.

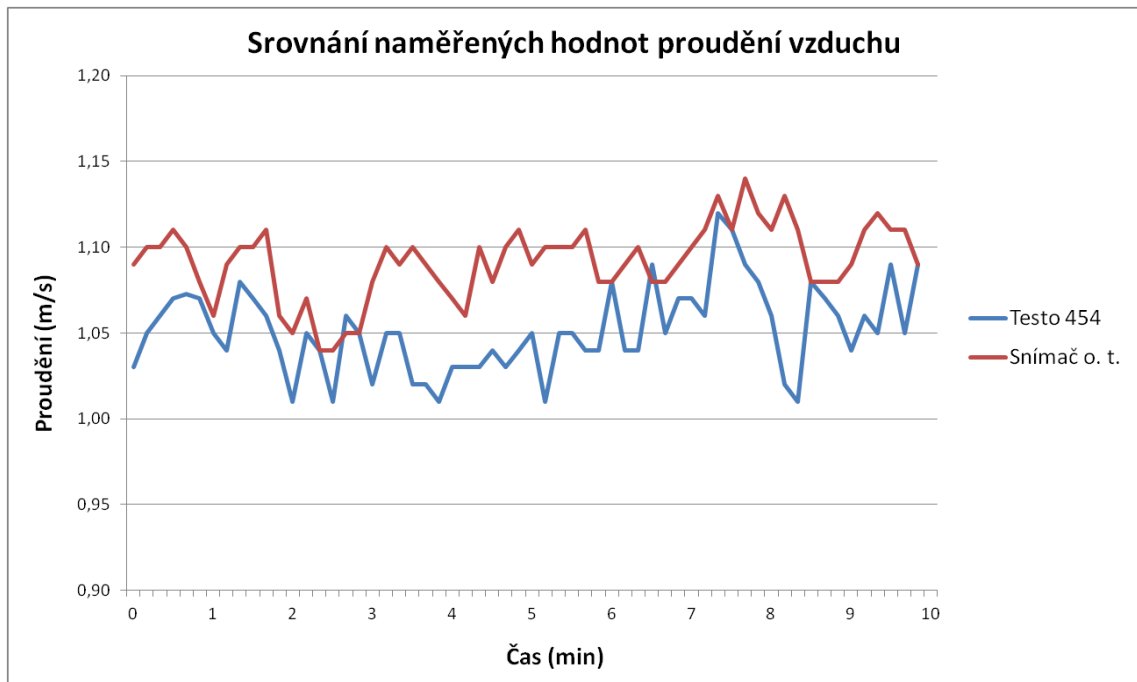
	1	2	3	4	5	6	7	8
Proudění_1.1	0,07	0,02	0,29	0,55	0,62	0,78	1,15	1,84
Proudění_1.2	1,50	1,10	0,78	0,65	0,59	0,41	0,08	0,08
Proudění_2.1	0,19	0,35	0,31	0,61	0,69	0,91	1,16	1,95
Proudění_2.2	1,08	0,96	0,71	0,57	0,36	0,13	0,04	-0,08
Proudění_ventil	0,03	0,06	-	-	-	-	-	-

5.3.1 Měření v tunelu s jedním ventilátorem



Obrázek 5.8: Snímač operativní teploty v tunelu s ventilátorem.

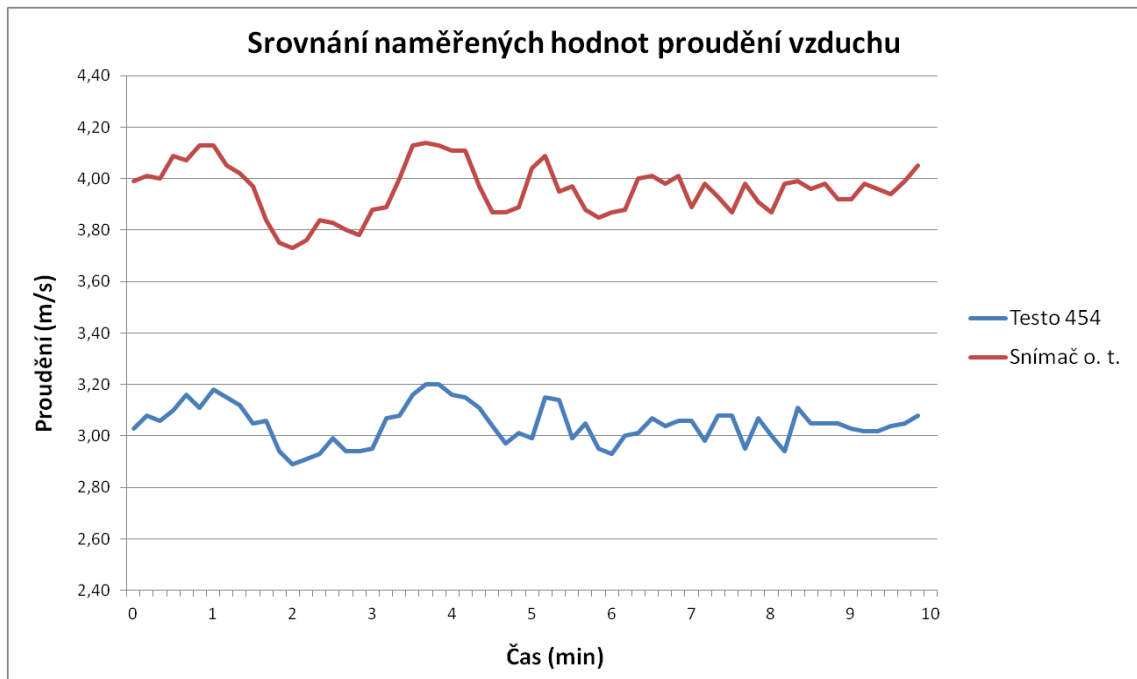
Tento experiment byl prováděn ve speciálním tunelu zakončeným ventilátorem, jak je možné vidět na obrázku 5.8. S využitím regulovatelnosti ventilátoru byly naměřeny čtyři sady hodnot, kde každá obsahuje osm částí. Výkon ventilátoru byl vždy upravován tak, aby měření proběhlo v žádaných hodnotách od 0,5 m/s do 4 m/s s krokem 0,5 m/s. Schopnost regulace byla omezena svou citlivostí, proto jsou výsledky některých měření pouze přibližné žádaným hodnotám.



Obrázek 5.9: Ukázka porovnání naměřených hodnot proudění vzduchu.

Z grafického srovnání naměřených hodnot rychlosti proudění vzduchu snímače operativní teploty a přístroje TESTO 454 se žhavenou kuličkovou sondou na obrázku 5.9 je vidět, že i ve speciálním tunelu s ventilátorem byly naměřeny výkyvy v rychlostech proudění vzduchu. Ty byly patrně způsobeny nedokonalým regulátorem, který po dobu měření neudržel stabilní výkon ventilátoru.

Tento graf je možné nalézt v přílohách v souboru „grafy_proudeni_vzduchu_2.2“ v List7.

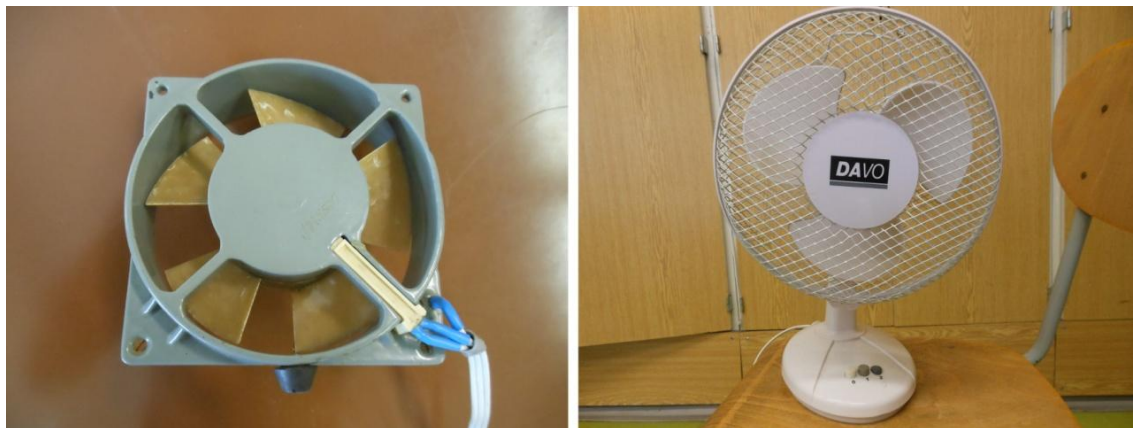


Obrázek 5.10: Ukázka porovnání naměřených hodnot proudění vzduchu.

Obrázek 5.10 znázorňuje srovnání mezi naměřenými hodnotami obou přístrojů při nastavené rychlosti proudění vzduchu 3 m/s, tento graf lze najít v přílohách v souboru „grafy_proudeni_vzduchu_2.1“ v List6.

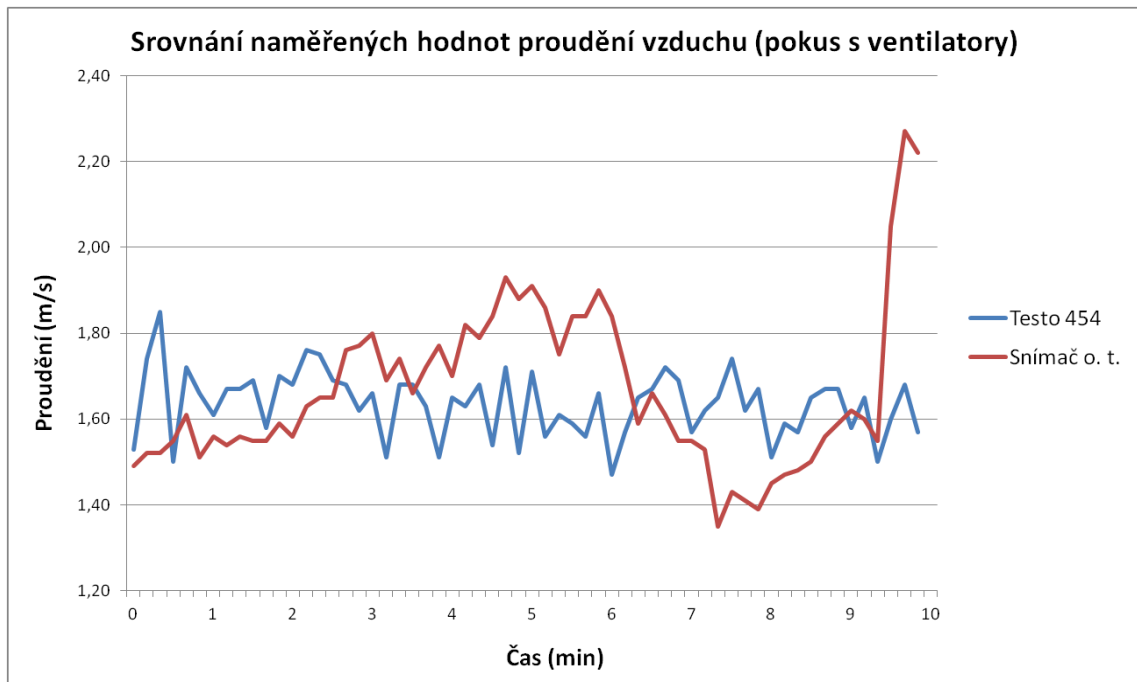
Při porovnání průměrné odchyšky v tabulce 5.3 z měření na obrázcích 5.9 a 5.10 je patrné, že s rostoucí rychlostí proudění vzduchu v tunelu, roste i odchyška mezi naměřenými hodnotami snímače operativní teploty a přístrojem TESTO 454.

5.3.2 Měření se dvěma ventilátory

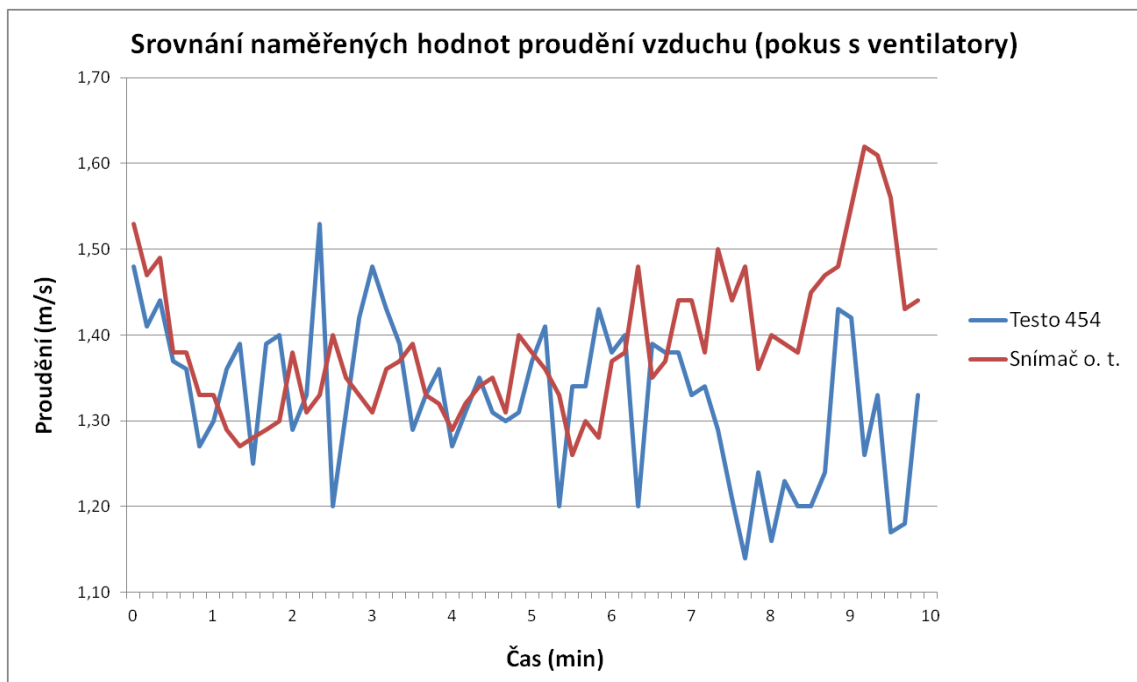


Obrázek 5.11: Ukázka použitých ventilátorů.

Tento pokus byl zrealizován už mimo speciální tunel (obrázek 5.8). Pro měření byly použity dva ventilátory z obrázku 5.11, které na měřicí přístroje působily ze dvou různých stran ze vzdálenosti 1,5 metrů. Aby byl experiment co největší obměnou předchozích testů, nechala se při měření zapnutá funkce otočné hlavy u druhého ventilátoru (vpravo) z obrázku 5.11, kde by perioda otáčení měla mít hodnotu přibližně 10 s. Data z přístrojů byly zaznamenány pokaždé, když oba ventilátory mířily směrem k měřicím přístrojům.



Obrázek 5.12: Ukázka porovnání naměřených hodnot proudění vzduchu.



Obrázek 5.13: Ukázka porovnání naměřených hodnot proudění vzduchu.

Výsledkem obou pokusů jsou grafy na obrázcích 5.12 a 5.13, které lze najít v přílohách v souboru „grafy_proudění_vzduchu_ventilatory“ v List1 a List2.

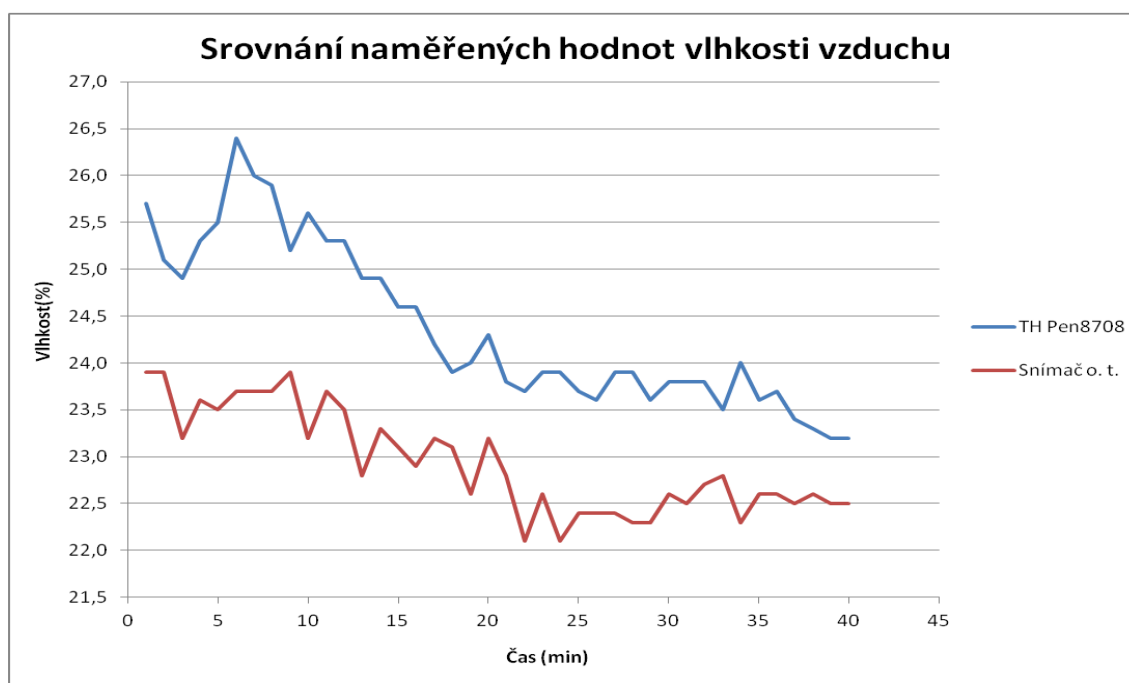
Z grafu na obrázku 5.12 je ze snímače operativní teploty patrná nepřesnost, kterou způsobuje jen přibližně změřená perioda otáčení hlavy ventilátoru. Na grafu se vyznačuje jako oscilující křivka. I když jsou průměrné odchylky obou pokusů se dvěma ventilátory ze všech testů měření rychlosti proudění vzduchu nejnižší, nicméně je ale nemůžeme ve výsledku zohlednit, právě kvůli výše zmíněné nepřesnosti.

5.4 Vlhkost vzduchu

Vlhkost vzduchu byla měřena současně s teplotou vzduchu pomocí stejných měřicích přístrojů, tedy TH Pen8708 a COMMETER D3120. Přístroj TH Pen8708 byl nahrazen za COMMETER D3120 ze stejného důvodu, jako tomu bylo v kapitole 5.1 u měření teploty vzduchu.

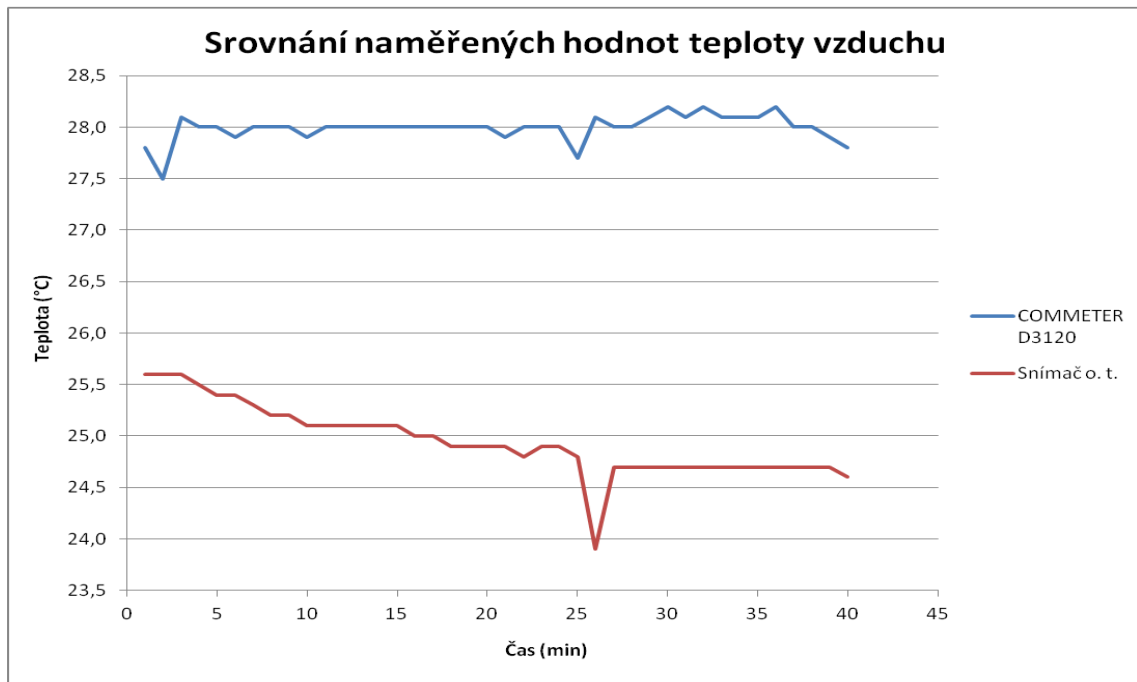
Tabulka 5.4: Průměrné odchylky snímače operativní teploty od přístrojů TH Pen8708 a COMMETER D3120 při měření vlhkosti vzduchu, kde v levém sloupci je zkrácený název souboru z příloh, ze kterého bylo čerpáno a v prvním řádku je indexování jeho listů. Odchylky jsou vyjádřeny v procentech a byly vypočítány podle vzorce 5.1.

	1	2	3	4	5	6	7	8
Vlhkost_vzduch	0,19	-0,66	-1,36	-1,44	-3,04	-3,29	-4,04	-4,02



Obrázek 5.14: Ukázka porovnání naměřených hodnot vlhkosti vzduchu.

Graf z obrázku 5.14 je možné najít v přílohách v souboru „grafy_vlhkost_vzduchu“ v List 4. Podle tabulky 5.4 má jeho průměrná odchylka velikost -1,44 %. Tento graf je zároveň ze všech ostatních pokusů měřených pomocí přístroje TH Pen8708 „nejvěrohodnější“, o čemž vypovídá přibližná paralelnost obou křivek v grafu.



Obrázek 5.15: Ukázka porovnání naměřených hodnot vlhkosti vzduchu.

Další čtyři měření byly provedeny s přístrojem COMMETER D3120, u kterých je, oproti předchozím čtyřem měření, paralelnost křivek v grafech výraznější. Jak lze vidět například u grafu z obrázku 5.15, který je možné najít v přílohách v souboru „grafy_vlhkost_vzduchu“ v List5.

5.5 Vyhodnocení měření

Tabulka 5.5: Požadované a vhodné odchylky dané normou. Kde v_a vyjadřuje aktuální rychlost proudění vzduchu. [2]

	Teplota vzduchu	S. radiační teplota	Rychlost proudění vzduchu
Požadována:	$\pm 0,5 \text{ } ^\circ\text{C}$	$\pm 2 \text{ } ^\circ\text{C}$	$\pm (0,05 + 0,05 v_a) \text{ m/s}$
Vhodná:	$\pm 0,2 \text{ } ^\circ\text{C}$	$\pm 0,2 \text{ } ^\circ\text{C}$	$\pm (0,02 + 0,07 v_a) \text{ m/s}$

Pro snímač operativní teploty po dokončení a vyhodnocení všech měření platí, že teplota vzduchu splňuje požadovanou podmínku danou tabulkou 5.5 jen ve 2 z 8 měření. Střední radiační teplota splňuje požadovanou hodnotu v 5 z 12 měření. A pomocí vztahu z tabulky 5.5 pro určení požadované odchylky rychlosti proudění vzduchu je možné zjistit, že podmínku splňují 4 z 32 měření.

Tyto výsledky byly zjištěny na základě hodnot z tabulek 5.1, 5.2, 5.3 a 5.4 porovnáním s tabulkou 5.5.

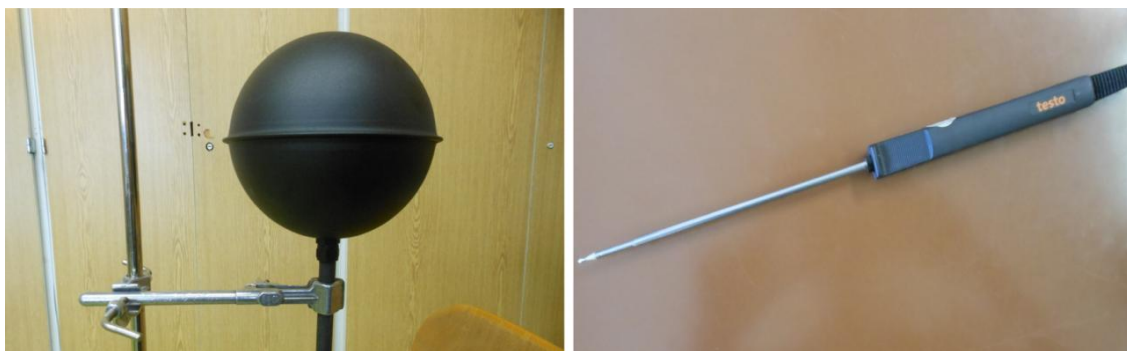
6 Použité měřicí přístroje

6.1 TESTO 445 a TESTO 454



Obrázek 6.1: Měřicí přístroje TESTO 445 (vlevo) a TESTO 454. [7],[8]

Na obrázku 6.1 jsou měřicí přístroje TESTO 445 a TESTO 454, se kterými byla měřena střední radiální teplota a rychlost proudění vzduchu. Přesnost měření střední radiální teploty je $\pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$ a přesnost měření rychlosti proudění vzduchu je ($\pm 0,03 + 5\%$ z naměřené hodnoty) m/s. Uvedené přesnosti jsou pro oba přístroje stejné. [7], [8]



Obrázek 6.2: Kulový teploměr (vlevo) a sonda se žhavenou kuličkou.

Na obrázku 6.2 jsou zobrazeny sondy, které se společně s přístroji TESTO 445 a TESTO 454 používaly na měření. Kulový teploměr o průměru 150 mm měřil střední radiální teplotu a sonda se žhavenou kuličkou rychlost proudění vzduchu.

6.2 COMMETER D3120 a TH Pen8708



Obrázek 6.3: Měřicí přístroje COMMETER D3120 (vlevo) a TH Pen8708. [9], [10]

Na obrázku 6.3 jsou zobrazeny přístroje, kterými byla měřena teplota a vlhkost vzduchu. Přístroj COMMETER D3120 má přesnost měření teploty vzduchu $\pm 0,4$ °C a přesnost měření vlhkosti vzduchu $\pm 2,5$ %.[9] Přístroj TH Pen8708 má přesnost měření teploty vzduchu ± 1 °C a přesnost měření vlhkosti vzduchu ± 5 %.[10]

Pro měření teploty i vlhkosti vzduchu bylo tedy vhodnější použít přístroj COMMETER D3120, oproti druhému měřicímu přístroji měl výhodu v možnosti ukládání naměřených hodnot a větší přesnosti.

7 Závěr

Tabulka 7.1: Počet měření, které splňují požadovanou hodnotu podle normy z tabulky 5.5.

	Teplota vzduchu	S. radiační teplota	Rychlost proudění vzduchu
Norma splněna:	2 z 8 měření	5 z 12 měření	4 z 32 měření

V tabulce 7.1 je shrnutý výsledek měření metrologických charakteristik snímače operativní teploty. Na první pohled by se mohlo zdát, že snímač nevyhovuje normě a tudíž není vhodný pro použití, ale nejdříve je nutné podrobně zahrnout všechny okolnosti.

U snímače operativní teploty byla při měření hodnota teploty vzduchu mimo jiné ovlivněna i teplotou elektroniky v měřicí jednotce. Tato nepřesnost by se například dala eliminovat vyvedením snímače SHT25 mimo měřicí jednotku.

Při měření střední radiační teploty nastal obdobný problém, řešení by mohlo být stejné jako u snímače SHT25 a nebo se nabízí možnost snímač přeprogramovat tak, aby naměřenou hodnotu vždy snížil o přibližně 2 °C.

Hodnoty měření rychlosti proudění vzduchu měly nejmenší průměrnou odchylku při rychlostech 0,5 m/s a 1 m/s. Se zvyšující se rychlostí, značně přibývala i průměrná odchylka. Pokud by se tedy snímač používal v běžných prostředích, kde rychlost proudění vzduchu často nepřekročí hodnotu 1 m/s, norma by byla splněna 4 z 8 měření.

O vlhkosti vzduchu se v normě pojednává jako o vlhkosti absolutní, která je vyjádřena pomocí parciálního tlaku vodní páry. Snímač operativní teploty však dokáže změřit pouze relativní vlhkost vzduchu, která také bývá uváděna jako vlhkost poměrná. Přesnost měření vlhkosti vzduchu tedy nelze podle normy ověřit, avšak podle vzorce 2.1 je patrné, že hodnotu operativní teploty lze spočítat i bez znalosti této veličiny, avšak stále zůstává jedním z důležitých parametrů prostředí, sloužící k zajištění tepelné pohody. [2]

Přístroje, se kterými byl snímač operativní teploty porovnáván nelze považovat za výrazně přesnější nebo snad etanologové. V kapitole 6 jsou uvedeny základní parametry ke každému přístroji, včetně jejich přesností.

Dá se tedy prohlásit, že při dodržení jistých kritérií a zavedením určitých úprav, je možné testovaný snímač operativní teploty používat v běžném prostředí (obývací pokoje, učebny atd.).

Použitá literatura

- [1] ZMRHAL, Vladimír. Operativní teplota v prostoru s chladicím stropem. *České vysoké učení technické* [online]. [cit. 2014-05-17]. Dostupné z: <http://utp.fs.cvut.cz/vz/clanky/76.pdf>
- [2] ČSN EN ISO 7726. *Ergonomie tepelného prostředí*. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 2002.
- [3] Mikroklimatické podmínky vnitřního prostředí pracovišť. MATHAUSEROVÁ, Zuzana. *Státní zdravotní ústav* [online]. 2007 [cit. 2014-05-17]. Dostupné z: <http://www.szu.cz/tema/pracovni-prostredi/mikroklimaticke-podminky-vnitřniho-prostredi-pracovist>
- [4] JANEČKA, Jan. *Návrh zařízení pro měření a hodnocení tepelného stavu prostředí*. Brno, 2012. Doktorská práce. VUT, fakulta strojního inženýrství, ústav automatizace a informatiky.
- [5] SCHOVÁNEK, Petr a Vítězslav HAVRÁNEK. Chyby a nejistoty měření. *Fyzika.upol.cz* [online]. 2007 [cit. 2014-05-23]. Dostupné z: <http://fyzika.upol.cz/cs/system/files/download/vujtek/texty/pekt2-nejistoty.pdf>
- [6] Základy statistiky. *Matematika.cz* [online]. 2006 [cit. 2014-05-25]. Dostupné z: <http://www.matematika.cz/zaklady-statistiky>
- [7] Testo 445. *Testo.cz* [online]. 2013 [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: http://www.testo.cz/pristroje-detailne/0560+4450/testo-445&searchquery=TESTO+445#skip_1001
- [8] Testo 454. *Messbar.de* [online]. 2014 [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: <http://www.messbar.de/testo-controlunit-350xl-alte-version-p-26329.html>
- [9] COMMETER D3120. *Commetsystem.cz* [online]. 2009 [cit. 2014-05-28]. Dostupné z: http://www.cometsystem.cz/produkty/prenosne-pristroje/d3120-teplomer-vlhkomer/reg-D3120#technical_data
- [10] TH Pen8708. *Testequipmentdepot.com* [online]. 2014 [cit. 2014-05-28]. Dostupné z: <http://www.testequipmentdepot.com/general/psychrometers-hydrometers/temperature-humidity/pth8708.htm>

Přílohy

CD:

- Elektronická verze bakalářské práce
- Tabulky a grafy s hodnotami všech měření