



ČESKÉ
VYSOKÉ
UČENÍ
TECHNICKÉ
V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ



ÚSTAV
TECHNIKY
PROSTŘEDÍ

PŘEDMĚT

EXPERIMENTÁLNÍ METODY V TECHNICE PROSTŘEDÍ

NÁZEV

NÁVOD K ÚLOZE

MĚŘENÍ STAVU VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ

VYPRACOVAL

doc. Ing. Vladimír Zmrhal, Ph.D.

ROZSAH

10 stran

PŘÍLOHY

1 strana

DATUM

prosinec 2016

1 Tepelný stav prostředí

Hodnotícím kritériem pro tepelnou pohodu v prostoru podle Nařízení vlády č. 361/2007 Sb. [8] je operativní teplota t_o , která respektuje kromě teploty vzduchu t_a i střední radiační teplotu t_r a rychlost proudění vzduchu w_a .

Pro hodnocení tepelného stavu prostředí podle normy ČSN EN ISO 7730 [10] se používají ukazatelé *PMV* a *PPD*. Ukazatel *PMV* předpovídá tepelný pocit člověka. Subjektivní pocity uvedené v Tab. 1.1 (zima až horko) byly číselným hodnotám ukazatele *PMV* přiřazeny na základě statistických šetření, které byly prováděny formou dotazování většího počtu osob. Ukazatel procentuálního podílu nespokojených osob *PPD* vyjadřuje počet osob, výrazně nespokojených s daným tepelným stavem.

Tab. 1.1 *Stupnice pro posuzování tepelného pocitu*

PMV	-3	-2	-1	0	1	2	3
Tepelný pocit	zima	chladno	mírné chladno	neutrálně	mírné teplo	teplo	horko

Indexy *PMV* a *PPD* vyjadřují celkový účinek tepelného stavu prostředí na člověka. Nespokojenost s tepelným prostředím může být způsobena i místně, ochlazováním nebo ohříváním jednotlivých částí lidského těla. Lokální diskomfort je způsoben nejčastěji průvanem, vysokým vertikálním rozdílem teplot mezi hlavou a kotníky, povrchovou teplotou podlahy nebo asymetrií radiační teploty.

1.1 Cíl měření

V měřicí komoře/místnosti změřte nebo stanovte následující parametry tepelného stavu prostředí:

- teplotu vzduchu t_a ,
- střední radiační teplotu t_r ,
- rychlost proudění w ,
- relativní vlhkost φ ,
- intenzitu turbulence Tu .

Na základě naměřených hodnot vypočítejte:

- operativní teplotu t_o .

S použitím výpočetního programu „Tepelný komfort 2.1“ vyhodnoťte pro zadanou činnost a tepelný odpor oděvu následující ukazatele tepelného prostředí:

- předpokládaný tepelný pocit *PMV*,
- procentuální podíl nespokojených osob *PPD*.

Vyhodnoťte ukazatele lokálního diskomfortu:

- stupeň obtěžování průvanem DR ,
- asymetrii radiační teploty Δt_{pr} ,
- vertikální rozdíl teploty vzduchu mezi hlavou a kotníky $\Delta t_{a,v}$.

Měření zrealizujte pro 3 stavy průtoku přiváděného vzduchu (V_1 , V_2 a V_3) a 3 nastavení teploty otopné stěny pro měření sálavé asymetrie (viz dále). V rámci úlohy změřte pro všechny zkoumané stavy povrchové teploty okolních stěn t_p a průtok přiváděného vzduchu V (s použitím clonkové trati).

Výsledky pro ustálené stavy prostředí zařaďte do příslušné kategorie tepelného prostředí a zhodnoťte, zda odpovídají podmínkám tepelného komfortu. Porovnejte, jakým způsobem se liší teplota vzduchu t_a , výsledná teplota t_g , a operativní teplota t_o .

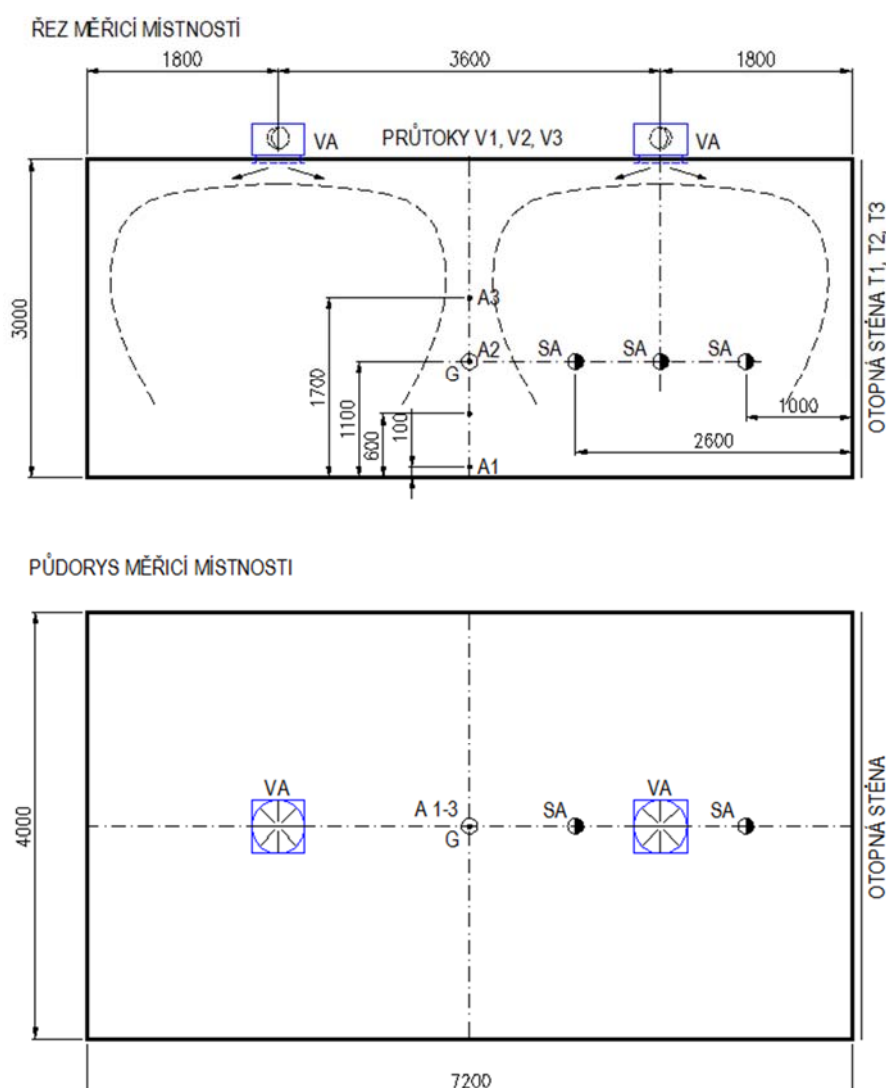
1.2 Postup a vyhodnocení měření

Měření tepelného stavu prostředí vychází z ČSN EN ISO 7726 [7]. Základem je měření parametrů tepelného stavu prostředí tj. teploty vzduchu t_a , rychlosti proudění w , výsledné teploty t_g (pro stanovení střední radiční teploty t_r) a relativní vlhkost vzduchu φ .

V homogenním prostředí postačuje pro vyhodnocení tepelného stavu prostředí měření v těžišti člověka, které odpovídá úrovni břicha (Tab. 1.2). Pro výrazně heterogenní prostředí (teplotně nesourodém), je nutné účinky prostředí měřit ve více výškových úrovních (kotníky, břicho, hlava). Doporučené výšky dle [1] jsou uvedeny v Tab. 1.2. Umístění všech čidel v měřicí komoře je znázorněno na Obr. 1.1.

Tab. 1.2 Doporučené výšky měření parametrů prostředí

Poloha člověka	Úroveň hlavy	Úroveň břicha	Úroveň kotníků
Sedící	1,1 m	0,6 m	0,1 m
Stojící	1,7 m	1,1 m	0,1 m



Obr. 1.1 Umístění čidel v měřicí komoře

Legenda: G – kulový teploměr, A 1 až 3 – anemometr pro měření rychlosti proudění, VA – vířivý anemostat, SA – snímač sálavé asymetrie, V1 až 3 – průtoky vzduchu, T1 až 3 – teploty otopné stěny.

1.2.1 Operativní teplota

Střední radiační teplota

Střední radiační teplota t_r (MRT z 4ngl.. Mean Radiant Temperature) se vyhodnocuje na základě měření parametrů tepelného stavu prostředí – výsledné teploty t_g , teploty vzduchu t_a a rychlosti proudění vzduchu w . Pro kulový teploměr $\varnothing 150$ mm se střední radiační teplota v daném místě určí dle vztahu [1]

$$t_r = \left[(t_g + 273)^4 + 2,5 \cdot 10^8 w^{0,6} (t_g - t_a) \right]^{0,25} - 273 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (1)$$

Poznámka:

V heterogenním prostředí se výsledná teplota měří ve všech úrovních (podle Tab. 1.2) a výsledná střední radiační teplota se určí s použitím váhových koeficientů

$$t_r = \frac{t_{r,\text{kotníky}} + 2t_{r,\text{břicho}} + t_{r,\text{hlava}}}{4} \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (2)$$

Operativní teplota

Operativní teplota je jednotná teplota uzavřeného černého prostoru, ve kterém by tělo sdílelo radiaci a konvekci stejné množství tepla, jako ve skutečném nehomogenním prostředí [3]

$$t_o = At_a + (1 - A)t_r \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (3)$$

Koeficient A závisí na přestupu tepla konvekci z povrchu těla (viz Tab. 1.3).

Tab. 1.3 Závislost součinitele A na rychlosti proudění vzduchu v prostoru

w [m/s]	<0,2	0,3	0,4	0,6	0,8	1
A [-]	0,5	0,53	0,6	0,65	0,7	0,75

1.2.2 Ukazatelé PMV a PPD

Pro vyhodnocení ukazatelů tepelného komfortu PMV a PPD použijte program „Tepelný komfort 2.1“ (prostředí programu je na Obr. 1.2). Do programu dosadte zjištěné hodnoty tj. teplotu vzduchu t_a , střední radiační teplotu t_r , rychlost proudění w a relativní vlhkost φ , případně intenzitu turbulence Tu . Výpočet provedte pro zadaný měrný energetický výdej M [met] a tepelný odpor oděvu I_{cl} [clo] (určí vyučující).

Výstupem programu jsou globální ukazatelé tepelného komfortu PMV a PPD a odpovídající kategorie tepelného prostředí A, B, C.

1.2.3 Ukazatelé místního tepelného diskomfortu

Stupeň obtěžování průvanem DR

Ve větraných a klimatizovaných místnostech závisí komfort přítomných osob zejména na způsobu přívodu vzduchu do větraného prostoru. Místní ochlazování lidského těla pohybem vzduchu (průvanem) závisí, kromě teploty vzduchu t_a a střední rychlosti proudění w , rovněž na časových změnách této rychlosti - intenzitě turbulence Tu [1]. Pro hodnocení se používá stupeň obtěžování průvanem DR .

Pro hodnocení rizika průvanu slouží anemometry *Indoor Flow System* [5], pro měření malých rychlostí proudění vzduchu 0,05 až 1 m/s. Celkem jsou použity 3 sondy umístěné dle Obr. 1.1. Rychlost proudění

vzduchu w a teplota vzduchu t_a jsou vzorkovány 10krát za sekundu. Měření se ovládá přes PC s nainstalovaným softwarem IFS-100 Obr. 1.3.

Stupeň obtěžování průvanem DR vyjadřující procentuální podíl lidí, u kterých se předpokládá vznik tohoto nežádoucího pocitu, se určí na základě rovnice [10]

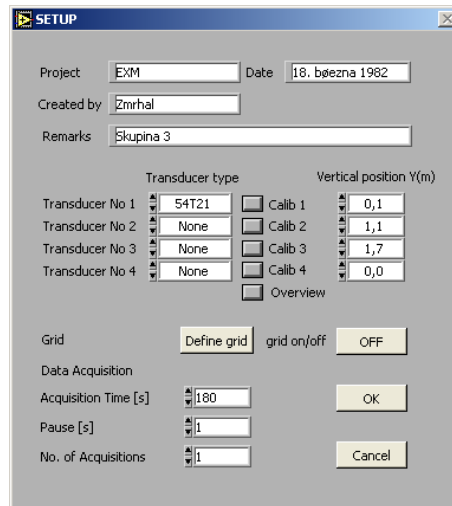
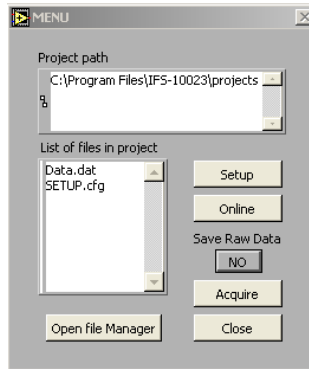
$$DR = (34 - t_a)(w - 0,05)^{0,62}(0,37w \cdot Tu + 3,14) [\%] \quad (4)$$

Po ukončení předem dané doby měření (zpravidla 180 s), systém vyhodnotí střední rychlost proudění w , střední teplotu vzduchu t_a , intenzitu turbulence Tu a z naměřených hodnot software IFS-100 přímo určí stupeň obtěžování průvanem DR podle vztahu (4) – viz Obr. 1.4

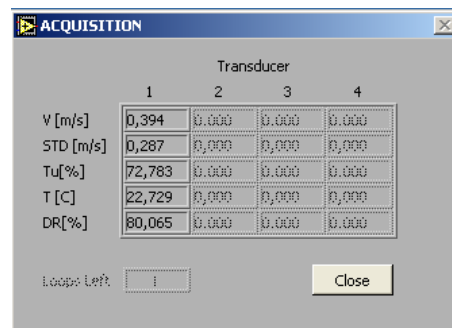
Poznámka: Model podle rovnice (4) platí pro osoby vykonávající práci převážně vsedě a pro předpověď průvanu pocitovaného v úrovni hlavy (na krku). Na ostatních úrovních může model podle rovnice (4) riziko vzniku průvanu přeceňovat.

Obr. 1.2 Prostředí programu Tepelný komfort vs. 2.1





Obr. 1.3 Prostředí programu IFS-100 (měření s 1 anemometrem)



Obr. 1.4 Výstup programu IFS-100 (záznam pro 1 čidlo)

Asymetrie radiační teploty

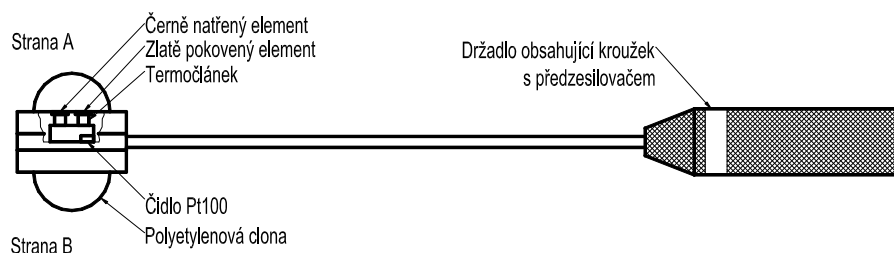
Výměna tepla sáláním mezi člověkem a okolními stěnami by měla být rovnoměrná. Nerovnoměrnost osálení vyjadřuje asymetrie radiační teploty Δt_{pr} , která je definována jako rozdíl mezi rovinnými radiačními teplotami t_{pr1} , t_{pr2} dvou protilehlých ploch malého rovinného prvku.

$$\Delta t_{pr} = t_{pr1} - t_{pr2} \text{ [K]} \quad (5)$$

Rovinná radiační teplota t_{pr} (radiační teplota protilehlých ploch) vyjadřuje účinek sálení v jednom směru.

Poznámka: Protože je asymetrie radiální teploty vztažena k malému rovinnému prvku, její hodnota závisí na jeho orientaci. Orientaci může být v některých situacích určena např. asymetrie stropu a podlahy. Pokud však směr není specifikován, asymetrie radiální teploty by měla být vztažena k orientaci, která dává maximální hodnoty.

Snímač pro měření asymetrie radiální teploty je opatřeno černým a zlatě pokoveným elementem. Vlivem rozdílné absorpce těchto dvou elementů se získá teplotní rozdíl, který je závislý na přenosu sálavého tepla s okolními povrchy. Tímto způsobem se měří účinná teplota protilehlých ploch. Snímač je chráněn, před vlivem proudění polyetylenovým krytem, který je pro radiaci propustný. Snímač je oboustranný a měřicí přístroj tudíž umožňuje přímé vyhodnocení sálavé asymetrie (Obr. 1.5).



Obr. 1.5 Schéma snímače sálavé asymetrie

Výstupem zařízení Brüel Kjær je přímo hodnota Δt_{pr} . Hodnotu odečtete pro příslušná měřicí místa a запиšte do protokolu. Následně stanovte počet nespokojených dle rovnice

$$PD_{pr} = \frac{100}{1 + \exp(3,36 - 0,042\Delta t_{pr})} - 3,5 \quad [\%] \quad (6)$$

1.2.4 Vertikální rozdíl teploty vzduchu

Pocit lokální tepelné nepohody může způsobit i vertikální rozdíl teplot vzduchu mezi hlavou a kotníky. Na základě doporučených požadavků tepelné pohody nemá rozdíl teploty vzduchu $\Delta t_{a,v}$ mezi úrovní hlavy (1,1 m resp. 1,7 m nad podlahou) a kotníků (0,1 m nad podlahou) přesáhnout 3 K. Procento nespokojených se určí na základě vztahu

$$PD_{a,v} = \frac{100}{1 + \exp(5,67 - 0,856\Delta t_{a,v})} \quad [\%] \quad (7)$$

1.2.5 Použité přístroje

DANTEC OmniSense všesměrový anemometr <i>Indoor Flow System 54T21</i>	3 ks
Brüel Kjær – multifunkční měřicí zařízení pro měření tepelného komfortu	1 ks
• stíněné teplotní čidlo,	1 ks
• čidlo relativní vlhkosti vzduchu,	1 ks
• anemometr pro měření rychlosti proudění,	1 ks
• čidlo intenzity osálení.	1 ks
Kulový teploměr $\varnothing 150$ mm	1 ks



Obr. 1.6 Multifunkční měřicí zařízení pro měření tepelného komfortu [12]

1.2.6 Použitý software

- Tepelný komfort vs. 2.1
- Omniscence Data acquisition software 2.3

1.3 Zhodnocení výsledků

V závěru zhodnoťte, zda naměřené hodnoty odpovídají podmínkám pro dosažení tepelného komfortu. Pro hodnocení výsledků použijte Tab. 1.4 až Tab. 1.6.

Tab. 1.4 Příпустné hodnoty vnitřních klimatických podmínek podle NV [8]

Třída práce	Činnost	Operativní teplota [°C]		Rychlost proudění	Relativní vlhkost
		t_{min}	t_{max}	w [m/s]	φ [%]
I	Práce v sedě s minimální pohybovou aktivitou, nebo s lehkou manuální prací (administrativní práce) $\leq 80 \text{ W/m}^2$	20	28	0,1 – 0,2	30 – 70
IIa	Práce vstojе spojená s pomalou chůzí. Přenášení lehkých břemen, překonávání malých odporů 81 až 105 W/m^2	18	27	0,1 – 0,2	
IIb	Práce vsedě a vstojе s trvalým zapojením obou paží a nohou (potravinářská výroba atp.) 106 až 130 W/m^2	14	26	0,2 – 0,3	
IIIa	Práce vstojе s trvalým zapojením obou horních končetin v předklonu, nebo v kleče (údržba strojů, atp.) 131 až 160 W/m^2	10	26	0,2 – 0,3	
IIIb	Práce vstojе s trvalým zapojením obou horních končetin, trupu, chůze (práce ve stavebnictví, atp.) 161 až 200 W/m^2	10	26	0,2 – 0,3	

Tab. 1.5 Kategorie tepelného prostředí – tepelný stav těla jako celku [10]

Kategorie	PPD [%]	PMV [-]
A	< 6	-0,2 < PMV + 0,2
B	< 10	-0,5 < PMV + 0,5
C	< 15	-0,7 < PMV + 0,7

Tab. 1.6 Kategorie tepelného prostředí – lokální diskomfort [10]

Kategorie	Riziko vzniku průvanu DR [%]	PD [%]	
		Vertikální rozdíl teplot	Sálavá asymetrie
A	< 10	< 3	< 5
B	< 20	< 5	< 5
C	< 30	< 10	< 10

1.4 Rozsah výsledných prací

Výsledkem úlohy je zpráva o měření, která má náležitosti uvedené v literatuře [4], kapitola 1.4.

1.5 Seznam označení

A	součinitel $f(w)$ [-]
DR	riziko vzniku průvanu [%]
PMV	předpověď tepelného pocitu [%]
PD	procento nespokojených [%]
PPD	procentuální podíl nespokojených osob [%]
t_a	teplota vzduchu [°C]
t_g	výsledná teplota [°C]
t_o	operativní teplota [°C]
t_{pr}	rovinná radiační teplota [°C]
t_r	střední radiační teplota [°C]
Tu	intenzita turbulence [%]
w	střední rychlost proudění [m/s]
$\Delta t_{a,v}$	vertikální rozdíl teploty vzduchu mezi hlavou a kotníky [K]
Δt_{pr}	asymetrie radiační teploty [K]
φ	relativní vlhkost [-]

1.6 Literatura

- [1] DRKAL, F. a kol. *Experimentální cvičení a zkoušení strojů v technice prostředí*. 1992. Ediční středisko ČVUT. ISBN 80-01-00825-8.
- [2] FANGER, P.O. *Thermal comfort – Analysis and applications in enviromental engineering*. 1972, Kingsport Press, Inc. ISBN 07-019915-9.
- [3] NOVÝ, R. a kol. *Technika prostředí*. 2000, Vydavatelství ČVUT, Praha. ISBN 80-01-02108-4.
- [4] MATUŠKA, T. *Experimentální metody v technice prostředí*. 2005, Česká technika – nakladatelství ČVUT. ISBN 80-01-03291-4.
- [5] ZMRHAL, V. *Sálavé chladicí systémy*. 2009, Monografie. Česká technika – nakladatelství ČVUT. ISBN 978-80-01-04318-9.
- [6] ZMRHAL, V., DRKAL, F., MATHAUSEROVÁ, Z. *Operativní teplota v praxi*. Směrnice STP. 2010.

-
- [7] ČSN EN ISO 7726: 1998 *Ergonomie tepelného prostředí – Přístroje pro měření fyzikálních veličin*, Český normalizační institut, Praha 1998.
- [8] Nařízení vlády č. 361/2007 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví zaměstnanců při práci, Sbírka zákonů ČR, Ročník 2007.
- [9] Nařízení vlády č. 93/2012 Sb., kterým se mění nařízení vlády č. 361/2007 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci, ve znění nařízení vlády č. 68/2010 Sb.
- [10] ČSN EN ISO 7730: 2005 *Ergonomie tepelného prostředí – Analytické stanovení a interpretace tepelného komfortu pomocí výpočtu ukazatelů PMV a PPD a kritéria místního tepelného komfortu*. Český normalizační institut, Praha 2005.
- [11] Dantec Dynamics. Domovské stránky. Dostupné z: <http://www.dantecdynamics.com>
- [12] LumaSense Technologies. Domovské stránky společnosti. Dostupné z <http://www.lumasenseinc.com>

