

# Toplinska udobnost radnika u proizvodnom procesu

---

**Biljanović, Paula**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2018**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Karlovac University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:911095>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-18**



**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
Karlovac University of Applied Sciences

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Karlovac University of Applied Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

Za Veleučilište u Karlovcu

Odjel Sigurnosti i zaštite

Stručni studij sigurnosti i zaštite

Paula Biljanović

# **TOPLINSKA UDOBNOST RADNIKA U PROIZVODNOM PROCESU**

ZAVRŠNI RAD

Karlovac, lipanj, 2018.

Karlovac University of Applied Sciences

Safety and Protection Department

Professional undergraduate study of Safety and Protection

Paula Biljanović

# **THERMAL COMFORT OF WORKERS IN THE PRODUCTION PROCESS**

Final paper

Karlovac, 2018.

Veleučilište u Karlovcu  
Odjel Sigurnosti i zaštite

Stručni studij sigurnosti i zaštite

Paula Biljanović

# **TOPLINSKA UDOBNOST RADNIKA U PROIZVODNOM PROCESU**

ZAVRŠNI RAD

Mentor: mr.sc. Snježana Kirin, viši pred.

Karlovac, 2018



**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
KARLOVAC UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES



Trg J.J.Strossmayera 9

HR-47000, Karlovac, Croatia  
Tel. +385 - (0)47 - 843 - 510  
Fax. +385 - (0)47 - 843 - 579

## **VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**

Stručni studij: Stručni studij sigurnosti I zaštite

Usmjerenje: Zaštita na radu

Karlovac, 2018.

## **ZADATAK ZAVRŠNOG RADA**

Student: Paula Biljanović

Matični broj: 0415614009

Naslov: Toplinska udobnost radnika u proizvodnom procesu

Opis zadatka:

U teorijskom dijelu završnog rada biti će definiran pojam toplinske udobnosti radnika u proizvodnom procesu koji se sastoji od niza čimbenika koji utječu na ergonomski prihvatljivu organiziranu radnu okolinu.

U eksperimentalnom dijelu završnog rada biti će izvršeno mjerenje razine fizičke aktivnosti odnosno metabolizma u knjigovodstvenom obrtu.

Zadatak zadan:

Rok predaje rada:

Predviđeni datum obrane:

05/2018.

06/2018.

07/2018.

Mentor:  
Mr.sc. Snježana Kirin, viši pred.

Predsjednik Ispitnog povjerenstva:  
Dr.sc. Jovan Vučinić, prof. v. š.

## PREDGOVOR

Ovom prilikom se želim zahvaliti mr.sc. Snježani Kirin na stručnoj pomoći pri pisanju ovog završnog rada, ustupljenoj stručnoj literaturi te strpljenju i razumijevanju tijekom pisanja završnog rada.

Također se želim zahvaliti svojoj obitelji, a posebno svojoj mami, na pruženoj ljubavi, potpori i razumijevanju tijekom studiranja.

Paula Biljanović

## **SAŽETAK**

Teoretski dio ovog završnog rada obuhvaća sve ključne parametre i čimbenike koji utječu na toplinsku udobnost radnika u proizvodnom procesu, s posebnim naglaskom na pet ključnih faktora toplinske udobnosti kao što su temperatura, brzina strujanja zraka, vlažnost zraka, razina odjevenosti te razina fizičke aktivnosti odnosno metabolizam.

Eksperimentalni dio obuhvaća izračun i analizu razine fizičke aktivnosti odnosno metabolizma kod uredskih poslova. Obrađena su dva radna mjesta na kojem su promatrane radnice slikane u različitim položajima tijela u toku jednog radnog dana.

Ključne riječi: ergonomija, toplinska udobnost, temperatura, vlažnost zraka, brzina strujanja zraka, razina odjevenosti, razina fizičke aktivnosti (metabolizam), PPD indeks, WBGT indeks.

## **SUMMARY**

The theoretical part of this final work encompasses all the key parameters and factors affecting the thermal comfort of workers in the production process, with special emphasis on the five key factors of thermal comfort such as temperature, airflow rate, air humidity, level of clothing and physical activity or metabolism.

The experimental part include calculating and analyzing the level of physical activity or metabolism in office work. Two workers were observed and analyzed in different positions in order calculate the activity of their metabolism.

Keywords: ergonomics, thermal comfort, temperature, air humidity, airflow rate, level of clothing, physical activity level (metabolism), PPD index, WBGT indeks.

# Sadržaj

ZAVRŠNI ZADATAK.....	I
PREDGOVOR.....	II
SAŽETAK.....	III
SADRŽAJ.....	IV
1. UVOD .....	1
1.1. Predmet i cilj rada .....	2
1.2. Izvori podataka i metode prikupljanja .....	2
2. TOPLINSKA UDOBNOST .....	3
2.1. Temperatura .....	4
2.1.1. Temperatura zraka.....	5
2.1.2. Temperatura ploha prostorije .....	6
2.1.3. Oblici izmjene topline .....	6
2.1.4. Toplinska ravnoteža .....	9
2.1.5. Toplinski stres .....	10
2.2. Brzina strujanja zraka .....	11
2.3. Relativna vlažnost zraka .....	12
2.4. Razina odjevenosti .....	13
2.5. Metabolizam .....	14
2.5.1. Mehanizmi fiziološke adaptacije.....	19
3. KLIMATSKI UVJETI RADNOG OKOLIŠA .....	20
3.1. Zone udobnosti klime .....	22
3.2. Zimske i ljetne zone udobnosti .....	22



4. PREDICTED MEAN VOTE (PMV) I PREDICTED PERCENTAGE OF DISSATISFIED (PPD) INDEKS .....	24
4.1. Faktori koji utječu na lokalnu toplinsku neugodu .....	25
4.2. Operativna temperatura i primjeri za različite prostore .....	26
4.3. Ostale norme za toplinsku ugodnost u normalnim uvjetima .....	28
4.4. Toplinska udobnost u ekstremno toplim uvjetima.....	28
4.5. Uređaji za mjerenje mikroklimе u proizvodnim pogonima.....	30
5. MJERE ZAŠTITE .....	32
6. EKSPERIMENTALNI DIO .....	33
6.1. Mjerna mjesta .....	33
6.2. Mjerna oprema i metoda mjerenja .....	34
6.3. Rezultati mjerenja i rasprava .....	35
7. ZAKLJUČAK.....	43
8. LITERATURA .....	45
9. PRILOZI.....	46
9.1. Popis slika .....	46
9.2. Popis tablica.....	47

# 1. UVOD

Svako ljudsko biće želi stvoriti toplinski ugodan okoliš, što se odražava u povijesti gradnje diljem svijeta. Toplinska ugodnost definirana je kao stanje uma u kojem se izražava zadovoljstvo s toplinskim uvjetima okoliša. Definiciju je lako razumjeti ali istovremeno teško izraziti matematičkim jednadžbama zato što treba uzeti u obzir veliku količinu okolnih i ljudskih parametara. Neki od parametara koji utječu na toplinsku ugodnost boravka su: kvaliteta zraka, vlažnost zraka, temperatura zraka, brzina strujanja zraka, razina odjevenosti, razina fizičke aktivnosti (metabolizam), temperatura zidova.

Stvoriti okoliš koji je čovjeku toplinski ugodan danas je jedan od najvažnijih faktora koji se uzima u obzir kod projektiranja radnih prostorija. Ljudski osjećaj toplinske ugodnosti strogo je vezan za metaboličku proizvodnju topline, za energetske izmjene između ljudskog tijela i okoliša te varijacije fizioloških parametara.

Kod mjerenja okolišnih uvjeta u prostoru, važno je uzeti u obzir da čovjek ne osjeća temperaturu zraka u prostoriji nego gubitak topline iz tijela. Pretopao ili prehladan osjećaj može se odnositi na ljudsko tijelo u cjelini, tako da osoba osjeća generalnu neugodnost. Taj slučaj naziva se „global thermal discomfort“ i opisuje se Fangerovim PMV i PPD indeksima opisanim u ISO 7730 baziranim na ASHRAE skali od 7 stupnjeva zadovoljstva toplinskim uvjetima okoliša.

Procjena toplinskih svojstava okoliša zahtijeva određivanje sljedećih šest veličina: dvije subjektivne (toplinska izolacija odjeće koju nose korisnici zgrade i metabolički učinak) i četiri fizikalne (unutarnja temperatura zraka, srednja temperatura zračenja, brzina strujanja zraka i vlažnost zraka). Ovi parametri moraju se mjeriti da bi se računski prikazala toplinska ugodnost što potom vodi do toplinske procjene okoliša. [3]

## 1.1. Predmet i cilj rada

Predmet i cilj ovog završnog rada je pobliže objasniti kako toplinska udobnost utječe na radnike i njihovu efikasnost u procesu rada, te kako svaki pojedini faktor koji utječe na toplinsku udobnost pridonosi u postizanju što boljeg i zdravijeg radnog okoliša. Pri tom je važno naglasiti da je toplinska udobnost rezultat zajedničkog djelovanja svih obrađenih faktora budući da se promjenom jednog faktora udobnosti mijenjaju i ostali faktori.

## 1.2. Izvori podataka i metode prikupljanja

Prilikom izrade završnog rada korištena je domaća literatura u tiskanom obliku profesora Budimira Mijovića: „Primijenjena ergonomija“ i „Zaštita strojeva i uređaja“, Kroemer K.H.E., Grandjean E.: „Prilagođavanje rada čovjeku“ te knjiga Balantič Z., Polajnar A., Jevšnik S., Balantič N., Valh Lopert A.: „Ergonomija v teoriji in praksi“.

Također je korištena elektronička literatura prikupljena na različitim internetskim stranicama, u obliku prezentacija i diplomskih radova.

## 2. TOPLINSKA UDOBNOST

Toplinska udobnost je prema ISO 7730 definirana kao stanje svijesti koje izražava zadovoljstvo toplinskim stanjem okoliša. Zadatak termotehničkih sustava je upravo osigurati toplinsku ugodnost korisnika koji borave u tom prostoru. Osjećaj toplinske udobnosti je individualan što znači da ne postoji točno određeno stanje okoliša u kojem bi sve prisutne osobe iskazale zadovoljstvo.

Zato je cilj termo-tehničkih sustava stvaranje uvjeta koji odgovaraju najvećem mogućem broju osoba. U određenim grupama ljudi koje borave ili obavljaju iste aktivnosti u određenom prostoru uvijek se javlja izvjestan broj nezadovoljnih. Stoga, toplinsku udobnost možemo definirati kao skup stanja okoliša u kojem udio osoba nezadovoljnih toplinskim uvjetima okoliša ne prelazi određenu vrijednost.

Europskom normom EN ISO 7730: Ergonomija toplinskog okoliša – Analitičko utvrđivanje i tumačenje toplinske udobnosti izračunom PMV i PPD indeksa i lokalnih toplinskih kriterija udobnosti su definirane projektne vrijednosti ključnih parametara toplinske udobnosti i cilj je osiguravanje toplinske udobnosti za minimalno 80% populacije. EN ISO 7730 je namijenjena većinom za prostore poslovne namjene, iako se može koristiti i za druge prostore ali uglavnom za umjerene temperaturne uvjete. [1]

### **Faktori toplinske udobnosti**

1. Temperatura
2. Brzina strujanja zraka
3. Vlažnost zraka
4. Razina odjevenosti
5. Razina fizičke aktivnosti (metabolizam)

## 2.1. Temperatura

U ergonomiji se bavimo prostorom u kojem osoba živi ili radi svoj posao. Kada je predmet promatranja čovjek, njega uzimamo kao središte termodinamičkog sustava, a sve izvan njega nazivamo okoliš.

Zbog različitih razina temperature, toplina prolazi između dva dijela sustava. Temperatura je dakle fizikalna veličina koja upućuje na toplinsko stanje određene tvari i predstavlja mjeru kinetičke energije atoma koji se isprepliću pri velikoj brzini. Spuštanjem temperature atoma usporava i zaustavlja se pri temperaturi apsolutne nule ( $0\text{ K} = -273,15^\circ\text{C}$ ).

Ako se temperatura dvije tvari razlikuje, toplina prelazi s jednog tijela na hladnije sve dok se temperatura izjednači. U stvarnom okruženju, čovjek dobiva vrlo različite osjećaje o temperaturi zbog različitih metoda prijenosa i primanja topline.

Energija je podijeljena u dvije skupine: akumulirana energija (potencijalna, kinetička i unutarnja energija) i prolazna energija (mehanički rad, električna energija i toplina).

Za sve energije (i za toplinu -  $Q$ ) primjenjuje se Zakon o očuvanju energije, koji kaže da se energija ne može stvoriti niti uništiti. Ako se neka vrsta energije pojavljuje negdje, jednaka količina energije istog tipa ili druge vrste nužno se smanjila na drugom mjestu. Stoga se mehanički rad ( $W$ ) ne može proizvesti ni iz čega. Zbroj svih energija u zatvorenom sustavu je uvijek konstantan. [2]

### 2.1.1. Temperatura zraka

Pod temperaturom zraka u prostoriji se misli na srednju prosječnu temperaturu koja okružuje korisnika. Ova temperatura se mjeri suhim termometrom pa se zato i naziva temperatura suhog termometra.

Za toplinsku ugodnost važna je razlika temperature po visini prostorije. Navedena temperaturna razlika odnosi se na visinu između stopala i vrata osobe. Maksimalna dopuštena razlika iznosi 3°C prema HRN EN ISO 7730.

Općenito je neugodan osjećaj visoke temperature zraka u razini glave i u isto vrijeme niske temperature poda, neovisno o tome događa li se prijenos topline zračenjem ili konvekcijom. Kod mjerenja razlika u temperaturi zraka važno je koristiti neku vrstu temperaturnog senzora koji je zaštićen od toplinskog zračenja. To osigurava mjerenje temperature zraka a ne kombinacije temperature zraka i temperature zračenja. [1]

Vrijednosti temperatura zraka za određene vrste djelatnosti prikazane su u (Tablica 1.). [4]

Tab. 1. Vrijednost temperature zraka [4]

Vrsta djelatnosti	Temperatura zraka [°C]		
	Minimalna	Optimalna	Maksimalna
<b>Rad u uredu</b>	18	20-21	24
<b>Lagan ručni rad, sjedenje</b>	18	20	24
<b>Lagan rad, stajanje</b>	17	18	22
<b>Težak rad</b>	15	17	21
<b>Vrlo težak rad</b>	14	16	20
<b>Rad u vrućini</b>	12	15	18

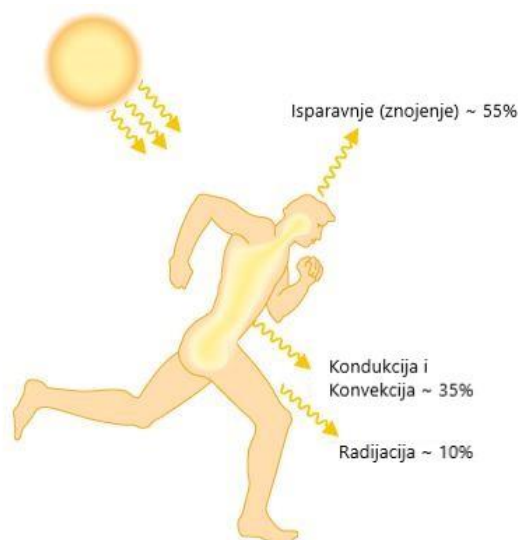
### 2.1.2. Temperatura ploha prostorije

Srednja temperatura zračenja ploha je jednolika temperatura ploha zamišljenog crnog zatvorenog prostora kod koje se događa jednak gubitak topline zračenjem kao i za stvarni zatvoreni prostor s nejednolikim temperaturama ploha.

Ako osoba stoji ispred otvorenog plamena na hladan dan, nakon nekog vremena osjećat će neugodnu hladnoću u području leđa. Ta neugodnost neće nestati približavanjem vatri, nego će se na taj način samo povisiti temperatura tijela. Ovaj primjer pokazuje kako nejednoliko toplinsko zračenje uzrokuje toplinsku neugodnost. Eksperimenti koji su uključivali izlaganje ljudi promjenama toplinskog zračenja u okolišu pokazali su da kombinacija toplog stropa i hladnih prozora uzrokuje najveću neugodnost dok kombinacija hladnog stropa i toplih zidova uzrokuje najmanju. Tijekom ovih eksperimenata temperature zraka i svih ostalih ploha u prostoriji držane su konstantnima. [3]

### 2.1.3. Oblici izmjene topline

Izmjena topline između organizma i okoline obavlja se na četiri načina: kondukcijom (vođenjem topline), konvekcijom, toplinskim zračenjem i isparavanjem vode s površine tijela, kao što je prikazano na (Slika 1.). Uz čimbenike okoliša na toplinsku ravnotežu organizma utječe i proizvodnja topline u organizmu. [4]



Sl. 1. Oblici izmjene topline koju proizvodi metabolizam [4]

### 2.1.3.1. Kondukcija

Kondukcija je prijenos topline tako da se dio tijela zagrijava izravnim dodirrom s izvorom topline, a susjedni se dijelovi redom dalje zagrijavaju. Brzina prenošenja topline to je veća što je veća temperaturna razlika, a ovisi i o samoj tvari. Budući da su dobri vodiči električnih naboja (metali) ujedno i dobri vodiči topline, toplinska se vodljivost pripisuje ponajprije gibanju slobodnih elektrona.

Kondukcija je prijenos topline koji se ostvaruje između dva tijela ili između dijelova tijela na različitim temperaturama međusobnim djelovanjem susjednih molekula različitih brzina titranja oko ravnotežnog položaja. Što je temperatura tvari viša, to je veća kinetička energija molekula, pa je vođenje prenošenje kinetičke energije od jedne molekule na drugu. Kondukcijom se ne gubi mnogo topline ali je ona ipak značajan faktor pri konstrukciji prostorija, radnih mjesta, strojeva, alata i naprava. Važan je izbor materijala: dobri i loši vodiči topline, materijal s dobrim koeficijentom izolacije. [5]

### 2.1.3.2. Konvekcija

Konvekcija je prijenos pri kojem čestice koje prenose toplinu mijenjaju svoje mjesto. Tako se prenosi toplina u plinovima i tekućinama. Konvekcija ovisi o razlici temperatura, koeficijentu toplinske vodljivosti i brzini strujanja zraka. Ako je strujanje zraka prirodno, govorimo o prirodnoj konvekciji.

Prijenos topline konvekcijom ima pozitivnu vrijednost ako je temperatura zraka viša od temperature površine tijela tj. kada organizam prima toplinu iz okoline. Ako je temperatura površine tijela viša od temperature zraka, tada prijenos topline konvekcijom ima negativnu vrijednost što znači da organizam gubi toplinu.

Količina topline koju organizam izgubi pri sobnoj temperaturi, 291 K (oko 18 °C) kondukcijom i konvekcijom iznosi oko 40 do 45 %. Taj udio postaje sve manji što je temperatura okoliša viša. [4]



### 2.1.3.3. Toplinsko zračenje

Svako tijelo koje je zagrijano iznad apsolutne nule (0 K) emitira elektromagnetsko zračenje. Što je temperatura viša, intenzitet zračenja je veći, a osim toga s promjenom temperature mijenja se i spektar zračenja. Npr. Zračenje koje emitira ljudski organizam pri temperaturi od 305,5 K ima valne duljine iznad 4  $\mu\text{m}$ , što znači da ljudsko tijelo emitira infracrveno zračenje. Količina energije koja se prenosi toplinskim zračenjem ovisi isključivo o temperaturi. Pri temperaturama od 293 do 303 K gotovo sva tijela se ponašaju kao „crna“ tijela. To znači da količina emitiranog zračenja ovisi isključivo o temperaturi, a ne ovisi o boji njihovih površina. [4]

### 2.1.3.4. Isparavanje, znojenje, evaporativno hlađenje

Količina izlučenog znoja tijekom rada veoma je promjenjiva. U toploj i suhoj sredini, za vrijeme intenzivnog rada mišića, može se izlučiti 1-2 litre znoja tijekom 24 sata. Gubitak velikih količina znoja izaziva stanje dehidracije koje se popravljiva unošenjem velike količine vode u tijelo, te smanjenje natrij-klorida, što može uzrokovati hipotenziju i grčenje mišića. Radi toga, ljudi koji rade u okruženju u kojem vlada visoka temperatura trebaju uzimati sol kako bi nadoknadili smanjenje natrij-klorida. Još je jedan način izmjene topline, a javlja se pri radu na visokim temperaturama – disanje ili respiracija. Disanjem čovjek ispari oko 12 grama vode na sat. Prava aklimatizacija tijela na vrućinu prolazi kroz nekoliko stadija i to:

- Tijelo postupno povećava znojenje, gubeći sve više topline ovim procesom
- Dolazi do gubitka težine, koji doprinosi gubitku topline, smanjujući količinu izolirajućeg masnog tkiva i utrošak energije
- U procesu aklimatizacije radnik pije više tekućine radi kompenzacije gubitka većih količina vode putem znojenja
- Krvožilni sustav i srce također se adaptiraju radi poboljšanja efikasnosti rada nakon aklimatizacije

Nakon što se aklimatizira na toplinu, radnik se osjeća žednim kad god je tijelu potrebno više tekućine, tako da počinje češće piti male količine tekućine. [4]

#### 2.1.4. Toplinska ravnoteža

Toplinska ravnoteža u organizmu postiže se ako su uravnotežene količine topline koju tijelo proizvodi i topline koju tijelo izmjenjuje s okolinom. Navedeno proizlazi iz prvog zakona termodinamike koji govori o principu očuvanja energije. Za vrijeme nekog međudjelovanja između sustava i njegove okoline, količina energije dobivena u sustavu mora biti točno jednaka količini energije koju je izgubila okolina. Energija se ne može niti stvoriti niti uništiti. Ona može samo promijeniti oblik i proći kroz granicu zatvorenog sustava u dva oblika, a to su toplina i rad.

Toplinska ravnoteža u organizmu se postiže ako vrijedi:

$$M_O = W + R + K_V + K_D + E + L + S$$

Pri čemu je:

$M_O$  – ukupna količina proizvedene energije izračunata iz potrošnje kisika [ $W m^{-2}$ ]

$W$  – vanjski rad [ $W m^{-2}$ ]

$R$  – zračenje [ $W m^{-2}$ ]

$K_V$  – prenošenje [ $W m^{-2}$ ]

$K_D$  – vođenje [ $W m^{-2}$ ]

$E$  – transpiracija [ $W m^{-2}$ ]

$L$  – zagrijavanje i vlaženje zraka uzrokovano udisanjem/izdisanjem [ $W m^{-2}$ ]

$S$  – akumulacija topline u tijelu [ $W m^{-2}$ ]

Temperaturni raspon u kojem se čovjek osjeća udobno ovisi o nizu čimbenika kao što su parametri odjeće, unos hrane, godišnje doba, dob, spol, navike i drugo. Za odjevenu osobu u stanju mirovanja, zona toplinske ravnoteže je između 20 i 23 °C. Navedeni se raspon naziva i zonom ugone ili zonom vazomotoričke regulacije jer se u njoj toplinska ravnoteža uglavnom održava regulacijom krvnog optoka između različitih dijelova tijela.

Povišenjem temperature povećava se znojenje tijela te se ulazi u zonu evaporativne kontrole, a daljnje povišenje temperature iznad granice tolerancije potencijalno može dovesti do smrti toplinskim udarom.

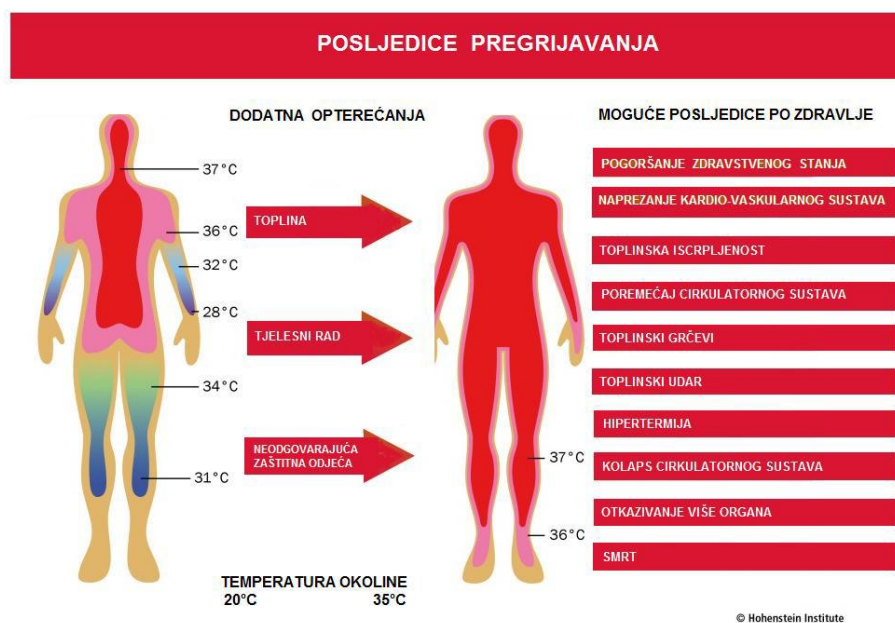
Prevelika temperatura uzrokuje osjećaj malaksalosti i pospanosti te smanjuje radnu sposobnost pojedinca, a povećava sklonost pogreškama u aktivnosti koje čovjek obavlja. Snižavanjem temperature ispod zone ugone ulazi se u područje zone hlađenja tijela, a daljnje snižavanje temperature do ekstremnih vrijednosti također dovodi do smrti. Povećana hladnoća izaziva nemir kod pojedinca što utječe na pad koncentracije. [5]

### 2.1.5. Toplinski stres

Do toplinskog stresa dolazi kada tijelo pokušava kontrolirati svoju temperaturu. Tipično nastaje pri fizičkom radu uz visoku temperaturu okoliša. Krv se pumpa prema površini da znojenjem ostvari hlađenje. Organi ostaju bez krvi, nastupa dehidracija i konačno toplinski stres. [6]

Posljedice toplinskog stresa predočene su (Slika 2.), a one su :

- Osip → blokirane znojne žlijezde uzrokuju nakupljanje znoja ispod kože
- Grčevi → posebno u nogama, zbog gubitka soli u mišićima
- Iscrpljenost → zbog prekomjernog gubitka vode i soli
- Toplinski udar → brzi porast temperatura tijela na  $> 40,6\text{ }^{\circ}\text{C}$  u 10-15 min.
- Hipertermija → može uzrokovati smrt ili trajnu nesposobnost ako se ne tretira ispravno.



Sl. 2. Moguće posljedice pregrijavanja [6]

## 2.2. Brzina strujanja zraka

Brzina strujanja zraka je definirana kao srednja brzina strujanja zraka kojoj je tijelo izloženo. Brzina strujanja zraka ima iznimno velik utjecaj na toplinsku ugodnost. Neželjeno lokalno hlađenje tijela prouzročeno pojačanim strujanjem zraka naziva se propuh. [1]

Masa zraka je uvijek u gibanju. To je posljedica razlike u temperaturi pojedinih slojeva zraka. Gibanje zraka može biti u određenom smjeru ili vrtložno. Brzina kretanja zraka izražava se u m/s, a za mjerenje brzine zraka koji se giba u nekom smjeru koriste se anemometri. Kretanje zraka u određenom smjeru nastaje na otvorenom prostoru (vjetar), u hodnicima, uz otvorena vrata, prozore i druge prolaze u prostorijama. Važno je osigurati potrebne količine izmjene zraka po osobi (Tablica 2.) radi opskrbe kisikom i da se iz radne prostorije uklone štetne tvari (plinovi, prašine, otrovne pare itd.) Zbog toga je čovjeku potrebno najmanje 30 ml/sat da bi se smanjila štetna koncentracija ugljične kiseline.

Tab.2. Izmjena zraka po osobi/sat [4]

<b>Težina rada</b>	<b>Izmjena zraka po osobi [ml/h]</b>	<b>Najmanja izmjena zraka [m<sup>3</sup>]</b>
Vrlo lagan tjelesni rad( rad u administraciji, urar)	30	10
Lagan tjelesni radi (crtač, laborant, krojač, prodavačica)	35	12
Srednje težak tjelesni rad (zavarivač, stolar, tokar)	50	16
Težak tjelesni rad (bravar u montaži i popravcima)	60	18

Ljudi su najosjetljiviji na propuh na nepokrivenim dijelovima tijela (npr. lice, ruke i donji dio nogu). Propuh predstavlja najčešći prigovor u klimatiziranim prostorijama te ovisi o brzini strujanja, temperaturi zraka i turbulenciji. Za standardne temperaturne uvjete, brzine strujanja zraka u zoni boravka do 0,25 m/s ne utječu značajno na toplinsku ugodnost.

Zbog načina na koji funkcioniraju senzori topline smješteni u koži (senzori „hladnoće“), osjećaj toplinske neugodnosti ne ovisi samo o lokalnom gubitku topline već i o fluktuaciji temperature kože. Jako turbulentno strujanje zraka stvara veći osjećaj neugode od slabo turbulentnog strujanja iako rezultiraju jednakim gubitkom topline. [4]

Smatra se da su mnogi nagli padovi temperature kože uzrokovani fluktuacijom što započinje slanje impulsa sa „hladnih“ senzora. Poznato je kakve vrste fluktuacija uzrokuju najveću neugodnost. To je dokazano izlaganjem odraslih pojedinaca različitim frekvencijama brzine strujanja zraka. Fluktuacija s frekvencijom od 0,5 Hz stvara najveću neugodnost dok se frekvencije iznad 2 Hz ne osjete. [4]

### 2.3. Relativna vlažnost zraka

Relativna vlažnost pokazuje odnos između količine vodene pare koja stvarno postoji u zraku u nekom trenutku i maksimalne količine vodene pare koju bi taj zrak pri toj temperaturi mogao primiti. Relativna vlažnost nema veći utjecaj na toplinsku ugodnost. [1]

Zdrav čovjek uglavnom ne osjeća promjenu relativne vlažnosti u smislu promjene razine toplinske ugodnosti u rasponu od 30% do 70% pri temperaturama od 20-25°C. Preporučuje se održavanje relativne vlažnosti u prostoru između 40% i 60% za temperature zraka do 25°C, razinu odjevenosti  $\approx 1$  Clo i nisku razinu fizičke aktivnosti. Kod povećane razine fizičke aktivnosti, veći je i udio latentne topline što daje mogućnost smanjenja relativne vlažnosti zraka za održavanje iste razine toplinske ugodnosti. [3]

Kada govorimo o vrijednostima vlažnosti zraka za različite vrste djelatnosti tada uzimamo podatke iz (Tablica 3.).

Tab. 3. Vrijednosti vlažnosti zraka [4]

Vrsta djelatnosti	Vlažnost zraka [%]		
	Minimalna	Optimalna	Maksimalna
Rad u uredu	40	50	70
Lagan ručni rad, sjedenje	40	50	70
Lagan rad, stajanje	40	50	70
Težak rad	30	50	70
Vrlo težak rad	30	50	70
Rad u vrućini	20	35	60

## 2.4. Razina odjevenosti

Odjeća provodi termalni otpor između ljudskog tijela i njegovog okruženja. Funkcionalna uloga odijevanja je zbog toga održanje tijela u prihvatljivom termalnom stanju u različitim okruženjima. Termalno ponašanje odjeće jedne aktivne osobe je složeno, dinamično i kompleksno.

Faktori koji djeluju na termalno ponašanje odjeće su: suha termalna izolacija, prijenos vlažnosti i isparavanja kroz odjeću, izmjena topline, kompresija, prodiranje zraka i položaj tijela. Termalna izolacija odjevnog materijala može se izmjeriti standardiziranom opremom na koju se postavlja uzorak materijala te se mjeri protok topline i temperatura. [7]

Odjeća smanjuje toplinske gubitke iz tijela stoga je podijeljena prema vrijednosti toplinskog otpora. Mjerna jedinica koja se uobičajeno koristi za izražavanje toplinskog otpora odjeće naziva se Clo jedinica.

Clo skala napravljena je na način da neodjevena osoba ima Clo vrijednost jednaku nuli, a osoba koja nosi npr. poslovno odijelo ima Clo vrijednost jednaku jedinici. Ukupna Clo vrijednost odjeće koju osoba nosi može se izračunati sumiranjem Clo vrijednosti svakog od odjevnih predmeta zasebno. Računanjem Clo vrijednosti na taj način uglavnom se postiže dovoljna točnost. Ako su potrebne egzaktne vrijednosti, toplinski otpor odjeće mjeri se na grijanoj lutki. [3]

Predočene su izmjene prosječnog toplinskog otpora odjeće s obzirom na količinu odjeće koju čovjek nosi na sebi (Tablica 4.).

Tab. 4. Prosječni toplinski otpor odjeće [6]

<b>Prosječni toplinski otpor odjeće</b>	
<b>Odjevenost</b>	<b>I<sub>cl</sub> [Clo]</b>
Bez odjeće	0
Lagana odjeća (kratke hlače, košulja)	0,5
Košulja, hlače, čarape, cipele	0,65
Normalna radna odjeća	0,8-1
Majica kratkih rukava, gaće, košulja, hlače, jakna, čarape, cipele	1
Teža radna odjeća s donjim rubljem, čarapama, cipelama, vestom, jaknom	1,25
Odjeća za hladno vrijeme s kaputom	1,6-2
Odjeća za vrlo hladno vrijeme	3-4

## 2.5. Metabolizam

Toplina metabolizma je toplina koja se stvara oksidacijskim procesima u tijelu i troši na fizičku aktivnost i održavanje tjelesne topline. Količina energija koju otpušta metabolizam ovisi o razini fizičke aktivnosti. Jedinica metaboličkog učinka je 1 Met što odgovara  $58,15 \frac{W}{m^2}$ . [1]

$$1 \text{ Met} = 58,15 \frac{W}{m^2}$$

Cjelokupna aktivnost mišića pretvara se u toplinu u tijelu ali tijekom teškog fizičkog rada taj omjer može pasti i do 75%. Primjerice, kod penjanja na planinu, dio korištene energije pohranjen je u tijelu u obliku potencijalne energije. [3]

Zdrava odrasla osoba ima površinu kože od oko 1,7 m<sup>2</sup>. To znači da će osoba koja izražava zadovoljstvo toplinskim stanjem okoliša s razinom fizičke aktivnosti od 1 Met iskusiti toplinske gubitke iz tijela od otprilike 100 W. Ljudi imaju najnižu razinu fizičke aktivnosti kod spavanja (0,8 Met), a najvišu kod obavljanja sportskih aktivnosti gdje je moguće postići i do 10 Met. Uobičajena vrijednost razine fizičke aktivnosti iznosi 1,2 Met i opisuje uobičajen rad koji uključuje sjedenje za radnim stolom u uredu.

Primjerice, obavljanje kućnih poslova odgovara vrijednostima od 2,5 i 2,9 Met. Kod ocjenjivanja razine fizičke aktivnosti pojedinca, važno je koristiti prosječnu vrijednost za aktivnosti kojima se osoba bavila unutar zadnjih sat vremena. Razlog za to je da toplinski kapacitet tijela „pamti“ u prosjeku jedan sat fizičke aktivnosti. [3]

Metabolizam (M) sastoji se od bazalnog (M<sub>baz</sub>) i radnog metabolizma (M<sub>Rad</sub>).

$$M = M_{\text{baz}} + M_{\text{Rad}}$$

Bazalni metabolizam se izračunava prema formuli:

a) Za muškarce:

$$M_{\text{baz}} = 0,193 + 0,0400 \times m + 0,01454 \times v - 0,0196 \times s$$

b) Za žene:

$$M_{\text{baz}} = 0,934 + 0,0287 \times m + 0,00538 \times v - 0,0136 \times s$$

Gdje je:

M<sub>baz</sub> – bazalni metabolizam (kJ/min); M<sub>baz</sub> × 16,67 (W),

m – tjelesna masa (kg),

v – tjelesna visina (cm),

s – starost (godine)

Količina energije za bazalni metabolizam ovisi o dobi, visini, težini i spolu, a može se za svaku osobu točno izmjeriti direktnom i indirektnom kalorimetrijom ili mjerenjem potrošnje kisika u točno određenim uvjetima.



Radni metabolizam ( $M_{Rad}$ ) omogućava određivanje dinamičkog mišićnog opterećenja i promatranje neovisno o drugim opterećenjima. Temelji se na određivanju energije koju osoba mora dati za svoju aktivnost u određenom vremenu. Prema vrsti aktivnosti na radnom mjestu koje su prikazane u (Tablica 5.) možemo odrediti vrijednosti radnog metabolizma.

Radni metabolizam je neophodan u procjeni toplinske okoline na radnom mjestu, te je također potreban za obavljanje poslova. Bez njega, nije moguće riješiti toplinsku ravnotežnu jednadžbu ljudskog tijela. [2]

Tab. 5. Radni metabolizam pri kretanju muškog i ženskog tijela [2]

Aktivnost u radnim uvjetima	$M_{Rad}$ prema brzini [kJ/min]	
	Muškarci	Žene
<b>Hodanje po ravnom 2-5 km/h:</b>		
Lagano hodanje	13,2	11,9
<b>Hodanje uzbrdo 3-5 km/h:</b>		
Hodanje uzbrdo sa nagibom 5°	25,2	22,7
Hodanje uzbrdo sa nagibom 10°	43,2	38,9
<b>Hodanje nizbrdo 3-5 km/h:</b>		
Spuštanje nizbrdo sa nagibom 5°	7,2	6,5
Spuštanje nizbrdo sa nagibom 10°	6,0	5,4
<b>Hodanje sa teretom po vodoravnoj površini 3-5 km/h:</b>		
10 kg tereta	10,2	9,2
30 kg tereta	22,2	20,0
50 kg tereta	34,2	30,8
<b>Penjanje po nagnutim ljestvama – brzinom penjanja 9-11 m/min :</b>		
Bez tereta	199,2	179,3
10 kg tereta	224,4	202,0
50 kg tereta	398,4	358,6
<b>Penjanje po vertikalnim ljestvama – brzinom penjanja 12 m/min:</b>		
Bez tereta	243,6	219,2
10 kg tereta	280,2	252,2
50 kg tereta	570,0	513,0

Razlikujemo dinamički i statički mišićni rad. Dinamički rad mišića definiran je kao rad koji se javlja u mišićnoj kontrakciji, gdje se provodi put u smjeru djelovanja sile.

Statički mišićni rad definira se kao rad u kojem mišićna kontrakcija ne služi gibanju, nego kompenzacija iste velike sile koja djeluje u suprotnom smjeru. Osnovni metabolizam je potreban za održavanje vitalnih funkcija tijela u mirovanju (ležanje).

Da bi u praksi lakše izračunali razinu fizičke aktivnosti odnosno metabolizma potrebni su podatci iz (Tablica 6.) koji sadrže srednje vrijednosti za pripadajuće vrste rada, te podatci iz (Tablica 7.) koji sadrže pripadajuće vrijednosti zavisno od samog položaja tijela u kojem se radnik u promatranom trenutku nalazi. [2]

Tab.6. Radni metabolizam za muškarce i žene u različitim vrstama rada [2]

Vrsta rada		M <sub>Rad</sub> [kJ/min]			
		Muškarci		Žene	
		Interval	Srednja vrijednost	Interval	Srednja vrijednost
Ručni rad	Lagan	< 2,4	1,8	< 2,2	1,6
	Srednji	2,4 - 4,2	3,6	2,2 – 3,8	3,2
	Težak	> 4,2	4,8	> 3,8	4,3
Jednoručni rad	Lagan	< 5,4	4,2	< 4,9	3,8
	Srednji	5,4 – 7,8	6,6	4,9 – 7,0	5,9
	Težak	> 7,8	9,0	> 7,0	8,1
Dvoručni rad	Lagan	< 9,0	7,8	< 8,1	7,0
	Srednji	9,0 – 11,4	10,2	8,1 – 10,2	9,2
	Težak	> 11,4	12,6	10,2	11,3
Fizički rad	Lagan	< 18,6	15	< 16,74	13,5
	Srednji	18,6 – 27,6	22,8	16,7 – 24,8	20,5
	Težak	27,6 – 39,6	33,6	24,8 – 35,6	30,2
	Vrlo težak	> 39,6	46,8	> 35,6	42,1

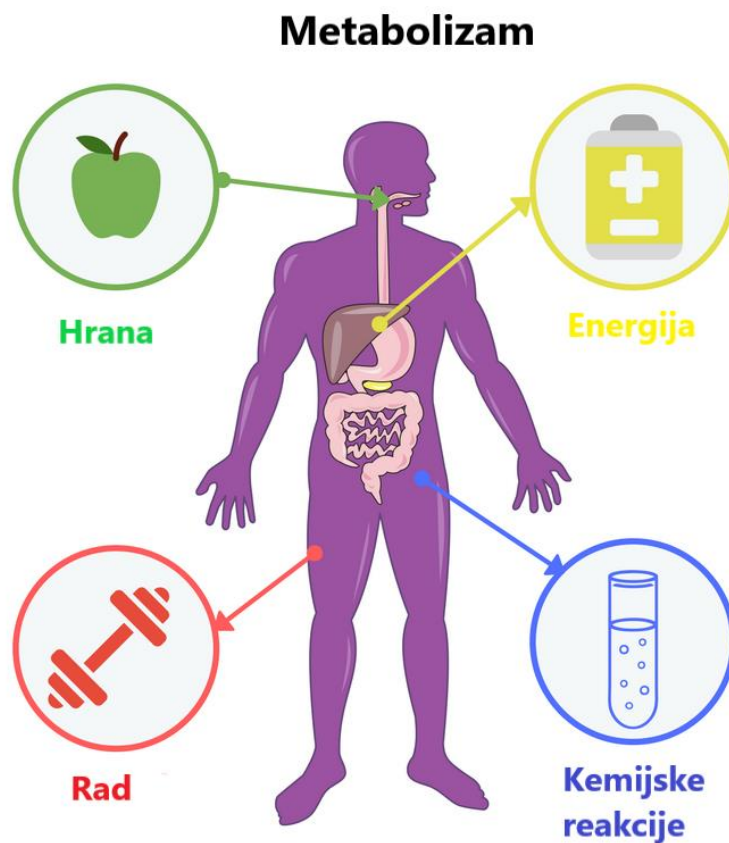
Tab.7. Radni metabolizam na različitim položajima muškog i ženskog tijela [2]

Položaj tijela	M <sub>Rad</sub> [kJ/min]	
	Muškarci	Žene
Sjedenje	1,2	1,1
Klečanje	2,4	2,2
Čučanje	2,4	2,2
Stajanje	3,0	2,7
Stajanje u pogrbljenom položaju	3,6	3,2

Za normalan metabolizam prikazan na (Slika 3.), potrebno je osigurati odgovarajući kvalitativni iznos, što znači da je u organizam potrebno unijeti ugljikohidrate, masti, i bjelančevine. Idealan omjer bjelančevina, ugljikohidrata i masti u prehrani bio bi:

- 20% kalorijskog unosa u obliku bjelančevina (80 – 100 g),
- 50% kalorijskog unosa u obliku ugljikohidrata,
- 30% kalorijskog unosa u obliku masti. [4]

Također je nužna potreba za vodom koja iznosi 1 ml/kg tjelesne težine. Potreba za vodom povećava se kod napornog fizičkog rada, kod povišene atmosferske temperature, povišene tjelesne temperature. Voda se iz organizma gubi kroz pluća i kožu (500 – 1000 ml), stolicom (50 – 100 ml) i urinom.



Sl. 3. Metabolizam [4]

Da bi se održala konstantna tjelesna težina, čovjek mora dnevnom hranom primiti količinu energije koju i troši. Pokazalo se da je najveća primljena količina hrane oko 20 093 kJ na dan.

Radnici na teškim poslovima u industriji, rudnicima i poljoprivredi jedva prekoračuju količinu primljene hrane od 18 000 kJ na dan. Prosječni radnik troši oko 4 116 kJ za čisto održavanje života, a da pri tome ne obavlja nikakav rad. Potrošak energije za svakodnevni život, isključivši rad u zvanju iznosi oko 9 628 kJ, jer za aktivnosti kao što su oblačenje, hranjenje, pranje, put do radnog mjesta, slobodno vrijeme troši se 2 512 kJ na dan.

Za žene dozvoljena granica potrošnje iznosi 6 698 kJ na dan. Većina radnica u industriji ne troši više od 4 186 kJ za svakodnevni posao, a rad u kućanstvu (kućni poslovi) iznosi u prosjeku 2 093 kJ što približno iznosi 6 698 kJ na dan.

Što se tiče teškog rada, radnik koji obavlja težak posao može u kraćem vremenskom razdoblju postići utrošak energije od 6, 8 ili više radnih kalorija u minuti, dok će radnica utrošiti svega 3, 4 ili 5 radnih kalorija u minuti. [4]

#### 2.5.1. Mehanizmi fiziološke adaptacije

Ako se ambijentalna temperatura povećava, može doći do sljedećih fizioloških promjena:

1. Povećanja umora, s popratnim gubitkom efikasnosti pri tjelesnom i mentalnom radu
2. Povećanja srčane frekvencije
3. Povećanja krvnog tlaka
4. Smanjenja aktivnosti probavnih organa
5. Laganog povećanja takozvane unutrašnje temperature i naglog povećanja temperature kože, koja se može povećati s 32 °C na 36 °C do 37 °C
6. Velikog povećanja krvnog optoka kroz kožu (od nekoliko ml/cm<sup>3</sup> kožnog tkiva od 20 do 30 ml/cm<sup>3</sup> u minuti)
7. Povećanog lučenja znoja, koje postaje obilno ako se temperatura kože povisi na 34 °C ili više.

Učinci ovih adaptivnih promjena vide se u povećanom prenošenju topline iz unutrašnjosti tijela u kožu s pomoću povećanog krvnog optoka. Ako je toplinski stres veći nego što je prikazano (Tablica 8.) i ne može ga se značajno smanjiti tehničkim zahvatima, u tom slučaju radno vrijeme u takvim uvjetima mora se skratiti. [4]

Tab. 8. Preporučljive temperaturne granice za prihvatljiva toplinska opterećenja za vrijeme dnevnog rada [4]

<b>Gornja granica temperature [°C]</b>			
<b>Ukupna potrošnja energije [kJ/h]</b>	<b>Primjer</b>	<b>Efektivna temperatura</b>	<b>Temperatura s 50% RV</b>
<b>1600</b>	Težak rad; hodanje s 30 kg tereta	26-28	30,5-33
<b>1000</b>	Umjereno težak rad; hodanje brzinom od 4 km/h	29-21	34-37
<b>400</b>	Lagani rad; sjedeći posao	33-35	40-44

### 3. KLIMATSKI UVJETI RADNOG OKOLIŠA

Klima na radnome mjestu jedna je od važnih pretpostavki čovjekova zdravlja, kao i njegova zadovoljstva na radnom mjestu. Svaki čovjek razmišlja o ugodnoj klimi, ali najčešće nije svjestan ugodne klime. Najčešće kažemo da je neka klima ugodna kada je usporedimo s nekom neugodnom klimom. Klimu u određenom prostoru (stan, uredski prostor itd.) umjetno stvaramo te ju možemo i mijenjati. Teškoća se javlja kada u industrijskom pogonu imamo više ljudi koji individualno svaki za sebe odlučuju o ugodnoj klimi.

Različiti ljudi imaju različite zahtjeve, koje je nemoguće uskladiti. Također i priroda posla nameće svoje uvjete. Na primjer proizvodi su ponekad ovisni i o klimatskim prilikama prostorija, ili se pak proizvodnja odvija pri ekstremnoj hladnoći, toplini, velikom postotku vlage i velikoj količini otpadnih tvari. Temperatura, vlaga, gibanje zraka i otpadne tvari (prašina, iverje, plinovi) najvažniji su elementi koji utječu na čovjekovo fiziološko ponašanje i na njegovo zdravlje. Često se u pogonu pojavljuju dodatni mirisi i električno stanje zraka. [4]

Bitno je spomenuti da je čovjek „kemodinamijski motor“ s relativno niskim stupnjem učinka, ali da on pri fizičkom opterećenju proizvodi više ili manje tjelesne topline. Pri laganim aktivnostima efektivna temperatura radnoga prostora stoga mora biti veća, a kod težih radova manja.

Istovremeno, čovjek je „homoioterm“, budući da njegov organizam vlastitom termoregulacijom djeluje na taj način da uspostavlja i održava ravnotežu između proizvodnje topline (koja se stvara u tijelu kao popratna pojava metaboličkih procesa i koja nastaje kao posljedica rada mišića) i porasta ili pada temperature njegove okoline. Proces održavanja stalne temperature mora se odvijati u malim vremenskim razmacima, jer bi veliki vremenski razmaci onemogućavali održavanje stalne temperature.

U normalnim radnim uvjetima kada tijelo nije izloženo mišićnom naporu, kod normalnog mladog čovjeka stvara se zbog bazalnih procesa oko 46,52 W po m<sup>2</sup> površine tijela. Kada tijelo ne bi predavalo toplinu, tjelesna bi se temperatura povisila u roku jednog sata za 1°C.

Pri pedeset puta većoj izmjeni tvari (ta mogućnost praktički leži u području stvarnog zbivanja) tjelesna bi temperatura bila povećana za otprilike 10°C. To bi toplinsko zbivanje neminovno dovelo do pregrijavanja tijela, do takozvanog toplinskog udara.

U hladnoj okolini, onda kada je proizvodnja topline manja od davanja, hlade se vanjski dijelovi tijela, te se javlja tendencija pada unutrašnje topline. To dovodi do pothlađivanja.

Pri ekstremnim klimatskim uvjetima tijelo se brani vlastitim mehanizmima:

- Prijenosom topline putem krvi (značenje tog prijenosa temelji se na razlici vanjske i unutarnje temperature tijela)
- Drhtavicom kojom se u kontrakciji i dekontrakciji mišića povećava stvaranje topline u tijelu
- Znojenjem kada je temperatura okoline veća od temperature tijela, pa je nemoguće gubiti toplinu fizikalnim načinima; isparavanje znoja dovodi do hlađenja.

Neugodne klimatske uvjete na radnom mjestu uvjetuju:

- Prevelike temperaturne razlike između efektivne temperature prostora i zidova i podova (radijacija/ kondukcija)
- Pretopli ili prehladni pod prostorije
- Prevelike temperaturne razlike između razine glave i nogu radnika
- Propuh koji nastaje zbog razlike u brzini gibanja lokalnog zraka

Navedene nepovoljne situacije treba spriječiti već pri konstruiranju radnih prostorija. U mnogim granama industrije zaposlenici rade pod nepovoljnim klimatskim uvjetima, koji utječu na njihovo zdravlje, radnu sposobnost i učestalost nesreća.

Npr. U pamučnoj industriji nepovoljni klimatski uvjeti su povećana vlažnost koja je dio tehnološkog procesa. U industriji papira, praonicama, tvornici stakla i ciglanama problem je visoka temperatura. Visoke temperature i vlažan zrak česte su pojave u rudarstvu.

U nekim pogonima javljaju se niske temperature, u ledenicama, tvornicama parafina i sl. Niskim ili visokim temperaturama izloženi su i poljoprivrednici, transportni, građevinski i drugi radnici koji obavljaju posao na otvorenom prostoru. [4]

### 3.1. Zone udobnosti klime

Pod „zonom udobnosti“ podrazumijevaju se različiti klimatski čimbenici u kojima se toplinska ravnoteža između okoline i organizma uspostavlja bez fiziološkog napora. Pojedine zone udobnosti razlikuju se kod različitih osoba.

Osjećaj toplinske udobnosti ili neudobnosti sadrži niz subjektivnih čimbenika pa, pored klimatskih čimbenika okoliša, ovisi i o tome je li čovjek aklimatiziran na određenu okolinu, obavlja li rad ili miruje, kakav je intenzitet rada, kako je čovjek obučan.

Postoji više zona udobnosti u kojima će se veliki postotak normalnih zdravih ljudi osjećati udobno. Pa tako razlikujemo zimske i ljetne udobnosti, a također razlikujemo i zone udobnosti po klimatskim pojasevima. [4]

### 3.2. Zimske i ljetne zone udobnosti

U umjerenom klimatskom pojasu može se smatrati da je zona udobnosti za 70 % osoba koje obavljaju laki rad u zimskim mjesecima od 287,5 K do 291,9 K ekvivalentne temperature s optimumom oko 289,8 K. Uzima se prosječna brzina strujanja zraka od 0,17 m/s. Ako se srednja temperatura zračenja ne razlikuje znatno od temperature zraka, navedeno područje ekvivalentnih temperatura odgovara području temperatura zraka od 298,5 K do 293 K.

Radnici koji rad obavljaju sjedeći imat će lagodniji osjećaj ugodne klime pri temperaturama koje su 1 do 2 K više od navedenih. Za osobe koje su fizički aktivnije predložene su i niže temperature. Za takve slučajeve se na temelju iskustva može preporučiti kao zona udobnosti od 285,8 do 288,5 K (suha temperatura zraka).

Ljeti se ljudi aklimatiziraju na više temperature, pa se smatra da su optimalni uvjeti za muške radnike koji obavljaju laki rad kad je temperatura zraka od 297 do 299 K, uz relativnu vlažnost manju od 50 % i brzinu strujanja zraka od 0,25 m/s.

Za teški fizički rad te su temperature nekoliko stupnjeva niže (4 do 5°C), ali to u prvom redu ovisi o intenzitetu rada.

Za žene su zone udobnosti obično za 2 K više, jer im je metabolizam nešto niži, a nose i lakšu odjeću.

Ako je temperatura zraka na radnim mjestima umjerena, tj. oko 293 K, razlike u relativnoj vlažnosti nemaju puno utjecaja na udobnost. Tek kada temperatura zraka prijeđe 299 do 300 K i kada počne znojenje, relativna vlažnost postaje sve važniji čimbenik.

Da bi se odredilo optimalno toplinsko stanje u prostoriji, potrebno je u svakom slučaju poznavati temperaturu prostorije i vanjsku temperaturu, za zimsko i ljetno razdoblje. Razlika ovih temperatura ne smije biti prevelika jer inače dolazi do prehlade. Ljeti ova razlika vanjske temperature i one u prostoriji ne smije iznositi više od 8°C.

Ako je pri tom srednja temperatura zračenja topline jednaka temperaturi zraka, onda raspon efektivne temperature odgovara rasponu zraka od 288,5 do 293 K (od 15,5 do 20°C).

Osjećaj udobnosti i neudobnosti ne ovisi samo o iznosu pojedinih čimbenika koji određuju toplinsku okolinu nego i o brzini kojom se iznosi čimbenika mijenjaju, kao i o prostornoj raspodjeli temperature i toplinskom zračenju. Podrazumijeva se da je svježja klima ona kod koje se pojedini toplinski čimbenici stalno mijenjaju i da osjećaj sparine nastaje u području zona udobnosti ako su klimatski čimbenici stabilni.

Pri minimalnom volumenu prostorije od 3 m<sup>3</sup> po osobi može se postići izmjena zraka na sat od 20 m<sup>3</sup> po osobi, pri čemu će se zrak izmijeniti 7 puta na sat. Ako je iz nekog razloga potrebno ostvariti izmjenu zraka od 30 m<sup>3</sup>/h ili više, što odgovara broju od 10 i više izmjena zraka na sat, mora se provesti provjetranje. U ovakvim slučajevima bolje je povećati volumen prostorije iznad 3 m<sup>3</sup> po osobi, tj. povećati prostoriju ili smanjiti broj ljudi koji u njoj borave.

[4]



#### 4. PREDICTED MEAN VOTE (PMV) I PREDICTED PERCENTAGE OF DISSATISFIED (PPD) INDEKS

PMV (eng. Predicted Mean Vote) indeks vrednuje razinu ugone i predviđa subjektivno ocjenjivanje ugodnosti boravka u okolišu od strane grupe ljudi. Prikazana je skala PMV indeksa (Tablica 9.). [1]

Tab. 9. Skala PMV indeksa prema normi HRN EN ISO 7730 [1]

<b>+3</b>	Vruće
<b>+2</b>	Toplo
<b>+1</b>	Blago toplo
<b>0</b>	Neutralno
<b>-1</b>	Prohladno
<b>-2</b>	Hladno
<b>-3</b>	Ledeno

PMV se može izračunati na 3 načina:

- 1) Koristeći kod za program BASIC dan u Dodatku D norme
- 2) Iz Dodatka E norme gdje su dane tablice PMV vrijednosti za različite kombinacije razine aktivnosti, odjevenosti, operativne temperature i relativne brzine. PMV vrijednosti u Dodatku E su napravljene za relativnu vlažnost 50%. Utjecaj vlažnosti na toplinsku ugodnost pri umjerenim temperaturama se obično zanemaruje pri izračunu PMV indeksa.
- 3) Direktnim mjerenjem koristeći integracijski senzor (mjerenjem ekvivalentne i operativne temperature)

PPD (eng. Predicted Percentage of Dissatisfied) predstavlja postotak nezadovoljnih osoba, odnosno onih koji bi glasali da im je toplo, vruće, hladno ili ledeno (+3, +2, -2, -3 iz Tablice 9.). [1]

#### 4.1. Faktori koji utječu na lokalnu toplinsku neugodu

Toplinsko nezadovoljstvo može biti uzrokovano i neželjenim lokalnim grijanjem ili hlađenjem tijela.

Najčešći faktori lokalne neugode prema normi EN ISO 7730 su: propuh, razlika u temperaturi po visini, topli odnosno hladni podovi, te asimetrija površinskih temperatura ploha.

Velika temperaturna razlika između zglobova i glave može uzrokovati neugodu. Ljudi su manje osjetljivi na padajuću temperaturu prema gornjem dijelu tijela. Previše topli ili prehladni podovi također mogu uzrokovati toplinsku neugodu. Ljudi su najosjetljiviji na previše tople stropove ili prehladne zidove.

U normi EN ISO 7730 su dane formule za izračun stupnja nezadovoljnih korisnika zbog gore navedenih faktora. Kategorije toplinskog okoliša i utjecaja lokalne neugode prikazane su u (Tablica 10.). [1]

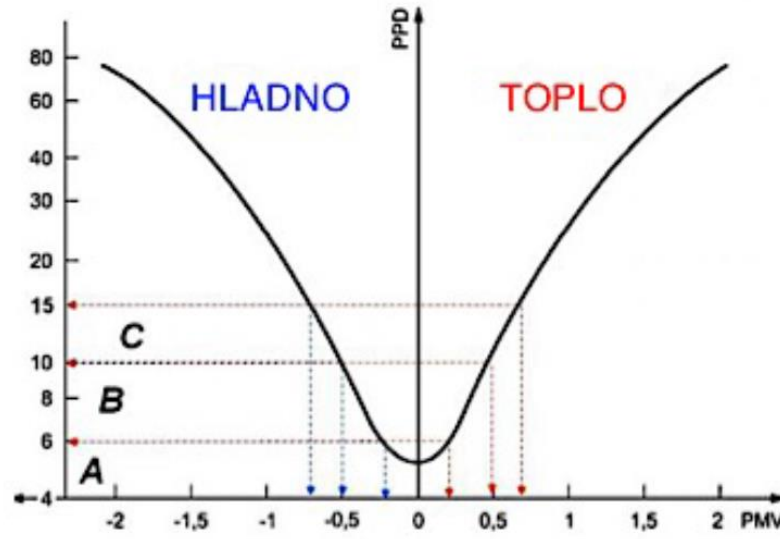
Tab. 10. Kategorije toplinskog okoliša i utjecaj lokalne neugode [1]

Kategorija	Toplinsko stanje cijelog tijela		Lokalna Neugoda			
	PPD (%)	PMV	DR (%)	PD (%)		
				Razlika temperature po visini	Topli ili hladni podovi	Razlika temperature ploha
A	<6	$-0,2 < PMV < +0,2$	<10	<3	<10	<5
B	<10	$-0,5 < PMV < +0,5$	<20	<5	<10	<5
C	<15	$-0,7 < PMV < +0,7$	<30	<10	<15	<10

Kategorija A je najbolja kategorija sa samo manje od 6% predviđenih nezadovoljnih osoba. Preporuka je da su uvjeti u prostoriji minimalno B kategorije što znači manje od 10% nezadovoljnih osoba i PMV indeks između -0,2 i +0,2.

Sa oznakom DR (engl. draught) u (Tablica 10.) je označen propuh. Može se vidjeti da je propuh najutjecajniji faktor lokalne neugodne i je najviše osoba nezadovoljno zbog toga.

Prikazan je indeks PPD kao funkcija indeksa PMV (Slika 4.). Vidi se da je kategorija A najpoželjnije i najuže područje. Kategorija B je još uvijek prihvatljiva za indeks PPD između -0,5 i +0,5 dok je najlošija kategorija C gdje je PPD indeks između -0,7 i +0,7. Iz slike se može vidjeti da je ovisnost X funkcija. [1]



Sl. 4. PPD kao funkcija PMV

#### 4.2. Operativna temperatura i primjeri za različite prostore

Optimalna operativna temperatura je idealna temperatura koja bi odgovarala za  $PMV=0$  odnosno da su svi ljudi u prostoriji zadovoljni. Prikazane su preporučene vrijednosti operativne temperature ovisno o godišnjem dobu za različite tipove prostora (Tablica 11.).

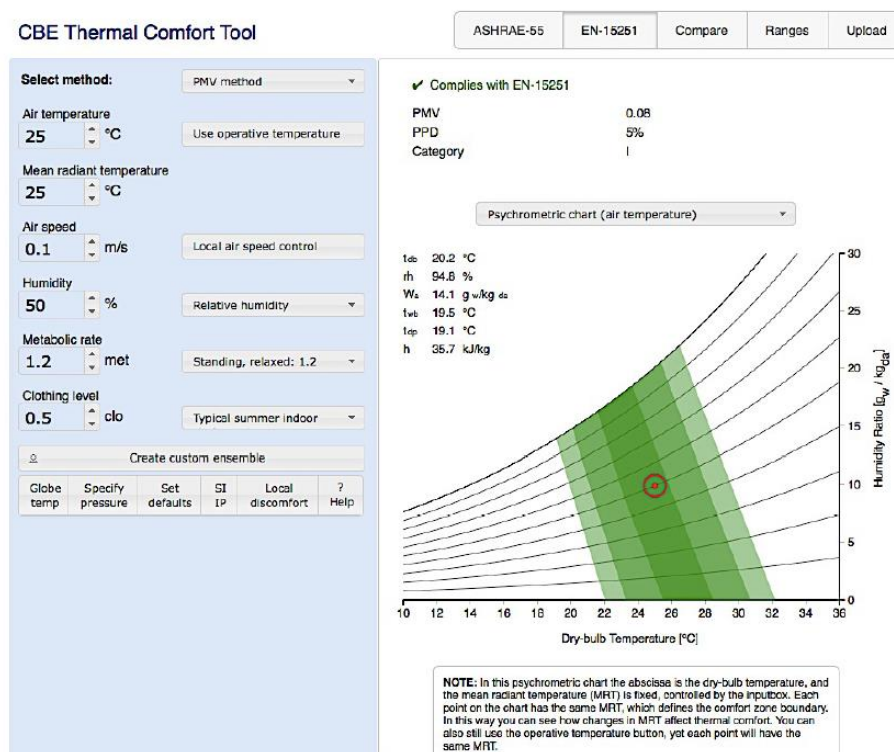
Preporučene vrijednosti operativnih temperatura za različite prostore su uzete iz norme HRN EN 15251: 2008 Ulazni mikroklimatski parametri za projektiranje i ocjenjivanje energijskih značajka zgrada koji se odnose na kvalitetu zraka, toplinsku lagodnost, osvjetljenje i akustiku. [1]

Tab. 11. Operativne temperature ovisno o godišnjem dobu za različite tipove prostora [1]

Tip prostorije / zgrade	Kategorija	Operativna temperatura	
		Zima - Razina odjevenosti $\approx 1,0$ clo	Ljeto - Razina odjevenosti $\approx 0,5$ clo
Kućanstva Razina aktivnosti (sjedenje) $\approx 1,2$ Met	I	21	25,5
	II	20	26
	III	18	27
Uredi Razina aktivnosti (sjedenje) $\approx 1,2$ Met	I	21	25,5
	II	20	26
	III	19	27
Auditorij Razina aktivnosti (sjedenje) $\approx 1,2$ Met	I	21	25,5
	II	20	26
	III	19	27
Restoran Razina aktivnosti (sjedenje) $\approx 1,2$ Met	I	21	25
	II	20	26
	III	19	27
Učionica Razina aktivnosti (sjedenje) $\approx 1,2$ Met	I	21	25
	II	20	26
	III	19	27
Dječji vrtić (stajanje, hodanje) $\approx 1,4$ Met	I	19	24,5
	II	17,5	25,5
	III	16,5	26
Trgovački centar (stajanje, hodanje) $\approx 1,6$ Met	I	17,5	24
	II	16	25
	III	15	26

### 4.3. Ostale norme za toplinsku ugodnost u normalnim uvjetima

Toplinska ugodnost se može izračunati i prema Američkoj normi ASHRAE Standard 55. Način računanja je vrlo sličan normi HRN EN 7730. Na internetu su dostupni besplatni softveri za izračun toplinske ugodnosti. Jedan takav je i CBE Thermal Comfort Tool prikazan na (Slika 5.). U softver se unose vrijednosti 6 glavnih parametara te se provjerava je li toplinska ugodnost u skladu sa propisanom normom. [1]



Sl. 5. Korisničko sučelje CBE Thermal Comfort Tool [1]

### 4.4. Toplinska udobnost u ekstremno toplim uvjetima

Norma koja se odnosi na radnike u ekstremnim toplinskim uvjetima (vrućina) je HRN EN 27243:2003 Vruće okoline – Prosudba toplinskih opterećenja radnika, utemeljena na TVT indeksu (temperature vlažnog termometra).

Temperatura vlažnog termometra sfere je prema EN 27243 indeks toplinskog opterećenja okoliša koji ako se promatra unutarnji okoliš, uključuje dvije temperature: temperaturu prirodno ventiliranog vlažnog termometra ( $t_{nw}$ ) i temperaturu crne sfere ( $t_g$ ). [1]

WBGT (engl. Wet Bulb Globe Temperature) indeks povezuje te dvije temperature sljedećom formulom ako se radi o unutarnjim prostorima:

$$\text{WBGT} = 0,7 * t_{nw} + 0,3 * t_g$$

Ako se radi o vanjskom prostoru, u obzir se uzima i temperatura zraka,  $t_a$  (temperatura suhog termometra). Formula 2 ih povezuje:

$$\text{WBGT} = 0,7 * t_{nw} + 0,3 * t_g + t_a$$

Ako je vrijednost WBGT indeksa veća od referentnog iznosa danog u (Tablica 12.), toplinsko opterećenje radnika se može smanjiti ili direktno metodama kao što su kontrolom okoliša, kontrolom razine aktivnosti, duljinom boravka u vrućem okolišu i koristeći individualnu zaštitu ili provesti detaljniju analizu toplinskog opterećenja u skladu sa detaljnijim metodama. [1]

Tab. 12. Referentne vrijednosti WBGT ovisno o razredu fizičke aktivnosti [1]

Stupanj opterećenja	Razina fizičke aktivnosti, M		Referentna vrijednost WBGT			
	Relativna [W/m <sup>2</sup> ]	Ukupna [W]	Osoba prilagodena temperaturi [°C]		Osoba neprilagodena temperaturi [°C]	
<b>0</b>	M < 65	M < 117	33		32	
<b>1</b>	65 < M < 130	117 < M < 234	30		29	
<b>2</b>	130 < M < 200	234 < M < 360	28		26	
<b>3</b>	200 < M < 260	360 < M < 468	Beznačajna brzina strujanja zraka 25	Značajna brzina strujanja zraka 26	Beznačajna brzina strujanja zraka 22	Značajna brzina strujanja zraka 23
<b>4</b>	M > 260	M > 468	23	25	28	20

#### 4.5. Uređaji za mjerenje mikroklimе u proizvodnim pogonima

Mjerenje mikroklimе se vrši u proizvodnim pogonima toplotnih i rashladnih uređaja, inženjerskim i projektnim biroima, farmaceutskim laboratorijama, sistemima održavanja u industriji, bolnicama i klinikama.

Na osnovu rezultata dobivenih testiranjem mikroklimе mogu se poboljšati i unaprijediti klimatski uvjeti u zatvorenoj životnoj ili radnoj sredini. Analizom rezultata mjerenja temperature, tlaka, vlage, protoka zraka, struje i napona može se osigurati funkcionalna strategija pri stvaranju zdravije životne i produktivnije radne okoline.

Aparati za mjerenje mikroklimе prikazani na (Slika 6.) i (Slika 7.) su instrumenti za mjerenje parametara mikroklimе (tlaka, temperature, vlage, brzine strujanja zraka, volumenskog protoka zraka i tahometrije), data logeri za temperaturu, vlagu, svjetlost, struju i napon, te mjerni pretvarači (transmiteri) tlaka, temperature, vlage, brzine strujanja i volumenskog protoka zraka. [8]



Sl. 6. DeltaOhm HD 32.3, uređaj za analizu WBGT - PMV – PPD [8]



Sl. 7. DeltaOhm HD 32.3, uređaj za analizu WBGT - PMV – PPD [8]

**Osnovne karakteristike i prednosti:**

- Automatsko logiranje
- Promjenjive mjerne jedinice
- Datum i Vrijeme
- Min, Max, i srednja statistička vrijednost parametara
- Prijenos podataka na PC

**Može detektirati sljedeće veličine:**

- Globus temperaturu (temp. solarne radijacije)
- Temperaturu mokrog termometra sa prirodnom "ventilacijom"
- Temperaturu okoline
- Relativnu vlagu i temperaturu okoline
- Brzinu strujanja zraka

**Može kalkilirati iz izmjerenih veličina:**

- WBGT(in) index (Indeks vlažne globus temperature: temperatura mokrog termometra i Globus termometra) bez solarne radijacije
- WBGT(out) index (Indeks vlažne globus temperature: temperatura mokrog termometra i Globus termometra) sa solarnom radijacijom
- Srednju temperaturu zračenja
- PMV i PPD indeks [9]



## 5. MJERE ZAŠTITE

Da bi se postigli klimatski uvjeti koji odgovaraju zonama udobnosti, odnosno za sprečavanje štetnih utjecaja nepovoljnih klimatskih uvjeta primjenjuju se određene zaštitne mjere koje se odnose na uređenje radnih prostorija i zgrada, pojedina radna mjesta i na samog zaposlenika. [7]

Zaštitne mjere koje se primjenjuju su sljedeće:

- Opća i lokalna ventilacija, grijanje, hlađenje, klimatizacija i toplinska izolacija radnih prostorija
- Izolacija izvora topline i vlage
- Zaštita od toplinskog zračenja i zaštitna odjeća
- Upotreba soli i uzimanje vode
- Odabiranje zaposlenika za rad u nepovoljnim klimatskim uvjetima
- Odmaranje tijekom rada i skraćenje radnog vremena

Preporuke u vrućim uvjetima:

1. Aklimatizacija na vrućinu je potrebna, a postiže se postepeno u stadijima. Treba početi boravcima koji iznose do 50% radnog vremena u vrućim uvjetima i postupno ih povećavati za 10% svaki dan. Isti se postupak primjenjuje i za osobe koje se vraćaju s dužeg bolovanja ili su duže odsutni s posla
2. Što je veći toplinski stres i što je veće tjelesno naprezanje u uvjetima vrućine, odmori trebaju biti duži i češći (periodi hlađenja). Ako su toplinske granice prekoračene, radni se dan mora skratiti
3. Radnici trebaju uzimati male količine tekućine u kratkim intervalima; ne više od 0,25 litara odjednom, a preporuča se po jedna čaša svakih 10 - 15 min
4. Ako su potrebne veće količine tekućine najbolje je piti čistu vodu, i možda povremeno šalicu čaja ili kave. Mlaka ili topla pića brže apsorbira probavni trakt nego hladni napitci
5. Pića s ledom, voćni sokovi i alkoholna pića se ne preporučuju. Mlijeko i mliječni napitci također nisu pogodni, jer predstavljaju dodatni stres za probavne organe
6. Pitka voda treba biti u blizini radnog mjesta tako da radnik može piti kada god mu zatreba. [7]

## 6. EKSPERIMENTALNI DIO

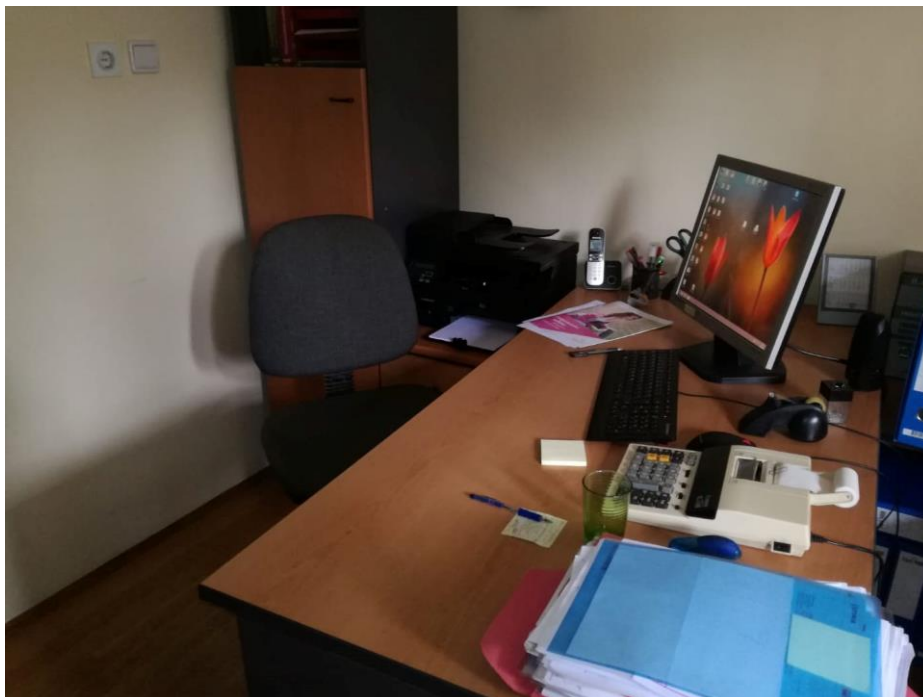
Svrha ovog završnog rada je pobliže objasniti kako temperatura, brzina strujanja zraka, vlažnost zraka, razina odjevenosti, razina fizičke aktivnosti (metabolizam) utječu na toplinsku udobnost radnika u proizvodnom procesu.

Za potrebe izrade eksperimentalnog djela odabrano je radno mjesto u knjigovodstvenom servisu Hemakon d.o.o., gdje je izvršeno mjerenje razine fizičke aktivnosti odnosno ljudskog metabolizma.

Dvije radnice koje su za potrebe ovog mjerenja u daljnjem tekstu nazvane ispitanicama slikane su u toku jednog radnog dana u različitim radnim položajima tijela. Na temelju tih fotografija izvršeno je mjerenje razine bazalnog metabolizma, radnog metabolizma te ukupnog metabolizma.

### 6.1. Mjerna mjesta

Mjerenje razine fizičke aktivnosti izvršeno je u knjigovodstvenom servisu Hemakon d.o.o. za usluge i trgovinu. Prikazana radna mjesta (Slika 8.) i (Slika 9.) ergonomski su opremljena sa dva radna stola i dvije radne stolice, računalnom opremom, uredskim ormarima, raznim uredskim uređajima poput printera i skenera te registrima i stalcima za dokumente.



Sl. 8. Prvo mjerno mjesto



Sl. 9. Drugo mjerno mjesto

## 6.2. Mjerna oprema i metoda mjerenja

Prilikom mjerenja razine fizičke aktivnosti odnosno metabolizma dviju ispitanica korišten je mobilni uređaj marke Samsung galaxy j510 2017.

Mjerenje je provedeno u knjigovodstvenom servisu metodom promatranja i fotografiranja dviju ispitanica kod kojih su zapažene promjene položaja tijela u toku jednog radnog sata.

Izračunate su vrijednosti bazalnog, radnog te ukupnog metabolizma tj. razine fizičke aktivnosti uz pomoć korištenja podataka povezanih sa radnim metabolizmom za različite vrste rada i različite položaje tijela kod muškaraca i žena iz (Tablica 6.) i (Tablica 7.)

### 6.3. Rezultati mjerenja i rasprava

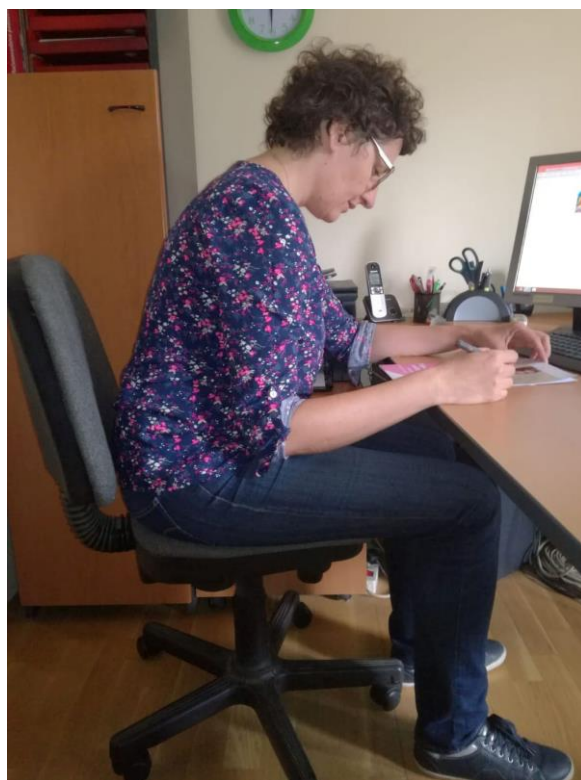
Prva ispitanica (Slika 10.) ima 40 godina, njena tjelesna masa iznosi 80 kg, a visina 177 cm. Ti podatci su nam potrebni za izračunavanje bazalnog metabolizma ( $M_{\text{baz}}$ ).

Navedene podatke zapisujemo kao:

$$m = 80\text{kg}$$

$$v = 177\text{ cm}$$

$$s = 40\text{ godina}$$



Sl. 10. Prva ispitanica u sjedećem položaju

Koristeći prethodno navedene podatke bazalni metabolizam izračunavamo prema formuli:

$$M_{\text{baz}} = 0,934 + 0,0287 \times m + 0,00538 \times v - 0,0136 \times s$$

$$M_{\text{baz}} = 3,64\text{ kJ/min} = 60,68\text{ W}$$

Površinu kože izračunavamo pomoću formule:

$$A_{\text{DU}} = 71,84 \times 10^{-4} \times m^{0,425} \times v^{0,725}$$

$$A_{\text{DU}} = 1,97\text{ m}^2$$

Da bi se izračunao ukupni metabolizam potrebno je odrediti i radni metabolizam. Radni metabolizam određujemo prema vrsti rada koji obavlja prva ispitanica, te prema njenom položaju tijela.

Izračunavanje radnog metabolizma tijekom obavljanja laganog ručnog rada u sjedećem položaju:

$$M_{\text{Rad}} = M(\text{lagani ručni rad}) + M(\text{sjedenje})$$

$$M_{\text{Rad}} = 1,6 \text{ kJ/min} + 1,1 \text{ kJ/min}$$

$$M_{\text{Rad}} = 2,7 \text{ kJ/min} = 45 \text{ W}$$

Izračunavanje ukupnog metabolizma:

$$M = M_{\text{baz}} + M_{\text{Rad}}$$

$$M = 3,64 \text{ kJ/min} + 2,7 \text{ kJ/Min}$$

$$M = 6,34 \text{ kJ/min} = 105,69 \text{ W}$$

Ukupni metabolizam prve ispitanice (Slika 10.) pri obavljanju laganog ručnog rada, u sjedećem položaju iznosi 6,34 kJ/min odnosno 105,69 W.

Razinu fizičke aktivnosti izračunavamo prema formuli:

$$Met = \frac{M}{A_{DU}}$$

$$Met = \frac{105,69 \text{ W}}{1,97 \text{ m}^2}$$

$$Met = 53,65 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

U prvom mjerenju razina fizičke aktivnosti ispitanice u sjedećem radnom položaju iznosi  $53,65 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$  što odgovara 0. stupnju opterećenja koji se nalazi u području do  $65 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$  čija je vrijednost iščitana iz (Tab. 12.).

U drugom mjerenju prva ispitanica obavlja lagani jednoručni rad u stojećem položaju (Slika 11.). Za izračunavanje ukupnog metabolizma potrebno je odrediti radni metabolizam u skladu s promjenom vrste rada i položaja tijela, te ga zbrojiti s bazalnim metabolizmom. Pomoću ukupnog metabolizma i površine kože dobiva se razina fizičke aktivnosti.



Sl. 11. Prva ispitanica u stojećem položaju obavlja lagani jednoručni rad

Izračunavanje radnog metabolizma u stojećem položaju:

$$M_{\text{Rad}} = M(\text{Lagani jednoručni rad}) + M(\text{Stajanje})$$

$$M_{\text{Rad}} = 3,8 \text{ kJ/min} + 2,7 \text{ kJ/min}$$

$$M_{\text{Rad}} = 6,5 \text{ kJ/min} = 108,35 \text{ W}$$

Izračunavanje ukupnog metabolizma u stojećem položaju:

$$M = M_{\text{baz}} + M_{\text{Rad}}$$

$$M = 3,64 \text{ kJ/min} + 6,5 \text{ kJ/Min}$$

$$M = 10,14 \text{ kJ/min} = 169 \text{ W}$$

Aktivnost metabolizma se mijenja ovisno o vrsti rada i položaju tijela. Ukupni metabolizam prve ispitanice (Slika 11.) pri obavljanju laganog jednoručnog rada u položaju stajanja iznosi 10,14 kJ/min odnosno 169 W.

$$Met = \frac{169 \text{ W}}{1,97 \text{ m}^2}$$

$$Met = 85,78 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

Usporedbom razine fizičke aktivnosti u prvom ( $Met = 53,65 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$ ) i drugom slučaju ( $Met = 85,78 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$ ), uočeno je da se razina fizičke aktivnosti prve ispitanice povećala pri obavljanju laganog jednoručnog rada u položaju stajanja, u odnosu na lagani ručni rada u sjedećem položaju.

Ispitanica u stojećem radnom položaju ima razinu fizičke aktivnosti koja iznosi  $85,78 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$  što odgovara 1. stupnju opterećenja koji se nalazi u području od  $65 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$  do  $130 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$ , čija je vrijednost iščitana iz (Tab. 12.).

Na drugom radnom mjestu prikazanom na (Slika 9.) radi druga ispitanica (Slika 12.) koja ima 59 godina, ukupne tjelesne mase 75 kg i visine 162 cm.

Prikupljene podatke zapisujemo kao:

$$m = 75\text{kg}$$

$$v = 162\text{ cm}$$

$$s = 59\text{ godina}$$



Sl. 12. Druga ispitanica u položaju čučnja

Izračunavanje bazalnog metabolizma druge ispitanice:

$$M_{\text{baz}} = 0,934 + 0,0287 \times m + 0,00538 \times v - 0,0136 \times s$$

$$M_{\text{baz}} = 3,15\text{ kJ/min} = 52,52\text{ W}$$

Površina kože se izračunava pomoću formule:

$$A_{\text{DU}} = 71,84 \times 10^{-4} \times m^{0,425} \times v^{0,725}$$

$$A_{\text{DU}} = 1,8\text{ m}^2$$



Izračunavanje radnog metabolizma druge ispitanice u položaju čučnja:

$$M_{\text{Rad}} = M(\text{Lagani ručni rad}) + M(\text{Čučanje})$$

$$M_{\text{Rad}} = 1,6 \text{ kJ/min} + 2,2 \text{ kJ/min}$$

$$M_{\text{Rad}} = 3,8 \text{ kJ/min} = 63,35 \text{ W}$$

Izračunavanje ukupnog metabolizma druge ispitanice u položaju čučnja:

$$M = M_{\text{baz}} + M_{\text{Rad}}$$

$$M = 3,15 \text{ kJ/min} + 3,8 \text{ kJ/min}$$

$$M = 6,95 \text{ kJ/min} = 115,86 \text{ W}$$

Ukupni metabolizam druge ispitanice (Slika 12.) pri obavljanju laganog ručnog rada u čučnju iznosi 6,95 kJ/min odnosno 115,86 W.

$$Met = \frac{115,86 \text{ W}}{1,8 \text{ m}^2}$$

$$Met = 64,36 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

Razina fizičke aktivnosti druge ispitanice u položaju čučnja iznosi  $64,36 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$ , što odgovara 0. stupnju opterećenja koji se nalazi u području do  $65 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$ , čija je vrijednost iščitana iz (Tab. 12.).

U drugom primjeru mjerenja ispitanica sa (Slika 13.) se nalazi u stojećem radnom položaju. Potrebno je izračunati radni metabolizam pomoću kojega se izračunava ukupni metabolizam.



Sl. 13. Druga ispitanica u stojećem položaju

Izračunavanje radnog metabolizma druge ispitanice u stojećem položaju:

$$M_{\text{Rad}} = M(\text{Lagani dvoručni rad}) + M(\text{Stajanje})$$

$$M_{\text{Rad}} = 7 \text{ kJ/min} + 2,7 \text{ kJ/min}$$

$$M_{\text{Rad}} = 9,7 \text{ kJ/min} = 161,7 \text{ W}$$

Izračunavanje ukupnog metabolizma druge ispitanice u stojećem položaju:

$$M = M_{\text{baz}} + M_{\text{Rad}}$$

$$M = 3,15 \text{ kJ/min} + 9,7 \text{ kJ/Min}$$

$$M = 12,85 \text{ kJ/min} = 214,2 \text{ W}$$

Ukupni metabolizam druge ispitanice (Slika 13.) pri obavljanju laganog dvoručnog rada, u stojećem položaju iznosi 12,85 kJ/min odnosno 214,2 W.

Izračun razine fizičke aktivnosti u stojećem položaju:

$$Met = \frac{214,2 W}{1,8 m^2}$$

$$Met = 119 \frac{W}{m^2}$$

Razina fizičke aktivnosti iznosi  $119 \frac{W}{m^2}$ .

Druga ispitanica u stojećem radnom položaju ima razinu fizičke aktivnosti koja iznosi  $119 \frac{W}{m^2}$  što odgovara 1. stupnju opterećenja koji se nalazi u području od  $65 \frac{W}{m^2}$  do  $130 \frac{W}{m^2}$ , čija je vrijednost iščitana iz (Tab. 12.).

Usporedbom razine fizičke aktivnosti u prvom i drugom slučaju, uočeno je da se razina fizičke aktivnosti druge ispitanice povećala gotovo dvostruko pri obavljanju laganog jednoručnog rada u položaju stajanja, u odnosu na razinu fizičke aktivnosti prve ispitanice kod laganog ručnog rada u sjedećem položaju.

## 7. ZAKLJUČAK

U ovom završnom radu istaknuta je potreba i obveza kontroliranja svih čimbenika toplinske ugodnosti kao što su temperatura zraka, brzina strujanja zraka, vlažnost zraka, razina odjevenosti radnika i razina fizičke aktivnosti odnosno metabolizam koji se smatraju značajnim ergonomskim čimbenicima.

Nepovoljni klimatski uvjeti u različitim proizvodnim procesima u značajnoj mjeri utječu na zdravlje radnika, radnu sposobnost, ali i na mogućnost ozljeda na radu. Da bi se otklonili nepovoljni klimatski učinci radne okoline potrebno je primjenjivati odgovarajuće zaštitne mjere. Potrebno je provoditi kontrolu toplinskih razmjera i kontrolu kvalitete zraka na radnim mjestima jer se samo takvim pristupom može postići veća produktivnost radnika i poboljšana kvaliteta rada, ali i umanjiti mogućnost ozljeda na radu.

Pravilnikom o zaštiti na radu za mjesta rada propisano je da se na mjestima rada u zatvorenom prostoru moraju ovisno o prirodi posla osigurati povoljni uvjeti rada za radnike u pogledu temperature, vlažnosti i brzine strujanja zraka, uzimajući u obzir radne postupke i fizičke zahtjeve koji se postavljaju radnicima. Brzina strujanja zraka na mjestima rada u zatvorenom prostoru ovisi o vrsti rada i tehnološkom procesu, a ne smije biti veća od 0,5 m/s ako je temperatura vanjskog zraka do 10°C, 0,6 m/s ako je temperatura vanjskog zraka od 10 do 27°C odnosno 0,8m/s ako je temperatura vanjskog zraka preko 27°C. U prostorijama za obavljanje uredskih poslova i sličnim prostorijama kao i u pomoćnim prostorijama, pri normalnim mikroklimatskim uvjetima, mora se osigurati potreban broj izmjena zraka, a ukoliko se količine svježeg zraka osiguravaju umjetnim provjetranjem taj zrak ne smije sadržavati prašinu, dim, štetne plinove i neugodne mirise koji bi mogli nepovoljno utjecati na zdravlje radnika.

U eksperimentalnom djelu završnog rada prikupljeni mjerni podatci su računski ubačeni u pripadajuće formule pomoću kojih su izračunate razine fizičkih aktivnosti dviju ispitanica.

Mjerenjem je dobiveno da prva ispitanica ima razinu fizičke aktivnosti u sjedećem radnom položaju koja iznosi  $53,65 \frac{W}{m^2}$ , što odgovara 0. stupnju opterećenja, dok u stojećem radnom položaju razina fizičke aktivnosti iznosi  $85,78 \frac{W}{m^2}$ , što odgovara 1. stupnju opterećenja.

Razinu fizičke aktivnosti druge ispitanice u položaju čučnja iznosi  $64,36 \frac{W}{m^2}$ , što odgovara 0. stupnju opterećenja, dok u stojećem radnom položaju ima razinu fizičke aktivnosti koja iznosi  $119 \frac{W}{m^2}$ , što odgovara 1. stupnju opterećenja.

Dobivene vrijednosti razina fizičkih aktivnosti dviju ispitanica uvelike se razlikuju jer njihova tjelesna masa, visina i dob nisu jednake. Iako obje ispitanice rade na sličnom radnom mjestu njihova se razina fizičke aktivnosti mijenja u skladu s promjenama položaja njihovih tijela.

## 8. LITERATURA

- [1] Radanović Heni – diplomski rad,  
[http://repozitorij.fsb.hr/5244/1/Radanovic\\_2015\\_Diplomski.pdf](http://repozitorij.fsb.hr/5244/1/Radanovic_2015_Diplomski.pdf) , pristupljeno 16.5.2018.
- [2] Balantič Z., Polajnar A., Jevšnik S.: „Ergonomija v teoriji in praksi“, Ljubljana:Nacionalni inštitut za javno zdravje, 2016., ISBN 9616911910
- [3] Tomorad Jura – diplomski rad,  
[http://repozitorij.fsb.hr/7844/1/Tomorad\\_2017\\_diplomski.pdf](http://repozitorij.fsb.hr/7844/1/Tomorad_2017_diplomski.pdf) , pristupljeno 22.5.2018.
- [4] Kroemer K.H.E., Grandjean E.: „Prilagođavanje rada čovjeku“, Split 1999.,  
ISBN 953-191-096-0
- [5] Mijović B.: „Zaštita strojeva i uređaja“, Veleučilište u Karlovcu, Karlovac 2012.,  
ISBN 978-953-7343-60-6
- [6] [https://www.veleri.hr/files/datotekep/nastavni\\_materijali/k\\_sigurnost\\_2/5N-TOPLINA-4.pdf](https://www.veleri.hr/files/datotekep/nastavni_materijali/k_sigurnost_2/5N-TOPLINA-4.pdf), Mikroklimatski (toplinski) faktori okoliša, Veleučilište u Rijeci – Odjel Sigurnost na radu, pristupljeno 30.5.2018.
- [7] Mijović B.: „Primijenjena ergonomija“, Veleučilište u Karlovcu, Karlovac 2008.,  
ISBN 978-953-7343-23-1
- [8] <http://www.tokamak.hr/component/content/article/9-uncategorised/75-mikroklima-wbgt?Itemid=633>, Mikroklima/WBGT, pristupljeno 11.6.2018.
- [9] <http://www.tokamak.hr/mikrikilima-wbgt/deltaohm-hd-32-3-wbgt-pmv-ppd-detail>, WBGT - PMV Index uređaj za mjerenje, pristupljeno 11.6.2018.

## 9. PRILOZI

### 9.1. Popis slika

Sl.1. Oblici izmjene topline koju proizvodi metabolizam.....	6
Sl.2. Moguće posljedice pregrijavanja.....	10
Sl.3. Metabolizam.....	18
Sl.4. PPD kao funkcija PMV.....	26
Sl.5. Korisničko sučelje CBE Thermal Comfort Tool.....	28
Sl.6. DeltaOhm HD 32.3, uređaj za analizu WBGT - PMV – PPD.....	30
Sl.7. DeltaOhm HD 32.3, uređaj za analizu WBGT - PMV – PPD.....	31
Sl. 8. Prvo mjerno mjesto.....	33
Sl. 9. Drugo mjerno mjesto.....	34
Sl. 10. Prva ispitanica u sjedećem položaju.....	35
Sl. 11. Prva ispitanica u stojećem položaju obavlja lagani jednoručni rad.....	37
Sl. 12. Druga ispitanica u položaju čučnja.....	39
Sl. 13. Druga ispitanica u stojećem položaju.....	41

## 9.2. Popis tablica

Tab.1. Vrijednost temperature zraka.....	5
Tab.2. Izmjena zraka po osobi/sat.....	11
Tab.3. Vrijednosti vlažnosti zraka.....	12
Tab.4. Prosječni toplinski otpor odjeće.....	14
Tab.5. Radni metabolizam pri kretanju muškog i ženskog tijela.....	16
Tab.6. Radni metabolizam za muškarce i žene u različitim vrstama rada.....	17
Tab.7. Radni metabolizam na različitim položajima muškog i ženskog tijela.....	17
Tab.8. Preporučljive temperaturne granice za prihvatljiva toplinska opterećenja za vrijeme dnevnog rada.....	20
Tab.9. Skala PMV indeksa prema normi HRN EN ISO 7730.....	24
Tab.10. Kategorije toplinskog okoliša i utjecaj lokalne neugode .....	25
Tab.11. Operativne temperature ovisno o godišnjem dobu za različite tipove prostora.....	27
Tab.12.Referentne vrijednosti WBGT ovisno o razredu fizičke aktivnosti.....	29