



PULSAVI MEETOD TÖÖTAJA TÖÖ RASKUSASTME JA ENERGEETILISE KOORMATUSE MÄÄRAMISEKS JA HINDAMISEKS

PULSAVI: A METHOD FOR DETERMINING AND ASSESSING THE WORKLOAD AND ENERGY EXPENDITURE OF WORKERS

Boris Reppo, Jüri Kuzmin

*Eesti Maaülikool, tehnikainstituut, biotehnoloogiate õppetool,
Fr. R. Kreutzwaldi 56, 51006 Tartu*

Saabunud: 23.10.2019
Received: 23.10.2019
Aktsepteeritud: 14.11.2019
Accepted: 14.11.2019
Avaldatud veebis: 29.11.2019
Published online: 29.11.2019
Vastutav autor: Boris Reppo
Corresponding author:
E-mail: boris.reppo@emu.ee

Keywords: heart rate, workload, work process, patent.

doi: 10.15159/jas.19.15

ABSTRACT. Human-centred evaluation of technology and work techniques requires the determination of the workload category and the internal workload, which is the internal response of the worker to exposure to external load factors in the work environment. The aim of this paper is to present a method for a human-centred analysis of the work process. The method requires the worker's physiological data, which is used to process their wirelessly transmitted heart rate. The processed heart rate is combined with a video feed and displayed in real time on a computer. This allows monitoring the worker's actions and the corresponding workload category, total energy expenditure, work-related energy expenditure, and base metabolic rate. Using the method does not interrupt the work process and it is possible to save the data for further analysis. The method has been recognised as an invention and is protected with patent EE 05807 B1.

© 2019 Akadeemiline Põllumajanduse Selts. | © 2019 Estonian Academic Agricultural Society.

Sissejuhatus

Töötamisel mõjuvad inimesele töökeskkonna füüsilised, psüühilised ja ümbritseva keskkonna koormusfaktorid, mis tekitavad inimesele energeetilise koormatuse, ehk energiakulu. On oluline uurida töötaja energeetilist koormatust, mille kaudu võib avastada ebatervislikke töövõtteid või olla isegi põhjuseks töötehnoloogia uuendamiseks. Vale töövõtte või tehnoloogia võib põhjustada töötaja luu- ja lihaskonna vaevusi ning selle kaudu vähendada tema töövõimet ja -kvaliteeti (Priya jt, 2010). On määratud energiakulu inimese töötamisel hapnikutarbimise mõõtmise alusel, kuid reaalses tingimustes on see meetod tülikas ning on püütud kasutada teisi lahendusi (Smolander jt, 2008).

On meetodeid (Tuure, 1991, 1995), kus inimese energeetilist koormatust määratakse tema tööasendi või töövõtte alusel, nagu näiteks OWAS, kus määratakse 85 näitaja alusel töötaja energiakulu rasketel töödel, ERGOLOG – kasutatakse töökohal töötava inimese testimiseks, VIRA – testib istuva inimese tööasendit ja -viisi, kus tööd jäädvustatakse videole, ARBAN –

arvestab inimese asendit ja teisaldatavat raskust, tööd tehakse seistes või liikudes, Spitzer-Hettingeri tabelid – määratakse lihaste tööks kuluv energia, olenevalt inimese tööasendist ja -viisist, antakse ka füsioloogia- tarbeks energiakulu (85 W) eraldi. Summaarse energeetilise koormatuse määramiseks need liidetakse (Hettinger jt, 1989).

Esitatud meetodid määravad inimorganismile mõjuva füüsilise töökoormuse, kuid ei arvesta psüühilisi ja ümbritseva keskkonna füüsikalisi koormusfaktoreid. Inimese töö raskusastet ei ole võimalik määrata.

Inimese süda oma löögisagedusega reageerib tundlikult töökeskkonna muutustele. Teades, et südame löögisageduse (pulsi) ja inimese organismi energiakulu, ehk energeetilise koormatuse vahel on lineaarne seos (Andersen jt, 1978), hakati kasutama töövõtete ja töötehnoloogiate hindamiseks EMÜ farmitehnika õppetooli poolt välja töötatud meetodit, kus tööprotsessis oleva töötaja südame löögisageduse pideva mõõtmise alusel määratakse tema töö raskusaste ja summaarne energeetiline koormatus, mis sisaldab nii otseselt tööks kui ka füsioloogia- tarbeks kuluvat



energiat. Näiteks, määrati, analüüsiti ja hinnati farmides erinevatel töötehnoloogiatel töötavate lüpsjate (Reppo, Saarma, 1996; Reppo, 1997) ja karjakute (Reppo, Käämer, 1998) töö raskusastet ja energiakulu.

Meetod on eelkirjeldatavatest lihtsam ja töötajat vähem häiriv, kuid uurija peab pingsalt jälgima tööprotsessi ja registreerima ning kronometreerima töövõtteid, et hiljem tulemuste hindamisel viia huvipakkuv pulsiväärtus vastavusse töövõttega.

Uurimistöõ lihtsustamiseks võeti kasutusele meetod, kus tööprotsessis toimub samaaegselt töötaja südamepulsi mõõtmine ja tema filmimine. Hiljem kuvatakse arvuti ekraanil videona töötaja pildi taustal ajaliselt sünkronis tehtavate töövõtetega diagrammina tema pulsiväärtused ja töö raskusaste ning energeetiline koormatus (Nautras jt, 2016). Meetod on arendatult kvaliteetsem, kuid töötajal mõõdetud südame pulsi muutuse ja tööprotsessi filmimise tulemuse hiljem ajaliselt sünkronis kuvamine arvuti ekraanil töötaja pildi taustal nõuab lisategevust. Ei ole võimalik ka kohe, reaajas võrrelda ja hinnata erinevate töövõtete kvaliteeti.

Käesoleva töö eesmärgiks oli täiustada seni kasutatud lahendust ja töötada välja meetod (edaspidi PULSAVI meetod), mis võimaldaks inimese pulsi ja füsioloogiliste andmete alusel määrata tema töö raskusaste ja energeetiline koormatus, kasutades arvuti rakendusprogrammi PULSAVI ja videot, ning selle alusel hinnata reaajas või hiljem salvestatuna töövõtete ja töötehnoloogia sobivust inimesele, seejuures inimese tööd häirimata.

Meetodi uudsust kinnitab selle tunnistamine leiutisena ja on kaitstud patendiga EE 05807 B1 (Kuzmin jt, 2018).

Materjal ja metoodika

PULSAVI meetod põhineb töötaja südamepulsi muutuse mõõtmisel tööajal ja samaaegselt tööprotsessi filmimisel videokaameraga. Töötegevuses oleval töötajal mõõdetakse pulsianduriga (pulsivõõga) südame löögisagedust ja andmed edastatakse juhtmevabalt vastuvõtjasse, mis suunab need arvutisse, kasutamata vaheseadmeid (joonis 1). Arvutis on kasutatav PULSAVI-rakendusprogramm, kuhu sisestatakse töötaja füsioloogilised andmed, nagu sugu, vanus, pikkus, mass ja ka pulss puhkeolekus (Kuzmin jt, 2018).

Samaaegselt südame pulsi muutuse edastamisega jäädvustatakse arvutiga kaabelühenduses oleva videokaameraga (või arvuti videokaameraga) video töötaja sooritatavast tegevusest.

Arvuti programmi abil toimub andmete töötlemine. Kasutades andmeid südame pulsi muutuse ja lisaks ka töötaja füsioloogiliste andmete kohta määratakse tema töö raskusaste, summaarne energeetiline koormatus (S), füsioloogiatarbeks kuluv energia (F) ja otseselt tööga seotud energiakulu ($T = S - F$) (joonis 1).

Töö raskusastme määramise aluseks on võetud (WHO) poolt heaks kiidetud liigitus südame löögisageduse järgi kergeteks (K) kui pulss on alla 100, keskmiselt

raskeks (KR) 100–124, raskeks (R) 125–150 ja väga raskeks (VR) üle 150 südamelööki minutis (Andersen jt, 1978; Tuure 1991, 1995; Nautras jt, 2016).

Töötaja summaarne energeetiline koormatus, ehk summaarne energiakulu /total enetgetic workload/ S_{naine} ja S_{mees} ; (S_{women} and S_{men}) on määratav tabelite kaudu (Andersen jt, 1978; Tuure 1995; Nautras jt, 2016) või võrranditega (Keytel jt, 2005):

$$S_{naine} = -20,4022 + 0,4472 \cdot SLS - 0,1263 \cdot M + 0,074 \cdot V \text{ kJ/min;} \quad (1)$$

$$S_{mees} = -55,0969 + 0,6309 \cdot SLS + 0,1988 \cdot M + 0,2017 \cdot V \text{ kJ/min,} \quad (2)$$

kus SLS – südame pulss, lööki/min / heart rate, beats/min;

M – keha mass, kg / mass, kg;

V – vanus, aastates / age, years;

1 kJ/min = 16,67 W.

Füsioloogiatarbeks kuluv energia (*physiological energy expenditure*) (F) sõltub inimese massist (*mass*) (G, kg), pikkusest (*height*) (H, cm) ja vanusest (*age, years*) (V, aastates) ning on määratav nais- (F_n , F_{wom}) ja meestöötaja (F_m , F_{men}) kohta vastavalt (Hettinger jt, 1989; Tuure 1995):

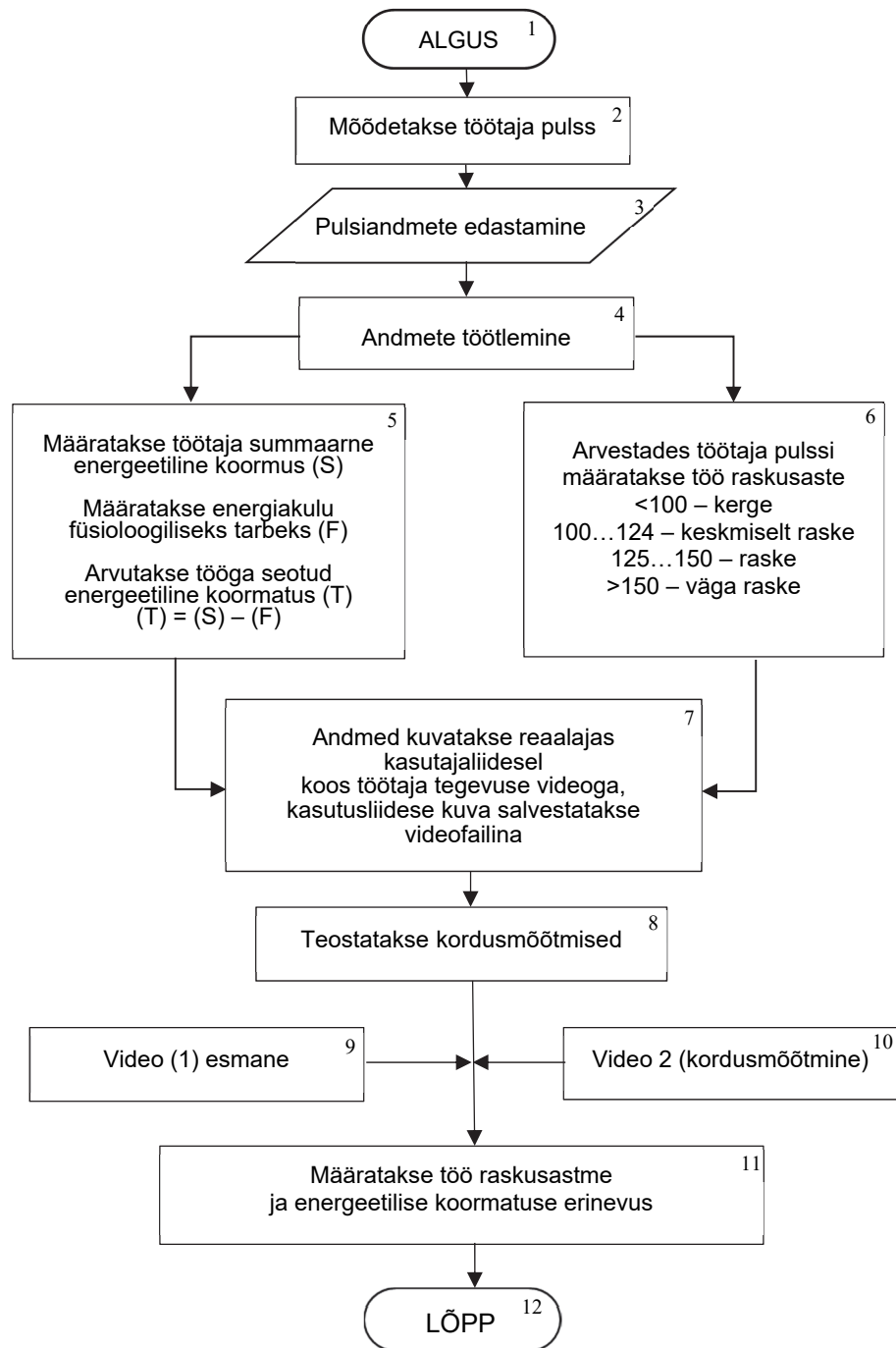
$$F_n = 1,934 + 0,0278 \cdot G + 0,00538 \cdot H - 0,0136 \cdot V \text{ kJ/min,} \quad (3)$$

$$F_m = 0,193 + 0,0400 \cdot G + 0,01454 \cdot H - 0,0196 \cdot V \text{ kJ/min.} \quad (4)$$

Arvuti rakendusprogrammi PULSAVI abil kuvatakse reaajas hetkeliselt arväärtusena ja ka diagrammina töötaja pulsi muutus ning vastavalt sellele ka töö raskusastmed ja energeetilised koormatused, andmed ka salvestatakse. Töötaja tegevus ja andmed salvestatakse videofaili selleks, et oleks võimalus ka hiljem hinnata ja omavahel võrrelda erinevate töötehnoloogiate või töövõtete, -asendite mõju inimesele. Selleks tehakse uus mõõtmine või kordusmõõtmine (joonis 1). Andmete võrdlemisel määratakse muutused töötaja südame löögisageduses, töö raskusastmetes ja energeetilises koormatuses.

Tulemused ja arutelu

Kasutustasemest on tuntud mitmed meetodid inimese pulsi alusel energiakulu määramiseks ning selle hindamiseks. Näiteks, vastavalt patendile (Wehman, Nicolic, 2005) on kasutusel meetod ja seade, mille abil määratakse isiku pidevat ja suurimat hapniku tarbimist reaalse kulu mõõtmisega. Samas mõõdetakse ka pulsi muutust, et määrata energiakulu ning metabolismi taset, mille alusel määratakse inimese keha sooritatud töö ulatust. Tuntud on patent (Wehman jt, 2005), ehk meetod, seadmed ja arvutused selleks, et määrata inimese hapnikutarbimine, pulss ja energiakulu. Lahenduses tuuakse esile, et füüsiline aktiivsus ja kogu energiakulu on otseses seoses inimese paranemisega.



Joonis 1. Meetodi realiseerimise plokkskeem (Kuzmin jt, 2018)

Figure 1. Block diagram of the implementation of the method: 1 – Start; 2 – Heart rate measurement; 3 – Heart rate data transmission; 4 – Data processing; 5 – Determine total energetic workload (S) Determine physiological energy expenditure (F) Determine directly work-related energy expenditure (T)=(S) – (F); 6 – Considering the employee's heart rate determine difficulty level of the work <100 – easy, 100...124 – average, 125...150 – heavy, > 150 – very hard; 7 – Data are displayed in real time with worker activity. The data is also saved as video; 8 – Repeat measurements; 9 – First video (1); 10 – Repeated measurements video (2); 11 – Changes in the worker's heart rate, difficulty level of the work, and the total energetic workload are determined based on the comparison of data; 12 – End (Kuzmin et al., 2018)

PULSAVI meetodile on kõige lähedasem lahendus, vastavalt dokumendile (Ahmed jt, 2014), kus tagatakse füsioloogiliste näitajate mõõtmiste süsteem, seadmed ja meetodid tervisliku seisundi ja treenituse pidevaks jälgimiseks. Sisuks on kergekaaluline kaasakantav süsteem, mille abil kogutakse inimeselt pidevalt füsioloogilisi andmeid. Süsteem võimaldab jälgida pulssi,

kehatemperatuuri, südame löögisagedust, liikumist, und, energiakulu, õhurõhku jne. Saadud andmed salvestatakse ja kuvatakse visuaalselt selleks, et aidata kasutajal juhtida oma tervist (Kuzmin jt, 2018).

Tuntud lahendused määravad inimese pulsi ja energiakulu, kohati kasutatakse ka videot, kuid nad ei kasuta andmeid inimese töö raskusastme ja summaarse

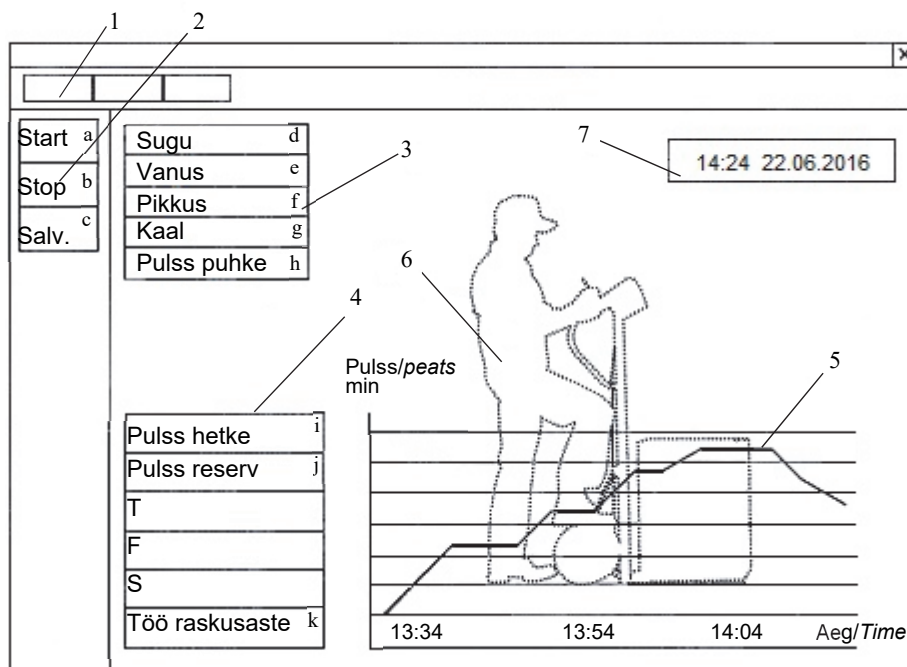
ning otseselt tööga seotud energiakulu määramiseks ja tehnoloogiate võrdlemiseks ning analüüsimiseks. Tuntud meetodid on suunatud suuremas osas tervise jälgimisele, spordianalüüsiks või kaaluvähendamisele. Kasutatakse vahemooduleid, kuhu sisestatakse andmed ning kust need hiljem kantakse arvutisse. Tuntud meetodite puuduseks on ka võimetus reaajas andmeid omavahel võrrelda ning teha nende alusel võrdlushinnanguid.

PULSAVI meetod töötaja töö raskusastme ja energeetilise koormatuse määramiseks ning hindamiseks erineb tuntud meetoditest sellega, et arvuti ekraanil (joonis 2) kuvatakse video, kus reaajas tegevuses oleva töötaja 6 taustal esitatakse tema füsioloogilised andmed 3, pulsi ajaline muutus 5, töötaja summaarse (S), füsioloogiatarbeks (F) ja otseselt tööks (T) kuluva energia ning töö raskusastme muutus 4. Kuvatakse

kasutajaliidese ekraanil töötegemise kuupäev ja kella-aeg, 7.

Töövõtete või -asendite võrdlushindamiseks võib teha kordusmõõtmisi. Kasutades kahte videofaili või varasemalt salvestatud videofaili ja videot, määratakse andmete võrdlemisel muutused töötaja pulsis, energeetilises koormatuses ja töö raskusastmes. Tulemuse-na saab hinnata töötehnoloogia sobivust isikule, samuti videolõikude abil välja selgitada energiasäästlikke töövõtteid (joonis 1).

Meetodi kasutamine töötaja töö raskusastme ja energeetilise koormatuse hindamiseks toimub tööprotsessis inimest häirimata, kuna kasutatakse spordis tuntud pulsivööd või mõnda traadita edastamiseadet ja arvutit koos rakendusprogrammiga, mis võimaldab ühendada inimese füsioloogiliste andmete vastuvõtmise seadme ja videokaamera.



Joonis 2. Arvuti kasutusliidese ekraanikuva: 1 – menüünupud; 2 – juhtnupud; 3 – töötaja füsioloogilised andmed; 4 – määratud hetkeandmed; 5 – pulsi muutuse diagramm; 6 – töötaja tegevus; 7 – töötegevuse aeg (Kuzmin jt, 2018)

Figure 2. Screenshot of the computer user interface: 1 – menu buttons; 2 – control buttons: a – Start, b – Stop, c – Save; 3 – physiological data of the worker: d – Gender, e – Age, f – Height, g – Weight, h – Heart rate at rest; 4 – instantaneous data: i – Heart rate, j – Heart rate reserve, k – Difficulty level of work; 5 – heart rate chart; 6 – worker's activity; 7 – time of working (Kuzmin et al., 2018)

Kokkuvõte

PULSAVI meetod kuulub ergonoomika valdkonda ja võimaldab inimese südame löögisageduse ja füsioloogiliste andmete alusel määrata tema töö raskusaste ja energeetiline koormatus, mis on vajalik tööprotsesside ja töötehnoloogiate või töövõtete analüüsimiseks ja hindamiseks. Seda saavutatakse töötaja füsioloogiliste andmete sisestamisega arvutisse, tema töötamise ajal pulsimuutuse edastamisega, samaaegselt töötaja tegevuse videokaameraga jäädvustamisega, andmete arvuti rakendusprogrammiga töötlemisega ja tulemuste kuvamise reaajas arvutiekraanil oleval kasutusliidisel,

hinnates reaajas või hiljem salvestatuna töötehnoloogia (töövõtete, -asendite) sobivust inimesele, häirimata seejuures tema tööd. Meetod on tunnustatud leiutisena ja kaitstud patendiga EE 05807 B1 (Kuzmin jt, 2018).

Huvide konflikt

Autorid kinnitavad artikliga seotud huvide puudumist.

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this paper.

Autorite panus

BR, JK – kavandamine ja materjali kogumine;
 JK – joonised;
 BR – käsikirja kirjutamine ja toimetamine.

Author contributions

BR, JK – design, collection of materials;
 JK – preparation of Figures;
 BR – writing and editing text.

Kasutatud kirjandus

- Ahmed, W., Capodilupo, J., Nicolac, A. 2014. Systems, devices and methods for continuous heart rate monitoring and interpretation. – Patent US 2014/0073486A1, US, 26 pp.
- Andersen, L.K., Maisirani, R., Rutenfranz, J., Seliger, V. 1978. Habitual Physical activity and health. – World Health Organization Regional office for Europe. European Series no. 6.
- Hettinger, T., Müller, H., Gebhardt, H. 1989. Ermittlung des Arbeits Energieumsatzes beidynamisch-muskulärest Arbeit. – Schriftenreihe der Bundeshaus-halt für Arbeitsschutz. Dortmund, 22:1–80.
- Keytel, J., Goedecke, T., Noekes, H., Hiiloskorpi, R., Laukkanen, L., Van der Merwe, Lambert, E. 2005. Prediction of energy expenditure from heart rate monitoring during submaximal exercise. – Journal of Sports Sciences, 23(3):289–297, doi: 10.1080/02640410470001730089.
- Kuzmin, J., Reppo, B., Sada, O. 2018. Method for analysing workflow and technology. – Patent EE 05807 B1, Estonian Patent Office, Tallinn, 9 pp.
- Nautras, A., Reppo, B., Kuzmin, J. 2016. Pulse-video method for determining the workload and energy expenditure for assessing of work environment. – Agronomy Research, 14(3):846–852.
- Priya, V.V.S., Johnson, P., Padmavathi, R., Subhashini, A.S., Ayyappan, R., Surianarayanan, M. 2010. Evaluation of the Relationship between Workload and Work Capacity in Petrochemical and Tannery Workers – A Pilot Study. Life Sciences and Medicine Research, Volume 2010: LSMR-19.
- Reppo, B. 1997. Lehmafarmi tehnoloogiliste elementide ja biotehniliste süsteemide töökindluse määramine ja parendamise meetodid. – Doktoriväitekirja. Eesti Põllumajandusülikool, Tartu, 113 lk.
- Reppo, B., Käämer, J. 1998. Arbeitszeitaufwand und energetisch Belastbarkeit des Viehwärters bei der Entmistung der Viehanlage. – Agricultural Machinery, Building and Energy Engineering, 24–29.
- Reppo, B., Saarma, U. 1996. Milkers Energy load in Different Pipeline Milking Technologies. – Agricultural Machinery and Energy Engineering, 189:89–93.
- Smolander, J., Juuti, T., Kinnunen, M.L., Laine, K., Louhevaara, V., Männikkö, K., Rusko, H. 2008. A new heart rate variability-based method for the estimation of oxygen consumption without individual laboratory calibration: Application example on postal workers. – Appl. Ergon. 39(3):325–331, doi: 10.1016/j.apergo.2007.09.001.
- Tuure, V. 1991. Determination of physical stress in agricultural work. – Työtehoseura: Helsinki, 130 pp.
- Tuure, V. 1995. Working environment in cold loose housing barns. – Maatalousteknologian julkaisu 18, Helsinki, 143 pp.
- Wehman, T., Nikolic, S., Backovic, M., Muller, P., Lovewell, J., Peuverell, K. 2005. Method and apparatus including altimeter and accelerometers for determining work performed by an individual. Patent US 2005/0054938A1, US, 6 pp.
- Wehman, T., Nikolic, S. 2005. Method and Apparatus for determining Work Performed by an individual from measured physiological parameters. – Patent US 2005017723A1, US, 8 pp.

PULSAVI: a method for determining and assessing the workload and energy expenditure of workers

Boris Reppo, Jüri Kuzmin
 Estonian University of Life Sciences, Institute of Technology, Chair of Biosystems Engineering,
 Fr. R. Kreutzwaldi 56, 51006 Tartu, Estonia

Summary

The PULSAVI method belongs to the field of ergonomics and allows determining the difficulty level of work and the total energetic workload of a person based on their heart rate and physiological data. This is required for analysing and assessing the working processes, technologies, and techniques and is achieved by recording the physical and physiological data of the worker on a computer, transmitting changes in heart rate, recording the person's activity with a camera, processing the data on a computer with an application program, and displaying the results in real time using a computer screen interface, while assessing (in real time or later, based on recorded footage) the suitability of working technologies (techniques, postures) for the person without interrupting them. The method has been recognised as an invention and is protected with the patent EE 05807 B1 (Kuzmin *et al.*, 2018).