



METODOLÓGIA PROJEKTOVANIA TEPELNO-VLHKOSTNÝCH PARAMETROV V PRIEMYSELNÝCH PREVÁDZKACH

METHODOLOGY OF THERMO-HYGRIC PARAMETERS PLANNING IN INDUSTRIAL OPERATIONS

Ružena KRÁLIKOVÁ – Hana SOKOLOVÁ

Abstrakt

Hodnotenie a projektovanie parametrov tepelno-vlhkostnej mikroklímy je dôležité z hľadiska skvalitnenia pracovného prostredia a ochrany zdravia pracovníkov. Objektívne hodnotiť tepelno-vlhkostnú mikroklímu, ktorá je jednou zo zložiek celkovej mikroklímy vnútorného priestoru, znamená merať fyzikálne parametre ktoré ju určujú. Príspevok oboznamuje so základnými parametrami tepelno-vlhkostnej mikroklímy, uvádza spôsoby ich merania, hodnotenia, a informuje o zdrojoch ich limitných hodnôt. Keďže človek odvádza do priestoru svojej metabolické teplo, od čoho závisí výsledný tepelný stav jeho organizmu, je potrebné poznať tento energetický výdaj. V príspevku sú spomenuté vhodné spôsoby jeho určenia priamo počas pracovného procesu.

Kľúčové slová: tepelno-vlhkostná mikroklíma, energetický výdaj, index WBGT (Wet Bulb Globe Temperature), optimalizácia.

Abstract

Thermo-hygric microclimate evaluation and planning is important to make better quality of workplace environment and to protect workers' health. The thermo-hygric microclimate objective evaluation means measuring physical parameters which determine thermo-hygric microclimate. It is a part of comprehensive microclimate of internal environment. This article presents elementary thermo-hygric parameters, informs about ways of their measuring and evaluation, and about sources of their limit degrees. Knowing that human body emits his own metabolic heat, we need to know its amount. The final state of health depends on this amount. There is also an information about suited ways of determine human's emitted metabolic heat in this article.

Key words: thermo-hygric microclimate, energetic production, Index WBGT (Wet Bulb Globe Temperature), optimisation.

ÚVOD

Tepelno-vlhkostnú pohodu prostredia tvoria tepelné a vlhkostné toky v interiéri, ktoré exponujú človeka a spolu vytvárajú celkový stav prostredia. Jedným z najvýznamnejších faktorov, ktoré ovplyvňujú tepelnú rovnováhu ľudského organizmu je záťaž teplom alebo chladom. Pre určenie stupňa telesného zaťaženia ľudského organizmu je však potrebné brať do úvahy súhrn viacerých faktorov tepelno-vlhkostnej mikroklímy. Všeobecne platí, že čím viac negatívnych faktorov v pracovnom prostredí pôsobí o to väčší negatívny vplyv budú mať na zdravie pracovníka. Pre projektovanie tepelno-vlhkostných parametrov za účelom dosiahnutia optimálnej tepelno-vlhkostnej mikroklímy je potrebné zohľadniť aj technologické vybavenie pracoviska a poznať limitné hodnoty spomínaných parametrov.

ZÁKLADNÉ PARAMETRE TEPELNO – VLHKOSTNEJ MIKROKLÍMY

Tepelno-vlhkostná mikroklíma je súčasťou celkovej mikroklímy pracovného prostredia. Je tvorená tepelnými a vlhkostnými tokmi (teplom a vodnou parou) [6]. Základné parametre tepelno-vlhkostnej mikroklímy a ich definície sú uvedené v tabuľke č. 1.

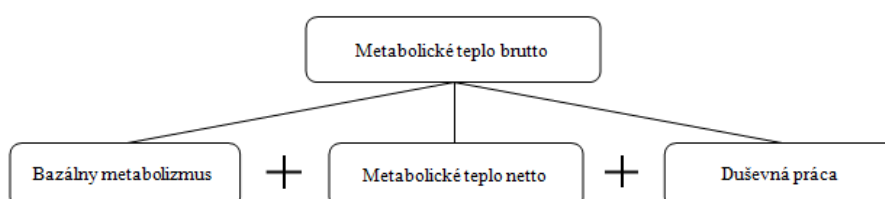
Tab. 1 - Základné parametre tepelno-vlhkostnej mikroklimy.

Parameter	Označenie	Jednotka	Charakteristika
Teplota vzduchu	t_a	(°C)	Teplota vzduchu vo vnútornom priestore bez vplyvu pôsobenia sálavého tepla od okolitých plôch. Nazýva sa aj suchá teplota.
Stredná teplota sálania	t_r	(°C)	Homogénna teplota okolitých plôch pri ktorej je výmena tepla sálaním medzi povrchom ľudského tela a okolitými plochami rovnaká ako v skutočnom heterogénnom prostredí [8].
Rýchlosť prúdenia vzduchu	v_a	(m.s ⁻¹)	Veličina určená veľkosťou a smerom prúdenia. Charakterizuje pohyb vzduchu v priestore.
Výsledná teplota meraná guľovým teplomerom	t_g	(°C)	Inak nazvaná teplota čiernej gule, alebo tzv. globálna teplota. Je to ukazovateľ tepelného stavu vnútorného prostredia priestorov zahŕňajúci vplyv súčasného pôsobenia teploty vzduchu (t_a), povrchovej teploty okolitých plôch (t_r) a rýchlosti prúdenia vzduchu (v_a).
Teplota vlhkého teplomeru	t_{vn}	(°C)	Tzv. psychrometrická vlhká teplota, je meraná na ventilovanom vlhkom teplomeri.
Operatívna teplota	t_o	(°C)	Jednotná teplota uzavretého čierneho priestoru, v ktorom by medzi človekom a prostredím nastala výmena rovnakého množstva tepla prúdením a sálaním ako v skutočnom nehomogénnom prostredí [8].
Relatívna vlhkosť vzduchu	R_h	(%)	Pomer medzi parciálnym tlakom vodných pár vo vlhkom vzduchu a tlakom nasýtených vodných pár pri rovnakej teplote a rovnakom celkovom tlaku [5].
Intenzita sálania	I	(W.m ⁻²)	Popisuje výmeny tepla sálaním medzi povrchom (plochami) priestoru a ľudským telom [4]. Je to efektívny tepelný tok zdieľaný sálaním [5].

Pozn.: Podľa potreby sa určuje aj celkový tepelný odpor odevu R_{cl} (m²KW⁻¹), teplota povrchu t_s (°C) a ďalšie potrebné veličiny.

URČENIE ENERGETICKÉHO VÝDAJA ĽUDSKÉHO ORGANIZMU

Pre zistenie dopadu parametrov tepelno-vlhkostnej mikroklimy na zdravie človeka, a teda pre zhodnotenie jeho tepelnej záťaže, je najdôležitejšie určiť celkový energetický výdaj ľudského organizmu (tzv. metabolické teplo brutto) q_M (W.m²). Celkový energetický výdaj ľudského organizmu (Obr.1) zahŕňa základnú tvorbu tepla (tzv. bazálny metabolizmus), energetický výdaj spôsobený fyzickou činnosťou (tzv. metabolické teplo netto) a duševnou prácou.



Obr. 1 - Celkový energetický výdaj ľudského organizmu.

Bazálny metabolizmus sa meria buď priamou metódou v energometroch, alebo metódou nepriamej energometrie a zároveň jednoduchšie, z množstva spotrebovaného kyslíka, alebo určením jeho hodnoty z tabuliek. V praxi sa zvykne na určenie záťaže spôsobenej fyzickou aktivitou človeka používať počet tepov srdca za minútu, zvýšený krvný tlak a dychová frekvencia. Legislatíva Slovenskej republiky nestanovuje jednotný postup pre zhodnotenie celkovej fyzickej záťaže zamestnancov pri vykonávaní práce. Zistiť celkový energetický výdaj priamo počas pracovnej činnosti je možné nasledovnými spôsobmi:

Tab. 2 - Možnosti zistenia celkového energetického výdaja počas pracovnej činnosti.

P.č.	Možnosti zistenia celkového energetického výdaja počas pracovnej činnosti
1.	Odhad energetického výdaja z referenčných tabuliek podľa druhu činnosti, povolania, a podľa polohy tela a druhu vykonávanej práce, ktoré sú uvedené vo vyhláškach Ministerstva zdravotníctva SR č. 544/2007 Z.z. a č. 542/2007 Z.z. V legislatíve sú uvádzané prípustné hodnoty energetického výdaja netto t.j. nepočítajú s hodnotou bazálneho metabolizmu.
2.	Výpočet energetického výdaja pomocou referenčných tabuliek. Tu je dôležité poznať časové rozloženie jednotlivých pracovných úkonov počas pracovnej doby. Tieto postupy, resp. metodiky boli podrobne spracované v I. a II. časti prílohy číslo 11 k Acta hygienica, epidemiologica et microbiologica z roku 1978 [3].
3.	Výpočet energetického výdaja z hodnôt srdcovej frekvencie. Používajú sa k tomu regresné rovnice medzi srdcovou frekvenciou a energetickým výdajom. Je vhodné ho použiť v prípadoch kedy dochádza k zaťaženiu veľkých svalových partií, bez veľkého podielu statickej, tepelnej a mentálnej záťaže.
4.	Určenie energetického výdaja pomocou meracieho zariadenia srdcovej frekvencie, ktoré meria srdcovú frekvenciu a celkový (brutto) energetický výdaj pri telesnom zaťažení.
5.	Stanovenie energetického výdaja pomocou ukazovateľa WBGT (wet bulb globe temperature) podľa normy STN EN 27243.

Hoci sú referenčné údaje získané na základe skutočných meraní, je odhad alebo výpočet podľa nich vždy iba orientačný.

INDEX WBGT

Ukazovateľ teploty mokrého a guľového teplomeru, resp. ukazovateľ WBGT sa používa sa pre zhodnotenie extrémne teplých alebo chladných prevádzok. Táto metóda má byť považovaná za orientačnú [1]. Index WBGT zlučuje hodnoty teploty prirodzene vetraného vlhkého teplomeru (t_{wn}), výslednej teploty guľového teplomeru (t_g), a teploty vzduchu (t_a), a určí sa výpočtom pre priestory budov a vonkajšie priestory s a bez vplyvu slnečného žiarenia. Meranie prebieha prostredníctvom snímača (Obr. 2). Vhodný merací prístroj (Obr. 3, 4) napojený na snímač priamo vypočíta indexy WBGT. Získané namerané alebo vypočítané indexy WBGT sa porovnávajú s referenčnými hodnotami pre osoby aklimatizované a neaklimatizované na teplo.



Obr. 2 - Snímač WBGT.



Obr. 3 - Merací prístroj.

Messort	
Tr	40.0 °C
Tw	20.5 °C
Ta	22.3 °C
WBGT	26.4 °C
WBGTS	36.6 °C

Obr. 4 - Ukážka displeja meracieho prístroja.

MERANIE VELIČÍN TEPELNO-VLHKOSTNEJ MIKROKLÍMY

Všeobecne platí, že metódy merania týchto fyzikálnych veličín musia brať do úvahy skutočnosť, že veličiny sa v čase a v mieste menia. Spôsoby merania parametrov tepelno-vlhkostnej mikroklímy sú uvedené v Tab. č. 3.

Tab. 3 - Spôsoby merania parametrov tepelno-vlhkostnej mikroklímy.

P.Č.	Parameter	Spôsoby merania parametrov tepelno-vlhkostnej mikroklímy
1.	Teplota vzduchu t_a (°C)	Získava sa meraním fyzikálnych veličín ktoré sú ich spojitými funkciami: dĺžka pevnej látky, objem kvapaliny, elektrický odpor, elektromotorická sila. Merače teploty vzduchu t_a môžeme rozdeliť podľa [5] na expanzné, elektrické a termomanometre.
2.	Stredná teplota sálania t_r (°C)	Dá sa zmerať prístrojmi ktoré dovoľujú integrovať celkovo nerovnomerné sálanie z povrchov okolitých plôch do strednej hodnoty [5]. Meria sa čiernym guľovým teplomerom, dvoiguľovým rádiometrom, senzor s konštantnou teplotou vzduchu, alebo sa vypočíta z teploty okolitých povrchov alebo z teploty sálania plochy.
3.	Rýchlosť prúdenia vzduchu v_a ($m \cdot s^{-1}$)	Vo všeobecnosti sa dá stanoviť všesmerovou sondou ktorá je citlivá na veľkosť rýchlosti v ktoromkoľvek smere, a trojrozmerným snímačom ktoré meria jednotlivé zložky rýchlosti vzduchového prúdu pozdĺž troch vzájomne kolmých osí.
4.	Výsledná teplota meraná guľovým teplomerom t_g (°C)	Stanoví sa prostredníctvom čierneho guľového teplomeru alebo novšieho stereoteplomeru.
5.	Teplota vlhkého teplomeru t_{vn} (°C)	Odčítava sa zo psychrometrického diagramu alebo meria na ventilovanom vlhkom teplomeri. Psychrometrická mokrá teplota sa nesmie zamieňať s prírodnou mokrou teplotou t_{wn} (°C) ktorá sa meria pomocou prirodzene ochladzovaného vlhkého teplomeru.
6.	Operatívna teplota t_o (°C)	Meria sa pomocou čidla ktorého priemer sa odhaduje podľa STN ISO 7730, alebo sa stanoví výpočtom.
7.	Relatívna vlhkosť vzduchu R_h (%)	Meria sa pomocou kapacitného vlhkomera, aspiračného psychrometra, určuje sa zo psychrometrického diagramu, nomogramu, alebo sa stanovuje výpočtom.
8.	Intenzita sálania I ($W \cdot m^{-2}$)	Stanoví sa prostredníctvom prístrojov ktoré merajú tepelné sálanie v jednotke ($W \cdot m^{-2}$) alebo výpočtom.

Prostredie možno z bioklimatického hľadiska považovať za homogénne ak v sú veličiny v danom okamihu okolo osoby prakticky rovnomerné. Tepelné prostredie sa môže meniť v horizontálnej alebo vo vertikálnej polohe. Z tohto dôvodu treba brať do úvahy ako dlho osoba pracuje v rôznych miestach priestoru. V prípade, ak je prostredie príliš heterogénne, musia byť veličiny merané na niekoľkých miestach, a v okolí pracovníka na úrovni hlavy, brucha a členkov. Spomínané parametre tepelno-vlhkostnej mikroklímy je možné merať aj súčasne na rôznych miestach, zariadeniami vybavenými jednotkami umožňujúcimi napojenie viacerých snímačov. Výšku umiestnenia senzorov, váhové súčinitele pre výpočet priemerných hodnôt fyzikálnych veličín, štandardné podmienky pre stanovenie časových konštánt senzorov, a meracie výšky pre fyzikálne veličiny prostredia udáva okrem iného, norma STN EN ISO 7726.

DISKUSIA

Kritérií pre posudzovanie tepelno-vlhkostnej mikroklímy je veľa. Najznámejšie sú: Americká efektívna teplota, P4SR index, HSI index, PMV index, WBGT index, a komplexný systém hodnotenia tepelno-vlhkostnej mikroklímy [7]. Je nutné poznamenať, že aj ostatné veličiny ktoré ovplyvňujú tepelné pôsobenie na ľudský organizmus ako sú metabolizmus, izolácia odevu, atď. môžu tiež závisieť na čase.

Mikroklimatické podmienky rozdeľujeme na optimálne, prípustné a únosné. Na pracovisku kde sa prekračujú hodnoty prípustných podmienok sa čas práce upravuje tak, aby sa dodržala dlhodobá a krátkodobá únosná záťaž teplom. V súvislosti s únosnou záťažou pre aklimatizovaných aj neaklimatizovaných zamestnancov sa

podľa vyhlášky Ministerstva zdravotníctva Slovenskej republiky č. 544/2007 Z.z. a STN EN ISO 7933, určujú dlhodobu a krátkodobu únosné doby práce pre mužov aj ženy. Limitné hodnoty veličín tepelno-vlhkostnej mikroklimy sú stanovené vo vyhláške Ministerstva zdravotníctva Slovenskej republiky č. 544/2007 Z.z. a č. 259/2008 Z.z., a limitné hodnoty energetického výdaja (netto) a srdcovej frekvencie, ako aj ostatné limitné parametre pre zhodnotenie fyziológie práce uvádza vyhláška Ministerstva zdravotníctva Slovenskej republiky č. 542/2007 Z.z.

Optimalizácia tepelno - vlhkostnej mikroklimy sa prevádza klimatizáciou, vetraním, vykurovaním, v závislosti od celkovej tepelnej produkcie organizmu zamestnanca, prípadne odstránením zdroja tepla alebo chladu, s výnimkou pracoviska ktoré vyžaduje osobitné tepelné podmienky, alebo pracoviska, na ktorom technickými prostriedkami nemožno odstrániť záťaž teplom alebo chladom z technologických procesov, a s výnimkou mimoriadne chladných a mimoriadne teplých dní.

Tepelnú záťaž je možné znížiť stanovením adekvátnej pracovnej doby, prestriedaním práce s odpočinkom, prevedením školení, zabezpečením ohrievare, osobných ochranných prostriedkov, ochranných odevov a pitného režimu, znížením zbytočnej fyzickej záťaže, aklimatizáciou zamestnancov. Najúčinnějšíou sa ukázala kombinácia spomenutých opatrení.

ZÁVER

Technologický pokrok umožnil, že vo vyspelých krajinách je čoraz menej ľudí vystavených skutočne namáhavej fyzickej práci. Napriek tomu, zvlášť nepriaznivé pracovné podmienky pretrvávajú na pracoviskách v strojárskych podnikoch [9]. Z tohto dôvodu je projektovanie optimálnych parametrov tepelno-vlhkostnej mikroklimy na novovzniknutých, alebo už existujúcich pracoviskách kde sú mikroklimatické podmienky nevyhovujúce, dôležité pre vytváranie zdravého pracovného prostredia.

♦♦Tento príspevok vznikol s podporou projektu KEGA 064 TUKE-4/2011.

ZOZNAM BIBLIOGRAFICKÝCH ODKAZOV

- [1] STN EN 27243 Horúce prostredie: Stanovenie tepelnej záťaže pracovníka podľa ukazovateľa WBGT (teploty mokrého a guľového teplomeru).
- [2] HAMAR, Dušan - LIPKOVÁ, Jana: *Fyziológia telesných cvičení*. Univerzita Komenského v Bratislave, Vydavateľstvo UK, 2001. ISBN 80-223-1627-X.
- [3] http://matej.gaya.sk/Diplomova_praca_Matej_Pauliny_2009.pdf.
- [4] KRÁLIKOVÁ, Ružena – ANDREJIOVÁ, Miriam: Stanovenie mikroklimatických parametrov v horúcom pracovnom prostredí. *Hodnotenie kvality prostredia 2011*, Ročník: II, Technická univerzita v Košiciach, Strojnícka fakulta. Elfa, s.r.o., September 2011. ISSN 1338-3922.
- [5] STN EN ISO 7726 Tepelní prostředí: Přístroje a metody měření fyzikálních veličin.
- [6] PAJTÍK, JOZEF - BOROTA, Ján: *Pracovné a životné prostredie*. Technická univerzita vo Zvolene, 1992. ISBN 80-228-0162-3.
- [7] JOKL, Miloslav - ŠENITKOVÁ, Ingrid: *Interná mikroklima budov*. Rektorát Technickej univerzity v Košiciach, 1993. ISBN 80-7099-201-8.
- [8] Vyhláška Ministerstva zdravotníctva Slovenskej republiky č. 544/2007 Z.z. o podrobnostiach o ochrane zdravia pred záťažou teplom a chladom pri práci.

ADRESA AUTOROV

Ružena KRÁLIKOVÁ, Doc. Ing. PhD., Katedra environmentalistiky, Strojnícka fakulta, Technická univerzita v Košiciach, Park Komenského 5, 042 00 Košice, Slovenská republika, e-mail: ruzena.kralikova@tuke.sk.

Hana SOKOLOVÁ, Ing., Komenského 58, 040 01, Košice, Slovenská republika, e-mail: sokolova.hana@gmail.com.

RECENZENT

Milan PIATRIK, prof. Ing. PhD., UMB Banská Bystrica, Fakulta prírodných vied, Katedra environmentálneho manažérstva, Tajovského 40, 974 01, Banská Bystrica, Slovenská republika, e-mail: >piatrik@fpv.umb.sk<