

# APLIKÁCIA MATEMATICKÝCH METÓD PRI EKOLOGIZÁCI PRACOVNÉHO PROSTREDIA V STROJÁRSKYCH PREVÁDZKACH

## APPLICATION OF MATHEMATICAL METHODS BY ECOLOGISATION OF WORKING ENVIRONMENT IN ENGINEERING OPERATIONS

Mária KAPUSTOVÁ

*Autor: Ing. Kapustová Mária, PhD.*

*Pracovisko: Katedra tvárnenia, Materiálovotechnologická fakulta MtF*

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

*Tel: 00421 335521105 E – mail: [mkapust@mtf.stuba.sk](mailto:mkapust@mtf.stuba.sk)*

### Abstract

*Working environment in engineering operations are often characterised by a complex of negative factors, which at every moment load human body during the active work with various intensity. Determination of intensity of work load is important for creation of working comfort, which closely connects to worker's contentment. At present, it is used a principle of partial evaluation of work-load. This contribution describes an original mathematical model for determination of total effect of present factors on worker during working activity.*

*Pracovné prostredie v strojárskych prevádzkach často charakterizuje súbor negatívnych faktorov, ktoré v každom okamihu rôznou intenzitou zatažujú ľudský organizmus počas aktívnej práce. Zisťovanie veľkosti pracovného zaťaženia je dôležité pre tvorbu pracovného komfortu, ktorý úzko súvisí so spokojnosťou pracovníka. V súčasnosti je zaužívaný princíp parciálneho hodnotenia pracovného zaťaženia. Príspevok popisuje originálny matematický model na určenie sumárneho účinku prítomných faktorov pracovníka počas práce.*

### Key words

*mathematical methods, ecology, working environment, machining production, working load, summary load, working place*

*metódy matematické, ekologizácia, prostredie pracovné, výroba strojársk, zaťaženie pracovné, zaťaženie komplexné, pracovisko*

### Úvod

Vyhovujúca kultúra práce a pracovného prostredia je jedným zo základných predpokladov zdravého rozvoja moderného človeka a hlavne zvyšovania jeho životnej úrovne. 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 na pracoviskách v strojárskych podnikoch, kde pracovné aktivity spôsobujú zamestnancom neúnosné zaťaženie ich organizmu počas pracovnej doby.

Dynamický rozvoj trhovej ekonomiky a silné konkurenčné prostredie núti podnikateľské subjekty stále viac, najmä v oblasti strojárstva, analyzovať a následne optimalizovať pracovné podmienky a tak vytvárať na pracoviskách komfort pri práci.

### Všeobecné princípy hodnotenia pracovného zaťaženia

Pracovné prostredie charakterizuje súbor negatívnych faktorov, ktoré v každom okamihu rôznou intenzitou pôsobia na organizmus človeka počas práce. Pracovné zaťaženie predstavuje teda celkový súhrn vonkajších podmienok a požiadaviek v pracovnom systéme, ktoré rušivo pôsobia na zdravotný stav človeka. Na hodnotenie daného zaťaženia sa najčastejšie využíva nepriama veličina - faktor obtiažnosti  $Q_{dif}$  (factor of the difficulty), ktorá vyjadruje koľkokrát je skutočné zaťaženie väčšie ako prípustné zaťaženie [2].

$$Q_{dif} = \frac{Z^r}{Z^p} \quad , \quad (1)$$

kde  $Z^r$  - hodnota reálneho zaťaženia,  $Z^p$  - hodnota prípustného zaťaženia.

**Poznámka:** Každé pracovné zaťaženie má svoje hodnotiace kritérium pre výpočet koeficientu obtiažnosti napr. hodnotiace kritérium hlukového zaťaženia je hladina akustického tlaku  $L_A$ [dB], tepelného zaťaženia je hustota klimatického tepelného toku  $q_{cl}$  [ $W \cdot m^{-2}$ ], fyzicko-dynamického zaťaženia je výdaj energie  $E_w$  [ $KJ \cdot min^{-1}$ ] atď.

Analýza súčasného stavu hodnotenia pracovného zaťaženia zamestnancov poukazuje na stav, že v praxi prevláda spôsob parciálneho hodnotenia zaťaženia pri práci. Znamená to, že sa účinok každého pôsobiaceho faktora na organizmus pracovníka počas jeho pracovnej činnosti vyhodnocuje samostatne, nezávisle na ostatných prítomných faktorov prostredia. Súčasný spôsob hodnotenia nedokáže zohľadniť vzájomný synergizmus t.j. spolupôsobenie všetkých prítomných negatívnych faktorov pracovného procesu na organizmus pracovníkov.

Pre tvorbu optimálnych pracovných podmienok a komfortu pri práci na pracovisku je veľmi dôležité poznať práve mieru okamžitej celkovej pracovnej záťaže na ľudský organizmus.

### Matematický model na určenie komplexného zaťaženia

Pomocou metód matematickej štatistiky bol vypracovaný originálny matematický model, ktorý umožňuje vyjadriť sumárny účinok negatívnych faktorov prostredia a vyhodnotiť komplexné zaťaženie ľudského organizmu počas sledovanej pracovnej doby [3].

Každé pracovné prostredie vplýva na človeka počas pracovnej zmeny viacerými zaťažujúcimi faktormi. Celková záťaž  $Z$  je teda výslednicou pôsobenia jednotlivých zaťažujúcich faktorov  $Z_j$ ,  $j = 1, 2, \dots, n$ . Je všeobecne známe, že jednotlivé zaťažujúce faktory sa na celkovom zažení podieľajú rôznou váhou, mierou. Možno preto predpokladať, že zaťažujúci faktor  $Z_1$  sa na celkovej záťaži podieľa mierou  $\alpha_1$ , zaťažujúci faktor  $Z_2$  mierou  $\alpha_2$ , atď., až zaťažujúci faktor  $Z_n$  mierou  $\alpha_n$ , pričom musí platiť:

$$\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_n = 1 \quad \alpha_j \in (0 \text{ až } 1) \quad (2)$$

Hodnoty koeficientov  $\alpha_j$ , kde  $j = 1, 2, \dots, n$  sa nazývajú koeficienty závažnosti vplyvu jednotlivých zaťažujúcich faktorov  $Z_j$  pracovného prostredia. Charakterizujú mieru zaťaženia na ľudský organizmus, pričom hodnoty  $\alpha_j$  blízke 0 vyjadrujú skutočnosť, že zaťažujúci faktor  $Z_j$  má nevýrazný vplyv, kým hodnoty  $\alpha_j$  blízke 1 znamenajú, že vplyv zaťažujúceho faktora  $Z_j$  je veľmi výrazný vzhľadom k ostatným zaťažujúcim faktorom. Majú kľúčový význam pre výpočet stupňa okamžitého komplexného zaťaženia (ďalej bude presne definovaný), ktorý výrazným podielom kvantitatívne charakterizuje pracovné prostredie. Konkrétne hodnoty jednotlivých koeficientov závažnosti  $\alpha_j$  sa určujú pomocou bodovej metódy, ktorá je založená na využití stupnice bodov 0 - 10 a jej aplikácii pre každý druh dielčieho zaťaženia  $Z_j$  a na jednotlivé orgány ľudského organizmu  $T_i$  pri konkrétnej pracovnej činnosti [4].

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  $T_1, T_2, \dots, T_m$ ,  $m, n \in \mathbb{N}$  podľa nasledujúcej schémy: pôsobenie zaťažujúceho faktora  $Z_1$  na telový orgán  $T_1$  je pri dodržaní a rešpektovaní vyššie uvedených noriem a predpisov ohodnotené bodovou hodnotou  $b_{11}$ , na telový orgán  $T_2$  bodovou hodnotou  $b_{21}$ , ..., na telový orgán  $T_m$  bodovou hodnotou  $b_{m1}$ .

#### PRINCÍP BODOVEJ METÓDY

Tabuľka 1

<i>Zaťaženie</i> <i>Telový orgán</i>	$Z_1$	$Z_2$	$Z_3$	...	$Z_n$
$T_1$	$b_{11}$	$b_{12}$	$b_{13}$	...	$b_{1n}$
$T_2$	$b_{21}$	$b_{22}$	$b_{23}$	...	$b_{2n}$
$T_3$	$b_{31}$	$b_{32}$	$b_{33}$	...	$b_{3n}$
...	...	...	...	...	...
$T_m$	$b_{m1}$	$b_{m2}$	$b_{m3}$	...	$b_{mn}$
$\sum_{i=1}^m b_{ij}$	$\sum_{i=1}^m b_{i1}$	$\sum_{i=1}^m b_{i2}$	$\sum_{i=1}^m b_{i3}$	...	$\sum_{i=1}^m b_{in}$

$$\alpha_j = \frac{\sum_{i=1}^m b_{ij}}{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m b_{ij}} \quad \alpha_1 = \frac{\sum_{i=1}^m b_{i1}}{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m b_{ij}} \quad \alpha_2 = \frac{\sum_{i=1}^m b_{i2}}{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m b_{ij}} \quad \alpha_3 = \frac{\sum_{i=1}^m b_{i3}}{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m b_{ij}} \quad \dots \quad \alpha_n = \frac{\sum_{i=1}^m b_{in}}{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m b_{ij}}$$

Analogicky pôsobenie zaťažujúceho faktora  $Z_2$  na telový orgán  $T_1$  je ohodnotené bodovou hodnotou  $b_{12}$ , na telový orgán  $T_2$  bodovou hodnotou  $b_{22}$ , ..., na telový orgán  $T_m$  bodovou hodnotou  $b_{m2}$ . Takto sa získa matica  $B = (b_{ij})$  typu  $m \times n$ , ktorej prvok  $b_{ij}$  predstavuje priradenú bodovú hodnotu záťaže  $Z_j$  na telový orgán  $T_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n$ .

Princíp popísanej bodovej metódy ako aj určovanie koeficientov závažnosti  $\alpha_j$  pre jednotlivé zaťažujúce faktory daného pracovného prostredia názorne ilustruje tab.1.

Pre každú pracovnú činnosť sú pre jednotlivé zaťažujúce faktory  $Z_j$  z hygienických noriem známe hodnoty prípustných zaťažení, označujú sa tieto hodnoty znakom  $Z_j^p$ , v každom okamihu pracovnej činnosti možno určiť skutočné - reálne zaťaženie, označujú sa tieto hodnoty znakom  $Z_j^r$ . Pomocou týchto hodnôt a pomocou vypočítaných hodnôt váhových koeficientov  $\alpha_j$  sa definuje stupeň okamžitého komplexného zaťaženia  $q_c$  vzťahom:

$$q_c = \alpha_1 \frac{Z_1^r}{Z_1^p} + \alpha_2 \frac{Z_2^r}{Z_2^p} + \dots + \alpha_n \frac{Z_n^r}{Z_n^p} = \sum_{j=1}^n \alpha_j \frac{Z_j^r}{Z_j^p} \quad (3)$$

kde výraz  $\alpha_j \frac{Z_j^r}{Z_j^p}$  definuje stupeň reálneho zaťaženia ľudského organizmu zaťažujúcim faktorom  $Z_j$  z celkového zaťaženia všetkými zaťažujúcimi faktormi  $Z_1, Z_2, \dots, Z_n$ .

Popísaný model na určenie komplexného zaťaženia organizmu pracovníka počas nepretržitej práce umožňuje použiť pri bodovej metóde na určovanie koeficientov závažnosti tak spôsob objektívneho ako aj subjektívneho hodnotenia. Pridelovanie bodov objektívnym hodnotením vplyvu pôsobenia faktora na ľudský organizmus vyžaduje veľmi úzku spoluprácu odborníkov zo širokej oblasti medicíny, ergonómie, technických vied, psychológie, atď., ktorí ľudskú prácu a jej účinky na zdravotný stav odborne posudzujú z najrozličnejších hľadísk.

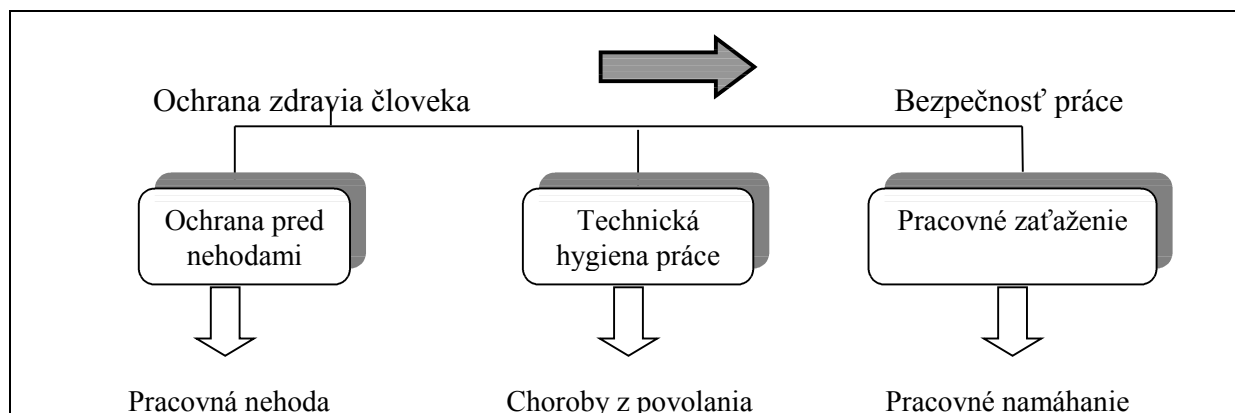
Tu býva časovo veľmi náročné zosúladenie čiastkových výsledkov vedeckých disciplín pre konečný cieľ komplexného hodnotenia. Výhodu rýchleho spracovania získaných údajov má síce subjektívny spôsob hodnotenia samotnými pracovníkmi, ale u tohto spôsobu spoľahlivosť resp. dôveryhodnosť získaných údajov závisí predovšetkým na ochote či neochote dotazovaných spolupracovať.

### **Zhodnotenie významu zisťovania komplexného zaťaženia pre bezpečnú prácu**

V pracovnom systéme človek – stroj – environment je nutné venovať človeku, ako najkritickejšej a najslabšej zložke celého systému, zvýšenú starostlivosť a vytvárať mu podmienky na zabezpečenie pracovnej spokojnosti. Tvorba optimálnych podmienok práce na pracovisku je hlavným faktorom stabilizácie pracovných síl a rastu pracovnej výkonnosti.

Sledovanie pracovného komfortu, či úrovne bezpečnosti a ochrany zdravia zamestnancov pri práci, má význam pre úpravu a navrhovanie pracovných podmienok na existujúcich prípadne novovytvorených pracoviskách v strojárskych prevádzkach. Na potrebu hodnotenia veľkosti pracovného zaťaženia pre oblasť bezpečnosti a ochrany zdravia pri práci poukazuje Lehder na obr.1 [5,6].

Vypracovaný matematický model na zisťovanie komplexného zaťaženia ľudského organizmu prináša nový spôsob hodnotenia pracovnej záťaže počas sledovanej doby. Model je univerzálny, má široké uplatnenie v praxi a môže sa použiť pre mnohé profesie výrobnjej sféry.



**Obr. 1** Čiastkové oblasti ochrany zdravia podľa Lehdera [6]

Výstupný efekt modelu predstavujú grafické priebehy komplexného zaťaženia organizmu zamestnancov, ktoré sú dôležitým podkladovým materiálom pre posúdenie komfortu prípadne diskomfortu na skúmanom pracovisku.

Tento nový a pritom humánný spôsob hodnotenia kvality pracovného prostredia v strojárskych prevádzkach určite ocení súčasná podnikateľská prax, nakoľko matematický model na určenie komplexného zaťaženia zaujal medzinárodnú jury na 3. ročníku medzinárodnej súťaže EKO 2000 v Košiciach, kde získal striebornú medailu a zvláštnu cenu [7].

Aktuálne trendy v posudzovaní kvality pracovného prostredia pomocou zisťovania okamžitých komplexných zaťažení počas pracovnej doby uvítajú aj odborníci pre tvorbu správneho režimu práce a odpočinku na pracovisku.



#### Literatúra:

- [1] GALGÓCZY, E. Podnetný projekt na zaistenie bezpečnejšieho pracoviska. In *Bezpečná práca*, 1995, č. 2, s. 91.
- [2] RAISKUP, J. CH.- HUBAČ, M. *Profesiografická analýza práce*. Bratislava: VÚPL, 1980.
- [3] TRUBENOVÁ, J. Matematické metódy a modelovanie v environmentalistike. In *Modernizace vysokoškolské výuky technických predmetů*. Hradec Králové: PdF VŠP, 1998, s. 276- 278.
- [4] ŠKRÁŠEK, J. - TICHÝ, Z. *Základy aplikovanej matematiky*. Praha: SNTL, 1986.
- [5] CIKRT, M. - MÁLEK, B. *Pracovní lékařství. 1.díl. Hygiena práce*. Praha: ČSPL, 1995.
- [6] LEHDER, G. *Pracovné prostredie, hygiena práce a ergonómia*. Projekt: TEMPUS-PHARE IB JEP 13406-98. Modul 4.6. Košice: TU, 2000.
- [7] KAPUSTOVÁ, M.- POLÁK, K.- TRUBENOVÁ, J. *Ekologizácia pracovného prostredia v strojárskych prevádzkach cestou hodnotenia komplexného zaťaženia*. Projekt. 3.medzinárodná ekologická súťaž EKO 2000. Košice: 2000, s. 25.