


# Nástroj modernej ergonómie pre meranie psychofyzilogických funkcií človeka

 21.11.2016

## TOOL OF MODERN ERGONOMICS FOR MEASURE A PSYCHOPHYSIOLOGICAL HUMAN FUNCTIONS

Miroslava Kramárová<sup>1</sup>, Martin Gašo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Katedra priemyselného inžinierstva, Strojnícka fakulta, Žilinská univerzita v Žiline, Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina, [Miroslava.Kramarova@fstroj.uniza.sk](mailto:Miroslava.Kramarova@fstroj.uniza.sk)*

<sup>2</sup>*Katedra priemyselného inžinierstva, Strojnícka fakulta, Žilinská univerzita v Žiline, Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina, [Martin.Gaso@fstroj.uniza.sk](mailto:Martin.Gaso@fstroj.uniza.sk)*

ergonomie

pracovní zátěž

fyzilogická zátěž

měření

senzory

nástroje

### Abstrakt

Článok obsahuje informácie o systéme CAPTIV. Toto technické riešenie slúži pre efektívny a kvalitný zber dát s cieľom analýzy psychofyzilogického zaťaženia pracovníka v pracovnom procese. V článku je možné nájsť najvýznamnejších fyzilogických charakteristík, ktoré je potrebné analyzovať a eliminovať pre zníženie psychofyzilogického zaťaženia vplývajúceho na človeka pri danej činnosti. Tiež celého systému CAPTIV s charakteristikami jednotlivých senzorov využívaných v rámci zberu dát. Následne sú popísané oblasti, v ktorých je možné sensorický systém využiť. V rámci pilotného testovania systému CAPTIV už boli zozbierané mnohé výstupy a skúsenosti.

**Kľúčové slová:** Ergonómia, sensorický systém, psychofyzilogické funkcie, výskum

### Abstract

The article contains information about the system CAPTIV. This technical resolution allows effective and quality data collection for analysing psychophysiological load of humans at work. In the article is possible find description of the most important physiological characteristics, which can be analysed and eliminated for reduction of psychophysiological load which effect on workers during their work. Also we can find in this article description of the whole system CAPTIV with detailed characteristics of all sensors which we can use for collecting data. In next step are describe fields in which we can used these sensors. During pilot testing of this system CAPTIV were collecting a lot of outputs and obtained experiences.

**Keywords:** Ergonomics, sensory system, psychophysiological functions, research

## Úvod do problematiky

Ergonómia je vedná disciplína zameraná na vytváranie optimálnych podmienok pre výkon pracovníka a zabezpečenie zachovania jeho zdravia. Okrem týchto faktorov má využívanie ergonomických zásad pozitívny vplyv aj na ekonomické ukazovatele. Ergonómia je priamo prepojená s detailným projektovaním pracovísk. Pre realizáciu hodnotení a analýz je nevyhnutný kvalitný a efektívny systém zberu dát. [1]

Senzorický systém, ktorý v tomto príspevku ujeme, je moderná technológia, kde sú snímané údaje prepojené s vizuálnym pozorovaním, pričom prenos dát je bezkáblový. S využitím hardwaru, veľkého množstva senzorov a softvéru, ktorého výstupmi sú grafické štatistické dáta, ktoré v reálnom čase, priamo na mieste procesu informujú o priebehu záťaže človeka, systém poskytuje široké využitie pre ergonómiu, bezpečnosť pri práci, výskum, interakciu človeka a stroja, hodnotenie zdravia pri práci, analýzy fyzickej a psychickej záťaže. Toto všetko povyšuje tento senzorický systém na nástroj modernej ergonómie. Výsledkom meraní sú informácie o záťaži srdcového svalu, dýchacieho ústrojenstva, svalovej záťaže, kožnej vodivosti, teploty kože, či prostredia a navyše nám môže poskytovať informácie o polohách kĺbov, pracovnom prostredí (prašnosť, osvetlenie, vibrácie, hluk), sledovanie charakteru pohybov pracovníka alebo prepojenie na rôzne trackovacie zariadenia. Snímané údaje sú prepojené s vizuálnym kontaktom, čo je významné pre rýchle spracovanie dát a ich využitie, napr. pri konfrontácií s limitmi v našej platnej legislatíve[2, 3].

## Meranie psychofyziologických funkcií

Meranie psychofyziologických funkcií predstavuje objektívny pohľad na činnosť nervového systému, hlavne jeho autonómnej časti, ktorá je najviac ovplyvnená záťažou a stresom. Tento stres aktivuje sympaktickú vetvu autonómneho nervového systému, čo dlhodobo vedie k podráždenosti, zrýchleniu a splytčeniu dýchania, problémom s trávením, napätiu svalov, bolestiam hlavy, únave, poteniu rúk, chladným končatinám (nedokrovanie končatín). V pracovnom procese sa to prejavuje podráždením, zhoršením koncentrácie, zvýšenou chybovosťou, sklonom k nehodám a úrazom, zníženiu produktivity práce. S využitím senzorického systému CAPTIV, je možné účinok zaťaženia na organizmus človeka v pracovnom procese odmerať a po identifikácii príčin a ich eliminácií vplyvom ergonomických opatrení minimalizovať [4].

## Komponentný model CAPTIV

Systém CAPTIV je modulárne riešenie pre nahrávanie činnosti pracovníka v procese so súčasnou synchronizáciou realizovaného videa so senzormi prostredníctvom T-log. Video môže byť realizované digitálnou alebo analogickou kamerou alebo tiež prostredníctvom web kamery (synchronizácia do 4 záznamov súčasne). Zozbierané dáta zo senzorov umiestnených na tele pracovníka nám následne slúžia ako vstupy pre realizáciu analýz v prostredí softvéru CAPTIV L7000 alebo aj ako vstupy pre realizáciu kódovania v prostredí softvéru CAPTIV L2100 [3, 5].

Softvér nám poskytuje grafické vyhodnotenie zozbieraných dát z jednotlivých senzorov, ktorých výsledky sú tiež synchronizované a je tak možné jednoduché pozorovanie zmien sledovaných charakteristík v nadväznosti na grafické výsledky iných senzorov. Výstupom z takéhoto softvéru je report, ktorý nám poskytuje informácie o ukazovateľoch sledovaných pri vybranej pracovnej činnosti [3].



**Obr. 1: Proces premeny zozbieraných vstupov na výstupy v systéme CAPTIV [6]**

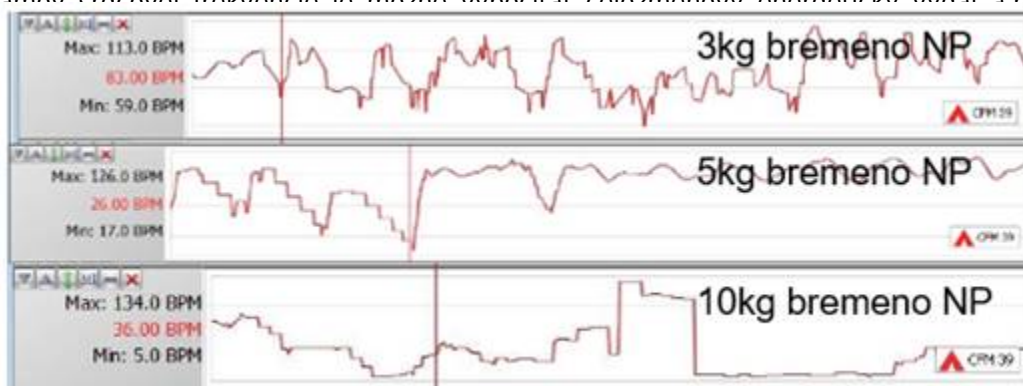
### **T- Sens HRM - (meranie frekvencie srdca)**

Ide o skúmanie zaťaženia kardiovaskulárneho aparátu človeka v pracovnom procese (priamo na pracovisku, alebo v laboratórnych podmienkach), v dôsledku zaťaženia pracovnou činnosťou. Využíva sa na merania veľkosti fyzickej záťaže pri práci, meranie výkonu, analýz odolnosti a iné. Jednotkou merania rýchlosti srdca sú BPM (počet úderov za minútu), ktoré sú základným ukazovateľom telesnej námahy alebo psychickej záťaže. Čím je vyššia spotreba kyslíka, tým sa viac zvyšuje srdcová činnosť. Zdravé srdce sa vyznačuje prirodzenou variabilitou v tepe, ktorý je veľmi dôležitý pre zdravé srdce. Pri zmene emočného stavu sa mení srdcový rytmus. Negatívne emócie spôsobujú nepravidelnosti v krivke a naopak pozitívne reakcie vyvolávajú pravidelný rytmus. Senzor sa umiestňuje priamo na pokožku človeka do miesta mečovitého výbežku [3, 7].



**Obr. 2: T-Sens HRM [3]**

S využitím záznamov srdcovej frekvencie je možné vypočítať celozmenový energetický údaj a porovnať výstupy s prípustnými hodnotami.



**Obr. 3: Porovnanie maximálneho počtu BPM pri rôznych hmotnostiach bremena v nefyziologických pracovných**

### **T-Sens Temperature - (meranie teploty kože človeka alebo teploty okolitého prostredia)**

Keďže na začiatkoch uvoľnenia sa pocity tepla objavujú v rukách a predlaktí je najvhodnejšie senzor za účelom meranie teploty kože umiestniť práve tu. Využíva sa pre meranie teploty prostredia pri činnosti pracovníka, pre porovnanie vplyvu teploty prostredia na vitálne funkcie človeka, pre určenie obtiažnosti práce a iné. Teplotou na pracovisku je potrebné sa zaoberať z dôvodu, že pri záťaži pracovníka teplom môže dôjsť k poklesu výkonnosti, zvýšenej únave, malátnosti a mnohým iným faktorom, ktoré negatívne ovplyvňujú produktivitu práce. Jednotkami teploty sú stupne Celzia alebo Fahrenheita [3, 8].



**Obr. 4: T-Sens Temperature [3]**

Každá práca a obzvlášť práca, kde človek vykonáva manuálne činnosti je spojená s vynakladaním energie. Pri takýchto činnostiach je daný jednotlivec pochopiteľne vystavovaný fyzickej záťaži, ktorá vedie k vytváraniu tepla jeho organizmom. Fyzická záťaž vedie nie len k únave a postupnému znižovaniu výkonu, ale tiež k stratám tekutín vo forme potu [1].

Meranie a kontinuálne sledovanie teploty človeka je použiteľné v hodnotení energetického výdaja s využitím našej platnej legislatívy. Energetický výdaj je preto dôležitým ukazovateľom pracovnej záťaže, ktorú je nutné hodnotiť. Energetický výdaj sa pri práci zvyšuje s teplotou ovzdušia na pracovisku, ktorá môže za určitých podmienok viesť až k záťaži teplom [8].

### **T-Sens GSR - (meranie galvanickej vodivosti kože)**

Slúži na určenie miery aktivácie organizmu vzhľadom na podnet na základe vylučovania mikročastočiek potu z tela človeka. Podnetom môže byť duševné alebo emocionálne napätie, náhle, hlboké nadýchnutie alebo prekvapujúca akcia [3, 7].

Senzor GSR na pokožku aplikuje veľmi malé, bezpečné a nepostrehnuteľné elektrické napätie a s tým spojený elektrický prúd. Pomocou zmien tohto malého prúdu dokážeme merať aktivitu potných žliaz kože hlboko pod prahom sebahnímania [7].



**Obr. 5: T-Sens GSR [3]**

Môžeme povedať, že elektrická vodivosť kože [7]:

- ▣ Predstavuje psychofyziologické vzrušenie, alebo aktiváciu.
- ▣ Pohybuje sa od nízkej úrovne v spánku až po vysokú v silnej aktivácii,

- Čím viac dochádza k fluktuácii, tým viac je osoba aktivovaná,
- Je citlivá na malé podnety,
- Mení sa vylučovaním potu,
- Vodivosť kože je mierou aktivity sympatiku.

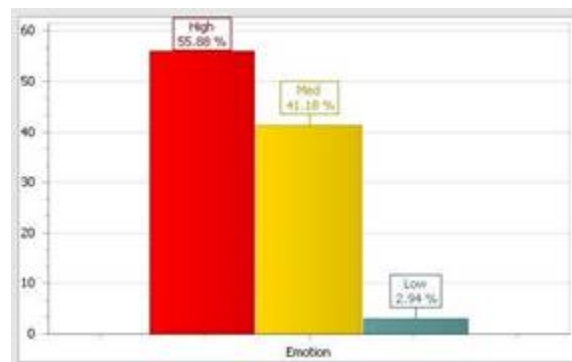
Samotný grafický výstup z merania senzorom GSR nám nedáva informácie o pozitívnej alebo negatívnej miere aktivácie, ale iba o jej intenzite. Používa sa na vykonávanie analýz pre určenie miery stresu u človeka, určenie biologickej spätnej väzby, reaktivity na podnety a iné. Jednotkou merania vodivosti kože je microSiemens ( $\mu\text{S}$ ) [6].

### Aktivácia organizmu vzhľadom na podnet

V tejto časti je nevyhnutné spomenúť aktiváciu organizmu, ktorú je možné z nameraných hodnôt s využitím merania kožnej vodivosti graficky vyjadriť a zhodnotiť.

Sledovanie aktivácie organizmu človeka má v kontexte k efektívnosti a produktivite práce veľký význam. Vzhľadom na náraz pracovných činností, kde sa kladie veľký dôraz na mentálny výkon je potrebné sa zaoberať aj týmto faktorom, ktorý výrazne ovplyvňuje pracovný výkon a psychickú pohodu človeka. K zisteniu intenzity aktivácie organizmu, ktorá vzniká pri činnosti človeka nám pomáha senzor T-Sens GSR, ktorý nám poskytuje túto informáciu na základe mikro čiastočiek potu, ktoré sú vylučované na bruškách prstov [7].

Pri stave zníženej aktivácie organizmu dochádza k monotónii, ktorá sa objavuje pri činnostiach chudobných na podnety, čo spôsobuje ospalosť, únavu, znížený a kolísavý výkon, zhoršenie adaptability a často je sprevádzaná so zvýšenou variabilitou srdcovej frekvencie [1].



**Obr. 6: Grafické vyjadrenie aktivácie organizmu vzhľadom na podnet pracovníka pri konkrétnej činnosti na základe meraní kožnej vodivosti**

### Sens EMG - (meranie hladiny elektromyografie )

Senzor slúži na meranie lokálnej svalovej záťaže prostredníctvom triódy umiestnenej na malých svalových skupinách horných končatín. Lokálna svalová záťaž nesmie presiahnuť prípustné hodnoty vo vzťahu k svalovým silám a frekvencii pracovných pohybov, ktoré sú uvedené vo Vyhláske Ministerstva zdravotníctva SR č 542/2007. Jednotkou je microVolt ( $\mu\text{V}$ ) [9].



### Obr.7: T-Sens sEMG [3]

V prípade využitia spomínaného senzorického systému v rámci výskumu v ergonómii, sa využíva trióda (elektrónka s 1 mriežkou a tromi elektródami), ktorá sa podľa smerovania svalových vlákien prilepí na skúmaný sval. Respondent (sledovaná osoba v pracovnom procese) potom vykonáva simulovaný pracovný pohyb a systém zaznamenáva zmeny aktivity svalov pri práci. Akčné potenciály, ktoré vznikajú pri depolarizácií svalovej membrány možno zachytiť týmito povrchovými kontaktnými elektródami prilepenými na pokožku a informácia z kontaktných metód sa spracuje v PC a prevedie vo forme EMG kriviek na monitor počítača. S využitím špeciálneho senzoru, triódy a SW nástroja je možné online jednoducho a bezbolestne analyzovať záťaž na vybraných svaloch pracovníka v reálnom, či simulovanom pracovnom procese. Ide o rýchlu a informatívnu analýzu, bez akéhokoľvek škodlivého účinku [9].

### T-Sens Respiration - (meranie brušných a hrudných pohybov)

Senzor s pásom umožňuje analyzovanie rytmu dýchania a amplitúdy. Senzor môže byť umiestnený buď v oblasti brucha, kde sa na dýchaní najviac podieľa bránica (vhodnejšie pre mužov), alebo na hrudi v oblasti medzi rebrového svalstva (vhodnejšie pre ženy). Jednotkou je percento deformácie. [3]



### Obr. 8: T-Sens Respiration [3]

Pľúcna ventilácia, alebo dýchanie sa využíva pri kondičných testoch a nozológií. Výsledky meraní nie je aktuálne možné porovnať so žiadnymi hodnotami v našej legislatíve.

Pri hodnotení sledujeme jeho frekvenciu, amplitúdu, typ dýchania - rytmus dýchania, ako dýchame (bruchom alebo hrudou), architektúru dýchania - brušné (bráničné) a hrudné dýchanie [4].

### Využitie senzorického systému

Hlavnou oblasťou využitia je jednoznačne výskum a vývoj v oblasti ergonómie, konkrétne v oblasti fyziológie práce pre rôzne fyziologické štúdie. Ďalšími možnosťami, vzhľadom na charakter zbieraných dát, sú [3]:

- Skúmanie aktivity svalov pri práci. (EMG - skúmanie javov vznikajúcich vo svaloch).
- Posúdenie stupňa psycho - fyziologického zaťaženia človeka pracovnou činnosťou, meraním a vyhodnocovaním kožnej vodivosti (EDM - kožno-galvanický efekt).
- Skúmanie zaťaženia kardiovaskulárneho aparátu (človeka v pracovnom procese) v dôsledku zaťaženia pracovnou činnosťou.
- Kontinuálne sledovanie zmien teplôt (hodnotenie hygieny pracovného prostredia).
- Monitorovanie % deformácie (brušných a hrudných pohybov pri dýchaní).

Vo všeobecnosti navrhujeme tento systém využiť:

- ako podporu pri zbere, spracovaní dát, návrhoch nápravných opatrení v oblasti rizík z pohľadu ergonómie pracovného prostredia a pracovísk,
- pre rôzne vzdelávacie aktivity a pri pracovných workshopoch v oblasti proaktívnej a reaktívnej ergonómie,
- v oblasti dlhodobého výskumu (rôzne merania na štatistických vzorkách populácie pre tvorbu nových analýz a

- hodnotení),
- pre krátkodobý účelový výskum – laboratórne metódy merania fyzickej záťaže, napríklad ak hovoríme o testoch pulzovej frekvencie ako Indexová, či Ruffierova metóda a pod.

Tento výskum chceme orientovať na montáž a riziká pri montážnych činnostiach v sériovej výrobe, pričom výstup bude, vzhľadom na svoj charakter, využiteľný i v ostatných oblastiach, kde v pracovnom procese zohráva hlavnú úlohu človek a technický systém. To dokazuje, že tento senzorický systém je využiteľný v podstate vo všetkých oblastiach kde vystupuje v pracovnom procese človek, čiže vo výrobných i nevýrobných oblastiach (montáž, výroba, logistika, údržba, administratíva, ..).

Snahou je okrem dosiahnutia zdravia pracovníkov i skrátiť čas projektovania výrobného, vysoko produktívneho pracoviska bez rizík, na minimum, čo nielen skvalitňuje riešenie, ale aj významne šetrí finančné prostriedky, ktoré by boli potrebné hlavne z časového hľadiska, ale aj z pohľadu materiálových nákladov, pri korektívnych zásahoch do riešenia. Pri takomto výskume je dôležitá simulácia všetkých nosných aspektov nevyhnutných pre maximálnu odozvu organizmu a identifikáciu nedostatkov a rizík, ako sú priestorové pomery, prvky pracoviska, presná pracovná činnosť s pracovnými polohami, rýchlosť vykonávanej práce vzhľadom na takt, presné pracovné operácie a úkony, podmienky pracovného prostredia.

Realizovali sme úvodné testy a merania v laboratórnych podmienkach, pričom sme vytvárali rôzne simulované modelové situácie a analyzovali odozvu záťaže človeka pri rôznych úkonoch. Ukážky testov, ale i grafických výstupov meraní, sú zobrazené na ďalších obrázkoch.

Ukážky z realizovaného testovania senzorickeho systému v laboratornych podmienkach



Image not found or type unknown

Image not found or type unknown

### **Obr. 9: Ukážky z realizovaného testovania senzorickeho systému v laboratornych podmienkach**

#### **Záver**

S využitím celého senzorickeho systému je možné merať účinok stresu a zaťaženia na organizmus človeka v pracovnom procese a následne posúdiť, analyzovať a eliminovať príčiny. Máme tak možnosť získať objektívny pohľad na činnosť nervového systému, predovšetkým jeho autonómnej časti, ktorá je najviac ovplyvnená záťažou a stresom. Môžu byť merané viaceré psychofyziologické signály súčasne, ako EMG, teplota kože, či teplota okolia, kožná vodivosť, srdcový tep (HR a HRV), dýchanie, počas rôznych aktivít (fyzická záťaž, stres, odpočinok).

Posudzujeme subjektívny pocit stresu a záťaže, prípadne relaxácie (účinok relaxácie), stresory pracovníka (rôzne pracovné činnosti, ich striedanie, vplyv pracoviska, charakteru práce, pracovného prostredia a ďalších faktorov), reaktivitu počas záťaže a pod.

**Tento článok vznikol v rámci riešenia projektu VEGA 1/0936/16 Využitie nástrojov digitálneho podniku pre vývoj metodiky ergonomických preventívnych programov.**

## Literatúra

[1] SLAMKOVÁ, E.; DULINA, Ľ.; TABAKOVÁ, M. *Ergonómia v priemysle*. Žilina: Georg knižárstvo pre Žilinskú univerzitu v Žiline, Strojnícku fakultu, Katedru priemyselného inžinierstva, 2010. 262s. ISBN 978-80-89401-09-03.

[2] MIČIETA, B.; DULINA, Ľ.; SMUTNÁ, M. New approach of ergonomics workplace design. In: *Annals of DAAAM for 2011 & Proceedings of the 22nd International DAAAM Symposium, Volume 22, No. 1*. Vienna: DAAAM International, 2011. ISBN 978-3-901509-83-4.

[3] TEA.CAPTIV Software [online]. TEA, 2015 [cit. 2016-09-12]. Dostupný z: <http://teaergo.com/site/en/products/manufacturers/tea/captiv-software>.

[4] *Biofeedback* [online]. Psychagogia, c2016 [cit. 2016-09-12]. Dostupný z: <http://psychagogia.sk/ponukane-sluzby/biofeedback/>.

[5] ŠTEFÁNIK, A. ...[et al.]. Virtual manufacturing in research and industry. In: *9th IFAC Workshop on Intelligent Manufacturing Systems*. Szczecin, 2008. S. 131-135.

[6] *CAPTIV software: V1.5: user manual* [software]. Nancy: Nancy-Brbois Technology Park. 190 s.

[7] VIŠŇOVCOVÁ, Z.; TONHAJZEROVÁ, I. Biomedicínsky princíp a využitie elektrodermálnej odpovede v klinickej praxi. *Cognitive Remediation Journal*, 2013, Vol. 2, no. 1. ISSN 1805-7225.

[8] HOVANEČ, M.; SINAY, J.; PAČAIOVÁ, H. Application of Proactive Ergonomics Utilizing Digital Plant Methods based on Augmented Reality as a Tool Improving Prevention for Employees 2014. In: *Occupational Safety and Hygiene SHO14: International Symposium: Proceedings Book, 13. - 14. February 2014, Guimares, Portugal*. Guimares: SPOSHO, 2014. S. 162-164. ISBN 978-989-98203-2-6.

[9] CRAM, J.R.; KASMAN, G.S. *Introduction to Surface Electromyography*. Alexandria: Aspen Publications, 1998.

## Vzorová citace

KRAMÁROVÁ, Miroslava; GAŠO, Martin. Nástroj modernej ergonómie pre meranie psychofyziologických funkcií človeka. *Časopis výzkumu a aplikací v profesionální bezpečnosti* [online], 2016, roč. 9, speciální č. Bezpečnost práce a kvalita života. Dostupný z: <http://www.bozpinfo.cz/josra/nastroj-modernej-ergonomie-pre-meranie-psychofyziologickych-funkcii-cloveka>. ISSN 1803-3687.

---

Autor článku:

[Ing. Miroslava Kramárová](#)

[Ing. Martin Gašo, Ph.D.](#)