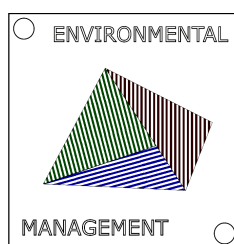


APLIKÁCIA MATEMATICKÝCH METÓD PRI ZLEPŠOVANÍ KVALITY PRACOVNÉHO PROSTREDIA

Ruzena Kralikova¹ – Laura Dzunova² – Miroslav Rusko³

APPLICATION OF THE MATHEMATICAL METHODS ON THE WORK ENVIRONMENT QUALITY IMPROVING



¹ Technická univerzita v Košiciach, Strojnícka fakulta, KIP, Košice, Slovenská republika ✉ Email: ruzena.kralikova@tuke.sk, tel. 055 602 2825.  ORCID iD: 0000-0002-9231-7886

² Technická univerzita v Košiciach, Strojnícka fakulta, KIP, Košice, Slovenská republika ✉ Email: laura.dzunova@tuke.sk, tel. 055 602 2643.  ORCID iD: 0000-0001-5863-4602

³ Slovenská spoločnosť pre životné prostredie, Kocelova 15, 815 94 Bratislava, Slovenská republika / Institute of Management, University of Ss. Cyril and Methodius in Trnava.: Trnava ✉ Email: mirorisko@centrum.sk  ORCID iD: 0000-0002-1428-0141

 Competing interests : The author declare no competing interests.

 Publisher's Note: Slovak Society for Environment stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations. Copyright: © 2021 by the authors.



This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

This license allows reusers to distribute, remix, adapt, and build upon the material in any medium or format, so long as attribution is given to the creator. The license allows for commercial use.

 Review text in the conference proceeding: Contributions published in proceedings were reviewed by members of scientific committee of the conference. For text editing and linguistic contribution corresponding authors.

ABSTRAKT

Článok je zameraný na posúdenie vplyvu mikroklimatických parametrov prostredia na pracovnú pohodu, zdravie a produktivitu zamestnancov vybranej prevádzky. Cieľom výskumu prezentovaného v príspevku bolo zhodnotiť mieru vplyvu tepelno-vlhkostných parametrov na pracovnú pohodu/nepohodu zamestnancov pri zohľadnení ich vzájomného pôsobenia. Pre komplexné hodnotenie vplyvu pracovného prostredia na zamestnancov bol použitý matematický model.

KEÚČOVÉ SLOVÁ: kvalita, pracovná pohoda, teplota, vlhkosť, prúdenie vzduchu, mikroklima

ABSTRACT

The article is aimed at assessing the possible negative impact of microclimate factors on work wellbeing, health and work productivity of the employees of the selected operation. The aim of the research presented in the paper was to evaluate the degree of influence of thermal comfort factors on the wellbeing of employees. A mathematical model was used for a comprehensive assessment of the work environment's impact on employees.

KEY WORDS: quality, comfort, temperature, humidity, air flow, thermal comfort

1. ÚVOD

Zlepšovať kvalitatívnu hodnotu pracovného prostredia nad minimálnu úroveň stanovenú legislatívou sa usilujú nielen vlády, ale aj sociálni partneri v Európskej únii, pretože si uvedomujú, že napriek veľkému počtu smerníc EÚ a predpisov zameraných na zlepšenie bezpečnosti na pracoviskách, zostáva situácia neuspokojivá [1]. Zvlášť nepriaznivé pracovné podmienky naďalej pretrvávajú v oblasti mikroklimatických podmienok, kde pracovné aktivity spôsobujú zamestnancom neúnosné zaťaženie ich organizmu počas pracovnej doby.

Mikroklimatické parametre môžu výrazne vplyvať na pociťovanie fyzickej pohody či nepohody na pracovisku. Pre tieto parametre je charakteristická ich vzájomná závislosť, kde zmena jedného parametra môže spôsobiť aj zmenu ďalších. Extrémne hodnoty TVM by mali byť vnímané ako potenciálne zdraviu škodlivé a s možnými zdravotnými dôsledkami.

2. OPIS VÝSKUMU

Pre účel zistenia stavu vnímania parametrov tepelno-vlhkostnej mikroklimy (TVM) pracovníkmi a zhodnotenie ich vplyvu bol realizovaný výskum v spoločnosti, ktorá sa zaoberá výrobou kovových konštrukcií, výpalkov a valcových výrobkov. Cieľom výskumu bolo aj určenie faktora, ktorý možno považovať za najdominantnejší z hľadiska jeho vplyvu na komfort resp. diskomfort zamestnancov.

Výrobná hala, v ktorej bol uskutočnený výskum má plochu cca 200 m², pracuje v nej 15 zamestnancov a prevažujú tu zvaracie pracoviská, patriace do oblasti strojárskych technológií.

2.1 MATEMATICKÝ MODEL HODNOTENIA ZÁŤAŽE ZAMESTNANCOV

Pomocou metód matematickej štatistiky bol vypracovaný originálny matematický model, ktorý umožňuje vyjadriť účinok negatívneho pôsobenia TVM a vyhodnotiť zaťaženie zamestnancov mikroklimatickými podmienkami počas pracovnej doby (8 hod.) [7]. Celkovú záťaž (Z) týchto faktorov môžeme vyjadriť, ako výslednicou pôsobenia jednotlivých zaťažujúcich faktorov pomocou vzťahu:

$$Z = Z_1 + Z_2 + Z_3 + \dots + Z_n \quad (1)$$

kde: $Z_1, Z_2, Z_3, \dots, Z_n$ predstavujú zaťažujúce faktory.

Každý z faktorov sa na celkovej záťaži podieľa rovnakou váhou respektíve mierou. Z tohto dôvodu je preto možné predpokladať, že zaťažujúci faktor Z_1 sa na celkovej záťaži bude podieľať hodnotou ukazovateľa α_1 , zaťažujúci faktor Z_2 mierou α_2 , až po zaťažujúci faktor Z_n s mierou α_n . Musí byť zabezpečené splnenie tejto podmienky:

$$\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_n = 1 \quad (2)$$

kde: $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ - koeficienty závažnosti vplyvu jednotlivých faktorov.

$$\alpha_j \in (0, 1)$$

Uvedené koeficienty charakterizujú mieru zaťaženia na ľudský organizmus. Pri zhodnotení významnosti týchto koeficientov sa postupuje podľa nasledovnej podmienky:

α_j blízke 0 => nevýrazný vplyv Z_j ,

α_j blízke 1 => výrazný vplyv Z_j .

Hodnoty jednotlivých koeficientov závažnosti sa určujú pomocou bodovej metódy, ktorá je založená na pridelovaní bodov (0 až 10) pre každý druh parciálneho zaťaženia (Z_j) a na jednotlivé orgány ľudského organizmu (T_i) pri konkrétnej pracovnej činnosti.

Nech celková záťaž určitého pracovného prostredia je výslednicou pôsobenia jednotlivých zaťažujúcich faktorov $Z_1, Z_2, \dots, Z_n$, a nech toto pracovné prostredie zaťažujúco pôsobí na orgány ľudského organizmu $T_1, T_2, \dots, T_m$, kde $m, n \in \mathbb{N}$ podľa nasledujúcej schémy [3]:

- Pôsobenie zaťažujúceho faktora Z_1 na telový orgán T_1 je pri dodržaní a rešpektovaní vyššie uvedených noriem a predpisov ohodnotený bodovou hodnotou $b_{11}=1$, na telový orgán T_2 bodovou hodnotou $b_{21}=1$, až po telový orgán T_m s bodovou hodnotou $b_{m1}=1$.
- Následne sa postupuje analogicky a pôsobenie zaťažujúceho faktora Z_2 na telový orgán T_1 je ohodnotený bodovou hodnotou $b_{12}=2$, na telový orgán T_2 bodovou hodnotou $b_{22}=2$ až po telový orgán T_m s bodovou hodnotou $b_{m2}=2$.

Takýmto spôsobom je možné získať maticu:

$$B = (b_{ij}) \quad (3)$$

kde: b_{ij} - priradená bodová hodnota záťaže Z_j na telový orgán T_i , $i = 1, 2, \dots, m$

Princíp popísanej bodovej metódy a určovanie koeficientov závažnosti pre jednotlivé zaťažujúce faktory daného pracovného prostredia je znázornený v tabuľke Tab.1.

Tab.1 Princíp bodovej metódy

		ZÁŤAŽ				
		Z_1	Z_2	Z_3	...	Z_n
TELOVÝ ORGÁN	T_1	b_{11}	b_{12}	b_{13}	...	b_{1n}
	T_2	b_{21}	b_{22}	b_{23}	...	b_{2n}
	T_3	b_{31}	b_{32}	b_{33}	...	b_{3n}
	...	...	...	...	...	...
	T_m	b_{m1}	b_{m2}	b_{m3}	...	b_{mn}
		$\sum_{i=1}^m b_{ij}$	$\sum_{i=1}^m b_{i2}$	$\sum_{i=1}^m b_{i3}$	...	$\sum_{i=1}^m b_{in}$

Výpočet:

$$\alpha_j = \frac{\sum_{i=1}^m b_{ij}}{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m b_{ij}}, \alpha_1 = \frac{\sum_{i=1}^m b_{i1}}{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m b_{ij}}, \alpha_2 = \frac{\sum_{i=1}^m b_{i2}}{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m b_{ij}}, \dots, \alpha_n = \frac{\sum_{i=1}^m b_{in}}{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m b_{ij}} \quad (4)$$

Popísaný model na určenie komplexného zaťaženia organizmu človeka počas nepretržitej práce umožňuje použiť pri bodovej metóde na určovanie koeficientov závažnosti spôsob objektívneho, ako aj subjektívneho hodnotenia. [3,5]

2.2 VÝPOČET ZATIAŽENIA POMOCOU BODOVEJ METÓDY

Do zisťovania bolo zapojených 5 z celkového počtu 15 zamestnancov. Zo získaných hodnôt je možné analyzovať mieru vplyvu teploty, vlhkosti a prúdenia vzduchu na jednotlivé časti organizmu. Prvým hodnoteným faktorom bola teplota. Podľa výsledkov zvolenej metódy má teplota značný vplyv

na neprimerané potenie sa pri práci, nadmerné dýchanie a v neposlednom rade má významný vplyv na pracovnú pohodu a tým aj sústredenie a výkonnosť pracovníkov.

Na získanie informácií o pociť zamestnancov vplyvom tepelno-vlhkostných parametrov pracovného prostredia bola použitá bodová metóda hodnotenia, pričom požadované údaje boli získané na základe dotazníkového prieskumu, na ktorom mali priamu účasť zamestnanci sledovaného pracoviska zvarovne v objekte výrobné haly [6]. Pri výpočte priemerných hodnôt vplyvu parametrov na pracovníka bol použitý vzorec:

$$\frac{a_{m1} + a_{m2} + a_{m3} + a_{m4} + a_{m5}}{n} \quad (5)$$

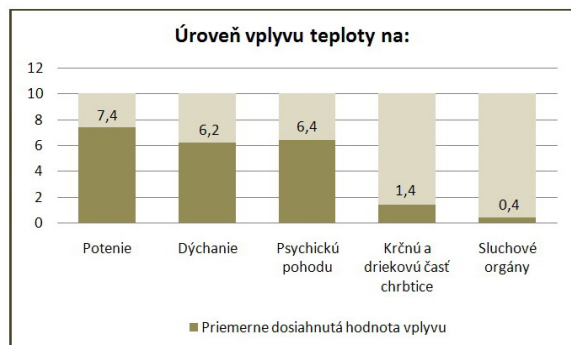
kde: $n = 5$, $m = 1, 2, 3, 4, 5$. Výsledky bodovej metódy sú zobrazené v Tab. 2 :

Tab.2 Výsledky bodovej metódy

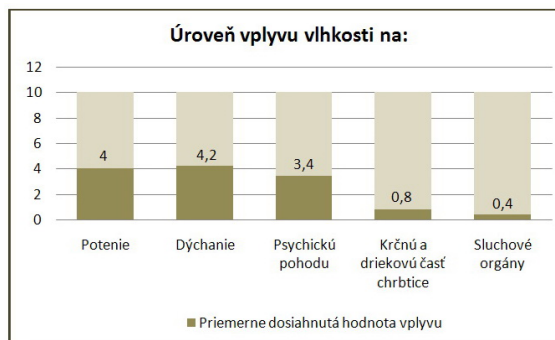
Teplota		Poradové číslo					Φ
		1	2	3	4	5	
Vplyv na te- lový orgán	T1	8	7	7	7	8	7,4
	T2	6	6	7	6	6	6,2
	T3	6	6	7	7	6	6,4
	T4	2	1	1	2	1	1,4
	T5	1	0	0	0	1	0,4
Vlhkosť		Poradové číslo					Φ
		1	2	3	4	5	
Vplyv na te- lový orgán	T1	4	3	4	4	5	4
	T2	5	3	4	4	5	4,2
	T3	3	4	4	3	3	3,4
	T4	1	1	1	1	0	0,8
	T5	1	0	0	1	0	0,4
Prúdenie vzdu- chu		Poradové číslo					Φ
		1	2	3	4	5	
Vplyv na te- lový orgán	T1	2	3	3	2	2	2,4
	T2	2	3	3	3	3	2,8
	T3	2	4	3	3	2	2,8
	T4	3	5	5	5	5	4,6
	T5	8	8	7	8	7	7,6

2.3 GRAFICKÁ INTERPRETÁCIA

Grafická interpretácia výsledkov výskumu a z údajov vypočítaných hodnôt uvedených v Tab. 2 je zobrazená na obrázkoch č.4. – č. 6. Na obr. 4 je graficky znázornená úroveň vplyvu teploty pracovného prostredia na psychickú, fyzickú a senzorickú záťaž zamestnancov.

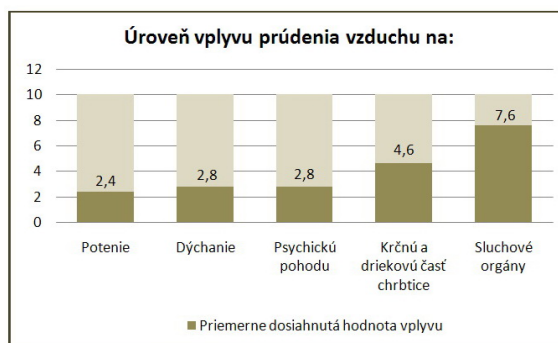


Obr. 4 Vplyv teploty



Obr.5 Vplyv vlhkosti

Pri hodnotení vplyvu vlhkosti na pracovníkov môžeme konštatovať, že väčšina zamestnancov nie je na tomto pracovisku významne negatívne ovplyvnená vlhkosťou. Prípadná zvýšená vlhkosť na pracovisku sa podľa oslovených zamestnancov prejavuje na problémoch s dýchaním, nadmernou mierou potenia a nechutou do práce. Priemerná hodnota bodu 1, pri oblastiach tela akými sú orgány ucha a hornej /dolnej časti chrbtice, svedčí o nízkom vplyve vlhkosti na tieto časti (viď. Obr. 5.)



Obr. 6 Vplyv prúdenia vzduchu

Prúdenie vzduchu vo výrobnjej hale negatívne pôsobí najmä na nechránené sluchové orgány, krčnú a driekovú časť chrbtice (Obr.6).

Pracovníci sa sťažovali najmä na problémy so stredným uchom a bolesti v krížovej oblasti. Takéto zaťaženie organizmu môže spôsobiť dlhodobé zdravotné komplikácie u pracovníkov a zároveň ich práceneschopnosť, preto by bolo vhodné prijať opatrenia, ktoré ochránia pracovníkom pred negatívnym pôsobením prievnu.

3. DISKUSIA

Cieľom výskumu bolo zhodnotiť mieru vplyvu parametrov TVM na pracovnú pohodu/ nepohodu zamestnancov pri zohľadnení ich vzájomného pôsobenia. Pre komplexné hodnotenie tepelno-vlhkostných parametrov pracoviska bol použitý prezentovaný matematický model (6). Výsledky hodnotenia sú uvedené v Tab. 3 a Tab.4.

Tab.3 Výpočtová tabuľka

	FAKTOR			SUMA
	Teplota	Vlhkosť	Rýchlosť prúdenia vzduchu	
VPLYV NA ORGANIZMUS	Body (Φ)	Body (Φ)	Body (Φ)	
Potenie	7	4	2	13
Dýchanie	6	4	3	13
Psychická pohoda	6	3	3	12
Krčná a drieková časť chrbtice	1	1	5	7
Sluchové orgány (vnútorná časť ucha)	0	0	8	8
SUMA	20	12	21	53

Výpočet komplexného zaťaženia podľa vzťahu (4):

$$\alpha_1 = \frac{\sum_{i=1}^m b_{i1}}{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m b_{ij}}, \alpha_2 = \frac{\sum_{i=1}^m b_{i2}}{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m b_{ij}}, \alpha_3 = \frac{\sum_{i=1}^m b_{i3}}{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m b_{ij}} \quad (6)$$

Tab.4 Hodnotové vyjadrenie ukazovateľov

Ukazovateľ	Číselná hodnota	Percentuálna hodnota
α_1	0,377358491	37,74%
α_2	0,226415094	22,64%
α_3	0,396226415	39,62%

Kde:

$$(\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3) \cdot 100 = 100 [\%] \quad (7)$$

Z výpočtu vyplýva, že faktorom, ktorý v najvyššej miere negatívne ovplyvňoval zamestnancov výrobnej bolo prúdenie vzduchu. Hodnota faktora $\alpha_3 = 0,3962$ predstavuje podiel rýchlosti prúdenia vzduchu na celkovom pôsobení faktorov približne, t.j. 39,62%. Táto hodnota je na pracovisko s trvalým pohybom zamestnancov pomerne vysoké a pri osem hodinovom pracovnej zmene môže ovplyvniť nielen ich komfort, ale aj ich zdravie. Skutočnosť, že nie je jasné v akej miere a či vôbec zamestnanci používajú, vhodné pracovné oblečenie, pokrývky hlavy a podobne, môže mať vplyv na výsledky výskumu. V takom prípade je nutné školiť zamestnancov a zaistiť, aby dostupné prostriedky vhodne používali. Z výsledkov tiež vyplýva, že nielen faktor prúdenia vzduchu, ale aj tzv. suchá teplota vzduchu na pracovisku je z hľadiska komfortu významným faktorom. Vypočítaná hodnota α_1 predstavuje 37,73%. Rozdiel medzi týmito faktormi je nepatrný a preto možno považovať vplyv teploty vzduchu za rovnako závažný ako vplyv rýchlosti prúdenia vzduchu. V letných mesiacoch môžu teploty vzduchu dosahovať ešte vyššie hodnoty a pri absencii klimatizácie a nedostatočnej výmene vzduchu je pravdepodobné, že zamestnanci budú pociťovať pracovnú nepohodu. Z výsledkov výskumu ďalej vyplýva, že najmenej zaťažujúcim parametrom TVM bola vlhkosť ovzdušia a podieľala sa na celkovom vplyve na zamestnancov len 22%-ami.

4. ZÁVER

Vhodné pracovné prostredie je významným ukazovateľom kultúrnej vyspelosti organizácií. Človek je najcitlivejším článkom výrobného procesu a jeho kognitívne schopnosti sú zatiaľ nenahradiateľné, preto je potrebné vytvárať pracovníkom optimálne podmienky na pracovisku, aby mohli plne využívať svoj pracovný potenciál. Na základe vypočítaných výsledkov je potrebné v podniku upriamiť pozornosť na prijatie opatrení s cieľom znížiť negatívny vplyv mikroklimatických podmienok na zamestnancov výrobných hál a to najmä rýchlosti prúdenia a teploty vzduchu. Znížením negatívneho vplyvu týchto faktorov dosiahneme skvalitnenie pracovného prostredia, zvýšenie pracovnej pohody a komfortu na pracovisku, čo sa môže odzrkadliť na lepšom pracovnom výkone a znížení počtu práceneschopnosti zo zdravotných dôvodov.

Pod'akovanie [zaradenie príspevku] - Acknowledgments

Príspevok bol vypracovaný v rámci riešenia projektu KEGA 011TUKE-4/2021: „Implementácia súčasných vedecko-výskumných, technických a metodologických riešení v oblasti inžinierstva prostredia do edukačného procesu na vysokých školách“, ktorý je riešený na pracovisku autorov na Katedre inžinierstva prostredia, Strojnickej fakulty Technickej univerzity v Košiciach.

ZOZNAM BIBLIOGRAFICKÝCH ODKAZOV

- [1]. DŽUŇOVÁ, L. - KRÁLIKOVÁ, R.: Analýza faktorov pracovného prostredia v priemyselných prevádzkach. In: Novus Scientia 2019. Košice: Technická univerzita v Košiciach s. 125-128 [CD-ROM]. ISBN 978-80-553-3249-9.
- [2]. HANKER, J. a kol.: Ergonómia v priemysle, ALFA Bratislava, 1978, MDT 331.015.11, 383 s.
- [3]. KAPUSTOVÁ, Mária : Aplikácia matematických metód pri ekologizácii pracovného prostredia v strojárskych prevádzkach [online], MtF, Trnava. [cit.2019-02-03]. Dostupné na internete: <http://www.mtf.stuba.sk/docs/internetovy_casopis/2004/2/kapustova.pdf>.
- [4]. Vyhláška MZ SR č. 99/2016 Z.z.o podrobnostiach o ochrane zdravia pred záťažou teplom a chladom pri práci.
- [5]. KRÁLIKOVÁ R., PIŇOSOVÁ M.: Hodnotenie tepelno-vlhkostných parametrov, 2017. In: Fyzikálne faktory prostredia. Roč. 7, č. 2 (2017), s. 69-74. - ISSN 1338-3922.
- [6]. RUSKO, M.: Environmentálne vhodná výrobná a obchodná politika. 2014. In: Fyzikálne faktory prostredia. 2016/2/VI., s. 102-111. - ISSN 1338-3922.
- [7]. MAĐORANOVÁ, M.- KRÁLIKOVÁ, R. : Modely tepelného komfortu pracovného prostredia : 2015. In: Bezpečnosť - Kvalita - Spoľahlivosť. - Košice : TU, 2015 S. 117-120. - ISBN 978-80-553-2044-1.