

Usporedba instrumenata za mjerenje mikroklimatskih parametara

Belošević, Jurica

Master's thesis / Diplomski rad

2017

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:647009>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-25**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET
Diplomski studij rudarskog inženjerstva

**USPOREDBA INSTRUMENATA ZA MJERENJE MIKROKLIMATSKIH
PARAMETARA**

Diplomski rad

Jurica Belošević

R124

Zagreb, 2017

USPOREDBA INSTRUMENATA ZA MJERENJE MIKROKLIMATSKIH PARAMETARA

Jurica Belošević

Rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet
Zavod za rudarstvo i geotehniku
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Sažetak

U ovom radu prikazana su ispitivanja mikroklimatskih parametara koja služe kao osnova za vjetrenje rudničkih prostorija, jama, rudarskih objekata te općenito kontrolu mikroklimе u radnom okolišu. Mikroklimatski parametri (temperatura, tlak i vlažnost) ispitivani su na lokaciji RGNF fakulteta u Zagrebu pomoću pet različitih uređaja. Na temelju dobivenih rezultata mjerenja izvršena je usporedba podataka i instrumenata. U radu je detaljno prikazan i opisan rad uređaja, provedba pokusa mjerenja te obrada rezultata, a na kraju su doneseni i zaključci.

Ključne riječi: Mikroklimatski parametri, temperatura, tlak, vlažnost, termometar, barometar, psihrometar

Završni rad sadrži: 52 stranice, 15 tablica, 21 slika i 15 referenci.

Jezik izvornika: Hrvatski

Pohrana rada: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta, Pierottijeva 6, Zagreb

Mentori: Dr.sc. Mario Klanfar, docent RGNF

Pomagao pri izradi: Mag.ing.min. Vjekoslav Herceg, asistent

Ocjenjivači: Dr.sc. Mario Klanfar, docent RGNF
Dr.sc. Dalibor Kuhinek, docent RGNF
Dr.sc. Tomislav Korman, docent RGNF

COMPARISON OF INSTRUMENTS FOR MICROCLIMATE MEASUREMENTS

Jurica Belošević

Thesis completed at: University of Zagreb
Faculty of mining, Geology and Petroleum Engineering
Department of Mining Engineering and Geotechnics
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Abstract

This master thesis presents research and testing of microclimate parameters that serve as the basis for airing and ventilation of mine chambers, pits and mining facilities, and generally in working environments. The microclimate parameters (temperature, humidity and pressure) were tested on the location of RGNF faculty in Zagreb using five different devices. Based on the test results, data and devices comparison was performed. This work is showing principle of operation of every device, implementation of the measurements experiment and analysis of results with a given conclusion.

Keywords: Microclimate parameters, temperature, humidity, pressure, thermometer, barometer, psychrometer

Thesis contains: 52 pages, 15 tables, 21 figures i 15 references.

Original in: Croatian

Archived in: Library of Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, Pierottijeva 6, Zagreb

Supervisors: PhD Mario Klanfar, Assistant Professor

Tech. assistance: Mag.ing.min. Vjekoslav Herceg, Assistant

Reviewers: PhD Mario Klanfar, Assistant Professor
PhD Dalibor Kuhinek, Assistant Professor
PhD Tomislav Korman, Assistant Professor

SADRŽAJ

1. UVOD	1
1.1. Rad u vrućoj okolini	2
1.2. Rad u hladnoj okolini.....	2
1.3. Kontrola stanja mikroklima	3
2. MIKROKLIMATSKI PARAMETRI.....	4
2.1. Temperatura	4
2.2. Vlažnost	7
2.3. Tlak zraka	11
3. MIKROKLIMATSKI PARAMETRI U RUDARSTVU	15
3.1. Naznake toplinskog stresa	17
3.2. Toplinske bolesti.....	18
3.3. Hladna okruženja	19
4. MJERENJE MIKROKLIMATSKIH PARAMETARA.....	21
4.1. Referentni Arduino uređaj	21
4.2. Proračun relativne vlažnosti.....	21
4.3. Primjer određivanja relativne vlažnosti pomoću tri navedena načina	23
4.4. Mjerenja mikroklimatskih parametara.....	25
5. ZAKLJUČAK	43
6. LITERATURA	45

POPIS SLIKA

Slika 2-1 Živin termometar	5
Slika 2-2 Alkoholni termometar	5
Slika 2-3 Dijagram otpora pojedinih metala	6
Slika 2-4 Konstrukcija termometra	7
Slika 2-5 Assmanov aspiracioni psihrometar	9
Slika 2-6 Primjeri senzora	10
Slika 2-7 Slojevi senzora	10
Slika 2-8 Živin barometar.....	11
Slika 2-9 Precizni aneroidni barometar Barloux.	12
Slika 2-10 MEMS senzor	13

Slika 2-11 Logger uređaj s integriranim senzorom za mjerenje temperature, tlaka i vlažnosti.....	14
Slika 3-1 Ljudsko tijelo proizvodi radnu i metaboličku toplinu (M)	16
Slika 3-2 Efekt temperature tijela na produktivnost.....	20
Slika 4-1 Shema Arduino instrumenta.....	21
Slika 4-2 Instrumenti na krovu fakulteta.	26
Slika 4-3 Prazisions – Barometer.	26
Slika 4-4 Veliki Precizni barometar (R.Fuess Berlin–Steglitz).....	27
Slika 4-5 Airflow uređaj.....	28
Slika 4-6 Arduino instrument.	29
Slika 4-7 Psihrometar	31
Slika 4-8 Dijagram vlage 1.....	34
Slika 4-9 Dijagram vlage 2.....	39
Slika 4-10 Dijagram temperature.	41
Slika 4-11 Dijagram tlaka.....	41

POPIS TABLICA

Tablica 1-1 Vrijednosti mikroklimatskih parametara.....	2
Tablica 3-1 Reakcija tijela na određenu tjelesnu temperaturu.	19
Tablica 4-1 Usporedba Arduino instrumenta s kalibriranim uređajima.	21
Tablica 4-2 Karakteristike mjernih uređaja.	25
Tablica 4-3 Prazisions – Barometer dobiveni podaci mjerenja.	27
Tablica 4-4 Podaci dobiveni preciznim barometrom.	28
Tablica 4-5 Podaci dobiveni Airflow uređajem.	29
Tablica 4-6 Podaci dobiveni Arduino instrumentom.	30
Tablica 4-7 Podaci dobiveni Psihrometrom	31
Tablica 4-8 Ponovljeni rezultati mjerenja vlažnosti	32
Tablica 4-9 Cjelokupni prikaz podataka dobivenih prvim mjerenjem mikroklimatskih parametara.	33
Tablica 4-10 Srednje vrijednosti dobivenih podataka	35
Tablica 4-11 Odstupanja prikazana s obzirom na lokaciju mjerenja.....	37
Tablica 4-12 Odstupanje uređaja od referentnog instrumenta.....	39
Tablica 4-13 Ponovljenja mjerenja za utvrđivanje točnosti psihrometra	40

POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I SI JEDINICA

Oznaka	Jedinica	Opis
X	g/kg	apsolutna vlaga
φ	%	relativna vlaga
p	Pa	tlak
t_c	°C	temperature jezgre tijela
t_{sk}	°C	temperatura sloja tkiva
m_b	kg	masa tijela
c_b	J/kgK	prosječna toplina tijela
e	Pa	parcijalni pritisak vodene pare u zraku
E	Pa	parcijalni pritisak zasićene vodene pare u zraku
E'	Pa	parcijalni pritisak zasićene vodene pare u zraku pri temperaturi vlažnog termometra
c	-	psihrometerska konstanta
t_s	°C	temperatura suhog termometra
t_v	°C	temperatura vlažnog termometra

1. UVOD

Mikroklima predstavlja uvjete okoline na radnom mjestu, odnosno u prostoriji u kojoj se odvija rad. Tehnološki proces uvelike utječe na uvjete okoline, stoga će ljevaonica ili radionica za toplinsku obradu materijala imati znatno povišene temperature okoline i jako izražen prijenos topline zračenjem, dok hladnjača ima izrazito niske temperature. Radnici na radnom mjestu izloženi su utjecaju okoline. Taj utjecaj može biti kroz produljenje vremena izvršenja posla ili kroz povećanje napora radnika. Stoga promatranje mikroklimе, odnosno njenih parametara ima veliku važnost za obavljanje rada (Šprljan, 2009). Na mikroklimu utječu sljedeći čimbenici:

- Temperatura,
- Brzina strujanja zraka,
- Vlažnost i
- Tlak.

Također je važno da je radna odjeća i obućа primjerena vrsti rada, jer to utječe na osjećaj udobnosti prilikom obavljanja poslova. Kada su mikroklimatski uvjeti u nekom prostoru zadovoljavajući, uglavnom se osjećamo ugodno, ali isto tako vrlo lako možemo zamijetiti neodgovarajuću mikroklimu, kod koje pojedini čimbenici odstupaju od zadanih vrijednosti. Ulaskom u neki radni prostor odmah možemo zamijetiti npr. previsoku temperaturu zraka, značajan propuh ili nisku vlažnost – suhi zrak. (Sindikat grafičke i nakladničke djelatnosti [UNICRO], 2016.)

Nepovoljni mikroklimatski uvjeti mogu izazvati nelagodu kod zaposlenika te u slučaju kada isti prijeđu fiziološke granice mogu uzrokovati povećani broj kroničnih bolesti krvožilnog sustava, a u krajnjem slučaju i toplinski udar. Važno je naglasiti da poslovi koji se obavljaju u nepovoljnoj mikroklimi iz tehnoloških razloga predstavljaju poslove s posebnim uvjetima rada. Iz tog razloga zaposlenici na tim radnim mjestima obavezni su obavljati redovite liječničke preglede. Nakon dugotrajne izloženosti nepovoljnim mikroklimatskim uvjetima zaposlenicima prijeti razvoj profesionalnih bolesti. (Gašperov, 2012.)

Pravilnik o izmjenama i dopunama Pravilnika o zaštiti na radu za radne i pomoćne prostorije i prostore (NN 42/2005) propisuje, s obzirom na vrstu rada vrijednosti temperature, vlažnosti i brzine strujanja zraka prikazanih u tablici 1-1.

Tablica 1-1 Vrijednosti mikroklimatskih parametara

TJELESNO OPTEREĆENJE	TEMPERATURA ZRAKA	RELATIVNA VLAŽNOST
Rad bez fizičkog naprezanja	20 °C – 24 °C	40 % – 60 %
Lakši fizički rad	18 °C – 20 °C	40 % – 60 %
Teški fizički rad	12 °C – 18 °C	20 % – 60 %

Bez obzira na to radi li se o klimatizaciji ili sustavu prisilnog provjetravanja, prostor mora biti opskrbljen dovoljnom količinom svježeg zraka odgovarajuće vlažnosti. Kada se zbog potreba tehnološkog procesa ne mogu u potpunosti zadovoljiti dani uvjeti temperature, vlažnosti i brzine strujanja zraka, potrebno je pribjeći određenim tehničkim, organizacijskim i sigurnosnim mjerama za zaštitu zdravlja radnika. To se posebice odnosi na dva ekstremna slučaja: rad u vrućoj, odnosno hladnoj okolini.

1.1. Rad u vrućoj okolini

Značajke rada u vrućoj okolini su vrlo visoke temperature i vlažnost zraka te toplinska zračenja u kombinaciji s teškim fizičkim radom. Dolazi do značajnog opterećenja ljudskog organizma (dehidracija, gubljenje soli i minerala iz organizma...). (UNICRO, 2016.) Preporučuje se:

- Omogućiti vrijeme prilagodbe na nove uvjete,
- Smanjiti vrijeme izloženosti, duži radni odmori,
- Davanje prilagođenih napitaka
- Zdravstvena kontrola poslova s posebnim uvjetima rada.

1.2. Rad u hladnoj okolini

Kod rada u hladnoj okolini organizam ima visoki gubitak tjelesne temperature, smanjuje se pokretljivost i spretnost te zbog sporijeg krvotoka naročito pate prsti na rukama i nogama. Preporučuje se:

- Osposobiti posebnu prostoriju za zagrijavanje,
- Omogućiti više stanki tijekom rada,
- Davanje toplih napitaka
- Prilagođena osobna zaštitna oprema za hladnoću – odijela, cipele, čizme, prsluci, bunde, kape, čarape

- Zdravstvena kontrola – poslovi s posebnim uvjetima rada. (UNICRO, 2016.)

1.3. Kontrola stanja mikrokline

Obveza je poslodavca da neposredno prije stavljanja radnog prostora u funkciju provede prvo ispitivanje, kao i nakon svake promjene koja ima utjecaja na stanje utvrđeno prethodnim ispitivanjem. Potom se ispitivanje čimbenika mikrokline ispituje povremeno u rokovima koji ne mogu biti duži od dvije godine. U principu, navedena ispitivanja trebala bi se obavljati kako u zimskom tako i u ljetnom razdoblju. Ispitivanje radnog okoliša može obavljati samo ovlaštena ustanova ili trgovačko društvo ako ima ovlaštenje izdano od Ministarstva rada. O obavljenom ispitivanju sastavlja se zapisnik, koji pored rezultata ispitivanja navodi zaključak da rezultati ispitivanja zadovoljavaju propisane uvjete ili opis nedostataka zbog kojih rezultati ne zadovoljavaju propisane uvjete. (UNICRO, 2016.)

2. MIKROKLIMATSKI PARAMETRI

2.1. Temperatura

Temperatura je intenzivna veličina stanja. Halasz (2012) navodi da dva tijela koja su u toplinskoj ravnoteži imaju jednaku temperaturu. Da bi se utvrdilo toplinsko stanje tijela, često se kao jedna od veličina stanja za mjerenje odabire temperatura, iako se ona zapravo ne može mjeriti izravno, već se za to iskorištavaju različite pojave jednoznačno povezane s temperaturom kao što su:

- Promjena volumena tijela s temperaturom (živin ili plinski termometar stalnog tlaka),
- Promjena tlaka plina s temperaturom pri stalnom volumenu (plinski termometar stalnog volumena),
- Promjena električnih svojstava tijela s temperaturom (otporni termometri, termoelementi, termoparovi, poluvodički termometri).

Danas postoji veći broj različito definiranih temperaturnih skala, od kojih se u SI sustavu smiju koristiti samo Kelvinova i Celzijeva skala (Halasz, 2012).

Instrumenti za mjerenje temperature mogu se podijeliti na:

- Živin termometar,
- Alkoholni termometar i
- Otporni temperaturni detektor.

Živin termometar (slika 2-1) sastoji se od staklene kapilare na čijem je donjem kraju staklena posudica napunjena živom, dok je gornji kraj kapilare zataljen. U kapilari se nalazi vakuum. Visina stupca žive u kapilari ovisi u temperaturi i mjerenjem visine stupca može se mjeriti temperatura. Mjerno područje je u rasponu od $-38\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $300\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ako se kapilara iznad žive napuni dušikom pod tlakom od nekoliko bara, takvim termometrom možemo mjeriti i temperaturu iznad vrelišta žive. U današnje vrijeme koriste se sve manje zbog štetnih svojstava žive (toksičnost) (Plesić, 2013).



Slika 2-1 Živin termometar

Alkoholni termometar

Alkoholni termometar (slika 2-2) je alternativa za živin termometar te ima slične funkcije. Najraširenija verzija alkoholnog termometra je sa etanolom zbog niske cijene i male štetnosti prilikom oštećenja. Tekućina je sadržana u staklenom kućištu koji je spojen na kapilaru istog stakla te je na kraju zapečaćen sa ekspanzijskom staklenom kuglicom. Prostor iznad tekućine je mješavina dušika i para tekućine. Porastom temperature volumen tekućine ekspandira i meniskus se kreće prema gore. Tekućine koje se mogu koristiti su:

- Čisti etanol,
- Toluen,
- Kerozin ili
- Izoamil acetat.

Vrsta korištene tekućine ovisi o proizvođaču i rangu temperature rada pri kojoj će se koristiti termometar. S obzirom da su tekućine prozirne dodaje se crvena ili plava boja kako bi se istaknula njihova vidljivost. (Wikipedia, 2016.) Rang korištenja tih termometra kreće se od $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ pa do $78\text{ }^{\circ}\text{C}$ ovisno o svojstvima tekućine koja se koristi.



Slika 2-2 Alkoholni termometar

Otporni temperaturni detektor

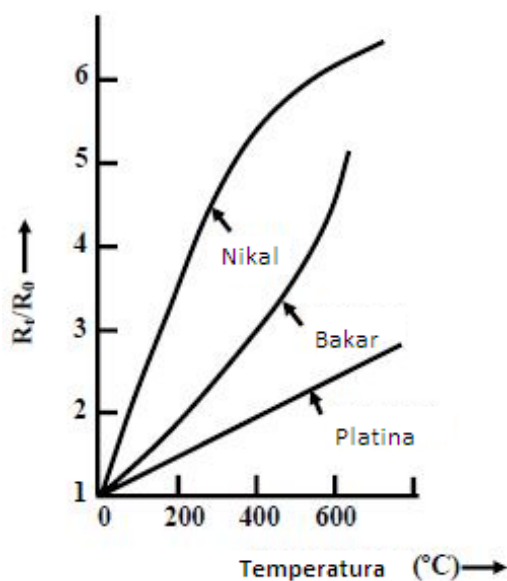
Otporni temperaturni detektori (slika 2-3) ili resistance temperature detectors (RTDs) su zapravo senzori koji se koriste za mjerenje temperature pomoću otpora električne žice koja je zapravo temperaturni senzor. Većina detektora se sastoji od kvalitetne žice određene duljine koja je omotana oko keramičke ili staklene jezgre, a također postoje i druge konstrukcije. Otporni termometri nude veliku stabilnost i preciznost te imaju dobre linearne karakteristike kroz dugi raspon temperature. Varijacija otpora metala s varijacijom za velike temperature dana je izrazom:

$$R_t = R_0 [1 + \alpha (t - t_0) + \beta (t - t_0)^2 + \dots] \quad (2-1)$$

gdje su: R_t = vrijednosti otpora kod t (°C)

R_0 = vrijednosti otpora kod t_0 (°C)

α, β = konstante koje ovise o metalu.

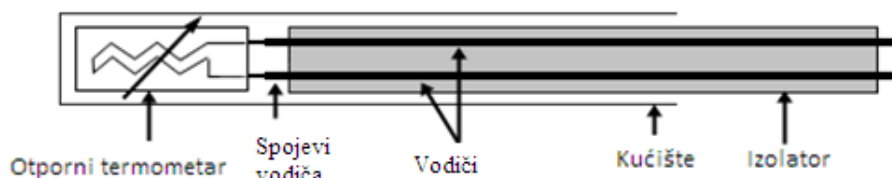


Slika 2-3 Dijagram otpora pojedinih metala

Bakar, nikal i platina su najčešće korišteni metali. Ovi metali imaju različite varijacije temperature što se može vidjeti na dijagramu prikazanog na slici (2-3). Za platinu se otpor mijenja $0,4 \Omega$ za svaki stupanj. RTDovima se mijenja električni otpor materijala sa promjenom temperature. Otpor većine metala se povećava s povećanjem temperature, a posebno se koriste platina i nikal zbog velike promjene otpora i stabilnosti. Otpornik (slika 2-4) gotovo uvijek zahtijeva izolirane vodiče (PVC, silikonska guma), koji se koriste kod

temperatura ispod 250 °C. Točka mjerenja i većina vodova zahtijeva zaštitno kućište najčešće napravljeno od metala koji je kemijski inertan. (Electrical4u, 2016)

Otporni termometri zahtijevaju izvor energije kako bi se moglo provesti mjerenje. Prednost im je velika preciznost, nisko odstupanje i široki krug primjene, a radna temperatura se kreće od – 200 °C do +500 °C.



Slika 2-4 Konstrukcija termometra

2.2. Vlažnost

Vlažnost je količina vodene pare u zraku. Visoki sadržaj vlage u zraku nam ne odgovara u radnim prostorima jer je onemogućeno odvođenje vlage s ljudskih tijela, to jest ne može doći do rashlađenja organizma, nego je pojačano znojenje i zagrijavanje organizma (Langhans i Tibbitts, 1997). Može se podijeliti na:

- Apsolutnu,
- Relativnu i
- Specifičnu vlažnost.

Apsolutna vlažnost

Apsolutna vlažnost (X_a) je ukupna masa vodene pare u danom volumenu zraka i raste s porastom temperature (veće isparavanje). Izražava se kao masa vodene pare (W) podijeljena sa volumenom zraka (G_z) (Teplý, 1991):

$$x = \frac{W}{G_z} \text{ (g/kg)}. \quad (2-1)$$

Gdje su:

X – apsolutna vlažnost (g/kg)

W – masa vodene pare (g)

G_z – volumen zraka (kg)

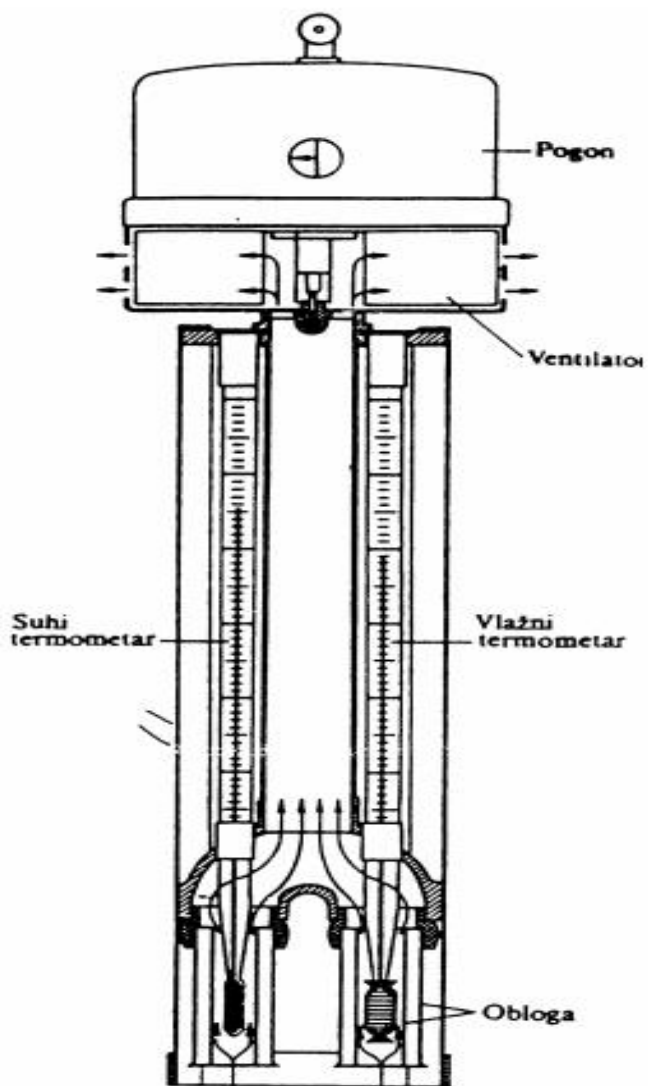
Relativna vlažnost

Relativna vlažnost (X_r) je broj koji pokazuje odnos između količine vodene pare koja stvarno postoji u zraku u nekom trenutku i maksimalne količine vodene pare koju bi taj zrak na toj temperaturi mogao primiti da bi bio zasićen. Instrumenti za mjerenje relativne vlažnosti su:

- Psihrometar i
- Kapacitivni senzor.

Psihrometar

Psihrometar (slika 2-5) mjeri suhu i vlažnu temperaturu. Instrument se sastoji od dva termometra; jedan mjeri suhu temperaturu a drugi se navlaži i mjeri vlažnu temperaturu. Budući da se za isparavanje vode troši određena energija (toplina) vlažni termometar će pokazati nižu temperaturu od suhog. Temperatura vlažnog je u funkciji zasićenosti zraka vodenom parom. Ukoliko je zasićenost zraka veća vlažni termometar pokazuje manju razliku u odnosu na suhi termometar. Gornja granica relativne vlažnosti je 100%, što znači da je zrak maksimalno zasićen vodenom parom i da ne može primiti više isparavanja. U tom slučaju oba termometra pokazuju istu vrijednost temperature. Drugim riječima, male razlike u očitanju termometara ukazuju na visoki sadržaj vlage u zraku što nam ne odgovara u radnim prostorima jer je onemogućeno odvođenje vlage s ljudskih tijela.



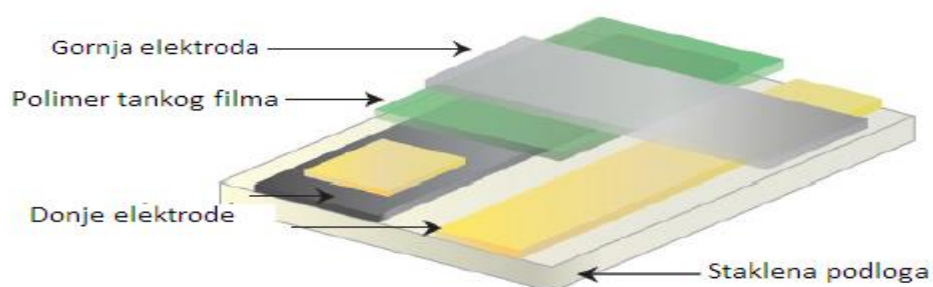
Slika 2-5 Assmanov aspiracioni psihrometar

Kapacitivni senzor

Senzori (slika 2-6) su proizvedeni iz higroskopnog materijala, električnog svojstva koje se mijenja kako upija molekule. Promjene u vlažnosti pretvaraju se u promjenu kapaciteta ili otpora ili kombinaciju tih dvaju efekata. Najčešća forma tih instrumenata je omanja sonda štapnog oblika povezana kabelom s instrumentom. Kapacitivni senzori reagiraju najbliže relativnoj vlažnosti, radije nego točki rosišta s linearnošću pri niskim relativnim vlažnostima. Generalno, kapacitivni senzori ne mogu se oštetiti kondenzacijom iako može doći do pomaka u rezultatima (Šprljan, 2009).



Slika 2-6 Primjeri senzora



Slika 2-7 Slojevi senzora

Između elektroda se generira elektrostatičko polje te dolaskom predmeta u blizinu senzora mijenja se kapacitet kondenzatora i na izlazu se pojavljuje električni signal. Kapacitivni senzor reagira kada se aktivnoj površini približi vlaga te dodir nije potreban. Osjetljivost uređaja se može podešavati po želji.

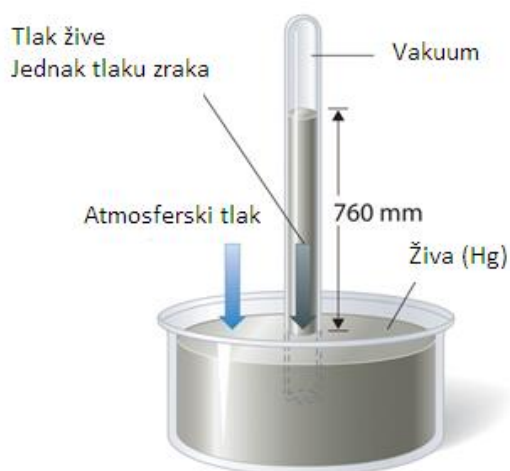
2.3. Tlak zraka

Atmosferski tlak ili tlak zraka je tlak na bilo kojem dijelu zemljine atmosfere koji nastaje zbog vlastite težine zračnog stupca iznad Zemljine površine. Područja nižeg tlaka imaju manju masu atmosfere iznad sebe, a područja s većim tlakom imaju veću. Sukladno tome porastom nadmorske visine, smanjuje se stupac atmosfere i atmosferski tlak opada. Tlak opada s visinom, a osim toga mijenja se s promjenom količine vlage u zraku. (Plesić, 2013.) Vlada je lakša od zraka i što je ima više u zraku, to će zrak biti lakši te je zbog toga i tlak manji. Standardni atmosferski tlak se definira kao srednji tlak na morskoj razini i on iznosi jednu standardnu atmosferu (atm.). Standardna atmosfera je jednaka 101 325 paskala ili 760 mm Hg (Halasz, 2012). Tlak se može mjeriti s nekoliko uređaja koji su:

- Živin barometar,
- Aneroidni barometar i
- Mems senzor (barometar).

Živin barometar

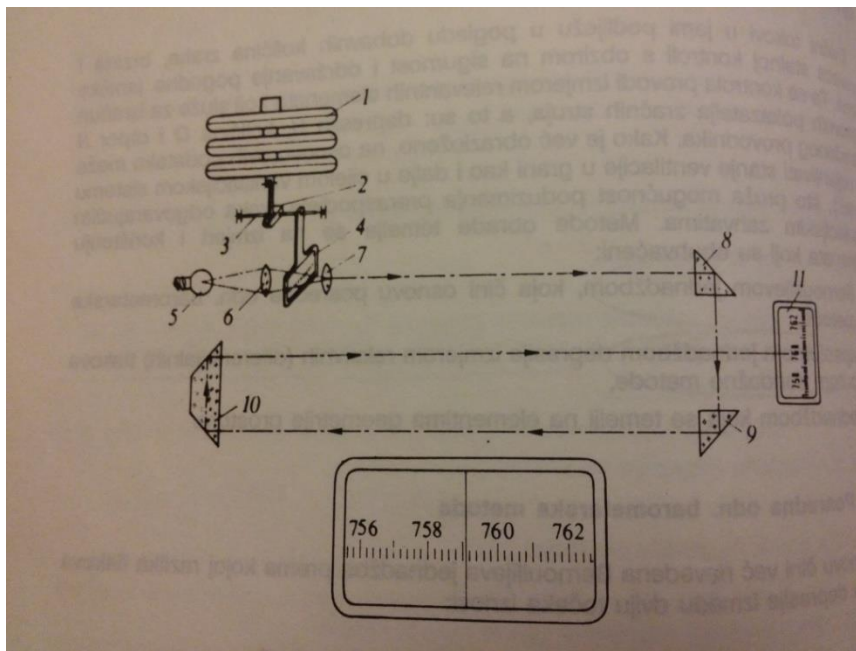
Živin barometar (slika 2-8) se sastoji od staklene cijevi koja je zatvorena na jednom kraju a na drugom kraju ima otvoreni rezervoar napunjen živom. Težina žive stvara vakuum na vrhu cijevi koji je poznat kao Torriceliev vakuum. Živa u cijevi se prilagođava sve dok težina živinog stupca balansira atmosfersku silu koja djeluje na rezervoar. Jak atmosferski tlak djeluje višom silom na rezervoar što uzrokuje podizanje žive u staklenoj cijevi. Pri nižem tlaku živa opada zbog opadanja sile na rezervoar. Viša temperatura oko instrumenta uzrokuje smanjenje gustoće žive pa se skala za očitavanje namješta da se kompenzira taj efekt. (Wikipedia, 2016.)



Slika 2-8 Živin barometar

Aneroidni barometar

Aneroidni barometar (slika 2-9) je instrument za mjerenje tlaka metodom koja ne uključuje tekućinu. Izumio ga je francuski znanstvenik Lucien Vidi. Aneroidni barometar se sastoji od malene, fleksibilne metalne kutije koja se naziva aneroidna ćelija ili kapsula koja je napravljena od aluminijske, berilijevske ili bakrene. U kapsuli se nalazi jaka opruga te male promjene u vanjskom tlaku zraka uzrokuju da kapsula ekspandira ili se sakuplja. Te promjene pogone mehaničke poluge koje su prikazane na aneroidnom barometru (Bureau of Meteorology, 1990.).



Slika 2-9 Precizni aneroidni barometar Barloux.

Aneroidni barometar Barloux sastoji se od:

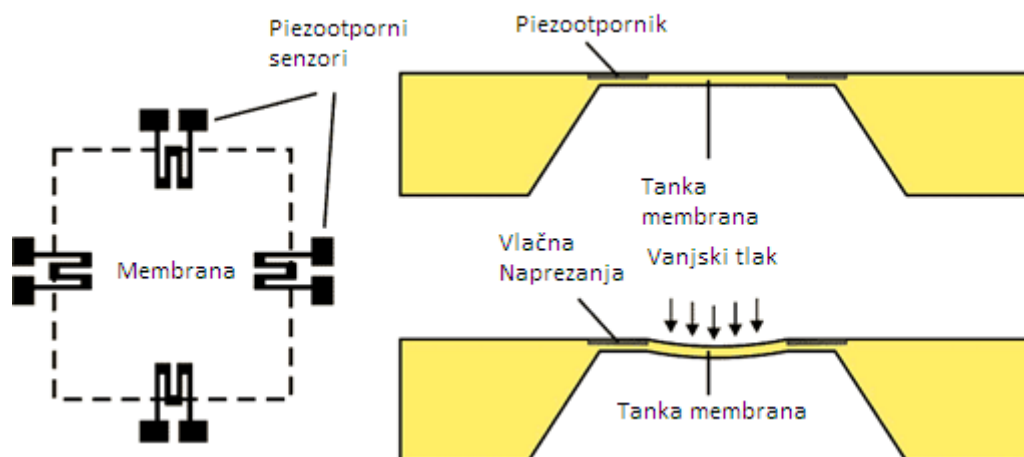
1. Grupa aneroidnih doza,
2. Poluga osovine,
3. Staklena stakla s mikropodjelom,
4. Staklena stakla s mikropodjelom,
5. Žarulja,
6. Kondenzator,
7. Kondenzator,
8. Refleksijske prizme,
9. Refleksijske prizme,
10. Refleksijske prizme i
11. Mutna staklena ploča.

Princip rada

Barometar se u osnovi sastoji od sklopa aneroida koji pokreće putem sistema poluga osvijetljenu skalu. S nje se putem niza prizmi prenosi stanje tlaka na mutnu staklenu ploču, gdje se na indeksnoj crti očitava podatak. Točnost očitavanja iznosi $\pm 0,13$ mb (Teply, 1990).

Mems senzor (barometar)

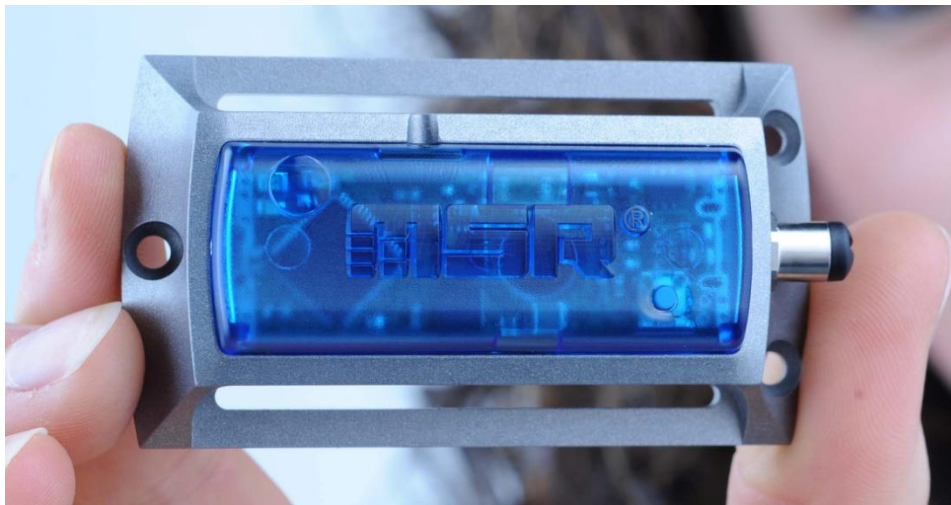
Mems (Mikroelektromehanički) senzori tlaka (slika 2-10) predstavljaju okosnicu suvremenih sustava za mjerenje tlaka. Temelji se na piezorezistivnom efektu poluvodiča te omogućuju vrlo preciznu pretvorbu mehaničke sile u veličine mjerljive elektroničkim sustavima. Mems senzori su izuzetno maleni uređaji između 1 i 100 mikrometara. Za senzorni element najčešće se koriste silicijske membrane. Membrana u koju su usadene četiri tenzometrijske trake hermetički nepropusno održava vakuum. Trake djelovanjem tlaka zraka pretvaraju zakrivljenost membrane, koja se mjeri u nekoliko tisućinki milimetara, u električni signal. Poznati proizvođač je firma „Bosch“ te njihovi MEMS senzori su jako precizni i pouzdani pri mjerenju tlaka te njihova mjerenja promjene u nadmorskoj visini dovoljno su precizna da omogućuju navigaciju čak i unutar višekatnice. (Loughborough University, 2016.; Gradimo.hr, 2016.)



Slika 2-10 MEMS senzor

Logger uređaj

Logger uređaj (data logger) za kontinuirano bilježenje podataka s senzora. Data logger (slika 2-11) je elektronički uređaj koji bilježi podatke tijekom vremena s nekog instrumenta ili senzora. To su vrlo mali uređaji koji se sastoje od vlastite baterije, mikroprocesora, unutarnje memorije za pohranu podataka i senzora. Glavna prednost logger uređaja je mogućnost mjerenja podataka na cjelodnevnoj bazi iz dana u dan što nam omogućuje opsežnu i preciznu sliku o stanju u okolišu. (Wikipedia, 2016.)



Slika 2-11 Logger uređaj s integriranim senzorom za mjerenje temperature, tlaka i vlažnosti.

3. MIKROKLIMATSKI PARAMETRI U RUDARSTVU

U uobičajenim rudarskim operacijama, potreba za kontrolom temperature i vlage zraka javlja se prvenstveno zbog relativno uskog raspona klimatskih uvjeta u kojima ljudsko tijelo može učinkovito raditi. Bitna je i lokacija izvođenja radova, npr. u podzemnim prostorima (rudnicima) gdje se koriste strojevi na dizel pogon i daljinski upravljani strojevi gdje situacija zahtjeva drugačije atmosferske uvjete.

Termoregulacija ljudskog tijela

Unutar ljudskog tijela kemijski i biološki procesi djeluju na utrošene nutrijente s ciljem proizvodnje metaboličke energije (M) koja je u velikome rezultat unutrašnjeg generiranja topline. Ako se tijelo nalazi u termalnoj ravnoteži, tada metabolička topline mora biti prenesena na okolinu na temelju brzine proizvodnje topline. Pretpostavka je da se tijelo sastoji od centralne jezgre temperature t_c okružene vanjskim slojem tkiva srednje temperature t_{sk} .

Kada okružujuća okolina odvodi toplinu od ljudskog tijela brzinom koja je veća od generacije metaboličke topline javljaju se dvije vrste reakcije. Prva vrsta reakcije je odgovor na situaciju promjenom ponašanja koje se sastoji od svjesnih koraka kako bi se ublažila situacija, npr: dodavanje ili smanjivanje količine odjeće te povećanjem ili smanjivanjem fizičkih aktivnosti. Druga vrsta reakcije sastoji se od nehotičnih reakcija koje poduzima ljudsko tijelo kako bi uspostavilo stabilnu toplinsku ravnotežu s okolinom. To je poznato kao termoregulacija tijela.

Temperaturno osjetljivi receptori nalaze se u cijelom ljudskom tijelu te reagiraju na odstupanje temperature od njenih neutralnih vrijednosti. Ako temperatura tijela padne ispod normalne granice (34 °C) dolazi do povećanja cirkulacije krvi kroz tijelo i samim time povećanjem topline. Kada temperatura premaši normalne granice receptori koji se nalaze na ljudskoj koži reagiraju na način da potiču znojenje.

Prilikom ravnoteže, generacija metaboličke topline (M) ovisi o prijenosu topline s tijela na okolinu. Međutim, dio metaboličke topline poznatije kao „skladište“ topline (Ac) može se akumulirati u tijelu uzrokujući porast temperature jezgre i ljudske kože. Akumulacija topline može se pretpostaviti kao:

$$Ac = \frac{m_b c_b (0,8 \Delta t_c + 0,2 \Delta t_{sk})}{vrijeme}$$

Gdje je:

m_b = masa tijela (kg),

c_b = prosječna toplina tijela (3470 J/kgK), (Stewart, 1982)

t_c = temperatura jezgre,

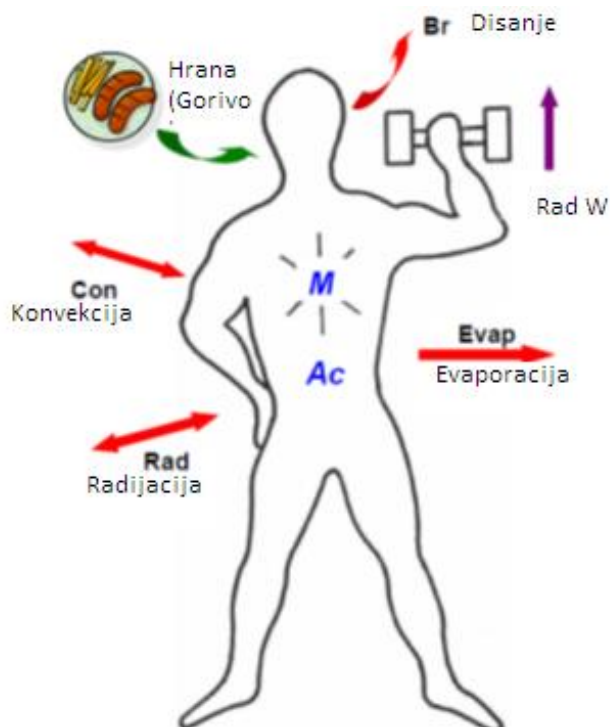
t_{sk} = temperatura vanjskog sloja tkiva (kože).

Gubitak topline tijela (slika 3-1) događa se kroz kombinacije prijenosa topline kao što su:

- Respiratorna izmjena topline (Br),
- Konvekcija (Con),
- Radijacija (Rad) i
- Evaporacija (Evap).

Kombinacije prijenosa topline zajedno sa akumulacijom topline čine metaboličku toplinu.

$$M = \text{Con} + \text{Rad} + \text{Evap} + \text{Br} + \text{Ac}.$$



Slika 3-1 Ljudsko tijelo proizvodi radnu i metaboličku toplinu (M)

3.1. Naznake toplinskog stresa

Reakcije ljudskog tijela na različite klimatske uvjete uključuju kombinaciju psihometričkih parametara i psiholoških reakcija. Zbog toga se toplinski stres oslanja na podatke dobivene iz eksperimenata na volonterima koji su bili podvrgnuti praćenju njihovih radnih sposobnosti u različitim klimatskim i okolišnim uvjetima. Toplinski stres možemo klasificirati u tri dijela:

- Pojedinačna mjerenja,
- Empirijske metode (ovisno o mjerenjima temperature i brzine zraka) i
- Racionalni indeksi (temelje se na ravnoteži metaboličke topline i psihološkim termoregularnim modelima).

Pojedinačna mjerenja

Niti jedan psihometrički parametar nije pouzdan indikator psiholoških reakcija. U toplim i vlažnim područjima glavni način metaboličkog prijenosa topline je evaporacija a temperatura mokrog termometra okolnog zraka je najizraženija varijabla koja utječe na hlađenje zraka. Pojedini rudnici koriste temperaturu mokrog termometra kao jedini indikator klimatske prihvatljivosti. Temperatura od 27 °C – 28 °C prihvaća se kao granica iznad koje bi se radni tempo ili vrijeme rada trebalo smanjiti, dok u prijašnjim godinama temperatura od 32 °C smatrala se kao gornji limit prihvatljivosti za vrlo vruće rudnike.

U hladnim uvjetima kada su konvekcija i radiacija primarni modeli prijenosa topline, temperatura suhog termometra i brzina zraka su glavni faktori.

Empirijske metode

Naznake toplinskog stresa dobivene empirijskim metodama proizlaze iz statističkih podataka ili obzervacijom rada volontera u kontroliranim klimatskim uvjetima. Jedna od najstarijih naznaka toplinskog stresa je efektivna temperatura (ET). Definirana je kao temperatura saturiranog zraka koja će u radniku koji nosi normalnu odjeću izazvati isti osjećaj ugone kao da je izazvana stvarnim uvjetima temperature, vlažnosti i protoka zraka. Koncept efektivne temperature upotrebljavao se kao indeks udobnosti za radnike u uredu i također kao indeks toplinskog stresa za industriju i vojsku.

3.2. Toplinske bolesti

Ljudski termoregulacijski sistem ovisi o jezgrenim i kožnim temperaturnim receptorima, toku krvi kroz tijelo i o znojenju tijela. Ako jedan od ovih mehanizama izgubi svoju efikasnost, tijelo će postupno izlagati simptome jednog ili više poremećaja poznatih kao toplinske bolesti. Najčešći simptom pojave bolesti je gubitak interesa za zadatak i otežana koncentracija na izvođenje posla. Prilikom pojave ovakvih simptoma javlja se potreba za potražnjom udobnijeg okruženja što je normalna psihološka reakcija, odnosno obrambeni mehanizam ljudskog tijela. Toplinske bolesti mogu se podijeliti na:

- Gubljene svijesti
- Toplinska iscrpljenost
- Toplinski grčevi
- Toplinski osip
- Toplinski udar

Gubljenje svijesti

Najčešće se javlja kad osoba mirno stoji kroz duže vrijeme u toplom okruženju. Krv se kreće u donje dijelove tijela što uzrokuje nedostatak krvi u mozgu te dolazi do gubljenja svijesti. Dobar primjer je kad vojnici s teškom opremom moraju stajati mirno na mjestu kroz duži vremenski period. Gubljenje svijesti se tretira na način da se krv mora vratiti do mozga tako što će pacijent ležati u hladnijoj prostoriji. Oporavak je brz i bez posljedica.

Toplinska iscrpljenost

Vodljivost topline unutar tijela omogućena je protokom krvi. Ako volumen krvi nije dovoljan tada može doći do toplinske iscrpljenosti. Smanjenje volumena može uzrokovati dehidracija a glavni simptomi su:

- Umor, žeđ, vrtoglavica
- Nizak krvni tlak, glavobolja, zamagljen vid
- Mučnine, gubljenje svijesti.

Osoba oboljela od toplinske iscrpljenosti se tretira tako što se odvodi u hladniju prostoriju te pije tekućinu. Prije nego se osoba vrati na posao preporuča se pregled kod doktora.

Grčevi uzrokovani toplinom

Ako je elektrolitska ravnoteža tjelesnih tekućina neuravnotežena može doći do bolnih mišićnih kontrakcija u rukama, nogama i trbuhu. To se može javiti zbog pomanjkanja soli ili pijenja velikih količina vode nakon dehidracije. Tretira se na način da oboljela osoba popije tekućinu koja ne sadrži više od 0.1 posto soli.

Osip uzrokovan toplinom

Često se javlja kod osoba koje žive u ekvatorijalnim područjima gdje su visoke temperature svakodnevna pojava. Glavni uzrok su periodi konstantnog znojenja što dovodi do upala i začepljenja znojnih kanala. Može se spriječiti redovitim kupanjem i povremenim boravkom u hladnijim prostorijama.

Toplinski udar

Toplinski udar je najozbiljniji oblik oboljenja uzrokovanih toplinom, najčešće se javlja kad tjelesna temperatura poraste iznad 41 °C. Može uzrokovati nepovratna oštećenja mozga, bubrega i jetre te postoje velike šanse da dođe do fatalnih posljedica. Inicijalni simptomi toplinskog udara su slični onima od manje opasnih bolesti (glavobolja, vrtoglavica, mučnina, žeđ itd.). Liječenje oboljele osobe provodi se na način da se prvo spusti tjelesna temperatura, osoba se vlaži s vodom koja ne smije biti hladnija od 15 °C a medicinska pomoć se provodi nakon što tjelesna temperatura padne ispod 38.5 °C. čak i nakon fizikalne rehabilitacije toplinska tolerancija žrtve može biti trajno smanjena.

3.3. Hladna okruženja

Kao što toplina može imati negativan utjecaj na ljudsko tijelo tako i hladnoća može djelovati negativno na ljudsko zdravlje i rad ljudi. Kako ljudsko tijelo gubi toplinu inicijalna reakcija je da čovjek poseže za dodatnom odjećom. Ako tjelesna temperatura padne ispod 35 °C utjecat će na termoregulacijski sistem, dok temperatura ispod 28 °C može biti fatalna.

Tablica 3-1 Reakcija tijela na određenu tjelesnu temperaturu.

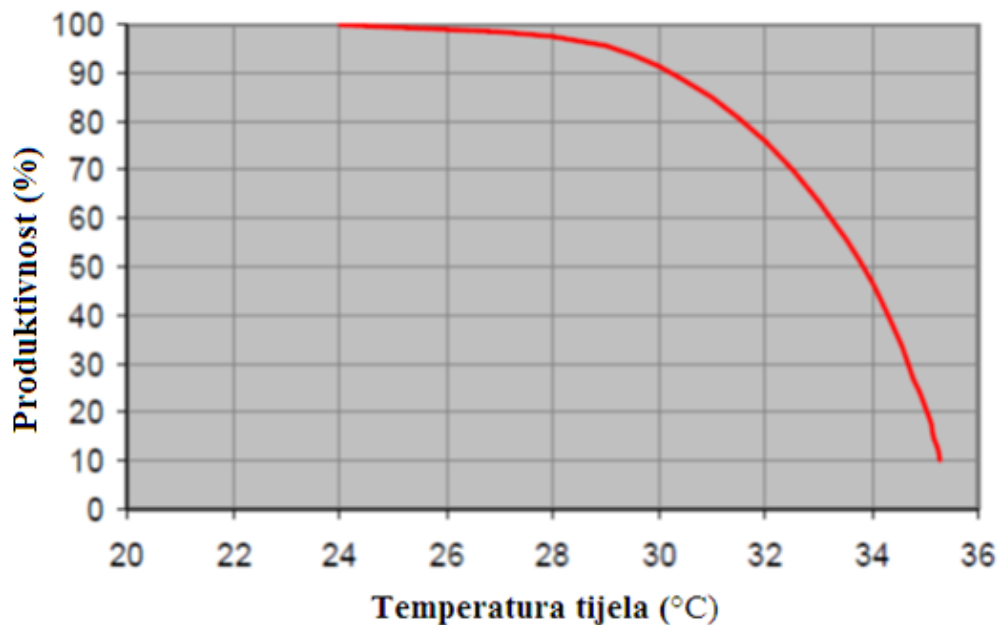
Tjelesna temperatura °C	Reakcija na temperaturu
31	Neugodna hladnoća
30	drhtanje
29	Ekstremna hladnoća
28	Limit tolerancija bez utruća

Zaštita od hladnih okruženja

Prvi način obrane je kontrola ventilacije i sistema klimatizacije. Osoblje treba biti propisno obučeno i koristiti zaštitnu odjeću. Limit za izvođenje poslova je temperatura od - 35 °C. Zaštita ruku i stopala je osobito bitna jer kroz ekstremitete gubimo najviše topline.

Efekt rudničke klime na produktivnost

Krivulja na slici nam pokazuje da efikasnost počinje padati na temperaturi od 27 °C i da počinje naglo padati kad temperatura poraste iznad 30 °C. Neuspjeh u stvaranju ugodne klime za rad pod zemljom ne stavlja samo zdravlje i sigurnost radne snage u opasnost već također dovodi do niže produktivnosti i profitabilnosti.



Slika 3-2 Efekt temperature tijela na produktivnost.

4. MJERENJE MIKROKLIMATSKIH PARAMETARA

4.1. Referentni Arduino uređaj

Od svih uređaja s kojima je provođeno mjerenje kao referentni uzet je Arduino instrument jer se smatra da je najprecizniji i na temelju njega radimo daljnje usporedbe dobivenih rezultata.



Slika 4-1 Shema Arduino instrumenta.

Preciznost Arduino instrumenta ispitana je u laboratoriju za miniranje RGNF fakulteta pomoću kalibriranih uređaja a dobiveni podaci (tablica 4-1) nam govore kako uređaj ima jako malo odstupanje i zbog toga se smatra referentnim. Uređaj je izrađen u samogradnji. Sastoji se od 2 senzora, SHT31D koji mjeri temperaturu i vlagu te LPS25H koji mjeri tlak i temperaturu. Uređaj ima svoj vlastiti izvor napajanja (baterija) te memorijsku karticu na koju se spremaju podaci. Ima mogućnost podešavanja da bilježi podatke svaku sekundu pa sve do svakih nekoliko dana.

Tablica 4-1 Usporedba Arduino instrumenta s kalibriranim uređajima.

	Kalibrirani uređaji	Arduino uređaj	Odstupanje	Jedinica
Tlak	1011	1010,4	-0,6	hPa
Temperatura	25,4	24,73	-0,67	°C
Vlažnost zraka	27,6	30,1	2,5	%

4.2. Proračun relativne vlažnosti

Prilikom mjerenja dobivene su dvije temperature na temelju kojih je potrebno proračunati vlažnost zraka. To je moguće ostvariti na 3 načina koji su:

- Pomoću psihrometerskih tablica iz izmjerene temperature suhog termometra i iz razlike temperature suhog i vlažnog termometra očitava se vlažnost u %,
- Pomoću Molierovog dijagrama iz suhe i vlažne temperature očitava se vlažnost u %,
- Računski pomoću Sprungovog obrasca određuje se – parcijalni tlak vodene pare u zraku (jednadžba 4-1).

Odabran je računski način određivanja vlažnosti zraka koji je ujedno i najtočniji. Osim podataka suhe i vlažne temperature potrebno je izmjeriti i barometarski tlak.

$$e = E' - c(t_s - t_v) \times \frac{p}{755} \quad (4-1)$$

gdje su: e – parcijalni tlak vodene pare u zraku (Pa),

E' – parcijalni tlak zasićene vodene pare u zraku, očitani iz tablica za temperaturu vlažnog termometra (Pa),

c – psihrometerska konstanta (0.5),

t_s – temperatura suhog termometra (°C),

t_v – temperatura vlažnog termometra (°C),

p – barometarski pritisak u (Pa).

$$E' = 611 \cdot 10^{\frac{7,5 \cdot t_v}{237,7 + t_v}} \quad (4-2)$$

$$E = 611 \cdot 10^{\frac{7,5 \cdot t_s}{237,7 + t_s}} \quad (4-3)$$

Relativna vlažnost se zatim izračunava iz relacije:

$$\varphi = \left(\frac{e}{E} \right) \times 100 (\%) \quad (4-4)$$

gdje su: φ – relativna vlažnost (%),

E – Parcijalni tlak vodene pare u zasićenom zraku, očitani iz tablica za temperaturu suhog termometra (Pa).

4.3. Primjer određivanja relativne vlažnosti pomoću tri navedena načina

1. Način

$$t_s = 23,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$t_v = 18,7 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$t_s - t_v = 4,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Budući da se psihrometarskim tablicama daju podaci relativne vlažnosti samo za cjelobrojne vrijednosti temperature, tražena relativna vlažnost za mjerenu suhu i vlažnu temperaturu dobije se višestrukom interpolacijom. Prvo interpoliramo za očitavanje suhe temperature između $23 \text{ }^{\circ}\text{C}$ i $24 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Za $t = 23 \text{ }^{\circ}\text{C}$ iz psihrometarskih tablica očitava se vrijednost relativne vlažnosti za $4 \text{ }^{\circ}\text{C}$ i $5 \text{ }^{\circ}\text{C}$, ($4 \text{ }^{\circ}\text{C}$) = 69 %, ($5 \text{ }^{\circ}\text{C}$) = 62 %, i izvodi se interpolacija za $t_s - t_v = 4,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

$0,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ nosi 0,7 % a $0,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ nosi 3,5% relativne vlažnosti, tako da je interpolirana vrijednost $69 \% - 3,5 \% = 65,5 \%$.

Za $t = 24 \text{ }^{\circ}\text{C}$ očitava se za 4 i $5 \text{ }^{\circ}\text{C}$; ($4 \text{ }^{\circ}\text{C}$) = 70 %, ($5 \text{ }^{\circ}\text{C}$) = 63 %. $0,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ nosi 0,7 % a $0,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ nosi 3,5 % relativne vlažnosti, tako da je interpolirana vrijednost $70 \% - 3,5 \% = 66,5 \%$. Sada je potrebno izvesti interpolaciju između 65,5 % i 66,5 % za očitavanje $t_s = 23,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$. $0,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ nosi 0,1 % a $0,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ nosi 0,2 % relativne vlažnosti, tako da je interpolirana vrijednost $65,5 \% + 0,2 \% = 65,7 \%$.

2. Način

Iz Molierovog dijagrama očitava se za mjerene veličine $t = 23,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ i $t = 18,7 \text{ }^{\circ}\text{C}$ relativna vlažnost od cca 65,5 %. Na apscisi dijagrama može se očitati i apsolutna vlažnost $x = 11,8$ grama vodene pare po kilogramu suhog zraka. Dijagram vrijedi za barometarski pritisak od 750 Torra ili 99991 Pa.

3. Način

Računski postupak je najtočniji. Osim podataka suhe i vlažne temperature potrebno je izmjeriti i barometarski tlak.

$$e = 2139,724 - 0,5 \times (23,2 - 18,7) \times \frac{101315}{755} = 1837,792 \text{ (Pa)}$$

$$p = 101315 \text{ [Pa] (mjereno)}$$

Parcijalni tlak zasićene vodene pare u zraku E' za očitavanje vlažnog termometra može se očitati iz tablica ili pomoću formule 4-3.

Računski način koristi psihrometarsku konstantu $c = 0,5$ kao aproksimaciju ili pojednostavljenje proračuna, što dovodi do određenog odstupanja rezultata. Postoji još točniji način proračuna prema potpunim formulama, tj. bez uvođenja aproksimacije psihrometarskom konstantom (Mcphearson, 1993).

$$L = (2502,5 - 2,386 \cdot t) \cdot 1000 \quad (4-5)$$

gdje su: L - latentna toplina isparavanja (J/kg)

$$E = 610,6 \cdot \exp\left(\frac{17,27 \cdot t_s}{237,3 + t_s}\right) \quad (4-6)$$

$$E' = 610,6 \cdot \exp\left(\frac{17,27 \cdot t_v}{237,3 + t_v}\right) \quad (4-7)$$

$$X_s = 0,622 \cdot \frac{E'}{p - E'} \quad (4-8)$$

$$X = \frac{L \cdot X_s - c_{pa}(t_s - t_v)}{c_{pv}(t_s - t_v) + L} \quad (4-9)$$

gdje su : c_{pa} – specifična toplina vodene pare (J/kg K)

c_{pv} – specifična toplina suhog zraka (J/kg K)

Parcijalni tlak (e) računa se prema formuli 4-1:

$$e = \frac{p \cdot X}{0,622 + X} \quad (4-1)$$

Relativna vlažnost se dobije prema formuli 4-4.

$$\varphi = \frac{e}{E} \cdot 100 \quad (4-4)$$

Relativna vlažnost zraka za navedeni primjer iznosi 65,23 % prema pojednostavljenom proračunu te 65,49 % prema potpunom proračunu, što daje razliku od 0,26 %. Rezultati navedenih proračuna za iste ulazne parametre pokazuju zanemarivo odstupanje, zbog čega dalje računamo pojednostavljenim proračunom.

4.4. Mjerenja mikroklimatskih parametara

Mjerenja su izvršena 13. prosinca 2016. u prostorima Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta sveučilišta u Zagrebu u razdoblju od 9:30 do 15 sati. Prilikom mjerenja korišteni su sljedeći instrumenti s mjernim karakteristikama prikazanim u tablici 4-2.

Tablica 4-2 Karakteristike mjernih uređaja.

Instrument	Mjerna veličina	Mjerni opseg	Točnost	Preciznost
Prazisions Barometer	-	910 mbar – 1060 mbar	-	-
Veliki precizni barometar	-	680 mmHg – 790 mmHg	-	-
Airflow THB 4130D	Temperatura	-10 °C – 60 °C	±0,4 °C	-
	Tlak	800 hPa – 1100 hPa	± 1,0 hPa (pri 25 °C)	-
	Vlaga	5 % – 95 %	± 2,5 %	-
Arduino instrument				
SHT31D (Senzor)	Temperatura	-40 °C – 90 °C	± 0,3 °C	0,06 °C
	Vlaga	0 % – 100 %	± 2,0 %	0,1 %
LPS25H (Senzor)	Tlak	260 hPa – 1260 hPa	± 0,1 hPa (pri 25°C)	-
	Temperatura	-	± 2,0 °C	-
Psihrometar	-	-	-	-

Za provedbu mjerenja korišteno je 5 instrumenata s ciljem da se dobije što više podataka o mikroklimatskim parametrima kako bi se provela usporedba dobivenih podataka i ocijenili koji je uređaj najprimjereniji za mjerenje. Očitavanja su se vršila u razmaku od 30 minuta. Raspodjela instrumenata na krovu fakulteta prikazana su na slici 4-2.



Slika 4-2 Instrumenti na krovu fakulteta.



Slika 4-3 Prazisions – Barometer.

Uređaj prikazan na slici 4-3 služi za mjerenje tlaka i temperature zraka. Jedan je od starijih instrumenata, opremljen živinim termometrom koji pokazuje sporiju reakciju na promjenu temperature te aneroidnim barometrom. Dobiveni rezultati uređaja prikazani su u tablici 4-3.

Tablica 4-3 Prazisions – Barometer dobiveni podaci mjerenja.

VRIJEME	Prazisions – Barometer	
	Temperatura (°C)	Tlak (mbar = hPa)
9:30	16	1010,5
10:00	9,7	1010,5
10:30	6	1010
11:00	4,2	1010
11:30	4	1010
12:00	3,9	1009,9
12:45	4,5	1010
13:25	5	1009,7
13:35	9,2	1009
13:50	14	1011
14:15	18	1014



Slika 4-4 Veliki Precizni barometar (R.Fuess Berlin–Steglitz).

Uređaj prikazan na slici 4-4 služi za mjerenje tlaka zraka. Dobiveni rezultati su u mmHg pa je dobivene podatke potrebno pretvarati što se može napraviti pomoću online konvertera

ili računski gdje vrijedi da $1 \text{ mmHg} = 133,322368 \text{ Pa}$ ili $1 \text{ Pa} = 0,00750061561303 \text{ mmHg}$. Dobiveni podaci nalaze se u tablici 4-4.

Tablica 4-4 Podaci dobiveni preciznim barometrom.

VRIJEME	PRECIZNI BAROMETAR
	tlak mmHg -> hPa
9:30	1022,9
10:00	1023,1
10:30	1023,1
11:00	1022,8
11:30	1022,8
12:00	1022,4
12:45	1022,3
13:25	1022
13:35	1022,3
13:50	1023,8
14:15	1026,3



Slika 4-5 Airflow uređaj.

Na slici 4-5 prikazan je Airflow digitalni uređaj za mjerenje temperature, tlaka i vlažnosti. Uređaj relativno brzo reagira na promjenu mjerenih veličina; dobiveni podaci prikazani su u tablici 4-5.

Tablica 4-5 Podaci dobiveni Airflow uređajem.

VRIJEME	AIRFLOW		
	Temperatura (°C)	Tlak (hPa)	Vlaga (%)
9:30	5,6	1013,5	32,9
10:00	4,5	1014,7	39,1
10:30	3,7	1014,3	40,8
11:00	4,3	1012,6	38,8
11:30	3	1013,3	39,8
12:00	3,3	1013,3	40,3
12:45	4,8	1012,2	39,4
13:25	4	1013,5	38,4
13:35	16	1013,8	35,5
13:50	22,8	1015,2	27,6
14:15	22,4	1018,2	26,2
14:30	21,3	1017,9	59,4



Slika 4-6 Arduino instrument.

Uređaj na slici 4-6 je Arduino instrument kojeg koristimo kao referentni uređaj za obradu podataka a podaci dobiveni pomoću tog instrumenta su prikazani u tablici 4-6.

Tablica 4-6 Podaci dobiveni Arduino instrumentom.

VRIJEME	ARDUINO INSTRUMENT		
	Temperatura (°C)	Vlaga (%)	Tlak (hPa)
9:30	4,77	39,41	1020,41
10:00	4,32	43,1	1020,7
10:30	4,44	44,26	1020,56
11:00	4,4	45,04	1020,37
11:30	3,63	45,9	1020,52
12:00	4	46,11	1019,88
12:45	4,4	44,35	1019,88
13:25	5,03	42,19	1019,43
13:35	14,82	43,32	1018,7
13:50	21,46	32,14	1019,31
14:15	22,56	30,7	1022,25
14:30	21,82	62,93	1014,67

U tablici nedostaju podaci za temperaturu drugog senzora (LPS25H) jer taj senzor nije namjenjen za mjerenje temperature već za temperaturnu kompenzaciju senzora tlaka pa nema veliku točnost. Zadnji uređaj koji je korišten za mjerenja mikroklimatskih parametara je psihrometar (slika 4-7). Uređaj mjeri suhu i vlažnu temperaturu. Sastoji se od dva termometra, jedan mjeri suhu temperaturu a drugi se navlaži i mjeri vlažnu temperaturu. Budući da se za isparavanje vode troši određena energija (toplina) vlažni termometar će pokazati nižu temperaturu od suhog. Temperatura vlažnog je u funkciji zasićenosti zraka vodenom parom. Ukoliko je zasićenost zraka veća vlažni termometar pokazuje manju razliku u odnosu na suhi termometar. Gornja granica relativne vlažnosti je 100 %, što znači da je zrak maksimalno zasićen vodenom parom i da ne može primati više isparavanja. U tom slučaju oba termometra pokazuju istu vrijednost temperature. Drugim riječima, male razlike u očitavanju termometara ukazuju na visoki sadržaj vlage u zraku što nam ne odgovara u radnim prostorima jer je onemogućeno odvođenje vlage s ljudskih tijela. Podaci dobiveni psihrometrom prikazani su u tablici 4-7.



Slika 4-7 Psihrometar

Tablica 4-7 Podaci dobiveni Psihrometrom

VRIJEME	Vlaga psihrometri
9:30	60,56
10:00	61,41
10:30	68,59
11:00	75,24
11:30	68,27
12:00	69,04
12:45	69,04
13:25	70,34
13:35	59,67
13:50	28,33
14:15	47,78
14:30	53,47

Zbog odstupanja rezultata dobivenih psihrometrom, drugi dan su ponovljena ispitivanja pomoću dva psihrometra, airflow uređaja te arduino instrumenta u vlažnoj komori. Rezultati su prikazani u tablici 4-8.

Tablica 4-8 Ponovljeni rezultati mjerenja vlažnosti

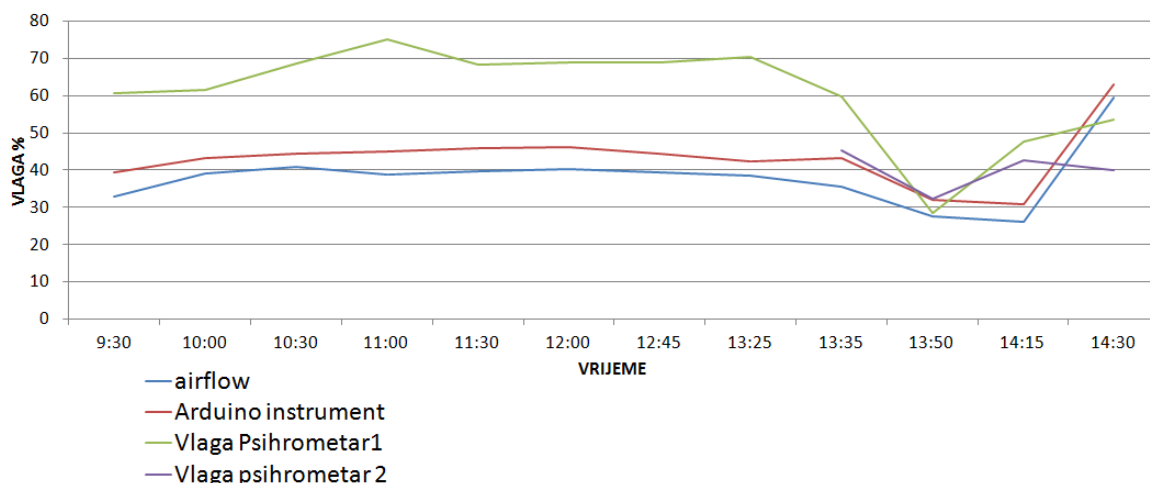
VRIJEME	PSIHROMETAR 1	PSIHROMETAR 2	ARDUINO INSTRUMENT	AIRFLOW UREĐAJ
15:00	80,85	76,25	61,71	59,4
15:10	76,48	62,03	58,18	60,6
15:30	73,54	61,27	59,95	60,1

Na temelju ponovljenih rezultata može se vidjeti da su odstupanja drugog psihrometra puno manja prilikom mjerenja u vlažnoj komori nego na otvorenom što nas dovodi do zaključka kako je psihrometar precizniji u uvjetima više vlage ili mu treba puno više vremena na prilagodbu vanjskim uvjetima. Psihrometar 1 i dalje pokazuje velika odstupanja od referentnog arduino instrumenta. Razlika između psihrometra 1 i psihrometra 2 je u samoj veličini uređaja. Psihrometar 2 je puno veći, robusniji i ima detaljniju skalu očitavanja na termometrima što također može biti jedan od razloga za dobivanje preciznijih rezultata. Također treba uzeti u obzir i mogućnost ljudske pogreške tijekom rada s uređajem te mogućnost da instrumenti imaju različita vremena odziva na promjenu mjerene veličine.

Tablica 4-9 Cjelokupni prikaz podataka dobivenih prvim mjerenjem mikroklimatskih parametara.

Vrijeme	AIRFLOW			Prazisions Barometer	Barometar Termometar		Aduino instrument			Psihrometar		
	Temp(°C)	Tlak (Pa)	Vlaga (%)	Tlak (Pa)	Tlak (Pa)	Temp (°C)	Temp (°C)	Vlaga (%)	Tlak (Pa)	t_s (°C)	t_v (°C)	Vlaga (%)
9:30	5,6	1013,5	32,9	1022,9	1010,5	16	4,77	39,41	1020,41	3	0,7	60,56
10:00	4,5	1014,7	39,1	1023,1	1010,5	9,7	4,32	43,1	1020,7	2,5	0	61,41
10:30	3,7	1014,3	40,8	1023,1	1010	6	4,44	44,26	1020,56	2,5	0,5	68,59
11:00	4,3	1012,6	38,8	1022,8	1010	4,2	4,4	45,04	1020,37	1,5	0	75,24
11:30	3	1013,3	39,8	1022,8	1010	4	3,63	45,9	1020,52	2,7	0,7	68,27
12:00	3,3	1013,3	40,3	1022,4	1009,9	3,9	4	46,11	1019,88	3	1	69,04
12:45	4,8	1012,2	39,4	1022,3	1010	4,5	4,4	44,35	1019,88	3	1	69,04
13:25	4	1013,5	38,4	1022	1009,7	5	5,03	42,19	1019,43	4	2	70,3
13:35	16	1013,8	35,5	1022,3	1009	9,2	14,82	43,32	1018,7	17,5	13	59,67
13:50	22,8	1015,2	27,6	1023,8	1011	14	21,46	32,14	1019,31	24,2	14,1	28,33
14:15	22,4	1018,2	26,2	1026,3	1014	18	22,56	30,7	1022,25	23	16	47,78
14:30	21,3	1017,9	59,4				21,82	62,93	1014,67	22	16	53,47

Mjerenja provedena u razdoblju od 9:30 sati pa sve do 13:25 provedena su na krovu RGNF fakulteta. Mjerenje u 13:25 minuta provedeno je u liftarnici da se vidi ponašanje instrumenata pri višoj temperaturi u odnosu na vanjsku, zatim na 6. i 5. katu pri sobnoj temperaturi. Mjerenje u 14:15 je provedeno u podrumu fakulteta kako bi došlo do povećanja tlaka a mjerenje u 14:30 u vlažnoj prostoriji s ciljem da se dobiju podaci velike vlažnosti. Usporedba dobivenih podataka prikazana je pomoću dijagrama.



Slika 4-8 Dijagram vlage 1.

Dijagram vlage (slika 4-8) pokazuje velika odstupanja od digitalnih i analognih uređaja. Psihrometar 1 je za vrijeme mjerenja na krovu uvijek pokazivao velika odstupanja od rezultata digitalnih uređaja. Postoje dvije varijante, ili je uređaj bio u kvaru ili je bio problem u niskim temperaturama koje su se kretale od 0°C do 5°C. Mjerenja koja su se održala na zatvorenome pokazuju kako su podaci dobiveni psihrometrom bliži podacima s digitalnih uređaja što nam govori da je vjerojatno bio problem s niskim temperaturama. Krivulje digitalnih uređaja su jako slične i paralelne uz konstantno odstupanje tijekom cijelog mjerenja. Odstupanja su prikazana tablicom 4-10, 4-11 i 4.12.

Tablica 4-10 Srednje vrijednosti dobivenih podataka

SREDNJE VRIJEDNOSTI DOBIVENIH PODATAKA S OBZIROM NA LOKACIJU MJERENJA			
MJERENJA NA KROVU			
	VLAGA (%)	TEMPERATURA (°C)	TLAK (hPa)
ARDUINO REFERENTNI UREĐAJ (referentni uređaj)	44,02429	4,28	1020,331
BAROMETAR TERMOMETAR	/	6,9	1010,128
PRECIZNI BAROMETAR	/	/	1022,771
PSIHROMETAR	67,45	/	/
AIRFLOW	38,7285	4,1714	1013,414
MJERENJA U LIFTARNICI			
	VLAGA (%)	TEMPERATURA (°C)	TLAK (hPa)
ARDUINO REFERENTNI UREĐAJ (referentni uređaj)	42,755	9,925	1019,065
BAROMETAR TERMOMETAR	/	7,1	1009,35
PRECIZNI BAROMETAR	/	/	1022,15
PSIHROMETAR	65,005	/	/
AIRFLOW	38,728	10	1013,65
MJERENJA NA 5. i 6. KATU			
	VLAGA(%)	TEMPERATURA (°C)	TLAK (hPa)
ARDUINO REFERENTNI UREĐAJ (referentni uređaj)	31,42	21,46	1020,78
BAROMETAR TERMOMETAR	/	16	1012,5
PRECIZNI BAROMETAR	/	/	1025,05
PSIHROMETAR	38,055	/	/
AIRFLOW	26,9	22,6	1016,7

MJERENJA U VLAŽNOJ KOMORI			
	VLAGA (%)	TEMPERATURA (°C)	TLAK (hPa)
ARDUINO REFERENTNI UREĐAJ (referentni uređaj)	62,93	21,82	1022,6
BAROMETAR TERMOMETAR	/	/	/
PRECIZNI BAROMETAR	/	/	/
PSIHROMETAR	53,47	/	/
AIRFLOW	59,4	21,3	1017,9
MJERENJA U PODRUMU			
	VLAGA (%)	TEMPERATURA (°C)	TLAK (hPa)
ARDUINO REFERENTNI UREĐAJ (referentni uređaj)	31,42	21,46	1020,78
BAROMETAR TERMOMETAR	/	16	1012,5
PRECIZNI BAROMETAR	/	/	1025,05
PSIHROMETAR	38,055	/	/
AIRFLOW	26,9	22,6	1016,7

Tablica 4-10 prikazuje srednje vrijednosti dobivenih podataka s obzirom na mjesto mjerenja. Na temelju tih srednjih vrijednosti izračunata je srednja vrijednost odstupanja (prikazana u tablici 4-11) s obzirom na referentni instrument prema lokacijama mjerenja a na temelju toga izračunato je ukupno odstupanje svih mjerenja.

Tablica 4-11 Odstupanja prikazana s obzirom na lokaciju mjerenja

MJERENJA NA KROVU			
ODSTUPANJE			
VLAGA (%)	TEMPERATURA (°C)	TLAK (hPa)	ARDUINO REFERENTNI UREĐAJ (referentni uređaj)
/	2,62	10,203	BAROMETAR TERMOMETAR
/	/	2,44	PRECIZNI BAROMETAR
23,42571	/	/	PSIHROMETAR
5,29579	0,1086	6,917	AIRFLOW
MJERENJA U LIFTARNICI			
ODSTUPANJE			
VLAGA (%)	TEMPERATURA (°C)	TLAK (hPa)	ARDUINO REFERENTNI UREĐAJ (referentni uređaj)
/	2,825	9,715	BAROMETAR TERMOMETAR
/	/	3,085	PRECIZNI BAROMETAR
22,25	/	/	PSIHROMETAR
4,027	0,075	5,415	AIRFLOW
MJERENJA NA 5. i 6. KATU			
ODSTUPANJE			
VLAGA (%)	TEMPERATURA (°C)	TLAK (hPa)	ARDUINO REFERENTNI UREĐAJ (referentni uređaj)
/	5,946	9,393	BAROMETAR TERMOMETAR
/	/	6,307	PRECIZNI BAROMETAR
1,267	/	/	PSIHROMETAR
4,19	0,22	1,643	AIRFLOW

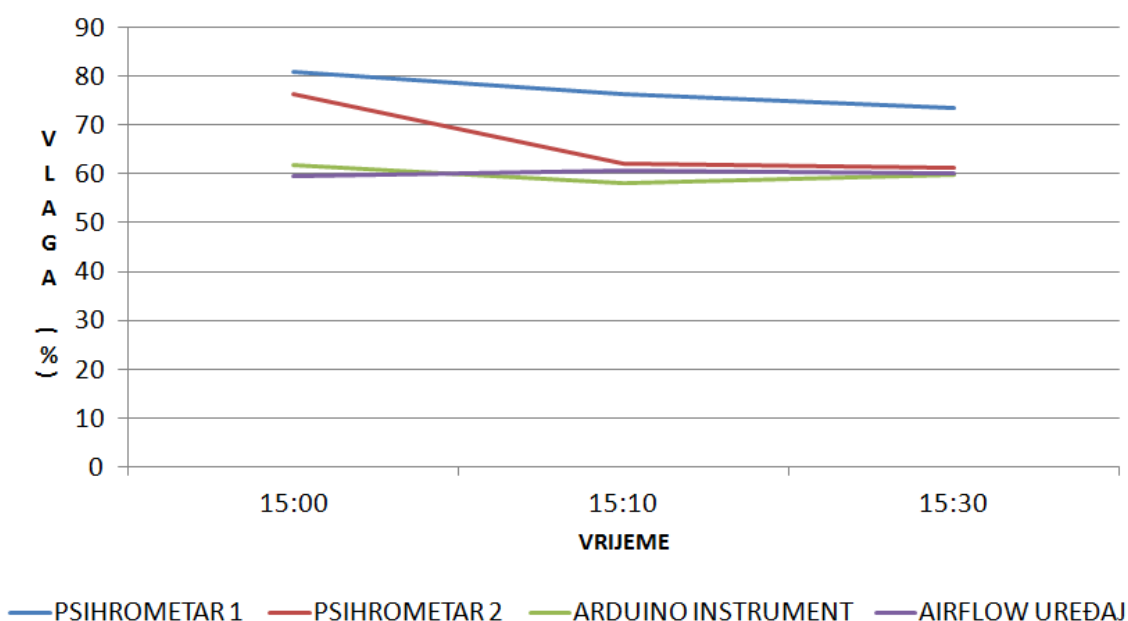
MJERENJA U PODRUMU			
ODSTUPANJE			
VLAGA (%)	TEMPERATURA (°C)	TLAK (hPa)	ARDUINO REFERENTNI UREĐAJ (referentni uređaj)
/	5,946	8,28	BAROMETAR TERMOMETAR
/	/	4,27	PRECIZNI BAROMETAR
6,635	/	/	PSIHROMETAR
4,52	1,14	4,08	AIRFLOW
MJERENJA U VLAŽNOJ KOMORI			
ODSTUPANJE			
VLAGA (%)	TEMPERATURA (°C)	TLAK (hPa)	ARDUINO REFERENTNI UREĐAJ (referentni uređaj)
/	/	/	BAROMETAR TERMOMETAR
/	/	/	PRECIZNI BAROMETAR
-9,46	/	/	PSIHROMETAR
3,53	-0,52	4,7	AIRFLOW

Srednje odstupanje svih mjerenja prikazana su u tablici 4-12.

Tablica 4-12 Odstupanje uređaja od referentnog instrumenta.

SREDNJE ODSUPANJE TIJEKOM CJELOKUPNOG MJERENJA			
	VLAGA (%)	TEMPERATURA (°C)	TLAK (hPa)
BAROMETAR TERMOMETAR	/	3,797	9,770333333
PRECIZNI BAROMETAR	/	/	3,944
PSIHROMETAR	15,64757	/	/
AIRFLOW	4,504263333	0,134533333	4,658333333

Rezultati ponovljenih mjerenja prikazani su dijagramom na slici 4-9.



Slika 4-9 Dijagram vlage 2.

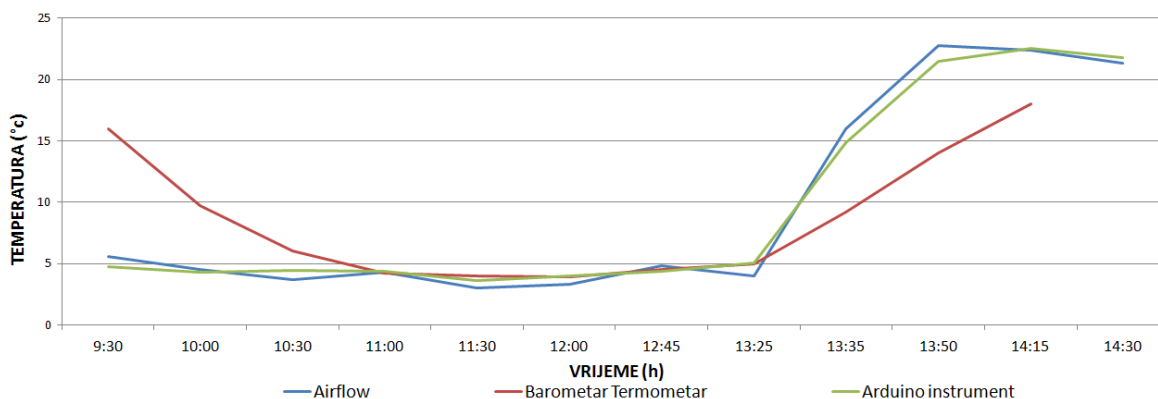
Ponovljena mjerenja su provedena u vlažnoj komori RGNF fakulteta. Mjerenja su provedena s ciljem da se sazna uzrok velikih odstupanja psihrometra. Prilikom mjerenja u zatvorenom prostoru korišten je drugi psihrometar da se usporede dobiveni podaci. Krivulje oba psihrometra su u većini slučajeva slične uz određeno odstupanje koje je i dalje dosta veliko. Zbog razlike prilikom mjerenja napravljena su i treća mjerenja s psihrometrom, airflow uređajem i referentnim arduino instrumentom. Dobiveni rezultati su prikazani u tablici 4-13.

Tablica 4-13 Ponovljena mjerenja za utvrđivanje točnosti psihrometra

MJESTO MJERENJA	BROJ MJERENJA	PSIHROMETAR			ARDUINO INSTRUMENT			ODSTUPANJE VLAŽNOSTI (PSIHROMETAR - ARDUINO)
URED 1		t_s	t_v	vlažnost	t	p	RH	1,38
	1	22,2	11,3	23,27	22,82	1006,87	21,89	-0,18
	2	22,2	10,3	17,51	21,5	1006,57	17,69	
VANI 1		PSIHROMETAR			ARDUINO INSTRUMENT			
		t_s	t_v	vlažnost	t	p	RH	
	1	-4,2	-0,1	nemoguće	-3,93	1012,79	42,25	
	2	-5	-0,2	nemoguće				
VLAŽNA KOMORA		PSIHROMETAR			ARDUINO INSTRUMENT			
		t_s	t_v	vlažnost	t	p	RH	
	1	18,4	11,5	42,3	17,03	1010,63	44,1	-1,8
	2	18,2	11,4	43,48				
	3	19,2	13,2	50,16			46,06	4,1
	4	18,8	12	43,7			48	-4,3
HODNIK - PODRUM		PSIHROMETAR			ARDUINO INSTRUMENT			
		t_s	t_v	vlažnost	t	p	RH	
	1	18,8	8,7	20,69	17,99	1010,76	27,31	-6,62
URED 2		PSIHROMETAR			ARDUINO INSTRUMENT			
		t_s	t_v	vlažnost	t	p	RH	
	1	24	11,8	19,8	23,63	1008,54	22,02	-2,22
	2	24,4	11,8	18,5	23,72	1007,62	21,73	-3,23
VANI 2		PSIHROMETAR			ARDUINO INSTRUMENT			
		t_s	t_v	vlažnost	t	p	RH	
	1	8,9	7,3	80,5	11,24	989,25	67,99	12,51
	2	9,5	7,8	79,75	11,19	989,09	68,49	11,26
	3	9,2	7,6	80,7				
	4	9,4	7,4	76,2	11,55	988,8	67,2	9

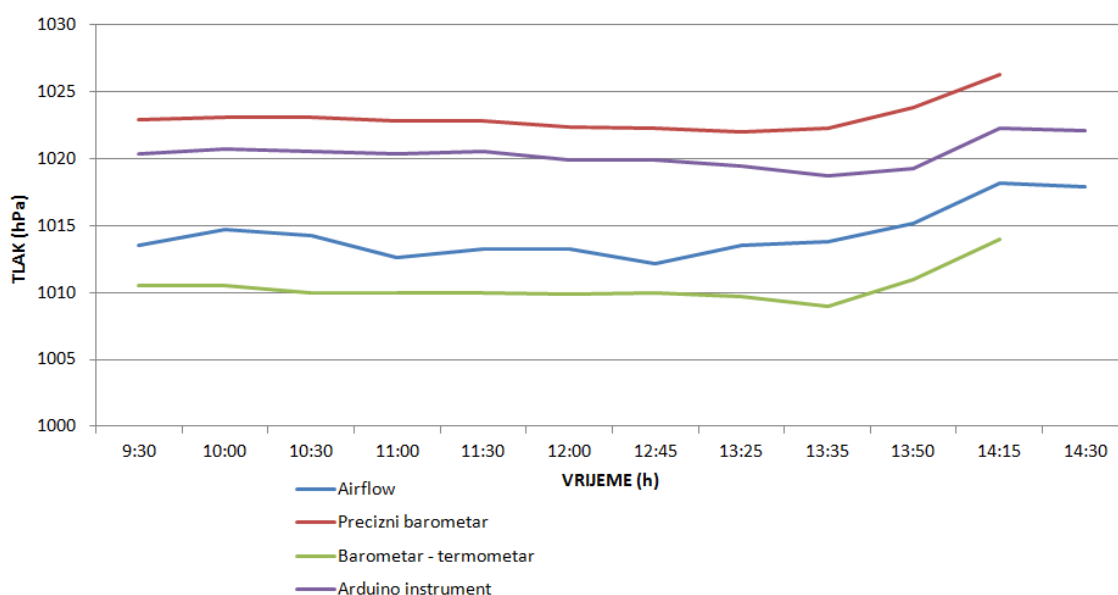
Na temelju ponovljenih mjerenja može se vidjeti kako psihrometri daju dosta slične podatke uz uglavnom veoma mala odstupanja. Isključuje se mogućnost da je bilo pitanje greške uređaja te smatra se da je glavni uzrok odstupanjima ljudska pogreška.

Sljedeća slika (4-10) nam prikazuje dijagram temperature mjerene pomoću tri uređaja.



Slika 4-10 Dijagram temperature.

Dijagram temperature (slika 4-10) daje usporedbu dobivenih podataka sa svih korištenih uređaja što omogućava kontrolu i usporedbu podataka. Kao što je slučaj i kod vlage, digitalni uređaji su puno precizniji i daju trenutne informacije. Analognom termometru je trebalo čak dva sata da se akomodira na vanjsku temperaturu što ga čini teško upotrebljivim u trenutcima kada nam hitno trebaju podaci. Arduino instrument se opet pokazao kao najtočniji. Uspoređivan je s kalibriranim instrumentima u Laboratoriju za ispitivanje eksplozivnih tvari, pa je zato temelj za usporedbu rezultata. Dijagram tlaka je prikazan na slici 4-11.



Slika 4-11 Dijagram tlaka.

Krivulje svih uređaja korištenih za mjerenje tlaka su paralelne uz konstantno odstupanje. Arduino uređaj je i u ovom slučaju referentni i smatra se kao najtočniji. Precizni barometar je s dobivenim rezultatima najbliži arduino uređaju dok je krivulja od airflow uređaja i barometra termometra paralelna referentnom uređaju ali uz veće odstupanje. Također je vidljivo da su pri višim temperaturama (mjerenja unutar zgrade) odstupanja Airflow uređaja i aneroidnog barometra manja.

5. ZAKLJUČAK

Radnici na svome radnom mjestu izloženi su utjecaju okoline što može uvelike utjecati na efikasnost izvedbe traženih zadataka kao i na samo zdravstveno i fizičko stanje radnika. Kada su mikroklimatski uvjeti u nekom prostoru zadovoljavajući, u pravilu, osjećamo se ugodno, ali naprotiv odmah zamjećujemo neodgovarajuću mikroklimu kod koje pojedini čimbenici odstupaju od zadanih vrijednosti. Nepovoljni mikroklimatski uvjeti mogu izazvati nelagodu kod zaposlenika, a u slučaju kada isti prijeđu fiziološke granice mogu uzrokovati povećani broj kroničnih bolesti krvožilnog sustava, a u krajnjem slučaju i toplinski udar. Važno je naglasiti da poslovi koji se obavljaju u nepovoljnoj mikroklimi iz tehnoloških razloga predstavljaju poslove s posebnim uvjetima rada. Kada se zbog potreba tehnološkog procesa ne mogu u potpunosti zadovoljiti dani uvjeti na temperaturu, vlažnost i brzinu strujanja zraka, potrebno je pribjeći određenim tehničkim, organizacijskim i sigurnosnim mjerama za zaštitu zdravlja radnika. To se posebice odnosi na dva ekstremna slučaja: rad u vrućoj, odnosno hladnoj okolini te su iz tog razloga su zaposlenici na tim radnim mjestima obavezni obavljati redovite liječničke preglede. Nakon dugotrajne izloženosti nepovoljnim mikroklimatskim uvjetima zaposlenicima prijeti razvoj profesionalnih bolesti. Svrha provedenih ispitivanja je bila da se dobiju podaci na temelju kojih je moguće provesti usporedbu uređaja. Dobiveni rezultati su pokazali kako su analogni uređaji koliko god bili korišteni u prošlosti zastarjeli naspram novijih digitalnih uređaja. Usporedba dobivenih podataka dala je zanimljive rezultate. Uređaju barometar – termometar trebalo je dugo vremena da se akomodira na prelazak iz toplog u hladno. Opremljen je živinim termometrom kojem treba određeni period vremena da se prilagodi vanjskim uvjetima što ga čini nepouzdanim za provedbu mjerenja kada su potrebni trenutni rezultati. Kada brzina mjerenja nije bitan faktor uređaj je dovoljno pouzdan da se dobiju relativni podaci koje se želi izmjeriti. Precizni aneroidni barometar je također analogni uređaj koji je korišten samo tijekom prvih mjerenja. Dobili smo pouzdane podatke uz odstupanje u iznosu od 3,9 hPa u odnosu na referentni uređaj. Na temelju dobivenih podataka može se zaključiti da je uređaj davao približne podatke kao i digitalni uređaj u kratkom vremenskom periodu. Od svih uređaja psihrometar najviše odstupa od podataka dobivenih referentnim uređajem što nam govori da je problem u uređaju ili je problem u niskim temperaturama. Zbog velikih odstupanja ponovljena su mjerenja s psihrometrom. Dobiveni rezultati su pokazali kako i psihrometar može dati precizne podatke uz

minimalno odstupanje od digitalnih uređaja. Kod psihrometra starost nema utjecaja, već na točnost utječe slijedeće:

- Psihrometar 2 ima finiju podjelu skale pa su očitavanja preciznija,
- Potrebno je dobro obaviti postupak mjerenja što unosi ljudsku pogrešku (dodavanje vode vlažnom termometru, vrijeme rada ventilatora, pažnja da se temperature stabiliziraju),
- Točnost opada s padom temperature (s time da je ispod nule nemoguće mjeriti),
- Točnost opada i s porastom vlažnosti jer je tada razlika suhe i vlažne temperature manja, pa pogreška očitavanja temperature više utječe na rezultat.

Digitalni uređaji Airflow i Arduino instrument su kao što je i bilo očekivano dali najbrže i najtočnije rezultate što ih kvalificira za provedbu mjerenja u bilo kojim uvjetima i bilo kojem trenutku. Analogni uređaji su stari i vjerojatno je došlo do promjene svojstva materijala što je jedan od uzroka za odstupanje od referentnog uređaja. Psihrometar je jedini uređaj kod kojeg je mogla doći do izražaja ljudska pogreška koju smo uspjeli popraviti i na kraju su dobiveni podaci u odnosu na prva mjerenja.

6. LITERATURA

- AVRIL, B.A., 2016. Principles of general chemistry, 2016. URL: http://2012books.lardbucket.org/books/principles-of-general-chemistry-v1.0/section_14/8cec964659fd2bb7ec4dc6c2c78eb4f9.jpg
- BUREAU OF METEOROLOGY, 1990. The aneroid barometer and how to use it. URL: <http://www.bom.gov.au/info/aneroid/aneroid.shtml>
- ELECTRICAL4U, 2016. Resistance temperature detector or RTD. URL: <http://www.electrical4u.com/resistance-temperature-detector-or-rtd-construction-and-working-principle/>
- GASPEROV, J., 2012. Osiguravanje mikroklimatskih parametara i dostatnosti rasvjete. URL: <http://zastitanaradu.com.hr/novosti/Osiguravanje-mikroklimatskih-parametara-i-dostatnosti-rasvjete-35>
- HALASZ, B., 2012. Uvod u termodinamiku. Zagreb: Fakultet strojarstva i brodogradnje.
- LANGHANS, R.W., TIBBITTS, T.W., 1997. Plant growth chamber handbook, Iowa.
- Loughborough university, 2016. An introduction to MEMS.
- MCPHEARSON, MJ., 1993. Subsurface ventilation and Enviromental engineering. Mine ventilation services.
- Narodne novine br. NN 42/2005. Pravilnik o izmjenama i dopunama pravilnika o zaštiti na radu za radne i pomoćne prostorije i prostore. Narodne novine d.d.
- PEAK SENSORS, 2016. Platinum resistance thermometer information. URL: <https://www.peakensors.co.uk/resources/resistance-thermometer-information/>
- PLESIĆ, S., 2013. Pripreme za predavanja iz fizike 1. (15.12.2016)
- POPOVIĆ, O., 2012. Hvale digitalne a koriste živine toplomjere. URL: <http://www.politika.rs/scc/clanak/202716/Hvale-digitalne-a-koriste-zivine-toplomere>
- STEWART, JM., 1982. Enviromental engineering in South African mines. Mine Ventilation society of South Africa.
- ŠPERANDA FERNEC, K., 2012. Dvije milijarde Boschvih MEMS senzora. URL: <http://www.gradimo.hr/clanak/dvije-milijarde-boschvih-mems-senzora/79032>
- ŠPRLJAN, M., 2009. Utjecaj mikroklimatskih uvjeta rada na određivanje standarda vremena. Zagreb. Fakultet strojarstva i brodogradnje.
- TEPLEY, E., 1990. Rudnička ventilacija. Zagreb: Rudarsko-geološko-naftni fakultet.

UNICRO. MIKROKLIMA - Udoban radni okoliš. URL:
<http://www.unicro.hr/print.php?ID=1159> (14.12.2016.)

VRKLJAN, D., 2007. Ventilacija vježbe – primjeri zadataka.

WIKIPEDIA, 2016a. Alcohol thermometer. URL:
<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/cc/SpiritTherm02.jpg>

WIKIPEDIA, 2016b. Data logger. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Data_logger

WIKIPEDIA, 2016c. Microelectromechanical systems URL:
https://en.wikipedia.org/wiki/Microelectromechanical_systems

WIKIPEDIA, 2016d. Vlažnost zraka. URL:
https://hr.wikipedia.org/wiki/Vla%C5%BEnost_zraka