

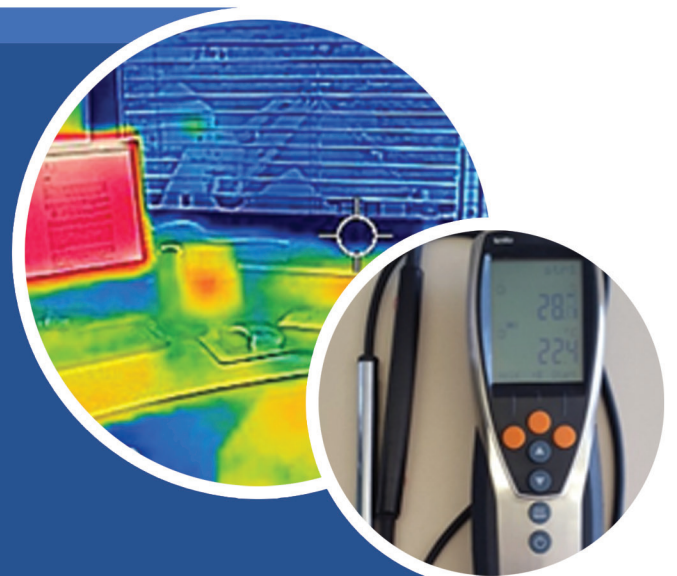


Univerzitetna založba
Univerze v Mariboru

ŠTUDIJ DELA IN ERGONOMIJA

NAVODILA ZA VAJE

NATAŠA VUJICA HERZOG





Univerza v Mariboru

Fakulteta za strojništvo

ŠTUDIJ DELA IN ERGONOMIJA

Navodila za vaje

Avtorica

Nataša Vujica Herzog

Maribor, september 2020

Naslov <i>Title</i>	Študij dela in ergonomija <i>Work Study and Ergonomics</i>	
Podnaslov <i>Subtitle</i>	Navodila za vaje <i>Instructions for Exercises</i>	
Avtorica <i>Author</i>	Nataša Vujica Herzog (Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo)	
Recenzija <i>Review</i>	Borut Buchmeister (Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo)	
Lektoriranje <i>Language editing</i>	Alenka Fingušt	
Tehnični urednik <i>Technical editor</i>	Jan Perša (Univerza v Mariboru, Univerzitetna založba)	
Oblikovanje ovitka <i>Cover designer</i>	Jan Perša (Univerza v Mariboru, Univerzitetna založba)	
Grafika na ovitku <i>Cover graphic</i>	Avtorica	Grafične priloge <i>Graphic material</i> Avtorica
Založnik / <i>Published by</i>	Univerza v Mariboru Univerzitetna založba Slomškov trg 15, 2000 Maribor, Slovenija https://press.um.si , zalozba@um.si	
Izdajatelj / <i>Co-published by</i>	Univerza v Mariboru Fakulteta za strojništvo Smetanova ulica 17, 2000 Maribor, Slovenija https://www.fs.um.si , fs@um.si	
Izdaja <i>Edition</i>	Prva izdaja	Vrsta publikacije <i>Publication type</i> E-knjiga
Dostopno na <i>Available at</i>	http://press.um.si/index.php/ump/catalog/book/501	
Izdano <i>Published at</i>	Maribor, september 2020	

CIP - Kataložni zapis o publikaciji
Univerzitetna knjižnica Maribor

331.101 (076)

VUJICA-Herzog, Nataša

Študij dela in ergonomija [Elektronski vir] :
navodila za vaje / avtorica Nataša Vujica Herzog.
- 1. izd. - Maribor : Univerzitetna založba
Univerze, 2020

Način dostopa (URL):

<https://press.um.si/index.php/ump/catalog/book/501>

ISBN 978-961-286-383-8

doi: doi.org/10.18690/978-961-286-383-8

1. Drugi var. nasl.

COBISS.SI-ID 28699907



© Univerza v Mariboru,
Univerzitetna založba

Tekst / Text © Vujica Herzog 2020

To delo je objavljeno pod licenco
Creative Commons Priznanje avtorstva
4.0 Mednarodna. *This work is licensed
under the Creative Commons
Attribution - 4.0 International License.*
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

ISBN 978-961-286-383-8 (pdf)

DOI <https://doi.org/10.18690/978-961-286-383-8>

Cena
Price Brezplačni izvod

Odgovorna oseba založnika prof. dr. Zdravko Kačič,
For publisher rektor Univerze v Mariboru

KAZALO

1 UVOD	1
2 Temperatura, vlaga in hitrost gibanja zraka	3
2.1 Temperatura	3
2.2 Merjenje temperature.....	3
2.3 Vlažnost zraka	5
2.4 Merjenje vlažnosti zraka	5
2.5 Hitrost gibanja zraka	5
2.6 Merjenje hitrosti gibanja zraka	5
2.7 Srednja temperatura sevanja	5
2.8 Merjenje srednje temperature sevanja.....	8
2.9 Primeri meritev	8
3 Osvetljenost.....	15
3.1 Osnove	15
3.2 Merjenje osvetljenosti	16
3.3 Merjenje osvetljenosti s pametnim telefonom	17
4 HRUP.....	21
4.1 Osnove	21
4.2 Merjenje hrupa	23
4.3 Primeri meritev in izračuni	26
5 METABOLIZEM	31
6 OWAS.....	35
6.1 Potek dela.....	38
6.2 Primer uporabe.....	39
6.3 Delovno okolje, oblikovano s programskim paketom Jack	42
Literatura	43

1 UVOD

Ergonomsko oblikovanje delovnega mesta običajno poteka v dveh korakih. Najprej delovno mesto in delavca opazujemo in na osnovi opazovanja določimo najpomembnejše karakteristike dela, analiziramo delovno mesto in preučimo morebitne težave delavca. V nadaljevanju izvedemo tudi mersko analizo delovnega mesta in s pomočjo izvedenih meritev ugotavljamo vplive okolja na delavca.

Delo se običajno izvaja na delovnih mestih v zaprtih prostorih, nekatere vrste dela pa se izvajajo tudi na prostem. Če se delo izvaja v zaprtih prostorih, nas glede vplivov okolice zanimajo predvsem temperatura, vlaga, hitrost gibanja zraka, osvetljenost in hrup [1]. Kadar gre za delovna mesta, ki se izvajajo na prostem, so delavci bolj izpostavljeni vremenskim vplivom, kot so mraz, veter, dež, vročina, žled in drugi, zato upoštevamo tudi te vplivne dejavnike. Izpostaviti velja še tretjo skupino delovnih mest, kjer so ljudje pri opravljanju svojega dela izpostavljeni izjemnim razmeram, kjer je v nekaterih primerih lahko ogroženo celo življenje. To so npr. gasilci na intervencijah, poklicni potapljači, vojaki ali športniki, ki opravljajo svoje naloge v ekstremnih razmerah, v morskih globinah ali na območjih z visoko nadmorsko višino, kjer se človeško telo odziva drugače, kot v običajnih klimatskih pogojih. V takšnih pogojih dela je upoštevanje fizioloških sposobnosti človeka še toliko bolj pomembno.

Pri predmetu Študij dela in ergonomija v laboratoriju izvajamo meritve naslednjih veličin:

1. Temperatura, vlaga in hitrost gibanja zraka,
2. Osvetljenost,
3. Hrup,
4. Metabolizem.

Za ergonomsko ocenjevanje telesnih položajev delavca pri delu izvajamo meritve in izračune s pomočjo različnih ergonomskih metod. V navodilih za vaje je podrobno predstavljena uporaba metode OWAS.

2 TEMPERATURA, VLAGA IN HITROST GIBANJA ZRAKA

2.1 Temperatura

Za merjenje temperature uporabljamo termometre, ki izkoriščajo temperaturno odvisnost neke lastnosti snovi (npr. prostornino, električno prevodnost snovi ipd.). Vrste termometrov so tako (slika 2.1):

- kapljevinski termometer (alkoholni, Živosrebrni, Galijev), slika 2.1.a,
- plinski termometer,
- infrardeči termometer (brezkontaktni), slika 2.1.b,
- uporovni termometer,
- kovinski termometer (bimetalni), slika 2.1.c.



a.



b.



c.

Slika 2.1: Različne vrste termometrov

Vir: lasten

2.2 Merjenje temperature

V Laboratoriju za načrtovanje proizvodnih sistemov (LANPS) na Fakulteti za strojništvo uporabljamo za merjenje mikroklima v prostorih (temperatura, vlaga in hitrost gibanja zraka) kompaktni multifunkcijski merilnik *Testo 435* (slika 2.2). Merilnik ima različne sonde, ki jih namestimo glede na vrsto meritve.

Za merjenje temperature zraka uporabljamo digitalni termometer s tipalom ali sondo za merjenje temperature. Senzor ob spremembi stanja spremeni upornost in s tem se spremeni električni tok, ki ga zazna ampermeter. Vrednost toka se pretvori v temperaturo, ki jo naprava pokaže na zaslonu.

Merilno območje je od -50 do 150 °C.

Natančnost $\pm 0,2$ °C (za območje -25 do 74,9 °C) in $\pm 0,4$ °C (za območji -50 do -25 °C in 75 do 100 °C)

Natančnost odčitka 0,1 °C.



Slika 2.2: Multimerilnik Testo 435

Vir: lasten

Za merjenje temperature različnih objektov se uporabljajo termične kamere (slika 2.3), ki prikažejo sliko, ki sicer očem ni vidna. Kamera zazna infrardeče sevanje, ki ga oddajajo vsi objekti okoli nas. Slika, ki jo posname, pokaže temperaturno porazdelitev objekta, ki ga slikamo. Ker so pregrevanja ali velike razlike v temperaturi pogosto znak, da je z neko opremo ali zgradbo nekaj narobe, je infrardeča slika postala nepogrešljiv pripomoček pri preventivnem vzdrževanju, iskanju napak in inšpekcijskih pregledih na mnogih področjih.



Slika 2.3: Termična kamera

Vir: lasten

2.3 Vlažnost zraka

Vlago v zraku lahko opišemo z različnimi vrednostmi. **Maksimalna vlažnost** je največja količina vodne pare, ki jo lahko ima zrak pri določeni temperaturi [g/m^3]. **Absolutna vlaga** je količina vlage, ki je v zraku, ko merimo [g/m^3]. **Relativna vlaga** je številsko enaka razmerju med absolutno in maksimalno vlago, pomnoženim s 100 [%]. **Deficit nasičenja** je maksimalna vlaga – absolutna vlaga (fiziološki deficit je maksimalna vlaga pri $32,5\text{ }^\circ\text{C}$ – absolutna vlaga). Omeniti velja še rosišče ali točko rosišča. Točka rosišča je temperatura, pri kateri se vlaga v plinastem stanju utekočini. Ta pojav lahko opazujemo v naravi v jutranjih urah, ko je na travi vidna rosa, v hladnejših dneh tudi slana. Zjutraj ali zvečer se v nižjih plasteh zraka zaradi temperaturnih sprememb lahko pojavi megla.

2.4 Merjenje vlažnosti zraka

Za merjenje vlažnosti zraka uporabljamo enak digitalni termometer s tipalom kot za merjenje temperature. V sondi instrumenta se nahaja električni senzor in prikladen elektronski sklop, ki relativno vlago pretvarja v odgovarjajoči napetostni signal. Vrednost meritve odčitamo na zaslonu.

Merilno območje je od 0 do 100 %.

Natančnost je odvisna od tipala.

Natančnost odčitka 0,1 % relativne vlage.

2.5 Hitrost gibanja zraka

Zrak se v naravi neprestano giblje. Običajno se giblje s področja z višjim tlakom na področje z nižjim. Razlika v tlakih nastane zaradi spremembe temperature. Npr. nad radiatorjem, ki ogreva prostor, se zrak dviguje, če pa v zimskem dnevu odpremo okno, se hladen zrak giblje proti tlom. Te lastnosti gibanja zraka upoštevamo pri načrtovanju sistemov prezračevanja. Naprava za merjenje hitrosti gibanja zraka je **anemometer**. Hitrost gibanja zraka v prostoru naj ne bi presegala **0,2 m/s**.

2.6 Merjenje hitrosti gibanja zraka

Tudi za merjenje hitrosti gibanja zraka uporabljamo enak digitalni termometer s tipalom kot za merjenje temperature in vlage. Sonda z nitko se segreva na določeno temperaturo (slika 2.4). Zrak, ki kroži okrog nitke sonde, povzroča ohlajanje le-te. Sprememba temperature povzroča zmanjšanje upornosti sonde, kar se odraža kot določen odklon na zaslonu anemometra.

Merilno območje je od 0 do 60 m/s.

Natančnost je odvisna od tipala.

Natančnost odčitka 0,1 m/s.

2.7 Srednja temperatura sevanja

Srednja temperature sevanja je tista temperatura, pri kateri idealno črno telo seva tako kot okolje, v katerem merimo [2, 3]. Ker črno telo, segreto na določeno temperaturo, seva bolj kot katera koli druga površina iste temperature, je srednja temperatura sevanja nižja od temperature okoliških segrelih površin.

Določimo srednjo temperaturo sevanja za kroglo premera 154 mm [4]. Princip meritev temelji na dejstvu, da je krogla po določenem času v toplotnem ravnotežju z okolico. Toplotno ravnotežje je določeno s toplotnim tokom med kroglo in okoliškimi površinami zaradi sevanja ter toplotnim tokom med kroglo in okoliškim zrakom zaradi konvekcije. Toplotno ravnotežje lahko zapišemo kot:

$$q_s + q_k = 0 \quad (2.1)$$

q_s – toplotni tok med kroglo in okoliškimi površinami zaradi sevanja [W/m²]

q_k – toplotni tok med kroglo in okoliškim zrakom zaradi konvekcije [W/m²]

Toplotni tok zaradi sevanja med kroglo in stenami prostora je:

$$q_s = \varepsilon_g \cdot \sigma \cdot (\bar{T}_s^4 - T_g^4) \quad (2.2)$$

ε_g – emisivnost globus termometra [-]

σ – Stefan – Boltzmannova konstanta [$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$ W/(m²K⁴)]

\bar{T}_s – srednja sevalna temperatura [K]

T_g – temperatura globus termometra [K], $T_g > T_z$

Toplotni tok zaradi konvekcije je:

$$q_k = \alpha_k \cdot (T_z - T_g) \quad (2.3)$$

α_k – toplotna prestopnost [W/m²]

T_z – temperatura zraka [K]

T_g – temperatura globus termometra [K]

Toplotna prestopnost je za primer naravne konvekcije določena z enačbo:

$$\alpha_k = 1,4 \cdot \left(\frac{\Delta T}{D}\right)^{1/4} \quad (2.4)$$

in prisilne konvekcije:

$$\alpha_k = 6,3 \cdot \frac{v_z^{0,6}}{D^{0,4}} \quad (2.5)$$

kjer je D premer krogle in v_z hitrost zraka na mestu krogle.

Toplotno ravnovesje krogle zapišemo kot:

$$\varepsilon_g \cdot \sigma \cdot (\bar{T}_s^4 - T_g^4) + \alpha_k \cdot (T_z - T_g) = 0 \quad (2.6)$$

Srednja sevalna temperatura je:

$$\bar{T}_s = \sqrt[4]{T_g^4 + \frac{\alpha_k}{\varepsilon_g \cdot \sigma} \cdot (T_g - T_z)} \quad (2.7)$$

Za primer naravne konvekcije je srednja temperatura sevanja:

$$\bar{T}_s = \left[(T_g + 273)^4 + \frac{0,25 \cdot 10^8}{\varepsilon_g} \cdot \left(\frac{|T_g - T_z|}{D} \right)^{1/4} \cdot (T_g - T_z) \right]^{1/4} - 273 \quad (2.8)$$

in standardne krogle $D = 154$ mm in $\varepsilon_g = 0,95$ (črna mat barva):

$$\bar{T}_s = \left[(T_g + 273)^4 + 0,4 \cdot 10^8 \cdot (|T_g - T_z|)^{1/4} \cdot (T_g - T_z) \right]^{1/4} - 273 \quad (2.9)$$

Za primer prisilne konvekcije je srednja temperatura sevanja:

$$\bar{T}_s = \left[(T_g + 273)^4 + \frac{1,1 \cdot 10^8 \cdot v_z^{0,6}}{\varepsilon_g \cdot D^{0,4}} \cdot (T_g - T_z) \right]^{1/4} - 273 \quad (2.10)$$

in standardne krogle $D = 154$ mm in $\varepsilon_g = 0,95$ (črna mat barva):

$$\bar{T}_s = \left[(T_g + 273)^4 + 2,5 \cdot 10^8 \cdot v_z^{0,6} \cdot (T_g - T_z) \right]^{1/4} - 273 \quad (2.11)$$

Glede na Balantič idr. [5] pa srednjo temperaturo sevanja, za kroglo s premerom 153 mm, izračunamo po enačbi:

$$T_R = \sqrt[4]{T_g^4 + 3,19 \cdot 10^7 \cdot (T_g - T_z) \cdot v^{0,5}} \quad (2.12)$$

kjer je:

T_R – srednja temperatura sevanja (K),

T_g – temperatura globus termometra (K),

T_z – temperatura zraka (K),

K_K/K_R – konstanta globus termometra s premerom bakrene krogle 153 mm = $3,19 \cdot 10^7$,

v – hitrost gibanja zraka.

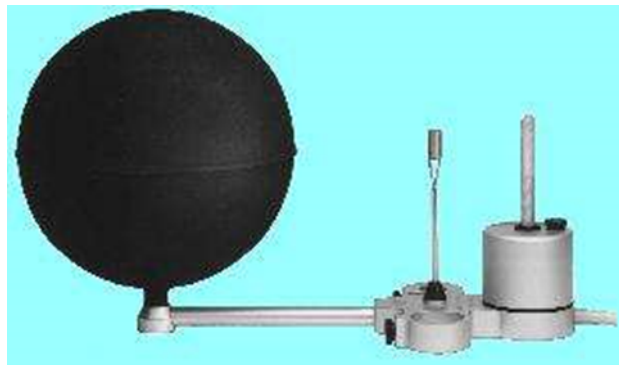
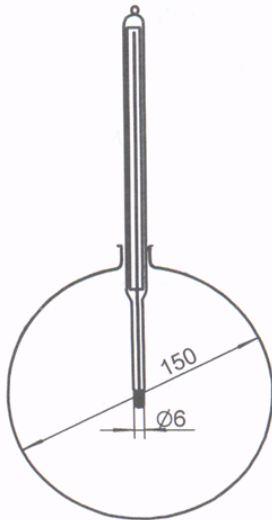


Slika 2.4: Sonda z nitko za merjenje hitrosti gibanja zraka

Vir: lasten

2.8 Merjenje srednje temperature sevanja

Za merjenje srednje temperature sevanja uporabljamo globus termometer (slika 2.5). Merilni instrument je sestavljen iz črno obarvane votle sfere, v kateri je v središču nameščen termoelement (termometer). Premer krogle je lahko poljuben, vendar je pri manjših premerih vpliv temperature zraka večji. Temperatura globus termometra pri stacionarnem stanju predstavlja ravnotežno temperaturo kot rezultat toplotnih dobitkov in toplotnih izgub (povzročene s sevanjem in konvekcijo). Globus termometer je v ravnotežju z okoljem po 20 minutni ekspoziciji.



Slika 2.5: Globus termometer [6]

Vir: lasten

2.9 Primeri meritev

Merjenje mikroklimе v prostorih

1. primer: S pomočjo kompaktnega multifunkcijskega merilnika Testo 435 izmerite temperaturo, vlago in hitrost gibanja zraka v prostoru. Ker je toplotno okolje v laboratoriju idealno, vklopite klimatsko napravo in izmerite hitrost gibanja zraka pri različnih stopnjah hlajenja. Odčitajte in izpišite izmerjene veličine.

Prvi odčitek:

Temperatura zraka $T_z =$ ____ v °C.

Vlažnost zraka (relativna) $r_v =$ ____ v %.

Hitrost gibanja zraka $v =$ ____ v m/s.

Drugi odčitek:

Temperatura zraka $T_z =$ ____ v °C.

Vlažnost zraka (relativna) $r_v =$ ____ v %.

Hitrost gibanja zraka $v =$ ____ v m/s.

Tretji odčitek:

Temperatura zraka $T_z = \underline{\hspace{2cm}}$ v °C.

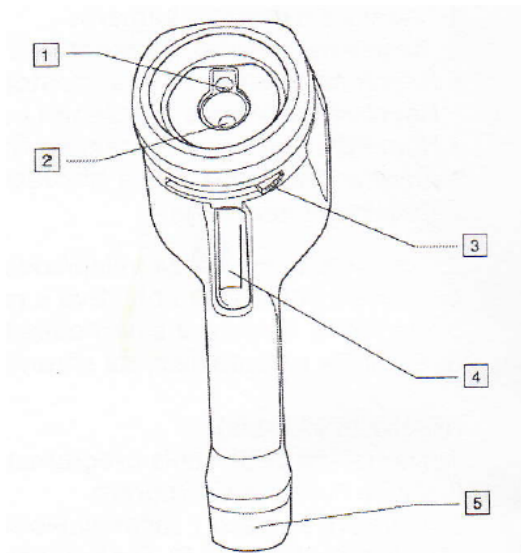
Vlažnost zraka (relativna) $r_v = \underline{\hspace{2cm}}$ v %.

Hitrost gibanja zraka $v = \underline{\hspace{2cm}}$ v m/s.

Mejna vrednost: hitrost gibanja zraka v prostoru naj ne presega 0,2 m/s.

2. primer: S termično kamero Flir izdelajte posnetek prostora in ga analizirajte! Uporabite različne načine posnetkov (toplotno MSN sliko, klasično toplotno sliko in vidno sliko). Sliko posnemite tudi z različnimi temperaturnimi skalami [7]!

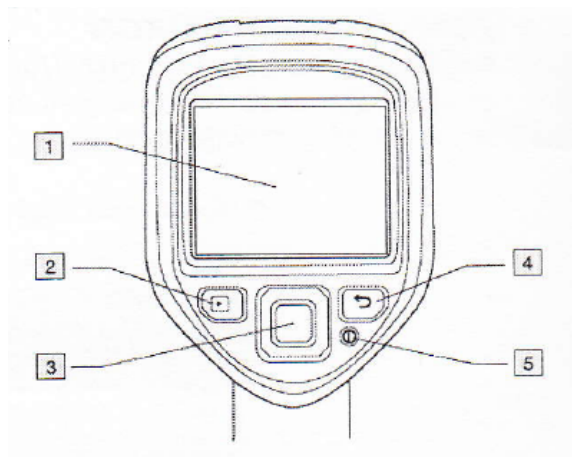
Potek dela: Kamero najprej vklopimo in odpremo pokrovček objektiv s pritiskom na ročico pokrova objektiv. Kamero namerimo v smeri objekta, ki ga želimo pregledati. Pritisnemo na sprožilec, da shranimo sliko. Osnovne funkcijske tipke za uporabo termične kamere Flir so predstavljene na slikah 2.6, 2.7 in 2.8.



- 1 – Leča digitalne kamere
- 2 – IR leča
- 3 – Ročica pokrova objektiv
- 4 – Prožilec za shranjevanje slik
- 5 – Baterija

Slika 2.6: Funkcijske tipke na termični kameri Flir

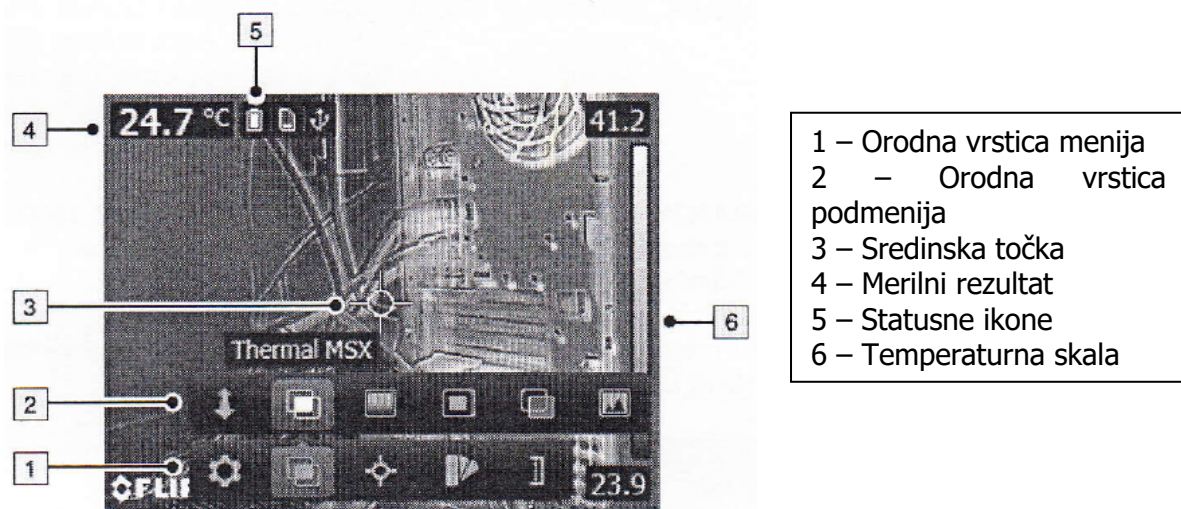
Vir: lasten



- 1 – Zaslona
- 2 – Tipka za odprtje arhiva shranjenih slik
- 3 – Navigacijska tipkovnica (levo/desno, gor/dol in osrednja tipka za potrditev izbire)
- 4 – Gumb za prekinitev
- 5 – Tipka za vklop/izklop kamere

Slika 2.7: Tipkovnica

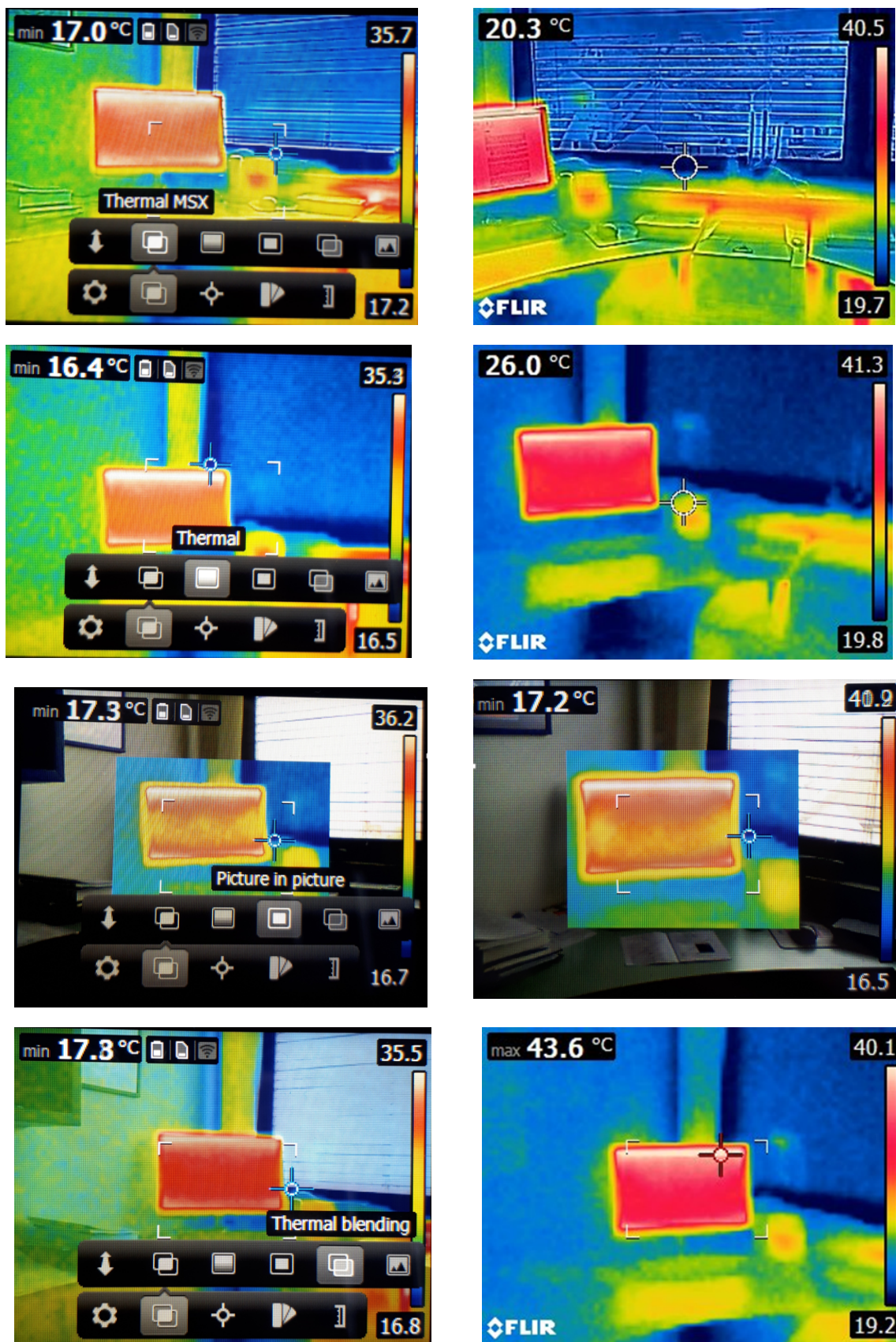
Vir: lasten



Slika 2.8: Elementi LCD zaslona

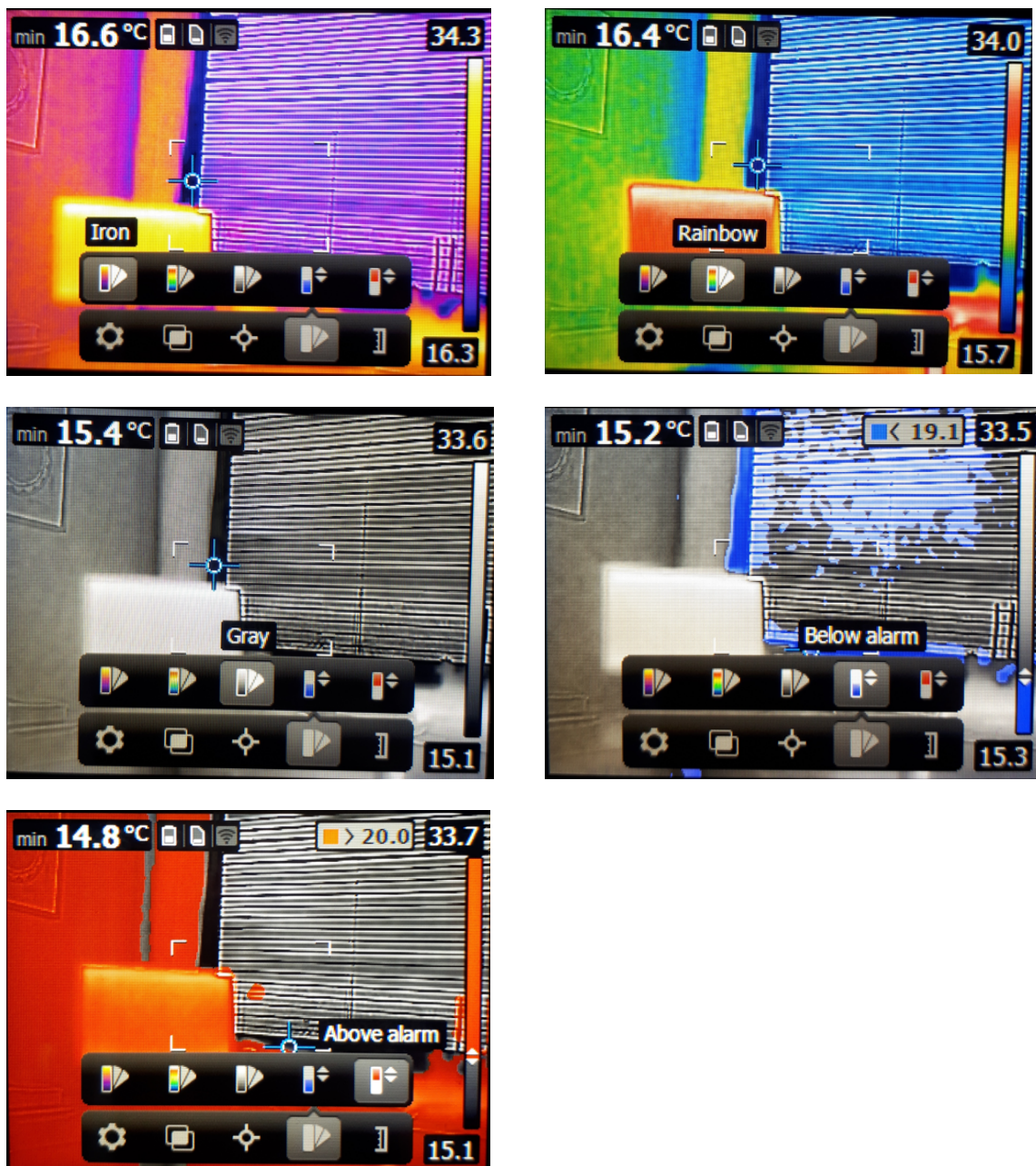
Vir: lasten

Z uporabo funkcijskih tipk izberemo različne načine prikaza: toplotna MSN slika, klasična toplotna slika, slika v sliki in termično prelivajoča slika (slika 2.9)



Slika 2.9: Različni načini prikaza
Vir: lasten

Spreminjanje barvne palete od izbranih barv, mavričnih barv, črno – belo s sivinami in barvni alarm, s katerim nastavimo, da pokaže vse območja nad ali pod izbrano barvo (slika 2.10).



Slika 2.10: Izbira barvne palete

Vir: lasten

3. primer: Srednja temperatura sevanja \bar{T}_s je tista temperatura, pri kateri bi idealno črno telo sevalo tako, kot okolje v katerem se vrši merjenje. Pri praktičnih meritvah srednje temperature sevanja uporabljamo globus termometer.

Odčitana temperatura globus termometra je 25,2 °C, temperatura zraka 19,4°C in hitrost gibanja zraka 0,57 m/s. Določite srednjo temperaturo sevanja!

Uporabimo enačbo za primer prisilne konvekcije s standardno kroglo $D = 154$ mm in $\varepsilon_g = 0,95$ (črna mat barva):

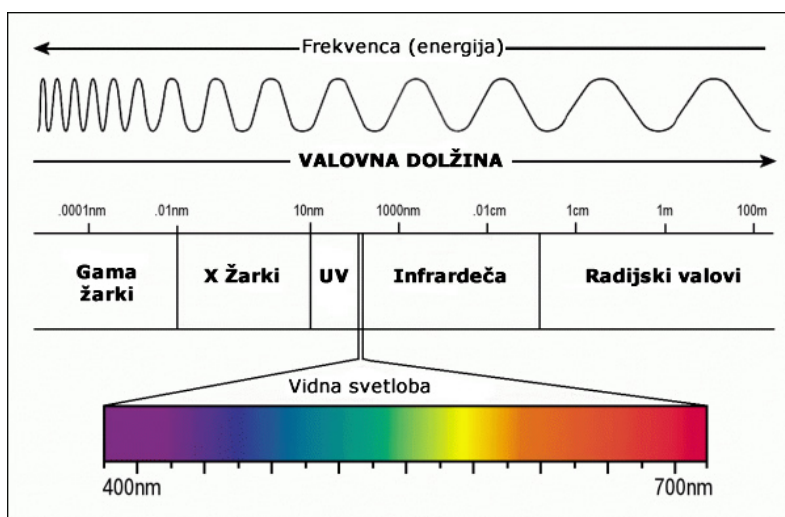
$$\bar{T}_s = \left[(T_g + 273)^4 + 2,5 \cdot 10^8 \cdot v_z^{0,6} \cdot (T_g - T_z) \right]^{1/4} - 273 \quad (2.11)$$

Srednja temperatura sevanja $\bar{T}_s = \text{_____}$ v °C.

3 OSVETLJENOST

3.1 Osnove

Svetloba je elektromagnetno valovanje. Lastnosti elektromagnetnega spektra lahko opišemo z valovno dolžino, frekvenco in energijo (slika 3.1). Človeško oko zaznava svetlobo z valovnimi dolžinami od 380 do 780 nm.



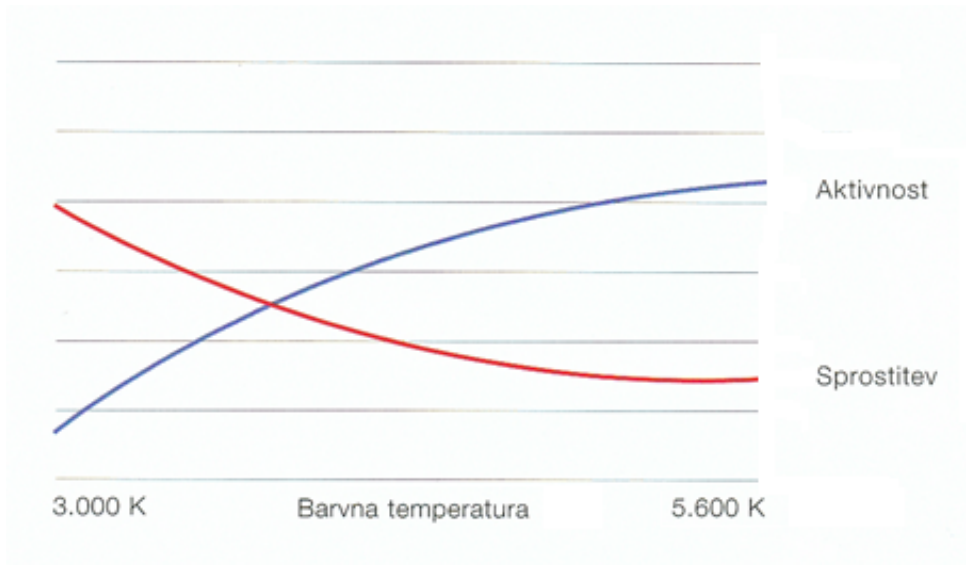
Slika 3.1: Spekter vidne svetlobe [8]

Osnovne svetlobne veličine so za tisti del sevanja, ki ga zazna človeško oko: svetlobni tok, svetilnost, osvetljenost in svetlost. **Svetilnost** I je gostota svetlobnega toka točkastega vira svetlobe v določeni smeri. Enota je candela (cd). **Svetlobni tok** Φ je oddana moč sevanja, ki ga oko zazna kot svetlobo. Enota je lumen (lm). **Osvetljenost** E je gostota, s katero vpada svetlobni tok na ploskev. Enota je lux (lx). **Svetlost** B je veličina, ki jo oko zaznava in je merilo za svetlobni vtis o osvetljenosti površine. Enota za svetlost je candela na m².

Za dobro počutje delavca, večjo učinkovitost in manj nezdod pri delu je treba osvetlitev delovnega prostora načrtovati in urediti, upoštevati pa je treba tudi obstoječo zakonodajo. Pravilnik o zahtevah za zagotavljanje varnosti in zdravja pri delu določa mejne vrednosti osvetljenosti za različne vrste in različno zahtevnost dela. Najboljše je, kadar se za ustrezno osvetljenost uporablja dnevna svetloba. Če je treba dnevno svetlobo dopolniti z umetno, je treba paziti predvsem na:

- pravilno usmeritev,
- porazdelitev,
- osvetljenost,
- kontrast in
- barvo svetlobe.

V splošnem ločimo dve vrsti barve svetlobe, toplo belo svetlobo (okrog 2700 K), ki se običajno priporoča v prostorih za počitek, in hladno belo svetlobo (4000 K in več), ki se priporoča za delovne prostore (slika 3.2). Hladno belo svetlobo zaznavamo kot bolj svetlo.



Slika 3.2: Barva dnevne svetlobe primerna za sprostitvev ali aktivnost [9]

3.2 Merjenje osvetljenosti

Osvetljenost delovnega prostora dobimo tako, da prostor razdelimo na enako velike kvadrate (npr. 0,5 x 0,5 m do 1 x 1 m) in izmerimo osvetljenost v posameznih kvadratih [10]. Za ustreznost meritve je dovolj tudi to, da izmerimo osvetljenost na posameznih delovnih mestih. Za merjenje osvetljenosti lahko uporabimo multifunkcijski merilnik testo 435 z ustreznim tipalom (slika 3.3). Tipalo je sestavljeno iz fotocelice, ki zaznava spremembo svetlobe. Meritev izvedemo tako, da tipalo obrnemo v smeri izvora svetlobe ali pa izmerimo odboj npr. na delovni površini.

Merilno območje je od 0 do 10000 lux.

Natančnost je odvisna od tipala.

Natančnost odčitka 1 lux.



Slika 3.3: Sonda za merjenje osvetljenosti

Vir: lasten

3.3 Merjenje osvetljenosti s pametnim telefonom

Osvetljenost površine lahko izmerimo tudi s pametnim telefonom. Proizvajalci merilnih naprav sicer izpostavljajo, da meritve s telefonom nikakor niso zanesljive, vendar je kakovost meritve odvisna od kakovosti senzorjev, ki so vgrajeni v pametni telefon. Pametni telefoni so iz leta v leto bolj kvalitetni in zmogljivi, omogočajo vedno boljše fotografske posnetke, kar pa je v veliki meri povezano s kvalitetnejšimi senzorji za osvetljenost.

Na spletni strani <https://www.dial.de/en/blog/category/lighting-design/> je bila 23.2.2016 objavljena raziskava, ki jo je izvedel akreditiran laboratorij za merjenje osvetljenosti. Primerjali so različne vrste pametnih telefonov (iPhone, Sony Samsung in Nokia), ki uporabljajo operacijska sistema iOS (iPhone) in Android (ostali). [Datum dostopa: 8.8.2019]

Referenčno meritev so izvedli s kalibriranim merilcem osvetljenosti PRC Krochmann (Model 106e, special model, class A) in za svetlobni vir izbrali LED svetilko (3000 K). Meritve so izvedli v sobi brez dnevne svetlobe, kjer so merilno površino osvetlili z 100, 500 in 1000 luxi. Pred izvedbo meritve so izvedli kalibracijo po navodilih proizvajalca tudi na pametnih telefonih.

Pri rezultatih z referenčno vrednostjo 500 luxov je imel največja odstopanja (113 %) Samsung Galaxy S5 z aplikacijo 'Lux Light Meter', ki je izmeril vrednost 1063 Luxov, najmanjša odstopanja (3 %) pa so bila pri meritvi z iPhone 5 z aplikacijo 'Light Meter by whitegoods', ki je izmeril vrednost 484 lx.

3.4 Primeri meritev

1. primer: S pomočjo kompaktnega multifunkcijskega merilnika Testo 435 in sondo za merjenje osvetljenosti, izmerite osvetljenost delovnih površin na izbranem delovnem mestu. Meritev ponovite (opravite vsaj 9 meritev) in izračunajte srednjo vrednost osvetljenosti.

Meritev	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Osvetljenost [lux]									

Srednja vrednost osvetljenosti = ____ lux.

2. primer: S pomočjo pametnega telefona in aplikacije za merjenje osvetljenosti, izmerite osvetljenost delovnih površin na izbranem delovnem mestu. Meritev ponovite (opravite vsaj 9 meritev) in izračunajte srednjo vrednost osvetljenosti. Dobljene vrednosti primerjajte z rezultati dobljenimi s kompaktnim multifunkcijskim merilnikom Testo 435.

Meritev	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Osvetljenost [lux]									

Srednja vrednost osvetljenosti = ____ lux.

Odstopanje _____

Komentar _____

3. primer: Za podatke v tabeli izračunajte srednjo vrednost osvetljenosti za delovno mesto v notranjih prostorih! Dobljene vrednosti primerjajte s priporočili, podanimi v pravilnikih in določite ustreznost/neustreznost razsvetljave.

Delovno mesto	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Osvetljenost [lux]	290	325	260	350	280	185	305	110	274

Srednja vrednost osvetljenosti = ____ lux.

Normativ = ____ lux.

Komentar _____

4. primer: Za podatke v tabeli izračunajte srednjo vrednost osvetljenosti za delovno mesto na prostem! Dobljene vrednosti primerjajte s priporočili, podanimi v pravilnikih in določite ustreznost/neustreznost razsvetljave.

Delovno mesto	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Osvetljenost [lux]	600	425	290	350	260	1185	1300	1710	674

Srednja vrednost osvetljenosti = ____ lux.

Normativ = ____ lux.

Komentar _____

5. primer: S pomočjo kompaktnega multifunkcijskega merilnika Testo 435 in sondo za merjenje osvetljenosti, izmerite odboj svetlobe od tal (sondo držite nekje na višini 80 cm od tal obrnjeno navzdol). Meritev ponovite (opravite vsaj 9 meritev) in izračunajte srednjo vrednost.

Meritev	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Osvetljenost [lux]									

Srednja vrednost odboja = ____ lux.

Normativ = ____ lux.

Vrsta svetlobe (ustrezno obkroži): dnevna svetloba umetna svetloba

6. primer: S pomočjo kompaktnega multifunkcijskega merilnika Testo 435 in sondo za merjenje osvetljenosti, izmerite odboj svetlobe od stene (sondo držite oddaljeno približno 50 cm od stene obrnjeno proti steni). Meritev ponovite (opravite vsaj 9 meritev) in izračunajte srednjo vrednost.

Meritev	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Osvetljenost [lux]									

Srednja vrednost odboja = ____ lux.

Vrsta svetlobe (ustrezno obkroži): dnevna svetloba umetna svetloba

Iz zgoraj izmerjenih vrednosti ugotovite faktor odboja. Faktor odboja je razmerje med srednjo vrednostjo odboja in srednjo osvetljenostjo.

Faktor odboja _____.

Glede na Pravilnik o zahtevah za zagotavljanje varnosti in zdravja delavcev na delovnih mestih (Ur. list RS št. 89/1999, 39/2005,43/2011-ZVZD-1) mora znašati osvetljenost na stalnih delovnih mestih **najmanj 200 lx**. Podrobnejša navodila glede osvetljenosti delovnih mest natančno določajo še:

- Pravilnik o varnosti in zdravju pri delu s slikovnim zaslonom (Ur.l. RS 30/2000, 73/2005),
- SIST EN 12464-1:2011; Svetloba in razsvetljava – Razsvetljava na delovnem mestu – 1. del: Notranji delovni prostori, (Light and lighting – Lighting of work places – Part 1: Indoor work places),
- SIST EN 12464-2:2007; Svetloba in razsvetljava – Razsvetljava na delovnem mestu – 2. del: Delovna mesta na prostem (Light and lighting – Lighting of work places – Part 2: Outdoor work places),
- ISO 8995.

4 HRUP

4.1 Osnove

Hrup je vsak nezaželen in neprijeten zvok, ki kvarno vpliva na počutje in zdravje ljudi. Če se ozremo v preteklost, je bilo brez množičnega transporta in industrije v okolju zelo malo hrupa. Danes je v EU vsak dan na milijone ljudi izpostavljenih hrupu pri delu in vsem tveganjem, ki jih lahko povzroči. Okvara sluha, povzročena zaradi hrupa, velja za najpogosteje prijavljeno poklicno bolezen v EU. Hrup zmanjšuje delavno zmožnost in pazljivost, zmanjšuje zmožnost sprejemanja informacij in pomnjenja, moti koordinacijo gibov in s tem zmanjšuje preciznost dela. Danes govorimo celo o onesnaženju okolja s hrupom (angl. noise pollution).

Jakost ali glasnost hrupa se meri v decibelih (dB). Decibelna skala je logaritemska in zvišanje ravni zvoka za 3 dB pomeni že podvojitev jakosti zvoka. Npr. običajen pogovor ima jakost okoli 65 dB, kričanje pa 80 dB. Čeprav je razlika 15 le dB, je kričanje 30-krat glasnejše. Jakost ni edini dejavnik, ki določa, ali je hrup nevaren. Prav tako je pomembno:

- trajanje izpostavljenosti (osemurni delavnik),
- impulznost – ali obstajajo zvočne konice, ki jih lahko npr. proizvajajo električni obloki?
- Frekvenca – merjena v Hertzih (Hz). Višina zvoka pomeni zaznavanje frekvence.
- Časovna porazdelitev – kdaj pride do zvoka in kako pogosto.

Človekovo uho ni enako občutljivo za vse frekvence. Višina tona se izraža v Hz, ki je enak enemu nihaju v sekundi. Meje percepcije mladega človeka so 20 do 16.000 Hz, s starostjo zgornja meja pada. Ugotovili so, da človekovo uho najbolje percipira tone med 500 in 5000 Hz, najboljša občutljivost je pri 4000 Hz in proti nižjim in višjim frekvencam pada.

Poseben problem predstavlja nizkofrekvenčni hrup ali infrazvok. Če sledimo definiciji, da je zvok longitudinalno valovanje, ki ga zazna človeško uho, potem infrazvok ni zvok v običajnem pomenu besede, saj gre za zvok pri nižjih frekvencah, ki ga ne slišimo. Območje infrazvoka (angl. Low Frequency Noise – LFN) predstavlja območje od 10 do 100 Hz, posebej problematičen pa je zvok s frekvencami od 7 do 10 Hz. Infrazvok se zaradi slabe absorpcije v zraku prenaša na velike razdalje, tudi do več sto kilometrov. Dobro ga zaznavajo vodne živali in ptice, ki so ob pojavu tega zvoka vznemirjene in iščejo zatočišče. Infrazvok se npr. pojavi pred nevihto, pri potresih, plazovih, eksplozijah, delovanju težkih strojev, prisoten je pri delovanju vetrnih elektrarn, klimatskih naprav, nastaja pri delovanju kompresorjev, črpalk, ventilatorjev ...

V prilogi Pravilnika o varovanju delavcev pred tveganji zaradi izpostavljenosti hrupu pri delu so podane dopustne ekvivalentne ravni hrupa za nemoteno delo pri posameznih vrstah delovnih opravil. Ocenjuje se dnevna ali tedenska izpostavljenost hrupu. Hrup, pri katerem dnevna ali tedenska izpostavljenost presega 85 dB (A) ali če končna raven presega 140 dB (C), je škodljiv za zdravje, zato je v takšnih okoljih obvezna uporaba zaščitnih sredstev. Če jih delavec ne uporablja, sta lahko z globo kaznovana delavec in delodajalec.

Dnevno izpostavljenost izračunamo glede na prisotnost impulznega hrupa [1]:

A – impulzni hrup ni prisoten

$$L_{EX,8h} = L_{Aeq,T_e} + 10 \log \frac{T_e}{T_0} \quad (4.1)$$

kjer je:

$$L_{Aeq,T_e} = 10 \log \left(\frac{1}{T_e} \int_0^{T_e} \left(\frac{p_{A(t)}}{p_0} \right) dt \right) \quad (4.2)$$

$p_{A(t)}$ – trenutna A vrednotena raven zvočnega tlaka v Paskalih, ki mu je izpostavljen delavec

p_0 – referenčni zvočni tlak (20 mPa)

t – čas

T_e – dnevno trajanje osebne izpostavljenosti delavca hrupu

T_0 – je enak 8 ur oziroma 28800 s

B – impulzni hrup je prisoten

$$L_{EX,8h} = L_{Ar,T_e} + 10 \log \frac{T_e}{T_0} \quad (4.3)$$

kjer je:

$$L_{Ar,T_e} = 10 \log \left(\frac{1}{T_e} \sum_{i=1}^n T_i \cdot 10^{0.1(L_{Aeq,T_i} + K_i)} \right) \quad (4.4)$$

Tedenska izpostavljenost

$$L_{EX,w} = 10 \log \left(\frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 \cdot 10^{0.1(L_{EX,8h})_i} \right) \quad (4.5)$$

kjer je $L_{EX,8h}$ dnevna izpostavljenost delavca v i -tem dnevu.

Dopustne ekvivalentne ravni hrupa za nemoteno delo pri posameznih vrstah delovnih opravil so podane v tabeli 4.1.

Tabela 4.1: Dopustne ekvivalentne ravni hrupa za nemoteno delo pri posameznih vrstah delovnih opravil

Zap. št.	Vrsta dejavnosti	Dopustna ekvivalentna raven hrupa na delovnem mestu v dB(A)	
		a	b
1	Najzahtevnejše mentalno delo.	45	40
2	Pretežno mentalno delo, pri katerem je potrebna velika koncentracija in/ali ustvarjalno mišljenje ali so potrebne daljnosežne odločitve, sejne dvorane, pouk v šolah, zdravniški pregledi in posegi, znanstveno delo, raziskave, razvoj programov, zahtevnejša pisarniška dela, telefonske centrale.	55	45
3	Enostavna pisarniška in njim primerljiva dela, prodaja, zahtevna montaža in njej primerljiva pretežno fizična dela, zahtevno krmiljenje sistemov.	65	55
4	Manj zahtevno krmiljenje sistemov, manj zahtevna fizična dela, ki zahtevajo zbranost in pazljivost in njim podobna dela.	70	60
5	Pretežno rutinska fizična dela, ki zahtevajo slušno spremljanje okolja.	80	75
6	Noseče ženske.	80	55

a: velja za splošni hrup na delovnem mestu zaradi drugih proizvodnih virov v okolici delovnega mesta,

b: velja za hrup na delovnem mestu zaradi neproizvodnih virov (ventilacija, klimatizacija, sosednji obrati, hrup prometa ipd.).

4.2 Merjenje hrupa

Meritve hrupa izvajamo z instrumentom Cirrus RCR:831B (slika 4.1). Na instrumentu je nameščen precizen mikrofonski senzor, ki pretvarja spremembo zračnega tlaka v spremembo frekvence in za tem v spremembo napetosti. Zvok se širi v obliki razredčin in zgoščin zraka, le-te pa delujejo na membrano mikrofona. Pred vsako meritvijo je treba merilec hrupa kalibrirati (slika 4.2). Rezultate meritev po opravljenih meritvah prenesemo v računalnik in natisnemo.

Merilno območje je od 0 do 10000 lux.

Natančnost je odvisna od tipala.

Natančnost odčitka 0,1 Hz.

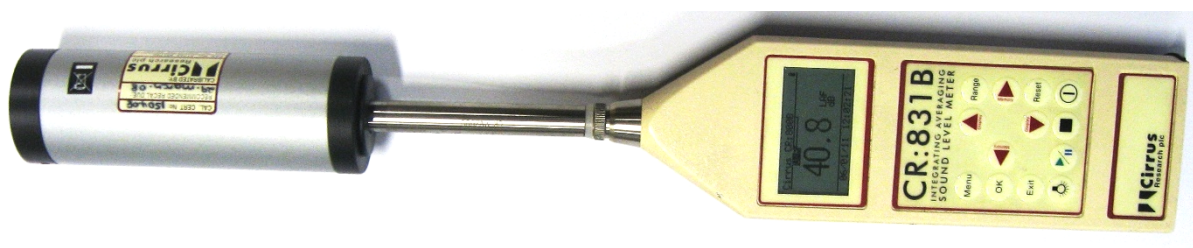
Na slikah 4.3 in 4.4 so prikazani rezultati meritev hrupa, ki smo jih izvedli v podjetju Hella Saturnus, Ljubljana. Na obeh slikah je prikazana meritev hrupa s časovno razporeditvijo. Nivo hrupa na sliki 4.3 je ustrezen, $Leq = 71,8$ dBA, medtem ko je nivo hrupa na sliki 4.4 previsok za $81,8$ dBA, kar pomeni, da mora delodajalec delavcu ponuditi zaščitno opremo.

Na počutje delavca in produktivnost vpliva tudi frekvenca hrupa, zato je na slikah 4.5 podan še graf oktavne analize in 4.6 graf oktavne analize z vrisanimi normiranimi nivoji. Kot je razvidno iz slike 4.6, vrednosti pri 500 Hz presegajo dovoljeni nivo.



Slika 4.1: Merilec hrupa Cirrus CR:831B

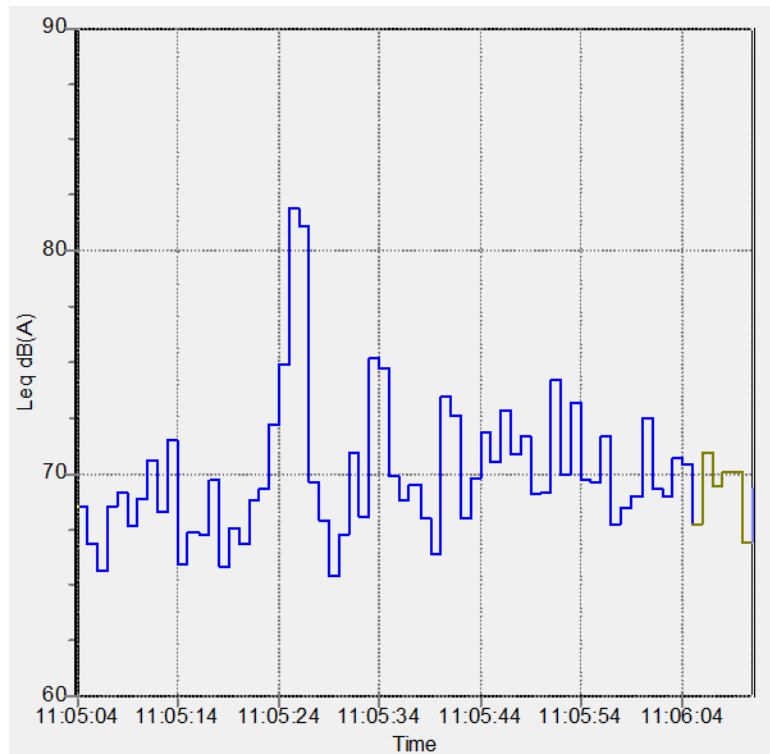
Vir: lasten



Slika 4.2: Kalibracija merilca hrupa Cirrus CR:831B s kalibratorjem Cirrus R 511E

Vir: lasten

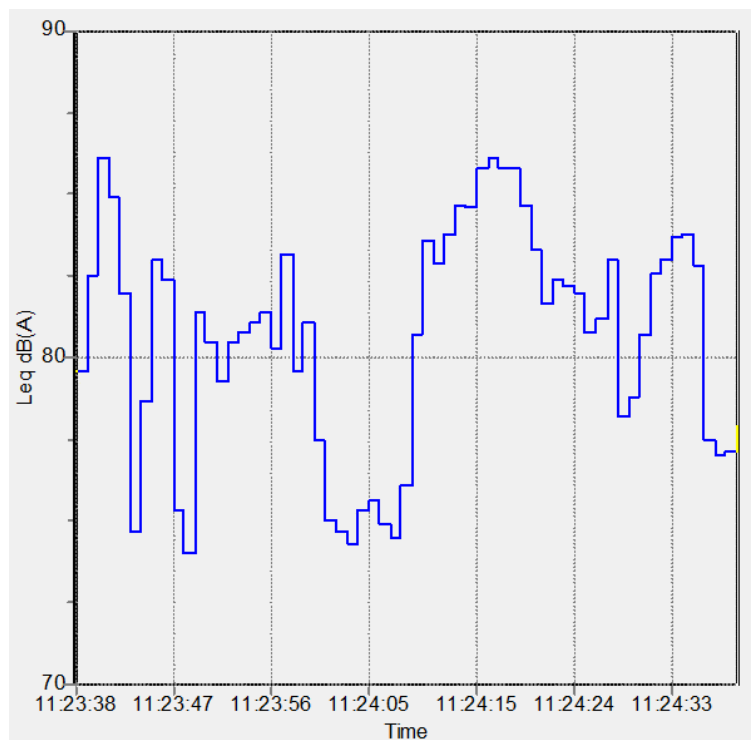
Item	Value	unit
Date	15.1.2019	
Time	11:05:04	
Run Time	00:01:01	hh:mm:ss
Leq	71,8	dB(A)
Lepd	45,1	dB(A)
LAE	89,6	dB(A)
LAFmax	83,5	dB(A)
Peak	100,3	dB(C)
Lmin	78,7	dB(A)
Lmin	78,7	dB(A)
Lmin	78,7	dB(A)
Lmin	78,7	dB(A)
Lmin	78,7	dB(A)
Lmin	62,1	dB(A)
Range	40-110	dB
Overload	no	
Serial No.	C18181FF	
Exp.Time	0:01	hh:mm



Slika 4.3: Meritev hrupa s časovno razporeditvijo, nivo hrupa je ustrezen

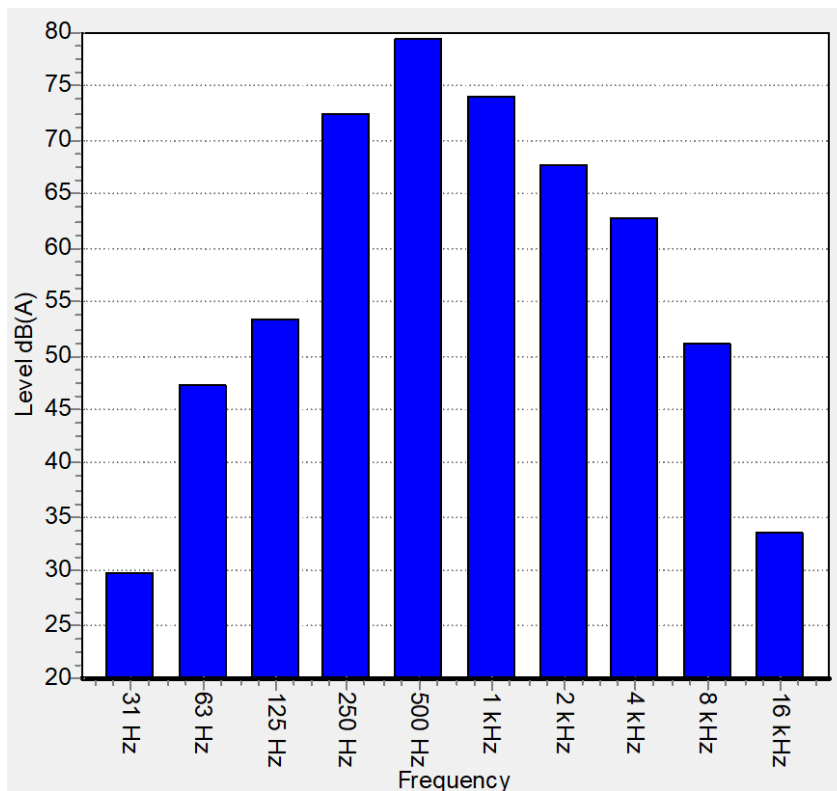
Vir: lasten

Item	Value	unit
Date	15.1.2019	
Time	11:23:38	
Run Time	00:01:02	hh:mm:ss
Leq	81,8	dB(A)
Lepd	55,2	dB(A)
LAE	99,7	dB(A)
LAFmax	88,3	dB(A)
Peak	110,9	dB(C)
Lmin	87,2	dB(A)
Lmin	87,2	dB(A)
Lmin	87,2	dB(A)
Lmin	87,2	dB(A)
Lmin	87,2	dB(A)
Lmin	73,0	dB(A)
Range	40-110	dB
Overload	no	
Serial No.	C18181FF	
Exp.Time	0:01	hh:mm

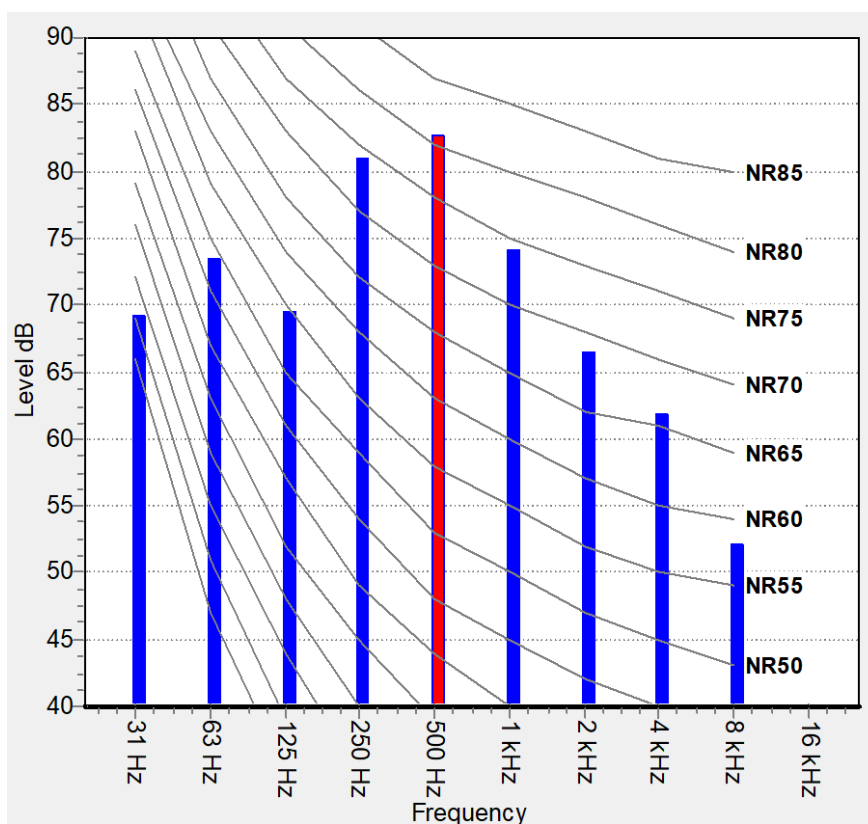


Slika 4.4: Meritev hrupa s časovno razporeditvijo; nivo hrupa presega priporočeno mejo 80 dB

Vir: lasten



Slika 4.5: Graf oktavne analize
Vir: lasten



Slika 4.6: Graf oktavne analize z vrisanimi normiranimi nivoji
Vir: lasten

4.3 Primeri meritev in izračuni

1. primer: Izračunajte ekvivalent hrupa in primerjajte dobljeno vrednost s podano vrednostjo v preglednici, ki ustreza vrsti dela na delovnem mestu končne montaže. Izmerjene vrednosti hrupa in časovno trajanje so podani v tabeli 4.2:

Tabela 4.2: Meritve hrupa na delovnem mestu montaže

Nivo hrupa L_i (dBA)	Trajanje t_i (min)	Trajanje t_i (h)
72	84	1,4
65	25	0,42
74	207	3,45
82	23	0,38
69	141	2,35
Skupni čas	480	8

$$L_{eq} = 10 \cdot \log \left[\frac{1}{t_0} \sum_{i=1}^n (t_i \cdot 10^{0,1 \cdot L_i}) \right] \quad (4.6)$$

$$L_{eq} = 10 \cdot \log \left[\frac{1}{8} \cdot (1,4 \cdot 10^{7,2} + 0,42 \cdot 10^{6,5} + 3,45 \cdot 10^{7,4} + 0,38 \cdot 10^{8,2} + 2,35 \cdot 10^{6,9}) \right]$$

$$L_{eq} = 73,7 \text{ dB}$$

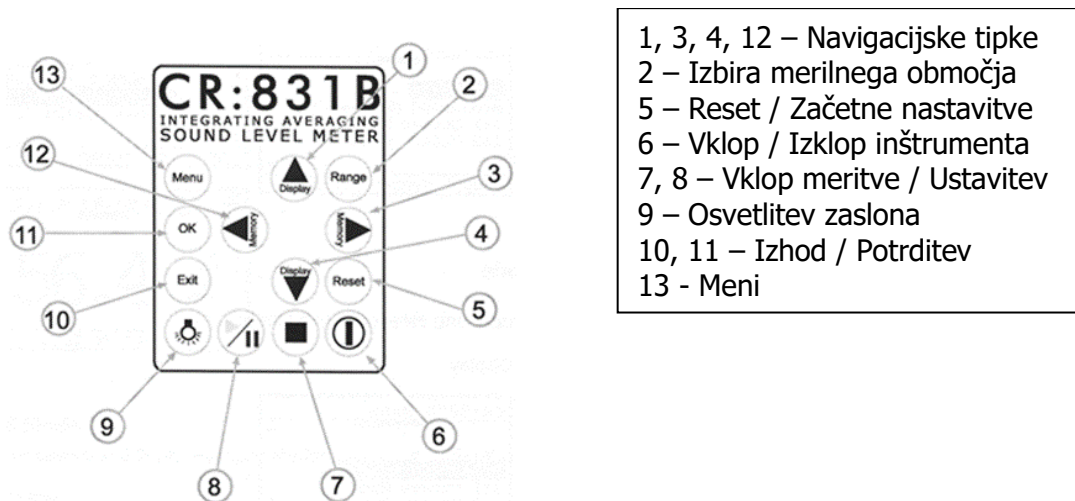
Komentar

Iz tabele 4.1: Dopustne ekvivalentne ravni hrupa za nemoteno delo pri posameznih vrstah delovnih opravil odčitamo dovoljeno vrsto hrupa. Poiščemo opis, ki najbolje opredeli vrsto dela na delovnem mestu končne montaže. Za vrsto dela 'zahtevna montaža in njej primerljiva pretežno fizična dela' je dopustna mejna vrednost 65 dB. Za fizično delo, ki zahteva natančnost in zbranost je torej izračunana vrednost 73,7 dB nekoliko previsoka.

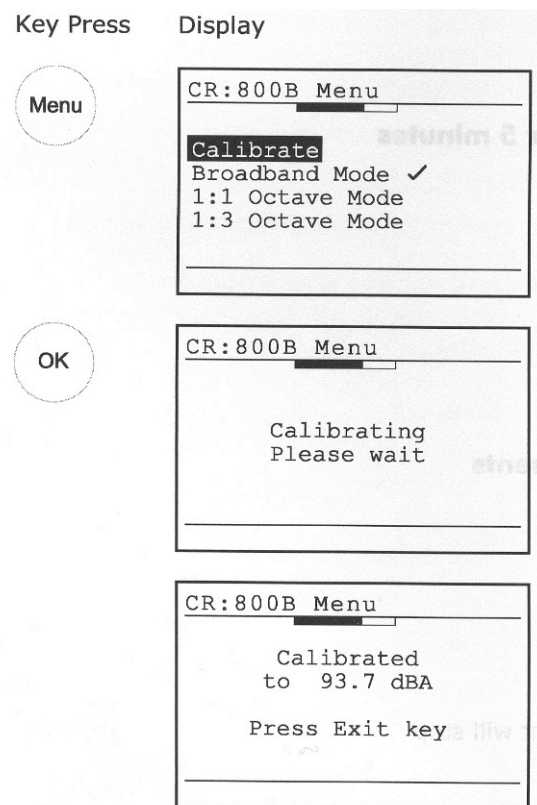
2. primer: S pomočjo merilnika hrupa Cirrus CR:831B izmerite jakost skupnega (širokopasovnega) hrupa in za tem opravite še frekvenčno (terčno) analizo hrupa pri različnih pretokih. Merilnik hrupa je treba pred vsako meritvijo kalibrirati.

Potek dela: Na mikrofona namestimo kalibrator Cirrus CR 511E (1 Khz kalibrator) z vklopljenim nivojem 94 dB (slika 4.2) in vklopimo inštrument (poz. 7 slika 4.7.).

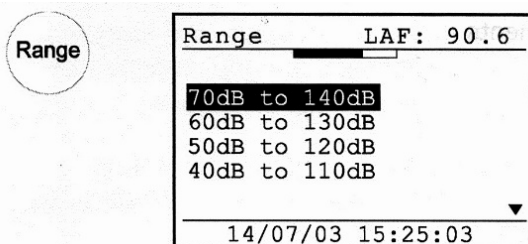
Po pritisku na tipko Menu (poz. 13 slika 4.7) izberemo Calibrate (slika 4.8) in izbiro potrdimo s pritiskom na tipko OK (poz. 11 slika 4.7). Nato izberemo območje meritev, npr. 70 do 140 dB, slika 4.9.



Slika 4.7: Tipke za upravljanje na merilcu hrupa Cirrus CR:831B
 Vir: lasten

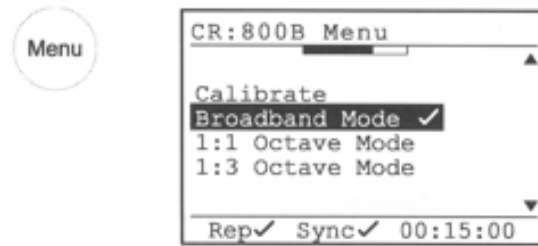


Slika 4.8: Izbira kalibracijskega postopka



Slika 4.9: Izbira merilnega območja
 Vir: lasten

Najprej bomo izvedli širokopasovno meritev, zato izberemo možnost 'Broadband Mode', kot prikazuje slika 4.10



Slika 4.10: Izbira načina meritve – širokopasovno

Vir: lasten

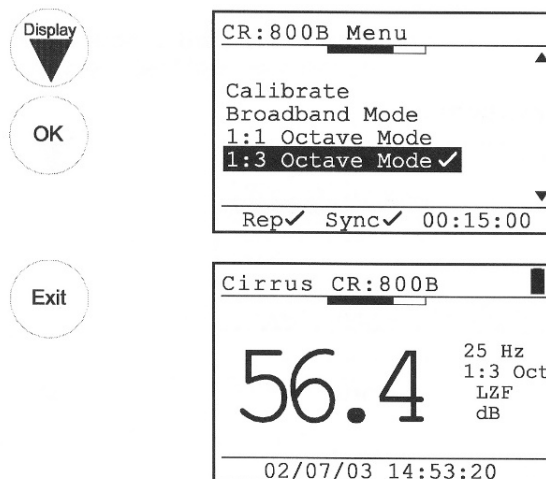
Meritev sprožimo s pritiskom na zelen trikotnik (poz. 8 slika 4.7). Meritev bo trajala 1 minuto, lahko pa jo pred tem prekinemo s pritiskom na tipko stop (poz. 7 slika 4.7). Rezultat meritev se izpiše v obliki, prikazani na sliki 4.11.

Mem 10	Broadband
Elapsed	00:15:00
L _{Aeqt}	53.5 dB
L _{Cpeak}	95.0 dB
L _{AE}	82.9 dB
30/06/03 11:12:07	

Slika 4.11: Rezultat meritev

Vir: lasten

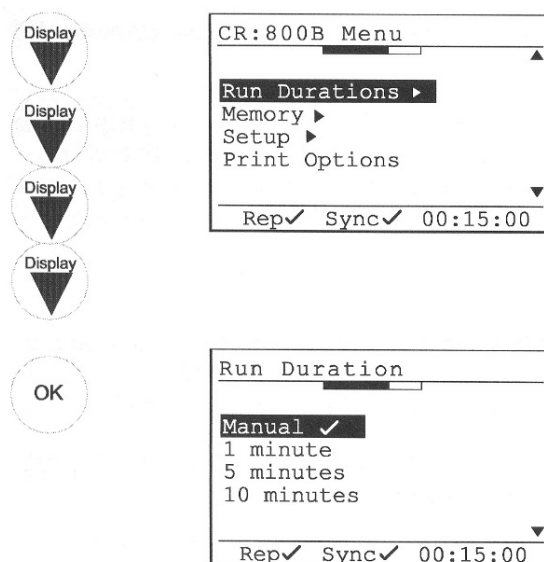
V nadaljevanju bomo izvedli še terčno analiza hrupa. Najprej prestavimo merilnik na terčno analizo in izberemo 1:3 Octave Mode, kot prikazuje slika 4.12



Slika 4.12: Izbira načina meritve – terčna analiza

Vir: lasten

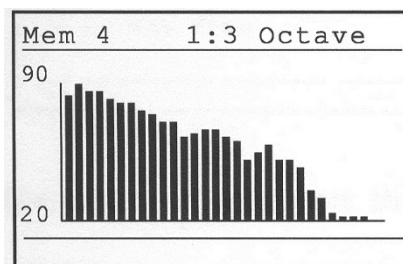
Za tem nastavimo čas trajanja skupne analize (po vseh frekvenčnih pasovih), kot prikazuje slika 4.13. Izberemo lahko tudi npr. 5 minut, pritisnemo tipko Exit, poz. 10 ter Run, poz. 8 na sliki 4.7.



Slika 4.13: Nastavimo čas trajanja skupne analize

Vir: lasten

Po preteku nastavljenega časa se meritev samodejno konča in na zaslonu merilca se pokaže izpis, sliki 4.14 in 4.15.



Slika 4.14: Rezultat meritev s terčno analizo – grafični prikaz

Vir: lasten

Mem 4 1:3 Octave	
25 Hz	78.3 dB
31.5 Hz	84.2 dB
40 Hz	79.7 dB
50 Hz	80.4 dB
30/06/03 09:12:45	

Slika 4.15: Rezultat meritev s terčno analizo – izpis

Vir: lasten

Rezultate meritev po opravljenih vseh meritvah prenesemo v računalnik in obdelamo s programom Dead Defier 3.3 proizvajalca Cirrus Research.

5 METABOLIZEM

Presnova ali metabolizem predstavlja skupek kemičnih in fizikalnih procesov, pri katerih nastajajo ter se razgrajujejo snovi v organizmu. S presnovo naše telo iz hrane pridobi potrebno energijo. Metabolizem (M) je sestavljen iz bazalnega (M_{baz}) in delovnega metabolizma (M_{del}).

$$M = M_{baz} + M_{del} \quad (5.1)$$

Bazalni metabolizem je potreben za ohranjanje vitalnih funkcij telesa v mirovanju. Delovni metabolizem pa je potreben za izvršitev delovne naloge. Temelji na določitvi energije, ki jo mora človek za svojo aktivnost v določenem času proizvesti.

Bazalni metabolizem je definiran kot tisti nujni delež metabolične energije, ki je potreben za ohranjanje vitalnih funkcij človeškega organizma. Odvisen je od:

- spola,
- starosti,
- telesne višine in
- telesne mase človeka.

Bazalni metabolizem izračunamo posebej za moške in za ženske [5]. Za ženske se izračuna po enačbi 5.2 in za moške po enačbi 5.3:

$$M_{baz} = 0,934 + 0,0287 \cdot TM + 0,00538 \cdot TV - 0,0136 \cdot LS \quad (5.2)$$

$$M_{baz} = 0,1934 + 0,0400 \cdot TM + 0,0145 \cdot TV - 0,0196 \cdot LS \quad (5.3)$$

Legenda: M_{baz} - bazalni metabolizem (kJ/min), TM - telesna masa (kg), TV - telesna višina (cm), LS - starost (leta)

Bazalni in delovni metabolizem sta odvisna od antropometričnih veličin človeka. Za interpretacijo različnih raziskovalnih rezultatov je definiran standardni človek (Tabela).

Tabela 5.1: Podatki za povprečnega človeka (moški/ženska) [5, 11, 12]

Podatki za povprečnega človeka	Moški	Ženske
Telesna višina TV (cm)	177,6	164,6
Telesna masa TM (kg)	80,4	70
Starost LS (leta)	35	35
Bazalni metabolizem M_{baz} (kJ/min)	5,3	3,4
Telesna površina (m ²)	2,1	1,8

Enote:

W (vat): 1 W je enak 1 J/s oz. 1 W je 60 J/min

Pretvorba iz kJ/min v W:

$$1 \frac{\text{kJ}}{\text{min}} \cdot \frac{1000}{60} = 16,7 \text{ W} \quad (5.4)$$

DELOVNI METABOLIZEM predstavlja tisti del celotne metabolične energije, ki se v notranjosti telesa sprosti zaradi človekove fizične aktivnosti. Določi se na podlagi protokola oz. opisa dinamičnih mišičnih aktivnosti, ki jih opravlja poskusna oseba.

Pri aktivnostih, pri katerih ne premikamo celega telesa, je delovni metabolizem sestavljen iz:

- deleža metabolizma zaradi telesnega položaja in
- deleža metabolizma, ki je odvisen od vrste dela.

Pri aktivnostih, ki so povezane z gibanjem telesa, je delovni metabolizem sestavljen iz:

- deleža metabolizma zaradi gibanja telesa, ki ga izračunamo po formuli in
- deleža metabolizma, ki je odvisen od vrste dela.

Delovni metabolizem pri različnih vrstah gibanja odčitamo iz tabele 5.2.

Tabela 5.2: Delovni metabolizem pri različnih vrstah gibanja

Gibanje telesa - C	$M_{del-rel}$ /kJ/min
Hoja po ravnem, 2-5 km/h	0,22
Hoja po stopnicah navzgor	3,40
Hoja po stopnicah navzdol	0,90

Delovni metabolizem zaradi gibanja telesa (npr. za hojo) izračunamo po enačbi:

$$M_{del} = 16,7 \cdot M_{del(rel)} \cdot v \quad (5.5)$$

M_{del} - relativni delovni metabolizem [kJ/min]

v - hitrost gibanja človeka [km/h]

Tabela 5.3: Delovni metabolizem pri različnih vrstah dela

Položaj ali gibanje telesa - A	M_{del} [kJ/min]
sedenje	1,0
klečanje	3,0
čepenje	5,0
stanje	2,5
stanje z upognjenim telesom	4,0
Vrsta dela - B	
delo roke -iz zapestja:	
lahko	1,0 - 2,5
srednje	2,5 - 4,0
težko	4,0 - 5,5
delo z eno roko:	
lahko	2,5 - 5,0
srednje	5,0 - 7,5
težko	7,5 - 10,0
delo z obema rokama:	
lahko	6,0 - 8,5
srednje	8,5 - 11,0
težko	11,0 - 13,5
telesno delo:	
lahko	11,0 - 17,0
srednje	17,0 - 25,0
težko	25,0 - 35,0
zelo težko	35,0 - 50,0

1. primer: Izračunajte vrednosti bazalnega metabolizma za tri delavce:

Delavec	Spol	Starost	Telesna masa (kg)	Telesna višina (cm)	M_{baz} (kJ/min)	M_{baz} (W)
A	ženski	21	54	168		
B	ženski	44	60	162		
C	moški	21	86	188		

2. primer: Izračunajte delovni metabolizem pri hoji po ravnem, pri hitrosti hoje $v_I = 3$ km/h in $v_I = 5$ km/h.

$$M_{del} = 16,7 \cdot M_{del (rel)} \cdot v$$

$$M_{del} = 16,7 \cdot 0,22 \cdot 3 = 11,02 \text{ kJ/min}$$

$$M_{del} = 16,7 \cdot 0,22 \cdot 5 = 18,37 \text{ kJ/min}$$

3. primer: Izračunajte bazalni, delovni in skupni metabolizem za delavko za računalnikom, staro 30 let, s telesno maso 68 kg in telesno višino 172 cm. Iz aktivnosti podanih v preglednici, izračunajte delovni metabolizem.

$$M_{baz} = 0,934 + 0,0287 \cdot TM + 0,00538 \cdot TV - 0,0136 \cdot LS$$

$$M_{baz} = 0,934 + 0,0287 \cdot 68 \text{ kg} + 0,00538 \cdot 172 \text{ cm} - 0,0136 \cdot 30 \text{ let}$$

$$M_{baz} = 3,4 \frac{\text{kJ}}{\text{min}} \cdot (1000:60) = 56,7 \text{ W}$$

Povprečni metabolizem v J/s oz. W:

$$M_{del} = 3266,05 \text{ kJ} \cdot 16,7:450 \text{ min} = 146,03 \text{ W}$$

Skupni metabolizem (bazalni in delovni):

$$M = M_{baz} + M_{del} = 56,7 + 146,03 = 202,73 \text{ W}$$

Tabela 5.4: Izračun delovnega metabolizma

Aktivnost	Delovni metabolizem			Čas [min]	Delovni metabolizem v podanem času [kJ]
	Delo (B)	Položaj (A) ali hoja (C)	Skupaj [kJ/min]		
Priprava na delo z računalnikom (obojeročno delo-lahko)	7,25	1,0	8,25	15,2	125,4
Tipkanje na tipkovnici (obojeročno delo-lahko)	7,25	1,0	8,25	212,3	1751,5
Delo z miško (delo iz zapestja-lahko)	1,75	1,0	2,75	20,6	56,6
Čiščenje tipkovnice, ekrana in mize (obojeročno delo- lahko)	7,25	1,0	8,25	24,9	205,4
Popravilo računalnika (obojeročno delo)	7,25	1,0	8,25	111,1	916,6
Vstavljanje CD-ja/diskete (delo z zapestjem-lahko)	1,75	1,0	2,75	1,2	3,3
Prilagajanje stola ob računalniku (enoročno delo- lahko)	3,75	1,0	4,75	2,1	10,0
Prilagajanje tipkovnice (levo, desno-obojeročno-lahko delo)	7,25	1,0	8,25	1,1	9,1
Fiziološke potrebe (hoja po ravnem)		7,35	7,35	13,9	102,7
Pogovor po telefonu (delo z zapestjem)	1,75	1,0	2,75	14,3	39,3
Privatni pogovor		1,0	1,0	26,9	26,9
Stanje ob računalniku		2,5	2,5	4,3	10,8
Stanje ob računalniku z upognjenim telesom (se sklanja npr. nad mizo)		4,0	4,0	2,1	8,4
Σ			69,1	450	3266,05

6 OWAS

OWAS (angl. **O**vaco **W**orking **A**nalysing **S**ystem) je opazovalna metoda za analizo telesnih položajev, ki so jo razvili na Finskem, za potrebe finske jeklarske industrije. Metoda se je skozi čas izkazala kot uspešna, zato je doživljala razvoj in modifikacije. Nastala je tako imenovana **modificirana metoda OWAS** [10, 11].





Delovni položaji in drže so razdeljeni na:

- štiri vzorce drže prsne (torakolumbalne) hrbtenice,
- štiri vzorce drže zgornjih udov,
- tri vzorce drže rok in
- sedem vzorcev drže spodnjih udov,
- pet vzorcev drže vratne (cervikalne) hrbtenice.





V spisek sta vključena tudi dva gibalna vzorca (hoja in plazenje oz. plezanje) in trije vzorci obremenitev (sile, ki jih mora delavec premagovati pri delu). Bistvo opazovalne metode je v intervalnem spremljanju statičnih oz. statično opazovalnih značilnosti telesnih položajev (25 položajev) in sil (3 predpisana območja). Opazujemo lahko potek opravljanja dela enega ali več delavcev hkrati. Število opazovanj je odvisno od pričakovane natančnosti raziskave in vrste dela, ki ga opazujemo. Kadar je delo monotono in ponavljajoče, se uporabi manjše število raziskav kot pri bolj razgibanem delu.

Pregled simbolov, ki se uporabljajo pri metodi OWAS




HRBTENICA

- | | | |
|-----|---|--|
| 1.1 |  | pokončna drža hrbta, pripogib manjši od 15° |
| 1.2 |  | sklonjena drža hrbta, pripogib večji od 15° |
| 1.3 |  | pokončna drža s torzijo ali stranskim upogibom, večjim od 30° |
| 1.4 |  | sklonjena drža z upogibom, večjim od 15° in manjšim od 30°, kombinirana s torzijo ali stranskim upogibom |










ZGORNJI UDI

- | | | |
|-----|---|---|
| 2.1 |  | obe nadlahti ob trupu |
| 2.2 |  | ena nadlahet ali obe aktivno odročeni (pod nivojem ramen) |
| 2.3 |  | ena nadlahet nad nivojem ramen |
| 2.4 |  | obe nadlahti nad nivojem ramen |






ROKI

- 3.1  fini ali grobi prijem ene ali obeh rok
- 3.2  tipkanje z enim ali več prsti ene ali obeh rok
- 3.3  druge aktivnosti ene roke ali obeh rok (vlečenje)

SPODNJI UDI

- 4.1  sedenje fiziološko in nefiziološko
- 4.2  stoja, obe nogi sta iztegnjeni
- 4.3  stoja na eni iztegnjeni nogi (npr. aktiviranje pedala)
- 4.4  stoja na eni ali obeh nogah, izrazito upognjena v kolkih, kolenih in gležnjih (npr. faza dviganja)
- 4.5  klečanje in čepenje
- 4.6  hoja po ravnem in vzpenjanje po strmini do 30° – gibalni vzorec
- 4.7  sedenje na tleh
- 4.8  ležanje
- 4.9  plazenje, plezanje (strmina nad 30°, stopnice, lestev ...) – gibalni vzorec















GLAVA















- 5.1  pokončni, nevtralni položaj glave
- 5.2  glava sklonjena naprej (vertikalno) nad 30°
- 5.3  stransko nagnjena glava nad 30°
- 5.4  glava upognjena nazaj (dorzalno) nad 30°
- 5.5  glava rotirana za več kot 45°

SILE oz. MASE

- 6.1  < 10 kg
- 6.2  10 – 20 kg
- 6.3  > 20 kg

Tabela 6.1: Opazovalni obrazec za metodo OWAS

Seg.	HRBTENICA				ZGORNJI UDI				ROKI			SPODNJI UDI		
	1.1	1.2	1.3	1.4	2.1	2.2	2.3	2.4	3.1	3.2	3.3	4.1	4.2	4.3
														
1. ura														
2. ura														
3. ura														
4. ura														
Skupaj														

Seg.	SPODNJI UDI						GLAVA					SILE		
	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	6.1	6.2	6.3
														
1. ura														
2. ura														
3. ura														
4. ura														
Skupaj														

6.1 Potek dela

Postopek opazovanja in ocenjevanja izvaja analitik. Opazujemo potek dela delavca in opažene položaje označimo v naključnih časovnih intervalih. Opazovanja zapisujemo s črticami v **snemalne liste** oz. **obrazce** (tabela 6.1). Ob vsakem pogledu zapišemo eno črtico v skupine 1,2,4 in od 5.1 do 5.4. V skupinah 3, 5.5 in 6 pa vpišemo aktivnost le, kadar se ta pojavi, npr. kadar delavčeve roke opravljajo delovno funkcijo, glava zasukana za 45° ali več ali kadar delavec premaguje breme z določeno maso v kg. Seštevki opazovanj morajo biti v skupinah 1,2,4 in 5.1 do 5.4 enaki.

Po končanem opazovanju seštejemo število zabeležk vsakega položaja ter položajev po skupinah od 1 do 6. Seštevki vsake skupine 1, 2, 4 in 5.1 do 5.4 naj predstavljajo celoten delovni čas (100 %). Opazovanje vršimo skupaj 8 ur, kar znaša 480 minut, z zakonsko predpisanim odmorom pa 450 minut. Odstotek zastopanosti posameznih položajev izračunamo s pomočjo formul (6.1) in (6.2), ter jih prikažemo v **histogramu meritev**, v katerem primerjamo dejanske vrednosti z dopustnimi vrednostmi. Dobljene vrednosti (odstotke) nato za vsak opazovani položaj primerjamo s priporočili v **ocenjevalnih preglednicah** (tabela 6.2) in ugotovimo, ali so potrebne spremembe na delovnem mestu.

Tabela 6.2: OWAS – Priporočila za izvajanje ukrepov

Deli telesa	Prsni del hrbtenice				Zgornji udi				Roke			Spodnji udi									
	1.1	1.2	1.3	1.4	2.1	2.2	2.3	2.4	3.1	3.2	3.3	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9	
% delež																					
10	□	□	□	●	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	
20	□	□	□	●	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	●	□	□	★	★	★
30	□	□	●	●	□	□	□	●	□	□	□	□	□	□	●	□	□	□	★	★	★
40	□	●	●	▲	□	●	●	●	□	□	□	□	□	●	▲	●	□	□	★	★	★
50	□	●	●	▲	□	●	●	●	□	□	□	□	□	●	▲	●	□	□	★	★	★
60	□	●	▲	▲	□	●	●	●	□	□	□	□	□	●	▲	●	□	□	★	★	★
70	□	●	▲	▲	□	●	●	▲	□	□	□	□	□	●	▲	●	□	□	★	★	★
80	□	▲	▲	▲	□	▲	▲	▲	★	★	★	□	□	●	▲	▲	□	□	★	★	★
90	□	▲	▲	▲	□	▲	▲	▲	★	★	★	●	●	▲	▲	▲	●	□	★	★	★
100	□	▲	▲	▲	□	▲	▲	▲	★	★	★	●	●	▲	▲	▲	●	□	★	★	★

Deli telesa	Glava					Sile		
	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	6.1	6.2	6.3
% delež								
10	□	□	□	□	□	□	□	□
20	□	□	□	●	□	□	□	●
30	□	●	●	●	□	□	□	●
40	□	●	●	▲	●	□	●	▲
50	□	●	●	▲	●	□	●	▲
60	□	▲	▲	▲	●	□	●	▲
70	□	▲	▲	▲	●	□	●	▲
80	□	▲	▲	▲	▲	□	▲	▲
90	□	▲	▲	▲	▲	●	▲	▲
100	□	▲	▲	▲	▲	●	▲	▲

Legenda:

- - ukrepi niso potrebni
- ▲ - ukrepi so potrebni takoj
- - ukrepi so potrebni v doglednem času
- ★ - potrebno natančnejše raziskovanje

Odstotek zastopanosti posameznih položajev in čas trajanja posameznega položaja izračunamo po formulah:

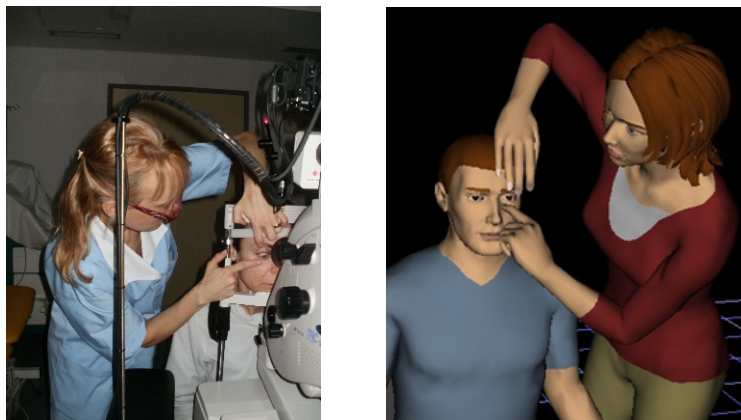
$$p = \frac{\sum F_p \cdot 100}{\sum F_s} \quad (6.1)$$

$$t_{pd} = \frac{450 \cdot p(\%)}{100} \quad [\text{min}] \quad (6.2)$$

- p – odstotek (%) posamezne telesne drže ali položaja
 $\sum F_p$ – seštevek zabeležk posamezne telesne drže ali položaja
 $\sum F_s$ – seštevek zabeležk skupine
 t_{pd} – čas trajanja posameznega položaja v minutah; za čas trajanja delovnega dne vzamemo 450 min

6.2 Primer uporabe

1. primer: Delo medicinske sestre na očesnem oddelku – oftalmologija











Slika 6.1: Medicinska sestra asistira pri pregledu – dejanski pogled in računalniški prikaz [13]

Potek dela: V ambulanti poteka delo v obliki timskega dela, pri katerem sodelujeta zdravnik oftalmolog in medicinska sestra [14]. Delo je usklajeno, saj vsak pozna svoje naloge in zadolžitve, zato poteka delo hitro in učinkovito. Opazovali smo delo medicinske sestre (slika 6.1), ki najprej pripravi pacienta na pregled. Priprava obsega pregled vidne ostrine, aplikacijo midriatičnih kapljic, slikanje OCT in nastavitve kanile. Sledi izvedba invazivne diagnostike s fluoresceinsko angiografijo. To je metoda, pri kateri s pomočjo kontrasta preučimo žilje mrežnice in indirektno žilnice očesa s posebno kamero.

Opis problema: Med potekom preiskave, ki traja več minut, tudi do 10 minut, medicinska sestra asistira tako, da drži veke očesa odprte. Pri tem je največji problem telesni položaj medicinske sestre med delom, ko asistira pri izvedbi preiskave. Pri zaposlenih se pojavljajo pogoste bolečine v hrbtenici, zato smo izvedli opazovanje z OWAS metodo.

Izvedba OWAS metode: Rezultate opazovanja zapisujemo s črticami v **snemalne liste** oz. **obrazce** (slika 6.2). Ob vsakem pogledu zapišemo eno črtico v skupine 1, 2, 4 in od 5.1 do 5.4. V skupinah 3, 5.5 in 6 pa vpišemo aktivnost le, kadar se ta pojavi, npr. kadar delavčeve roke opravljajo delovno funkcijo, glava zasukana za 45° ali več ali kadar delavec

premaguje breme z določeno maso v kg. Seštevki opazovanj morajo biti v skupinah 1, 2, 4 in 5.1 do 5.4 enaki.

Seg.	HRBTENICA				ZGORNJI UDI			
	1.1	1.2	1.3	1.4	2.1	2.2	2.3	2.4
								
1. ura	 	 	 	 	 	 		
2. ura	 			 	 			
3. ura				 				
4. ura				 				
Skupaj	24	6	12	39	21	6		

Slika 6.2: Vpisovanje črtic v snemalni obrazec

Na osnovi dobljenih rezultatov preračunamo procentne deleže posameznih telesnih položajev. Za telesni položaj 1.1 je izračunan procentni delež 29,6 (enačba 6.3)

$$p = \frac{\sum F_p \cdot 100}{\sum F_s} = \frac{24 \cdot 100}{81} = 29,6 \quad (6.3)$$

Pri čemer je:

$$\sum F_s = 24 + 6 + 12 + 39 = 81 \quad (6.4)$$

Čas trajanja telesnega položaja 1.1 v minutah:

$$t_{pd} = \frac{450 \cdot p(\%)}{100} = \frac{450 \cdot 29,6}{100} = 53,3 \text{ min} \quad (6.5)$$

Za čas trajanja delovnega dne vzamemo 450 min ali 7,5 ur (brez malice).

Procentne deleže posameznih telesnih položajev in čase trajanja izračunamo za vse telesne položaje, ki so bili prisotni.

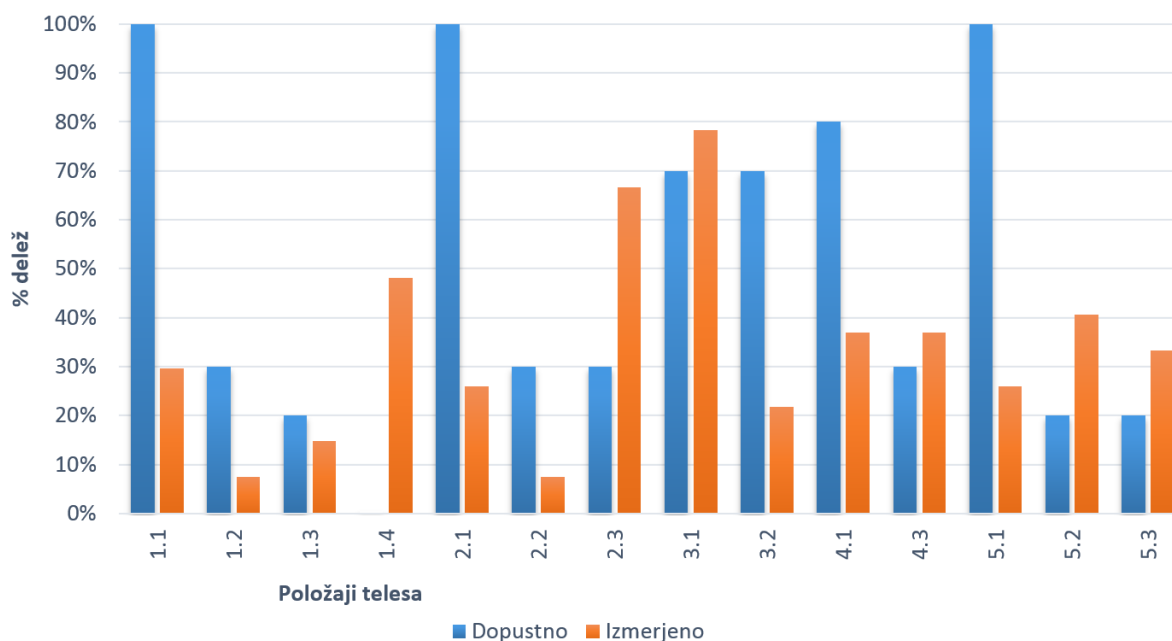
Rezultati analize: Dobljeni rezultati so potrdili predhodne domneve, kot je razvidno iz tabele 6.3 in slike 6.3. Pri telesnih položajih 2.3 roka nad nivojem ramen, 3.1 – fini prijem ene ali obeh rok in 4.3 – stoječ položaj na eni iztegnjeni nogi so dobljene vrednosti previsoke, zato so za ta način dela potrebne spremembe takoj ali v bližnji prihodnosti. Prav tako so

spremembe potrebne pri položaju glave in vratu – 5.2 in 5.3 – položaj, kjer je glava nagnjena na stran. Za ostale položaje telesa spremembe niso potrebne, razen v primeru, če povzročajo nelagodje.

Predlogi izboljšav: Težave pri delu se pojavljajo predvsem zaradi narave poteka preiskave. Aparat, ki je po eni strani tehnološko zelo dovršen in sodoben, po drugi strani za ustrezno izvedbo preiskave zahteva asistiranje medicinske sestre v neustreznem položaju. Verjetno zaradi omenjenega problema načina izvedbe preiskave ne bodo spremenili, zato se v trenutni situaciji svetuje več odmorov med delom oz. da se preiskave na tem delovnem mestu ne izvajajo ena za drugo.

Tabela 6.3: OWAS – izračun rezultatov s priporočili za ukrepanje

Deli telesa	Prsni del hrbtenice				Zgornji udi			Roke		Spodnji udi		Glava		
	1.1	1.2	1.3	1.4	2.1	2.2	2.3	3.1	3.2	4.1	4.3	5.1	5.2	5.3
Število meritev	24	6	12	39	21	6	54	54	15	30	51	21	33	27
p_i [%]	29,6	7,4	14,8	48,1	25,9	7,4	66,7	78,3	21,7	37	62,9	25,9	40,7	33,3
t_{pi} [min]	53,3	13,3	26,6	86,6	46,6	13,3	120,1	140	39,1	66,6	113,2	46,6	73,3	59,9
Ukrep	□	□	□	▲	□	□	●	★	□	□	●	□	●	●

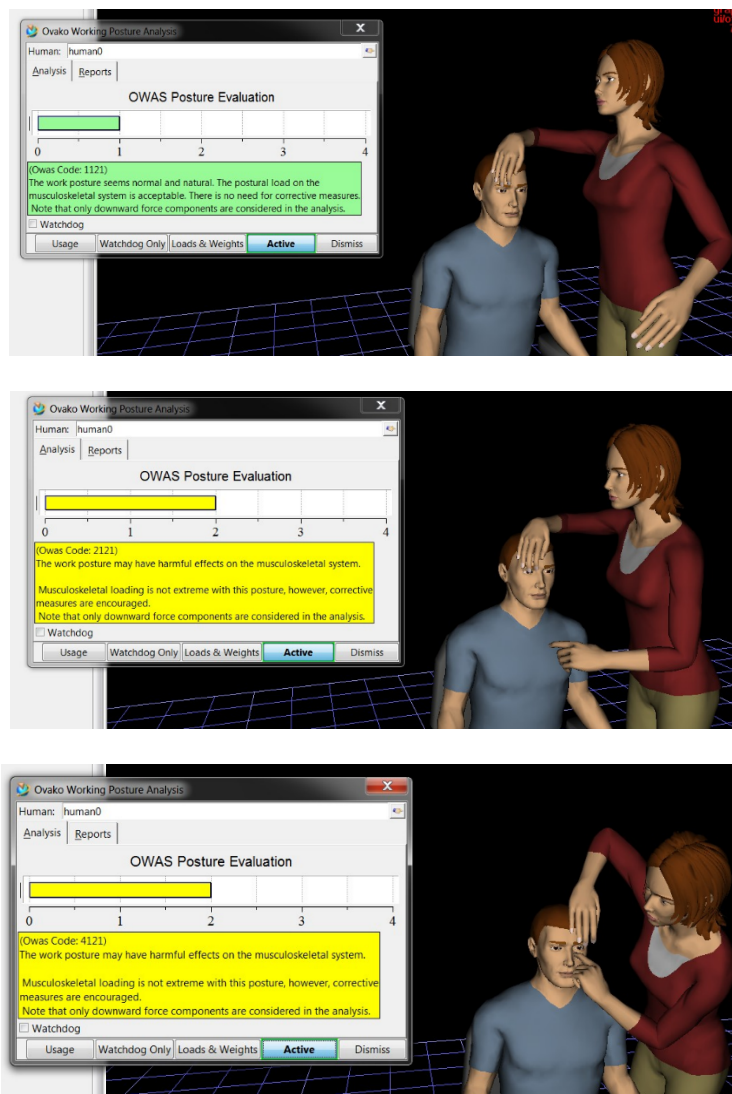


Slika 6.3: Histogram meritev po metodi OWAS – oftalmologija

Uporaba programskega paketa Jack: Predstavljeno delovno mesto smo preučili tudi z uporabo programskega paketa Jack in rezultate primerjali s temi, ki smo jih dobili pri ročnem izvajanju metode OWAS [14].

6.3 Delovno okolje, oblikovano s programskim paketom Jack

Z računalniškim paketom Jack smo simulirali delo medicinske sestre pri delu (slika 6.1). Izbrali smo ženski model ustreznih dimenzij in izdelali simulacijo gibov trupa in rok, vse do najfinajših gibov prstov in posameznih členkov. Nato smo iz nabora analiz, ki jih ponuja programski paket, izbrali OWAS metodo. Rezultati, ki smo jih dobili, so primerljivi z rezultati, ki smo jih dobili pri ročno izvedenem postopku in so predstavljeni na sliki 6.4. Dejansko smo za vse opazovane telesne položaje dobili enake rezultate kot pri ročno izvedenem postopku, razen za sklonjeno držo in torzijo hrbtenice. Pri tem položaju so rezultati ročno izvedene analize v oranžnem območju, pri računalniški simulaciji pa v rumenem. Gre za manjše odstopanje, ki je lahko posledica natančnosti izvedenih analiz.



Slika 6.4: Tipični telesni položaji medicinske sestre med izvedbo preiskave – simulacija s programskim paketom Jack

Vir: lasten

LITERATURA

- [1] Vujica Herzog N., 2016, *Pregled testov in metod v ergonomiji*, Skripta, Fakulteta za strojništvo, Maribor.
- [2] Polajnar A., Verhovnik V., 2000, *Oblikovanje dela in delovnih mest*, Fakulteta za strojništvo, Maribor.
- [3] Polajnar A., Verhovnik V., 2000, *Oblikovanje dela in delovnih mest za delo v praksi*, Fakulteta za strojništvo, Maribor.
- [4] Prek M., 2013, Toplotno okolje in ugodje v prostoru I - integralna ocena toplotnega okolja : predloga laboratorijske vaje (na spletu: 12.11.2019).
- [5] Balantič Z., Polajnar A., Jevšnik S., 2016, *Ergonomija v teoriji in praksi*, Nacionalni inštitut za javno zdravje, Slovenija, Ljubljana, ISBN 978-961-6911-91-7.
- [6] Globus termometer, <http://www.ee.fs.uni-lj.si/EnergijaInOkolje/vaja2.htm> (10.10.2016).
- [7] Termografska kamera FLIR E4/ E5/ E6 in E8, Kratka navodila za uporabo, Micom Electronics, d.o.o.
- [8] Spekter vidne svetlobe, <https://svetilaed.wordpress.com/> (8.11.2019).
- [9] Zumtobel group, <http://www.zumtobel.si> (8.11.2019).
- [10] Matjašič Friš M., 2005, *Varstvo pri delu*, Praktikum, Fakulteta za gradbeništvo, Univerza v Mariboru, Maribor.
- [11] Motmans R., 2016, *DINBelg 2005*. Pridobljeno iz Body dimensions of the Belgian population: www.dinbelg.be.
- [12] Hettinger T., 1989, *Ermittlung des Arbeitens Energieumsatzes bei dynamisch-muskulärer Arbeit*, Bundesanstalt für Arbeitsschutz, Dortmund.
- [13] Vujica Herzog N., Vujica Beharič R., Beharič A., Buchmeister B., 2014, Ergonomic analysis of ophthalmic nurse workplace using 3D simulation, *International Journal of Simulation Modelling*, Vol. 13, No. 4, 409-418.
- [14] Jack Siemens PLM Software.

Študij dela in ergonomija

Navodila za vaje

NATAŠA VUJICA HERZOG

Povzetek: Ergonomsko oblikovanje delovnih mest v praksi običajno poteka v dveh korakih. Najprej delovno mesto in delavca opazujemo in na osnovi opazovanja določimo najpomembnejše karakteristike dela, analiziramo delovno mesto in preučimo morebitne težave delavca. V nadaljevanju izvedemo tudi mersko analizo delovnega mesta in s pomočjo izvedenih meritev ugotavljamo vplive okolja na delavca. Veličine, ki jih merimo so temperatura, vlaga, hitrost gibanja zraka, osvetljenost in hrup. Prav tako izvedemo tudi izračune za metabolizem in analizo gibov delavca pri delu. Analizo gibov delavca pri delu lahko izdelamo ročno ali s pomočjo programskega paketa Siemens Jack. Z Jackom lahko oblikujemo realno 3D okolje, vstavimo model človeka, izdelamo simulacijo gibov delavca pri delu in preverimo ustreznost gibov z različnimi ergonomskimi analizami. V gradivu so podani praktični primeri meritev okolijskih vplivov in uporaba ergonomskih analiz za ustrezno oblikovanje delovnih mest.

Ključne besede: • ergonomija • ergonomsko oblikovanje delovnih mest • analiza delovnega mesta • meritve vplivov okolice • ergonomske analize •

NASLOV AVTORICE: Nataša Vujica Herzog, Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo, Maribor, Slovenija. E-pošta: natasa.vujica@um.si.

DOI <https://doi.org/10.18690/978-961-286-383-8>
Dostopno na: <https://press.um.si/>

ISBN 978-961-286-383-8



Univerza v Mariboru

Fakulteta za strojništvo

