

# ANALÝZA SÚČASNÉHO SPÔSOBU HODNOTENIA TEPELNÉHO ZATAŽENIA NA PRACOVISKU KOVACIEHO LISU LZK 2500

## THE ANALYSIS OF PRESENT-DAY METHOD OF THERMAL LOADING EVALUATION AT THE FORGING PRESS LZK 2500 WORKING-PLACE

Mária KAPUSTOVÁ

*Autor: Ing. Mária Kapustová, PhD.*

*Pracovisko: Katedra tvárnenia, Materiálovotechnologická fakulta STU*

*Adresa: Bottova 23, 917 24 Trnava, SR*

*Tel: 00421 335521105 E – mail: mkapust@mtf.stuba.sk*

### Abstract

*Nepriaznivé prvky mikroklímy ako sú teplota, vlhkosť, prúdenie vzduchu, tepelné žiarenie sa stávajú zdrojom tepelnej nepohody na pracoviskách v strojárkej výrobe, lebo značne ovplyvňujú tepelný stav zamestnancov. Tieto mikroklimatické prvky spôsobujú tepelné alebo chladové zaťaženia ľudského organizmu pri práci. Zisťovanie veľkosti zaťaženia pri práci je dôležité pre tvorbu pracovného komfortu, ktorý úzko súvisí so spokojnosťou pracovníka. Príspevok popisuje súčasný spôsob hodnotenia tepelného zaťaženia kováča na pracovisku kovacieho lisu LZK 2500 počas pracovnej doby.*

*The adverse components of microclimate such as temperature, damp, air flow, thermal radiation become the source of thermal discomfort in industrial working-places, because they obviously influence worker's thermal situation. These microclimatic components become thermal or cold loading sources of human's body at work. Determination of work loading intensity is important for creation of working comfort, which closely connects to worker's contentment. The article presents the method of evaluation of forger's thermal loading at the working- place of forging press LZK 2500 during work shift.*

### Key words

*mikroklíma, teplo klimatické, bilancia tepelná, stupeň námahy, zaťaženie tepelné*

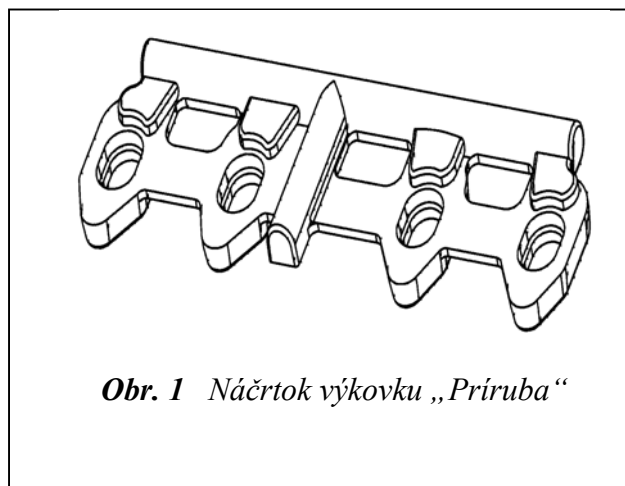
*microclimate, climatic warmth, thermal balance, degree of the difficulty, thermal loading*

## Úvod

Pre horúce tvárniace prevádzky býva charakteristické tepelné zaťaženie pracovníkov, ktoré vyplýva zo stavu nepriaznivej mikroklímy okolia a zvýšenej tepelnej produkcie v tele pracovníka. Keďže sa takýto stav pozitívnej tepelnej bilancie predpokladá hlavne na pracoviskách v zápustkových kováčňach, preto sa výpočty rovníc klimatického tepla  $q_{cl}$  a následne tepelného zaťaženia budú vzťahovať na kováča pri kovaní zápustkového výkovku „Príruba“. Daný výkovok o vsádzkovej hmotnosti 4,45 kg sa vyrába na pracovisku kovacieho lisu LZK 2500. Náčrtok výkovku „Príruba“ je znázornený na obr. 1. Pre reálny výpočet tepelnej záťaže kováča bolo potrebné na danom pracovisku zistiť klimatické činitele a skutočný energetický výdaj kováča počas pracovnej zmeny.

### Výpočet rovníc klimatického tepla

Klimatické teplo je mierou veľkosti tepelného zaťaženia kováča. Závisí od klimatických činiteľov okolitého prostredia: suchej teploty vzduchu ( $T_a$ ), výslednej teploty guľového teplomeru ( $T_g$ ), relatívnej vlhkosti vzduchu ( $\varphi$ ), rýchlosti prúdenia vzduchu ( $m \cdot s^{-1}$ ) a počtu vrstiev odevu. Priemerné hodnoty týchto parametrov mikroklímy boli určené z Protokolu o meraní a hodnotení mikro-klimatických podmienok na pracovisku LZK 2500:



**Obr. 1** Náčrtok výkovku „Príruba“

$T_g$  - priemerná teplota guľového teplomeru meraná vo výške 165 cm od podlahy,  
 $T_g = 48,7 \text{ }^\circ\text{C}$ ,

$T_a$  - priemerná teplota vzduchu meraná suchým vetraným teplomerom,  $T_a = 33 \text{ }^\circ\text{C}$ ,

$\varphi$  - priemerná relatívna vlhkosť vzduchu,  $\varphi = 41 \text{ } \%$

$v$  - rýchlosť prúdenia vzduchu,  $v = 0,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

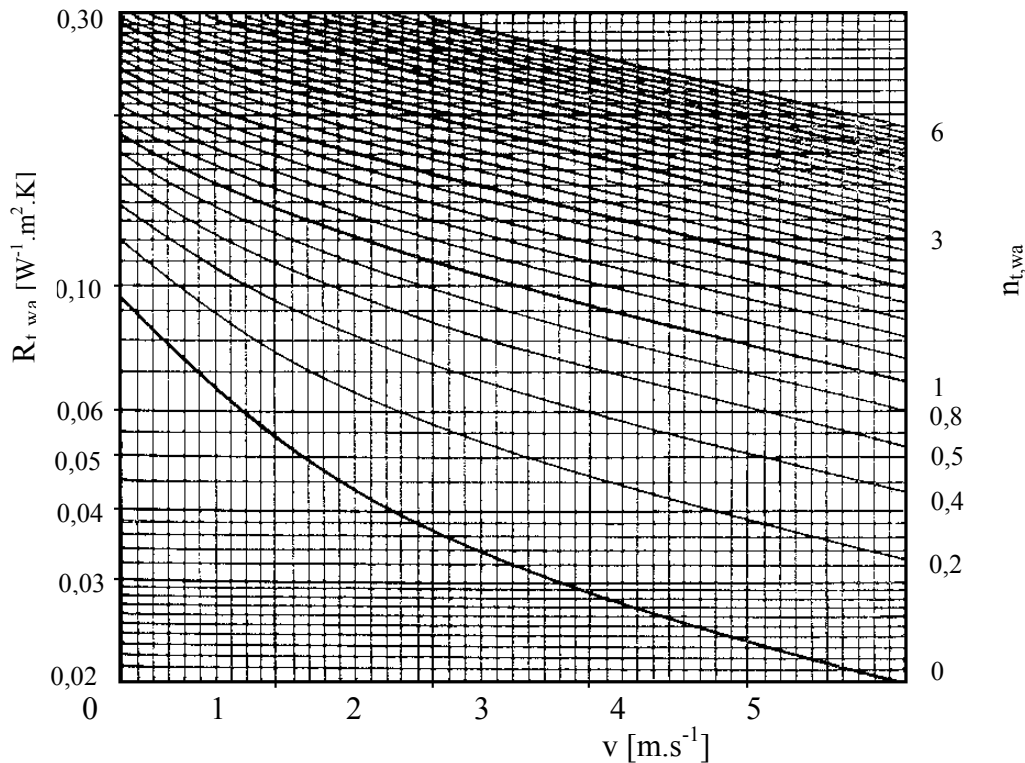
Klimatické teplo dostaneme sčítaním hodnôt konvekčno-radiačného, respiračného a maximálneho evaporačného tepla podľa rovnice:

$$q_{cl} = q_{cr} + q_{rs} + q_{ev,ma} \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}], \quad (1)$$

$q_{cr}$  - konvekčno-radiačné teplo; teplo privádzané resp. odvádzané z tela prúdením a sálaním,

$q_{rs}$  - respiračné teplo; teplo privádzané resp. odvádzané z tela dýchaním,

$q_{ev,max}$  - maximálne evaporačné teplo; odvod tepla z tela odparovaním potu [1]



**Obr. 2** Graf na určenie celkového tepelného odporu odevu  $R_{t,wa}$

**Konvekčno-radiačné teplo sa vypočíta podľa rovnice:**

$$q_{cr} = R_{t,wa}^{-1} \cdot (T_g - T_{sk}) \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}] \quad , \quad (2)$$

$$q_{cr} = 0,18^{-1} \cdot (48,7 - 37,7) = \underline{61,11 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}}$$

kde:

$T_g$  - priemerná teplota Vernonovho guľového teplomeru;  $T_g = 48,7 \text{ }^\circ\text{C}$ ;

$T_{sk}$  - priemerná kožná teplota [ $^\circ\text{C}$ ]; ak platí, že  $T_g \in <10 - 50 \text{ }^\circ\text{C}>$  potom sa vypočíta podľa rovnice:

$$T_{sk} = 0,2 \cdot T_g + 28 \quad , \quad (3)$$

$$T_{sk} = 0,2 \cdot 48,7 + 28 = 37,7 \text{ }^\circ\text{C}$$

$R_{t,wa}$  - tepelný odpor odevu, hodnota  $R_{t,wa} = 0,18 [\text{W}^{-1} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K}]$  sa určí odčítaním z grafu na obr. 2 a to pre danú rýchlosť vzduchu  $v = 0,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  a určený počet štandardných vrstiev odevu kováča pri práci  $n_{t,wa} = 1,0$ .

**Respiračné teplo sa vypočíta podľa rovnice:**

$$q_{rs} = 1,667 \cdot 10^{-5} \cdot A_D^{-1} \cdot V \cdot \rho_a \cdot [c_{pa} \cdot (T_a - T_c) + \Delta h_w \cdot (10^{-2} \cdot \varphi \cdot (\chi_{a,max} - \chi_{a,ex,max}))] \quad , \quad (4)$$

$$q_{rs} = 1,667 \cdot 10^{-5} \cdot 1,9^{-1} \cdot 24,1 \cdot 1,129 \cdot [1000 \cdot (33 - 37) + 2,414 \cdot 10^6 \cdot (10^{-2} \cdot 41 \cdot /32,44 \cdot 10^{-3} - 41 \cdot 10^{-3}/)] = \underline{-2,977 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}}$$

kde:

$V$  - minútová ventilácia vypočíta sa podľa rovnice:

$$V = 0,05 \cdot E_w + 5 \quad , \quad (5)$$

kde:

$E_w$  - minútový energetický výdaj kováča, ktorý pri kovaní zápusťkového výkovku činí 22,9 kJ.min<sup>-1</sup>. Stanovil sa z podielu vypočítanej spotreby energie kováča 4351 kJ a času kovania zápusťkových výkovkov t.j. 190 min. Po prepočte jednotiek zodpovedá  $E_w = 382$  W.

*Poznámka:* Premena jednotiek: 1kJ = 2,78 .10<sup>-4</sup> kWh;

$$V = 0,05 \cdot 382 + 5 = \underline{24,1 \text{ l.min}^{-1}}$$

$\rho_a$  - hustota vzduchu, určí sa v závislosti od známej hodnoty  $T_a$  pomocou tabuľky odbornej literatúry [2],  $\rho_a = 1,129 \text{ kg.m}^{-3}$ ;

$c_{pa}$  - merné teplo suchého vzduchu,  $c_{pa} = 1000 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ;

$T_a$  - priemerná teplota vzduchu;  $T_a = 33 \text{ }^\circ\text{C}$ ;

$T_c$  - teplota telesného jadra,  $T_c = 37 \text{ }^\circ\text{C}$ ;

$\Delta h_w$  - výparné teplo vody,  $\Delta h_w = 2,414 \cdot 10^6 \text{ J.kg}^{-1}$  pri  $T_c = 37 \text{ }^\circ\text{C}$ ;

$\varphi$  - priemerná hodnota relatívnej vlhkosti vzduchu;  $\varphi = 41\%$ ;

$\chi_{a,max}$  - merná vlhkosť nasýteného atmosférického vzduchu, ktorá sa určuje v závislosti od  $T_a$  z tabuľky [2],  $\chi_{a,max} = 32,44 \cdot 10^{-3} \text{ kg.kg}^{-1}$ ;

$\chi_{a,ex,max}$  - merná vlhkosť nasýteného vydychovaného vzduchu, telesnej teplote  $T_c = 37 \text{ }^\circ\text{C}$  zodpovedá  $\chi_{a,ex,max} = 41 \cdot 10^{-3} \text{ kg.kg}^{-1}$ ;

**Maximálne evaporačné teplo sa vypočíta podľa rovnice:**

$$q_{ev,max} = 0,00913 \cdot R_{t,wa}^{-1} \cdot [10^{-2} \cdot \varphi \cdot (p_{w,sat} - p_{w,sat,sk})] \quad , \quad (6)$$

$$q_{ev,max} = 0,00913 \cdot 0,18^{-1} \cdot [10^{-2} \cdot 41 \cdot (49,57 \cdot 10^2 - 65,26 \cdot 10^2)] = \underline{-32,63 \text{ W.m}^{-2}}$$

kde:

$p_{w,sat}$  - tlak vodných pár nasýteného vzduchu pri teplote  $T_a$ ; určí sa z tabuľky odbornej literatúry [2],  $p_{w,sat} = 49,57 \cdot 10^2$  [Pa];

$p_{w,sat,sk}$  - tlak vodných pár nasýteného vzduchu pri teplote  $T_{sk} = 37,7 \text{ }^\circ\text{C}$ , stanoví sa podľa [2],  $p_{w,sat,sk} = 65,26 \cdot 10^2$  [Pa].

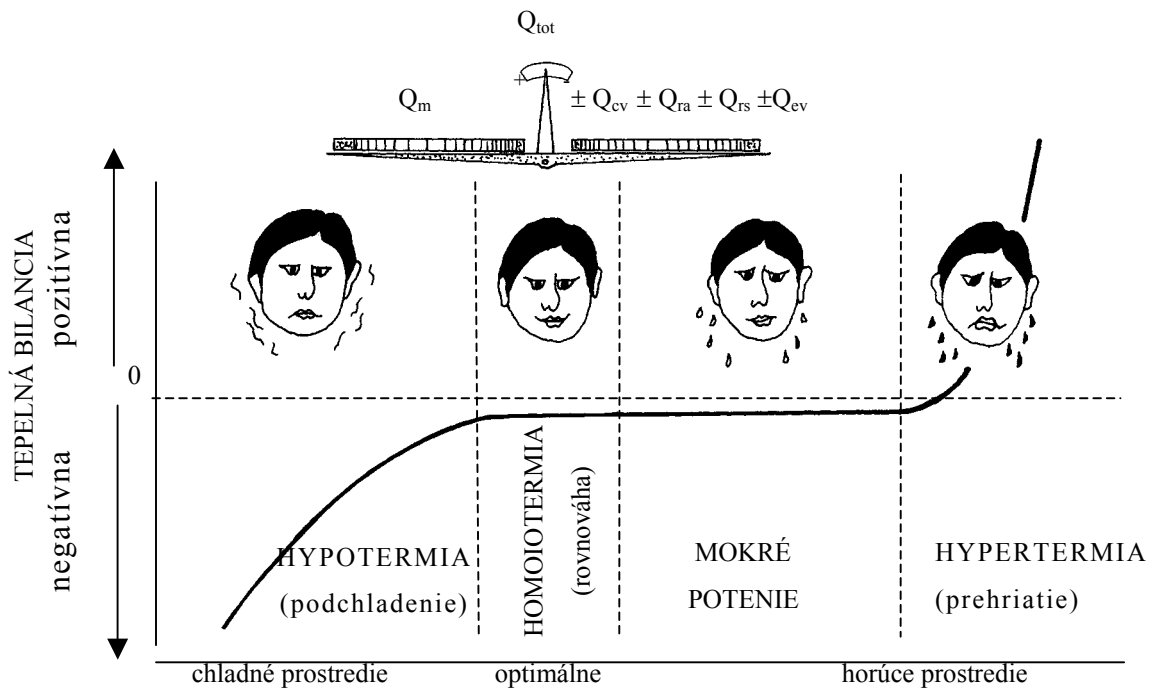
Pri výpočtoch dielčích rovníc na určenie klimatického tepla boli použité odborné pramene [2], [3], [4]. Výslednú hodnotu klimatického tepla dostaneme dosadením vypočítaných veličín do rovnice (1):

$$q_{cl} = q_{cr} + q_{rs} + q_{ev,max} \quad ,$$

$$q_{cl} = 61,11 - 2,977 - 32,63 = \underline{25,5 \text{ W.m}^{-2}} \quad .$$

## Tepelná bilancia kováča

Pod pojmom tepelná bilancia rozumieme rovnováhu tepelných tokov medzi teplokrvným organizmom (človekom) a okolím. Ak termoregulačné mechanizmy stačia udržať tepelnú rovnováhu potom je organizmus v stave *homoiotermie* (rovnovážny stav). Keď dochádza k akumulácii tepla v tele, lebo prínos tepla do tela je vyšší než jeho straty, vtedy organizmus sa dostáva do stavu *hypertermie* (prehriatie). Opačný stav tepelnej bilancie t.j. *hypotermia* (podchladenie) nastáva, ak sú straty tepla do okolia väčšie než jeho produkcia v tele [3]. Horeuvedené tepelné stavy ľudského organizmu názorne dokumentuje obr. 3.



**Obr. 3** Stavby tepelnej bilancie ľudského organizmu

Tepelný stav organizmu kováča je určený rovnicou tepelnej bilancie, ktorú pre hygienickú prax nasledovne upravil Hubač [2]:

$$q_{tot} = q_m + q_{cl} \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}] \quad , \quad (7)$$

$q_{tot}$  – totálne teplo; je mierou celkového tepelného zaťaženia, podľa ktorého možno tepelný stav človeka rozdeliť na tri zóny:

- $q_{tot} < 0$  zóna hypotermie (podchladenie),
- $q_{tot} = 0$  zóna homoiotermie (rovnovážny stav),
- $q_{tot} > 0$  zóna hypertermie (prehriatie),
- $q_m$  - metabolické teplo.

Tepelný tok produkovaný metabolizmom človeka sa vypočíta:

$$q_m = q_{m,R} + q_{m,W} \quad [\text{W}\cdot\text{m}^{-2}], \quad (8)$$

kde :

$q_{m,R}$  - pokojové metabolické teplo,  
 $q_{m,W}$  - pracovné metabolické teplo.

Pre bazálny metabolizmus štandardného muža (t.j. vek - 35 rokov, výška - 175 cm, hmotnosť - 75 kg, povrch tela  $A_D = 1,9 \text{ m}^2$  a energetický výdaj  $E_R = 95 \text{ W}$ ) sa pokojové metabolické teplo  $q_{m,R}$  vypočíta ako pomer  $E_R / A_D = 50 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ .

Pracovné metabolické teplo  $q_{m,W}$  produkované pri svalovej činnosti sa vypočíta z energetického výdaja  $E_W$  pracovníka za časovú jednotku pri mechanickej účinnosti  $\eta = 10\%$  (t.j. 0,9 pracovného výdaja energie sa premení na teplo).

$$q_{m,w} = \frac{0,9 \cdot E_W}{A_D} \quad [\text{W}\cdot\text{m}^{-2}], \quad (9)$$

kde:

$E_w = 382 \text{ W}$ .

Metabolické teplo pre štandardnú osobu (muža) vyjadrené v prepočte na jednotku povrchu tela  $A_D [\text{m}^2]$  možno určiť:

$$q_m = 50 + \frac{0,9 \cdot E_W}{A_D} = 50 + 0,474 \cdot 382 = 231 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2} .$$

Totálne teplo je dané súčtom metabolického a klimatického tepla podľa rovnice (7):

$$q_{tot} = 231 + 25,5 = 256,5 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2} ,$$

$q_{tot} = 256,5 > 0 \Rightarrow$  stav hypertermie (prehriatie).

Vypočítaná hodnota totálneho tepla,  $q_{tot} > 0$ , jasne dokazuje stav hypertermie, t.j. stav prehriatia organizmu kováča pri kovaní zápuškových výkrokov na pracovisku kovacieho lisu LZK 2500.

### Hodnotenie tepelného zaťaženia kováča

Ľudský organizmus musí vynaložiť na zvládnutie každého zaťaženia (aj tepelného) isté úsilie, ktoré sa nazýva námaha. Keďže sa námaha nedá priamo merať a vyhodnocovať, preto sa pre účely hodnotenia zaťaženia používa *stupeň námahy*  $G_{dif}$  (degree of the difficulty) ako nepriamy ukazovateľ namáhania organizmu. Dovoľený stupeň námahy  $G_{dif}$  sa vzťahuje na dĺžku pracovnej zmeny, resp. na čas nepretržitej práce. Ak  $G_{dif,sh} \leq 1$ , potom celozmenová námaha je v medziach hygienických noriem. Ak  $G_{dif,sh} > 1$ , hodnota ukazuje, koľkokrát je prípustná hranica námahy za zmenu prekročená [4].

Pri hodnotení tepelného zaťaženia kováča *stupeň námahy*  $G_{dif}$  pri hypertermii bude závisieť od totálneho tepla  $q_{tot}$  a od času expozície (pôsobenia tepla)  $t_{exp}$ . Možno ho vyjadriť vzťahom:

$$G_{dif} = 0,075 \cdot \Delta Q_{dif} \cdot (t_{exp} + 8,8) \quad , \quad (10)$$

kde:

$t_{exp}$  - čas expozície t.j. čas kovania do prestávky 190 min.,

$\Delta Q_{dif}$  - je prírastok koeficienta obtiažnosti pri tepelnom zaťažení pripadajúci na totálne teplo  $q_{tot}$ ; možno ho vypočítať zo vzťahu podľa [5]:

$$\Delta Q_{dif} = \frac{q_{tot}}{q_{cl,lic} - q_{cl,z}} = \frac{256,5}{300} = 0,85 \quad , \quad (11)$$

$q_{cl,z}$  - základná hodnota klimatického tepla nadobúda podľa prameňov [5,6] hodnotu  $q_{cl,z} = -350 \text{ W.m}^{-2}$ ,

$q_{cl,lic}$  - prípustné klimatické teplo, kedy ešte človek dosahuje hornú hranicu homoiotermie, t.j.  $q_{cl,lic} = -50 \text{ W.m}^{-2}$ .

$$G_{dif} = 0,075 \cdot 0,85 \cdot (190 + 8,8) = 12,7.$$

Z vypočítanej hodnoty stupňa námahy  $G_{dif}$  vyplýva 12,7 – násobné prekročenie tepelného zaťaženia organizmu kováča pri kovaní zápusťkových výkrokov na pracovisku LZK 2500.

## Záver

Zisťovanie veľkosti tepelnej záťaže pracovníkov pri výkone pracovnej činnosti je dôležité najmä z hľadiska znižovania chorobnosti, úrazovosti, zmätkovitosti či fluktuácie pracovníkov. Daný príspevok poukazuje na aktuálny stav hypertermie (prehriatie) organizmu v tvárniacich prevádzkach, ktorý bol zistený u kováča na pracovisku kovacieho lisu LZK 2500. Vypočítaná hodnota stupňa námahy  $G_{dif}$  je neprípustne vysoká a jasne dokazuje škodlivý účinok neúnosnej mikroklímy na pracovníka počas pracovnej zmeny. Vo výrobnnej praxi túto hodnotu je možné korigovať cestou zníženia času expozície  $t_{exp}$  (zohľadnenie striedania pracovníkov, času prestávok a technologicky nutných časov atď.).

### Zoznam bibliografických odkazov:

- [1] JOKL, M. *Optimalizace fyzikálních podmínek pro práci člověka*. Praha: Práce, 1984.
- [2] HUBAČ, M. Hodnotenie tepelného a chladového zaťaženia. Závěrečná správa. Bratislava: VÚPL, 1984.
- [3] JOKL, M. Energetické úspory verus zdravie. In *Bezpečná práca*, 1998, č.2, s. 9-14.
- [4] RAISKUP, J. CH., HUBAČ, M. *Profesiografická analýza práce. Závěrečná správa*. Bratislava: VÚPL, 1980.
- [5] KAPUSTOVÁ, M. *Ekologizácia pracovného prostredia v strojárskych prevádzkach cestou hodnotenia komplexného zaťaženia. Dizertačná práca*. Bratislava: MTF STU, 2002.
- [6] LUŠTINEC, K. *Fyziologicky zdůvodnené optimální a přípustné hodnoty klimatických faktorů*. Praha: ČSVTS, 1981.