

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
za gradbeništvo
in geodezijo



Jamova cesta 2
1000 Ljubljana, Slovenija
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

DRUGG – Digitalni repozitorij UL FGG
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Furlan, G., 2016. Testiranje instrumenta Meteo Station HM30. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Ambrožič, T., somentor Kregar, K.): 52 str.

Datum arhiviranja: 05-05-2016

University
of Ljubljana

Faculty of
Civil and Geodetic
Engineering



Jamova cesta 2
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

DRUGG – The Digital Repository
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Furlan, G., 2016. Testiranje instrumenta Meteo Station HM30. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljani, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Ambrožič, T., co-supervisor Kregar, K.): 52 pp.

Archiving Date: 05-05-2016

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



Jamova 2
1000 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si

**VISOKOŠOLSKI ŠTUDIJSKI
PROGRAM GEODEZIJA
SMER GEODEZIJA V
INŽENIRSTVU**

Kandidat:

GREGOR FURLAN

TESTIRANJE INSTRUMENTA METEO STATION HM30

Diplomska naloga št.: 420/GI

TESTING INSTRUMENT METEO STATION HM30

Graduation thesis No.: 420/GI

Mentor:

izr. prof. dr. Tomaž Ambrožič

Somentor:

asist. Klemen Kregar

Ljubljana, 26. 04. 2016

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVE

Podpisani Gregor Furlan izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom »Testiranje instrumenta Meteo Station HM30«.

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka tiskani različici.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Ljubljana, 1. 4. 2016

Gregor Furlan

BIBLIOGRAFSKO–DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	528.5(043.2)
Avtor:	Gregor Furlan
Mentor:	izr. prof. dr. Tomaž Ambrožič
Somentor:	asist. Klemen Kregar
Naslov:	Testiranje instrumenta Meteo Station HM30
Tip dokumenta:	diplomska naloga – visoki strokovni študij
Obseg in oprema:	52str., 11 pregl., 12 graf., 29 sl., 36 en., 3 pril.
Ključne besede:	testiranje instrumenta, merjenje vremenskih parametrov, temperatura, zračni tlak, vlaga, lomni količnik, merjenje dolžin, termometer, psihrometer, higrometer, barometer

Izvleček

V diplomski nalogi so podrobneje predstavljene tri fizikalne količine, ki opisujejo stanje atmosfere in instrumenti za njihovo merjenje. To so temperatura, vlaga in zračni tlak. Gostota zraka in z njo povezana optična gostota je namreč odvisna od njihovih vrednosti. Pri natančnem merjenju dolžin moramo upoštevati dejanske pogoje v zraku v času meritve. Izmerjeno dolžino je potrebno popraviti zaradi spremembe lomnega količnika zraka. V enačbah za izračun dejanskega lomnega količnika in dejanske dolžine je obravnavan vpliv meteoroloških parametrov na vrednost dolžine.

Izvedeno je bilo testiranje vremenske postaje Meteo Station HM30. Za optimalnejše pogoje merjenja temperature in zračne vlage je bila izdelana naprava za prisilni vpih zraka na katero namestimo sondo. Testi so obravnavali čas temperiranja in različne možne postavitve sonde ter analize možnih vplivov. Sonda zelo dobro deluje v napravi za prisilni vpih zraka. Različne globine in rotacije sonde ne pokažejo vplivov na izmerjene vrednosti temperature. Čas temperiranja je enak času, ki ga predvideva proizvajalec.

BIBLIOGRAPHIC–DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

- UDC:** 528.5(043.2)
- Author:** Gregor Furlan
- Supervisor:** assoc. prof. Tomaž Ambrožič, Ph. D.
- Cosupervisor:** assist. Klemen Kregar
- Title:** Testing instrument Meteo Station HM30
- Document type:** Graduation Thesis – Higher professional studies
- Scope and tools:** 52 p., 11 tab., 12 graph., 29 fig., 36 eq., 3 ann.
- Keywords:** Instrument tests, atmospheric parameters reading, temperature, barometric pressure, humidity, refractive index, distance measurement, thermometer, psychrometer, hygrometer, barometer

Abstract

The following diploma thesis focuses on three physical quantities, which define atmospheric conditions, and on instruments to measure them. Temperature, humidity, and barometric pressure influence the air density and the related optical density. Actual atmospheric conditions have to be observed while conducting precise measurement of distances. Changes of the air refractive index have to be compensated for in the results. Equations for calculation of the actual refractive index and the actual distance acknowledge the influence of meteorological parameters on the distance values.

Tests were performed on the meteorological station Meteo Station HM30. To optimise the conditions of taking temperature and humidity readings, a device for forced induction was designed, which carried the probe. The tests examined the time of thermal conditioning and possibilities of the probe set up, as well as the analysis of possible influences.

The probe performed very well in the device for forced induction. No influence on the temperature readings were indicated on account of various depths and rotations of the probe. The time of thermal conditioning was equal to the time expected by the manufacturer.

KAZALO VSEBINE

IZJAVE	II
BIBLIOGRAFSKO–DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK	III
BIBLIOGRPHIC–DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT	IV
KAZALO PREGLEDNIC	VII
KAZALO GRAFIKONOV	VIII
KAZALO SLIK	IX
1 UVOD	1
2 TEMPERATURA	1
2.1 Termometri	4
2.1.1 Kapljevinski termometer	4
2.1.2 Plinski termometer	6
2.1.3 Uporovni termometer	7
2.1.4 Termometri s termočlenom	8
2.1.5 Termistor	8
2.1.6 Bimetalni termograf	9
2.2 Ekstremni termometri	9
2.2.1 Maksimalni termometer	9
2.2.2 Minimalni termometer	10
2.2.3 Sixov termometer	10
3 VLAGA	10
3.1 Higrometri in psihrometri	11
3.1.1 Higrometer	11
3.1.2 Assmanov psihrometer	12
4 ZRAČNI TLAK	12
4.1 Barometer	15
4.1.1 Živosrebrni barometer	15
4.1.2 Aneroid	16
4.1.3 Barograf	17
4.1.4 Digitalni barometri	17
5 VREMENSKA POSTAJA	18
5.1 Meteo Station HM30	18
5.2 Sonda Rotronic AG Hygromer HP100A	21
6 IZDELAVA NAPRAVE ZA PRISILNI VPIH ZRAKA	24
7 DEJANSKI LOMNI KOLIČNIK IN VPLIVI METEOROLOŠKIH PARAMETROV	26
7.1 Parcialni tlak vodne pare	26
7.1.1 Tlak nasičene vodne pare izračunan iz mokre temperature	27

7.1.2 Tlak nasičene vodne pare izračunan iz suhe temperature.....	27
7.2 Dejanski lomni količnik	28
8 MERITVE	30
8.1 Meritve I.....	31
8.1.1 Temperiranje sonde – padajoča temperatura	31
8.1.2 Temperiranje sonde – naraščajoča temperatura.....	33
8.1.3 Meritve pri različnih položajih sonde	35
8.1.4 Rotacija sonde	36
8.1.5 Primerjava meritev temperiranih instrumentov	37
8.2 Meritve II.....	37
8.2.1 Vpliv zožitve vpiha – padajoča temperatura	37
8.2.2 Vpliv zožitve vpiha – naraščajoča temperatura	41
8.2.3 Temperiranje sonde – postavitve celotne sonde v cev naprave za prisilni vpih	43
8.2.4 Temperiranje sonde brez zaščitnega filtra	45
9 ZAKLJUČEK	48
VIRI	50

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Fiksne točke definirane po standardu ITS-90 [4]	4
Preglednica 2: Temperiranje sonde na strehi FGG	31
Preglednica 3: Temperiranje sonde v zimskih vajah.....	33
Preglednica 4: Testiranje skrajnih leg v napravi za prisilni vpih zraka.....	35
Preglednica 5: Testiranje vpliva rotacije sredinsko postavljene sonde	36
Preglednica 6: Testiranje vpliva rotacije sredinsko postavljene sonde	36
Preglednica 7: Meritve meteoroloških parametrov z vsemi instrumenti.....	37
Preglednica 8: Temperiranje na strehi FGG – zožitev vpiha na napravi za prisilni vpih zraka	38
Preglednica 9: Temperiranje v kabinetu – zožitev vpiha na napravi za prisilni vpih zraka	41
Preglednica 10: Temperiranje na strehi FGG – postavitve celega sonde v cev naprave za prisilni vpih..	43
Preglednica 11: Temperiranje v učilnici – sonda odstranjen zaščitni filter	46

KAZALO GRAFIKONOV

Grafikon 1: Potek temperature po Preglednici 2	32
Grafikon 2: Potek vlage po Preglednici 2.....	32
Grafikon 3: Potek temperature po Preglednici 3	34
Grafikon 4: Potek vlage po Preglednici 3.....	34
Grafikon 5: Potek temperature po Preglednici 8	39
Grafikon 6: Potek mokre temperature po Preglednici 8	40
Grafikon 7: Potek temperature po Preglednici 9	42
Grafikon 8: Potek mokre temperature po Preglednici 9	42
Grafikon 9: Primerjava meritev temperature s celotno sondo v cevi (A) in sondo vpeto v nosilec (B) 44	
Grafikon 10: Primerjava meritev vlage s celotno sondo v cevi (A) in sondo vpeto v nosilec (B)	45
Grafikon 11: Primerjava temperiranja sonde brez filtra (A) in sondo s filtrom (B)	47
Grafikon 12: Primerjava poteka vlage pri sondi brez filtra (A) in sondo s filtrom (B)	47

KAZALO SLIK

Slika 1: Diagram trojne točke vode [S1].....	1
Slika 2: Alkoholni termometer za uporabo na terenu.....	5
Slika 3: Natančen živosrebrni termometer - vrednost odčitka na sliki je 22,56 °C [S2].....	6
Slika 4: Skica sestave plinskega termometra [S1].....	7
Slika 5: Uporovni senzor Pt [S3].....	7
Slika 6: Oblika tuljave, navitja žice in tanek film v obliki meandra [S4]	8
Slika 7: Termistorja NTC [S5]	8
Slika 8: Premik plavača z magnetom za ponastavitev termometra [S6]	9
Slika 9: Primer Sixovega termometra [S2].....	10
Slika 10: Lasni higrometer [S7]	11
Slika 11: Psihrometer na FGG	12
Slika 12: Na desni je vidna krpica mokrega termometra	12
Slika 13: Živosrebrni barometer s skalo (mbar in mmHg) z nonijem [S8]	16
Slika 14: Mehanski žepni višinomer in barometer.....	17
Slika 15: Barograf [S9]	17
Slika 16: Digitalni barometer na FGG	18
Slika 17: Meteo Station HM30.....	19
Slika 18: Nalepka o kalibraciji na HM30.....	20
Slika 19: Sonda Hygromer HP100A	21
Slika 20: Shematski prikaz potenciometrov za prilagoditve na tiskanem vezju sonde [S10]	24
Slika 21: Namestitev ventilatorja	25
Slika 22: Nosilec baterije s klecnim stikalom	25
Slika 23: Nosilec sonde.....	26
Slika 24: Končni izgled z nameščeno baterijo	26
Slika 25: Izvajanje meritev.....	31
Slika 26: Sonda na sredini	35
Slika 27: Zožitev vpiha	37
Slika 28: Celotna sonda v cevi	44
Slika 29: Odstranjen zaščitni filter sonde.....	45

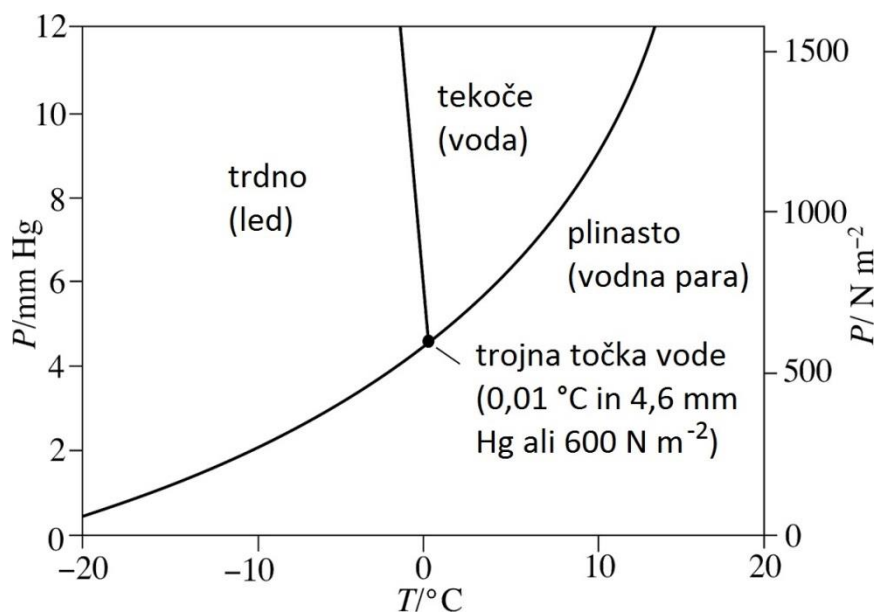
»Ta stran je namenoma prazna«

1 UVOD

Glavne elemente vremena predstavljajo zračni tlak, ki ga povzroča teža zraka, temperatura kot posledica toplotne energije, ki jo dobimo z obsevanjem Sonca in vodna para, ki hlapi iz zemeljskega površja in se ponovno pojavi v obliki oblakov in padavin. Merimo jih z različnimi instrumenti. Vsi trije elementi vremena so med seboj močno povezani in vplivajo drug na drugega ter na druge pojave v atmosferi. Eden izmed njih je lomni količnik zraka. V geodeziji je njegova natančna vrednost zelo pomembna pri natančnih meritvah daljših dolžin. Nosilno valovanje, ki ga procesira merski instrument, namreč potuje skozi različne plasti zraka. Ob tem je podvržen različnim meteorološkim vplivom, ki vplivajo na njegovo vrednost. Vrednost temperature se med dvema točkama ne spreminja linearno. Vrednost zračne vlage in tlaka je odvisna od stanja vremena. Ob večjih vremenskih spremembah se lahko zelo hitro spreminjata s časom. Vrednost zračnega tlaka se spreminja tudi s spremembo nadmorske višine. Zato je za natančne meritve potrebno izbrati obdobje stabilnega vremena. Tako lahko že na začetku delno zmanjšamo vremenske vplive na meritve.

2 TEMPERATURA

Po definiciji svetovne meteorološke organizacije (WMO) je temperatura fizikalna količina, ki opisuje stanje nekega telesa oziroma označuje način naključnega premikanja molekul v nekem telesu. Dve telesi z različnima temperaturama, ki sta med seboj v kontaktu, težita k temu, da se njuna temperatura izenači. Temperatura torej predstavlja termodinamične lastnosti telesa. Njena smer je določena s smerjo toplotnega toka med tema dvema telesoma. Pri tem toplota vedno prehaja s toplejšega na hladnejše telo. Stanje nekega telesa podajamo s fizikalno količino, ki se imenuje temperatura. Vrednost temperature je določena z mednarodno odobreno temperaturno skalo. Ena takšnih je podana s strani svetovne meteorološke organizacije (WMO) in je definirana za namene meteorologije pod oznako ITS-90 (International Temperature Scale – mednarodna temperaturna skala).



Slika 1: Diagram trojne točke vode [S1]

Temelji na linearni odvisnosti električne upornosti platine (uporovni termometer) in trojne točke vode, ki je definirana eksperimentalno. Trojna točka nam poda temperaturo in tlak, pri katerih ostajajo v

medsebojnem ravnovesju vsa tri agregatna stanja neke snovi. V primeru vode je to točka, ko je voda lahko v trdnem, tekočem ali plinastem agregatnem stanju. Izražena z osnovno temperaturno enoto v termodinamiki predstavlja ta točka vrednost 273,16 K (Kelvin) oziroma 0,01 °C. Ta temperaturna skala se uporablja predvsem za potrebe meteoroloških opazovanj kot so meritve temperature zraka, tal, vode, ledu... Razpon merilnega območja je od –80 °C do 60 °C [1; 2].

Sama fizikalna definicija temperature je precej kompleksnejša. Prenos toplote in spremembe stanj obravnava področje termodinamike s svojimi zakoni. Stanje termodinamičnega sistema določajo tri osnovne termodinamične količine. To so tlak p , temperatura T in prostornina V . Veda o toploti med drugim definira povezavo med kinetično energijo in temperaturo. Vsaka snov je namreč sestavljena iz atomov in molekul. Vzrok za različne lastnosti snovi je v njihovi sestavi. Tako velja, da so v trdnih snoveh atomi in molekule med seboj močnejše povezani, kar upočasnjuje njihovo termično gibanje. V kapljevinskem stanju snovi se molekule že nekoliko lažje gibajo, medtem ko se v plinastem stanju snovi molekule prosto gibajo. Zato imajo plini v primerjavi s kapljevinskimi in trdnimi snovmi posebne lastnosti. V nasprotju z njimi so zelo stisljivi, so specifično najlažje snovi, za njih velja majhna viskoznost, vedno se razporedijo po celotnem razpoložljivem prostoru in se lahko mešajo med seboj. Posledica termičnega gibanja plinskih molekul je kinetična energija. Med njimi prihaja do trkov. To povzroči, da se nekaterim molekulam kinetična energija zmanjša, drugim poveča. V sami snovi ali fizikalnem sistemu je ogromno molekul in posledično tudi trkov med njimi, zato se posamezni molekuli njena kinetična energija skokovito spreminja. Vendar pride do pojava, ko je povprečna kinetična energija molekule skozi daljši čas stalna. Še vedno prihaja do trkov med molekulami in termičnega gibanja, vendar se povprečna kinetična energija fizikalnega sistema ali snovi ne spreminja več s časom. Takrat za plin velja, da je v toplotnem ravnovesju. Če bi lahko izmerili povprečno kinetično energijo ene molekule, bi lahko izračunali celotno povprečno kinetično energijo vseh molekul v fizikalnem sistemu. Poznati bi morali le njihovo število [3].

Povprečna kinetična energija ene molekule:

$$\overline{W_k} = \frac{\mu * \overline{v^2}}{2} \quad (E1)$$

Povprečna kinetična energija vseh molekul v sistemu:

$$\overline{W_k} = \frac{N * \mu * \overline{v^2}}{2} \quad (E2)$$

kjer je:

$\overline{W_k}$ – povprečna kinetična energija plinskih molekul [J]

μ – masa molekule [kg]

\overline{v} – povprečna vrednost hitrosti molekule [m/s]

N – število molekul v plinu

Ker je praktično nemogoče določiti povprečno kinetično energijo ene molekule in ker je v plinu ogromno število molekul, je bilo potrebno vpeljati novo količino. Imenuje se temperatura. Predstavlja merilo za povprečno kinetično energijo termičnega gibanja posamezne molekule. Torej velja premo sorazmerje. Nižja kot je kinetična energija molekul, nižja je tudi temperatura in obratno. Posledica zgodovinskega razvoja odkritij fizikalnih količin, njihova vpeljava in razumevanje molekularne strukture snovi je, da se razlikujeta enoti za energijo in temperaturo. Posledično imamo namesto

Joulov oz. $\text{kg}\cdot\text{m}^2/\text{s}^2$ pri temperaturi Kelvine ali stopinje Celzija. Zato je vpeljan sorazmernostni faktor med temperaturo in povprečno kinetično energijo molekule. Na podlagi tega lahko izrazimo povprečno kinetično energijo ene molekule z enačbo skupaj v povezavi s temperaturo [3]:

$$\overline{W_k} = \frac{\mu * \overline{v^2}}{2} = \frac{3}{2} * k * T \quad (\text{E3})$$

kjer je:

k – Boltzmannova konstanta ($k = 1,3806504 * 10^{-23}$ J/K)

T – absolutna temperatura [K]

Zgoraj opisana fizikalna definicija služi za razumevanje povezave kinetične energije s temperaturo. V preteklosti so različni izumitelji odkrivali in konstruirali naprave za merjenje temperature. Vsako merjenje sloni na primerjavi med izhodiščno vrednostjo in opazovano vrednostjo. Le te so odvisne od izbrane enote, njenega izhodišča in velikosti. Vsak je določil svoje izhodišče in razdelbo. Tako obstaja več različnih temperaturnih skal. Danes se najbolj uporablja:

- a) Kelvinova temperaturna skala (po škotskem inženirju in fiziku Williamu Thomsonu, povzdignjenemu v lorda Kelvina): Definirana je kot kvocient $1/273,16$ termodinamične temperature trojne točke vode. Njena enota je K. Vrednost 0 K predstavlja absolutno ničlo. To je temperatura, pri kateri je kinetična energija molekul v fizikalnem sistemu ali snovi enaka 0. Molekule takrat popolnoma mirujejo [3].
- b) Celzijeva temperaturna skala (po švedskem astronomu Andersu Celsiusu): Referenčni točki sta tališče ledu in vrelišče vode pri normalnem zračnem tlaku ($1013,25$ hPa) in ničelni nadmorski višini. Izmerjena razdalja med obema točkama je razdeljena na 100 enakih delov. Posamezna enota se imenuje Celzijeva stopinja. Temperaturna skala je podaljšana v spodnji del pod 0 °C kot temperature z negativnim predznakom in v zgornji del kot temperature višje od vrelišča vode, seveda s pozitivnim predznakom [3].
- c) Fahrenheitova temperaturna skala (po nemškem fiziku Danielu Gabrielu Fahrenheitu): Za izhodiščno točko je Fahrenheit najprej uporabil mešanico ledu, vode in trdnega salmioka ($-17,8$ °C). Kasneje jo je izbral kot temperaturo krvi zdravega človeka in skalo razdelil na 96 enakih delov. Nazadnje je zadevo spremenil in za referenčni točki vzel ledišče in vrelišče vode. Razdaljo je tokrat razdelil na 180 enakih delov. Za ledišče je označil 32 °F in za vrelišče 212 °F [3].

Ob zaporedju zgodovinskih odkritij in sedanjih standardih je pogosta praksa, da temperaturo v Kelvinih izrazimo v stopinjah Celzija. Razlika med temperaturo trojne točke vode in temperaturo ledišča vode je $0,01$ °C. Temperatura ledišča je hkrati tudi začetna točka Celzijeve temperaturne skale. Tako je 0 °C enako $273,15$ K. Ker sta obe temperaturni skali enaki po velikosti enot, lahko brez večjih težav izvajamo pretvorbo med njima z enačbo:

$$T[^\circ\text{C}] = T[\text{K}] - 273,15 \quad (\text{E4})$$

Danes je temperaturna skala definirana na podlagi stalnih termometričnih točk. Gre za z zakonom predpisane referenčne točke za merjenje temperature in umerjanje termometrov. Za ta namen je bil pri Mednarodnemu odboru za uteži in mere (Comité international des poids et mesures – CIPM) leta 1989 sprejet standard o mednarodni temperaturni skali z oznako ITS-90. Definira 17 stalnih točk

(Preglednica 1) različnih termodinamičnih stanj čistih kemičnih elementov in ene zmesi – vode. Pri merjenju temperatur se uporablja uporovni termometer na osnovi platine (Pt) [1].

Preglednica 1: Fiksne točke definirane po standardu ITS-90 [4]

/ št.	Temperatura		Snov	Stanje
	T_{90} [K]	t_{90} [°C]		
1	3 do 5	-270,15 do -268,15	He	Parni tlak helija
2	13,8033	-259,3467	e-H ₂	Trojna točka ravnovesnega vodika
3	~17	~-256,15	e-H ₂ (ali He)	Parni tlak vodika (329 hPa) (ali plinska točka helijevega termometra)
4	~20,3	~-252,85	e-H ₂ (ali He)	Parni tlak vodika (1022 hPa) (ali plinska točka helijevega termometra)
5	24,5561	-248,5939	Ne	Trojna točka neona
6	54,3584	-218,7916	O ₂	Trojna točka kisika
7	83,8058	-189,3442	Ar	Trojna točka argona
8	234,3156	-38,8344	Hg	Trojna točka živega srebra
9	273,16	0,01	H ₂ O	Trojna točka vode
10	302,9146	29,7646	Ga	Točka tališča galija
11	429,7485	156,5985	In	Točka strdišča indija
12	505,078	231,928	Sn	Točka strdišča kositra
13	692,677	419,527	Zn	Točka strdišča cinka
14	933,473	660,323	Al	Točka strdišča aluminija
15	1234,93	961,78	Ag	Točka strdišča srebra
16	1337,33	1064,18	Au	Točka strdišča zlata
17	1357,77	1084,62	Cu	Točka strdišča bakra

2.1 Termometri

Termometer je instrument za merjenje temperature. Izkorišča pojav, da se določene fizikalne lastnosti snovi spreminjajo s temperaturo. Posledica naraščanja ali padanja temperature je lahko povečanje ali zmanjšanje volumna neke snovi (trdna snov, tekočina, plin), snovi se lahko spremenijo električne lastnosti, itd.. Ker nas zanima temperatura določene snovi v našem okolju, mora biti termometer s to snovjo v toplotnem ravnovesju. Takrat je temperatura termometra in snovi enaka. Snov, kateri merimo v meteorologiji temperaturo, je lahko zrak, voda, tla, itd... [5].

2.1.1 Kapljevinski termometer

V to skupino spadajo živosrebrni in alkoholni termometri. Osnovni princip njihovega delovanja je v plinskih zakonih. Velja, da se s spreminjanjem temperature, spreminja volumen živega srebra ali alkohola. Sestavljeni so iz drobne steklene cevke (kapilara) in steklene bučke, ki je napolnjena z živim

srebrom ali alkoholom. Steklena cevka je opremljena z razdelbo na kateri odčitamo velikost raztezka tekočine. Odčitek tako predstavlja temperaturo v izbrani enoti. Občutljivost termometra in hitrost prilagajanja okolici je odvisna od velikosti in oblike steklene bučke [5].



Slika 2: Alkoholni termometer za uporabo na terenu

Opozoriti velja na potencialne napake kapljevinskih termometrov, ki so posledica njihove sestave in vplivov okolja. Možna sistematična napaka je **stanje termometra**. Predstavlja razliko med dejansko temperaturo in temperaturo, izmerjeno na termometru. Kontrola se ponavadi izvaja pri 20 °C. Razliko med temperaturama se prišteva odčitkom termometra, da dobimo pravo vrednost. Druga možna sistematična napaka je **hod termometra**. Predstavlja neuskkljenost med razdelbo in razteznostjo tekočine. Določimo ga s pomočjo merjenja ekstremnih vrednosti (ledišče in vrelišče). Popravljen odčitano vrednost termometra dobimo na podlagi obeh možnih sistematičnih napak z enačbo [6; 11]:

$$t = t_{\check{c}} + A + (t_0 - t_{\check{c}}) * M \quad (E5)$$

kjer je:

t – popravljena vrednost odčitka [°C]

$A = t_p - t_{\check{c}}$ – razlika med odčitkoma pri stanju termometra

$M = \frac{t_{pv} - t_{pl}}{t_{\check{c}v} - t_{\check{c}l}}$ – razmerje med pravo in izmerjeno temperaturno razliko pri hodu termometra

$t_{\check{c}}$ – temperatura čitanja [°C]

t_p – prava temperatura [°C]

t_0 – privzeta začetna temperatura ($t_0 = 20$ °C)

t_{pv} – prava temperatura vrelišča [°C]

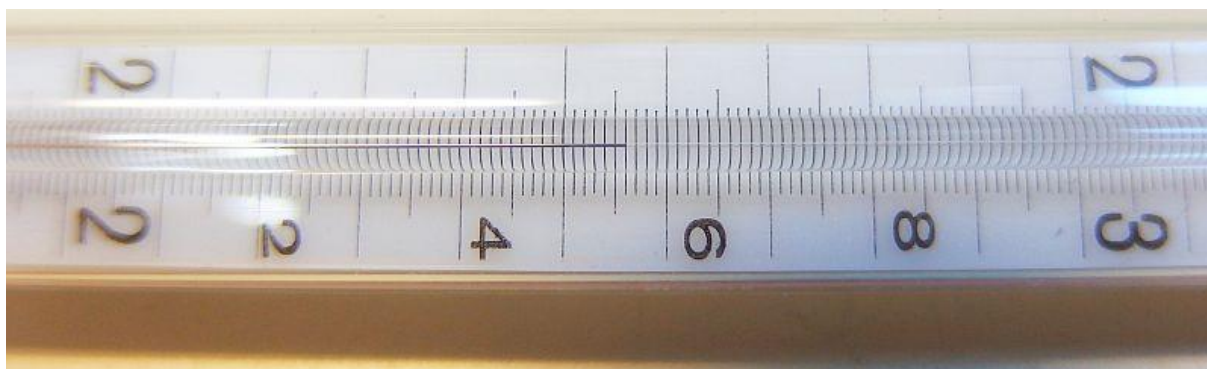
t_{pl} – prava temperatura ledišča [°C]

$t_{\check{c}v}$ – odčitana temperatura vrelišča [°C]

$t_{\check{c}l}$ – odčitana temperatura ledišča [°C]

Možni so še nekateri drugi vplivi. Ko se spreminja temperatura, se ne spreminja samo volumen tekočine v termometru. Krči in razteza se tudi kapilara in z njo povezana temperaturna skala. Svoj vpliv k možnim napakam doprinese še staranje materiala. Z rednim umerjanjem termometra se izognemo napakam, ki izvirajo iz teh lastnosti. Umerjanje oziroma kalibracija termometrov poteka s kontrolnim termometrom v laboratoriju. Večinoma je to plinski termometer, ki je zelo zanesljiv in natančen. V novejšem času se v meteorologiji za referenco uporablja uporovni termometer na osnovi platine. Pri tem se termometre kontrolira pri temperaturi trojne točke vode v posebnih komorah, kjer zagotovimo ustrezne pogoje. Pomembno je, da pogoje za doseganje trojne točke vode lahko vedno brez težav dosežemo z negotovostjo ranga 10^{-4} K [5].

Če so napake termometra pri izbranih točkah (npr.: $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ in $20\text{ }^{\circ}\text{C}$) merilnega obsega znotraj območja $0,05\text{ K}$, potem termometer ne potrebuje korekcij. V primeru preseganja $0,05\text{ K}$, morajo biti korekcije zapisane v preglednici skupaj z nedvoumnimi navodili, kako te korekcije upoštevati. To mora biti dostopno vsakemu uporabniku termometra [1].



Slika 3: Natančen živosrebrni termometer – vrednost odčitka na sliki je $22,56\text{ }^{\circ}\text{C}$ [S2]

2.1.2 Plinski termometer

Osnova za merjenje temperature s plinskim termometrom izhaja iz splošne plinske enačbe in z njo povezanimi plinskimi zakoni. Z njimi opisujemo povezavo med tlakom, temperaturo in volumnom. Splošna plinska enačba:

$$p * V = n * R * T \quad (\text{E6})$$

kjer je:

p – tlak [N m^{-2}]

V – volumen [m^3]

n – število molov plina [mol]

R – plinska konstanta ($R = 8,314621\text{ J/mol}\cdot\text{K}$)

T – temperatura [K]

Poznamo dve vrsti plinskih termometrov:

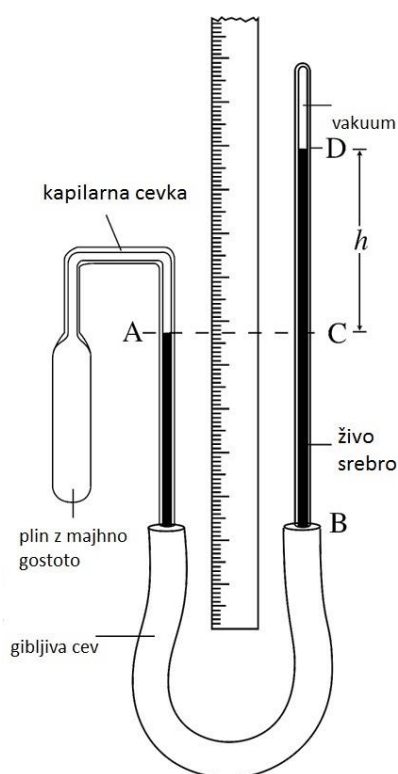
- Pri prvem uporabljamo zvezo med tlakom p in temperaturo T idealnega plina pri konstantni prostornini V , ki jo določa Amontonsov zakon: pri konstantni prostornini je tlak premo-sorazmeren s temperaturo.

$$V = konst. \Rightarrow \frac{p}{T} = konst. \quad (E7)$$

- Pri drugem uporabljamo zvezo med prostornino V in temperaturo T idealnega plina pri konstantnem tlaku p , ki jo določa Gay-Lussacov zakon: pri konstantnem tlaku je volumen premosorazmeren s temperaturo.

$$p = konst. \Rightarrow \frac{V}{T} = konst. \quad (E8)$$

Tako lahko na osnovi merjenja tlaka ali volumna določamo temperaturo plina. Plinski termometri omogočajo zelo natančne meritve, vendar so nepriročni za mobilno uporabo. Zato se jih uporablja večinoma v laboratorijih za natančne meritve in umerjanje drugih termometrov [2; 3].



Slika 4: Skica sestave plinskega termometra [S1]

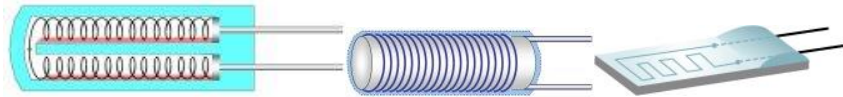
2.1.3 Uporovni termometer

Njegova najpogostejša vsakdanja uporaba je v gospodinjskih aparatih (hladilniki, zamrzovalniki, pečice, klimatske naprave...). Zelo primeren je tudi za druge natančne meritve, npr. platinasti uporovni termometer se uporablja za določitev temperaturne skale. Njegovo delovanje temelji na lastnostih električne upornosti kovine v odvisnosti od temperature. Kovinam namreč pada električna prevodnost z naraščanjem temperature in obratno. Sprememba temperature povzroči skoraj popolnoma linearno spremembo njene upornosti. Popačenja nastopajo na mejnih območjih, ki jih izvzamemo iz merilnega območja. Zato imamo pri različnih kovinah različna območja na temperaturni skali. Za tipalo uporovnega termometra se največkrat uporablja nikelj (Ni) ali platina (Pt).



Slika 5: Uporovni senzor Pt [S3]

Večinoma je to tanka žica izbrane kovine, navita okrog keramične cevke, zelo tanek film kovine v obliki meandrov, nanesen na keramični substrat ali zelo tanka kovinska žica v obliki tuljave, ki je vstavljena v valj iz keramičnega oksida. Meri se upornost pri neznanu temperaturi z mostiščnim vezjem. Ker poznamo upornost tipala in temperaturni koeficient pri 0 °C, lahko merjeno temperaturo izračunamo iz temperaturne odvisnosti upornosti. Za upor iz niklja velja, da je bolj občutljiv kot upor iz platine, vendar nima tako linearnih karakteristik. Uporovni termometer s platinastim tipalom je uporaben v temperaturnem območju med $-272,5$ °C do $961,78$ °C [7; 8].



Slika 6: Oblika tuljave, navitja žice in tanek film v obliki meandra [S4]

2.1.4 Termometri s termočlenom

Sodijo med najbolj razširjene in splošno uporabne termometre. So vsestranski, imajo nezahtevno zgradbo in so enostavni za uporabo. Sestavljen je iz dveh različnih prevodnikov (najpogosteje: baker-konstanten, srebro-konstanten, železo-konstanten, platina-platiniridij itd). Lahko je v obliki prstana, igle... Na stikališčih obeh prevodnikov se pojavi električni tok kot posledica različne temperature vsake od kovin (Seebeckov pojav). Jakost električnega toka, ki se meri na prvem stikališču, je odvisna od temperaturne razlike. Drugo stikališče priklopimo na termostat ali ga pritrdimo na telo z veliko toplotno kapaciteto. Tako drugo stikališče obdrži konstantno temperaturo v času merjenja, ki nam je znana. Za baker in konstanten velja, da sprememba 1 °C povzroči pojav napetosti na stikališču od 37,6 do 42,3 μ V. Termočlene se lahko uporablja za merjenje zelo visokih temperatur kot so npr. v talilnih pečeh ali parnih kotlih [5; 9].

2.1.5 Termistor

Sodi med polprevodnike. Enako kot pri uporovnih termometrih, se tudi pri termistorjih izkorišča temperaturno odvisnost od njihove upornosti. Z naraščanjem temperature narašča njihova upornost. Za najkakovostnejše velja, da je električna upornost v nekem temperaturnem območju linearno odvisna od temperature. Termistorji imajo veliko upornost. Zato imajo večjo občutljivost kot uporovni termometri in tudi vpliv električnih vodnikov je posledično manjši. Poznamo dve vrsti tipal termistorjev. Prvi imajo pozitivni temperaturni koeficient (PTC). Njim se upornost povečuje z naraščanjem temperature. Drugi imajo negativni temperaturni koeficient (NTC), njim pa se upornost manjša z višanjem temperature [7; 9].



Slika 7: Termistorja NTC [S5]

2.1.6 Bimetalni termograf

Uporabljajo predvsem vremenoslovci za pregled nad časovno razporeditvijo temperature. Glavni sestavni del bimetalnega termografa je obroč v obliki črke C. Zavarjen je iz dveh trakov dveh različnih kovin (bimetal), ki imata različna temperaturna koeficienta. Sprememba temperature ju različno deformira. Ta deformacija se prenaša preko mehanizma na vrteči se valj, kamor se zapisuje temperatura v ustrezni temperaturni skali. Valj poganja urni mehanizem. Na podlagi zapisa dobimo časovni potek temperature. Bimetalni element je podvržen koroziji. Primerna zaščita je galvanizacija z bakrom, nikljem ali kromom. Za določene klimatske pogoje je primeren tudi lak [1; 5].

2.2 Ekstremni termometri

To so posebne oblike termometrov, ki nam omogočajo, da z njimi določamo minimalno, maksimalno temperaturo ali obe naenkrat v nekem časovnem obdobju meritve. Za izmero sta minimalni in maksimalni termometer postavljena horizontalno. Sicer bi lahko pri maksimalni temperaturi živo srebro pod vplivom težnosti spolzelo mimo zožene kapilare nazaj v bučko. Pri minimalnem termometru pa bi se plavač (kovinska ploščica) ob padanju temperature lahko premaknil navzdol [5].



Slika 8: Premik plavača z magnetom za ponastavitev termometra [S6]

2.2.1 Maksimalni termometer

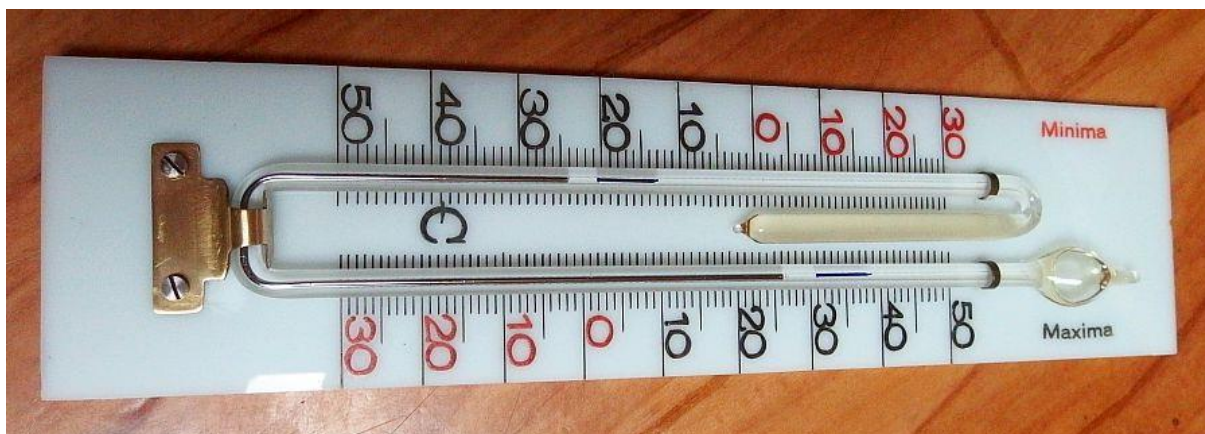
Nad bučko, napolnjeno z živim srebrom, je kapilara zožena. Z naraščanjem temperature se stolpec živega srebra širi po kapilari in na skali lahko odčitamo temperaturo. S padanjem temperature se začne živo srebro krčiti in se pretrga v zoženem delu kapilare. Zaradi površinske napetosti tako ostane del živega srebra ujet v kapilari in ne odteče nazaj v bučko. Odčitek, ki ga beleži, je maksimalna temperatura. Za ponovno merjenje v novem časovnem obdobju je potrebno termometer stresti, da živo srebro steče nazaj v bučko [5].

2.2.2 Minimalni termometer

Sestavljen je iz bučke napolnjene z alkoholom in kapilare v kateri je plavač. To je kovinska ploščica, ki služi kot označevalec. S padanjem temperature se alkohol krči in leze nazaj v bučko. Zaradi površinske napetosti na površini alkohola potuje v tej smeri tudi plavač. Ko začne temperatura naraščati, se površina alkohola odmakne od plavača. Ker nanj ne deluje več sila površinske napetosti, se ne premika več in kaže najnižjo temperaturo. Za ponovno meritev moramo termometer dvigniti iz horizontalne lege, da se plavač premakne do površine alkohola [5].

2.2.3 Sixov termometer

Izumil ga je britanski znanstvenik James Six leta 1780. Z njim lahko merimo minimalno in maksimalno temperaturo hkrati, ima pa obliko črke U. Levi zgornji del je napolnjen z alkoholom in razširjen v večji rezervoar. Spodnji del oziroma krivina je napolnjena z živim srebrom. Desni zgornji del, ki se končuje z bučko, pa je zopet napolnjen z alkoholom. Bučka je napolnjena le do polovice. Levi in desni krak sta opremljena s temperaturno skalo in oba vsebujeta plavača nad živim srebrom za določitev minimalne temperature na levi strani in maksimalne na desni strani. Pri tem so na levi temperaturni skali nižje temperature bližje rezervoarju, na desni pa višje temperature bližje bučki [5].



Slika 9: Primer Sixovega termometra [S2]

Princip delovanja: Z nižanjem temperature se alkohol krči in umika v rezervoar na levem kraku. Z njim se premakne levi plavač in živo srebro. Ko temperatura narašča, se alkohol širi. Takrat v levem kraku potiska navzdol živo srebro, medtem ko levi plavač ostane na minimalni temperaturi. Posledično se na desnem kraku živo srebro dviguje in zraven tudi desni plavač dokler temperatura narašča. Ob padanju temperature ostane desni plavač na mestu maksimalne temperature. Tako s Sixovim termometrom odčitamo minimalno in maksimalno temperaturo v želenem časovnem obdobju. Za ponastavitev Sixovega termometra oba plavača z magnetom povlečemo do obeh nivojev živega srebra [5].

3 VLAGA

Voda predstavlja 2/3 zemeljskega površja. Pojavlja se lahko v treh različnih agregatnih stanjih. Tako je voda v trdnem agregatnem stanju pri temperaturi pod 0 °C v obliki ledu, med 0 °C in 100 °C je lahko v tekočem ali plinastem agregatnem stanju in pri temperaturi nad 100 °C je v plinastem agregatnem stanju kot vodna para. Zaradi stalnega izparevanja vode iz zemeljskega površja je v

ozračju vedno prisotna določena količina vodne pare. Le ta se giblje v zraku pod vplivom ostalih meteoroloških pojavov. V določenih fizikalnih okoliščinah kondenzira v tekoče stanje. To je lahko v obliki oblakov ali megle. V določenih pogojih lahko tudi sublimira iz trdnega stanja v plinasto. Pride do neposrednega prehoda iz trdnega v plinasto stanje [10].

Vodna para ali vlaga v zraku se meša z zrakom kakor tudi vsi ostali plini. Po Daltonovem zakonu velja, da vodna para predstavlja enega od plinov v ozračju. Njegove lastnosti so neodvisne od drugih. Parcialni parni tlak predstavlja vrednost s katero lahko določimo množino vode v zraku. Če se povečuje količina vodne pare v zraku, se povečuje tudi njen tlak. Vendar zrak lahko sprejme le določeno količino vodne pare pri določeni temperaturi. Ob zasičenosti zraka z vodno paro začne voda prehajati nazaj v tekoče stanje. Temperaturo ob tem pojavu imenujemo temperatura rosišča. Bolj vlažen je zrak, lažji je. Vodna para je namreč lažja od zraka za faktor 0,622 [10].

Vrednost vodne pare v zraku lahko izrazimo na različne načine:

Parcialni tlak vodne pare e : tlak vodne pare v zraku.

Nasičen tlak vodne pare E : določa maksimalno gostoto vodne pare v zraku, ki je odvisna le od temperature.

Relativna zračna vlaga η : v odstotkih izraženo razmerje med delnim tlakom vodne pare in maksimalnim (nasičenim) tlakom vodne pare pri enaki temperaturi. Izrazimo jo lahko z enačbo:

$$\eta = \frac{e}{E} \quad (\text{E9})$$

Absolutna vlaga: predstavlja maso vodne pare v gramih, ki jo vsebuje 1 m³ zraka.

Specifična vlaga: predstavlja maso vodne pare v gramih v 1 kg zraka [10].

3.1 Higrometri in psihrometri

Instrumenti za merjenje vlage v zraku so higrometri in psihrometri.

3.1.1 Higrometer

Higrometer je osnovni instrument za merjenje relativne vlage. Njegov glavni sestavni del je človeški las. Izkorišča se njegovo lastnost, da se krči ob zmanjšanju in razteza ob večanju količine vlage v zraku. Raztezek lasu se na skali pokaže preko prenosnega mehanizma in kazalca. Skala večinoma prikazuje relativno vlago v zraku in jo odčitamo v % [5].



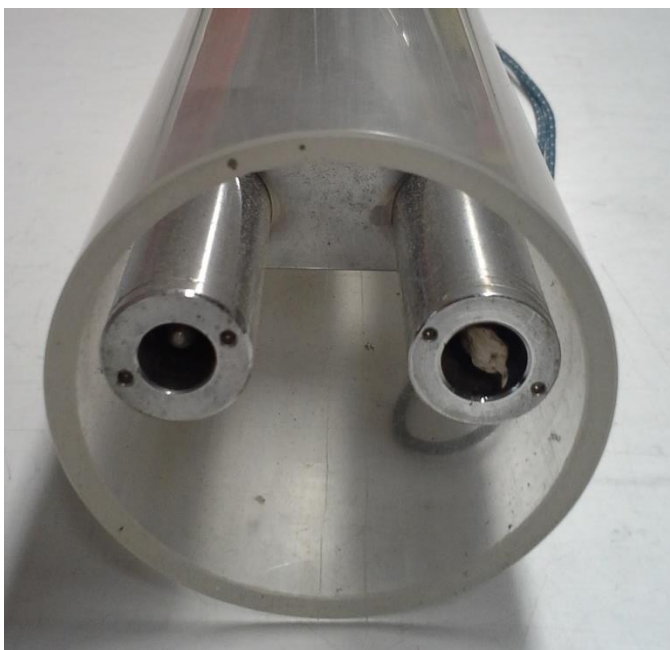
Slika 10: Lasni higrometer [S7]

3.1.2 Assmanov psihrometer

Gre za poseben primer psihrometra, ki ima dodan ventilator. Z njim merimo vlago na podlagi podatkov o mokri in suhi temperaturi. Sestavljen je iz dveh termometrov in ventilatorja. Bučka enega termometra je ovita s krpico muslina, ki je povezana s posodico s čisto vodo. Zato je krpica stalno navlažena. Ker je to edina razlika med termometroma, ju imenujemo mokri in suhi termometer. S suhim termometrom izmerimo temperaturo zraka. Temperatura mokrega termometra je vedno nekoliko nižja oziroma kvečjemu enaka suhemu termometru v primeru 100% vlažnosti. Za izhlapevanje vode namreč potrebujemo izparilno toploto, pri tem pa voda hladi bučko termometra. Razlika pri prikazu temperature med obema termometroma je tem manjša, čim večja je vlaga v zraku. Ventilator skrbi za stalno kroženje zraka okrog obeh termometrov, kar omogoča enakomerno izhlapevanje vode in merjenje dejanske temperature zraka [5].



Slika 11: Psihrometer na FGG



Slika 12: Na desni je vidna krpica mokrega termometra

4 ZRAČNI TLAK

Zrak je mešanica plinov. Njegovi glavni sestavni deli v troposferi so plini, trdni delci in vodna para. Med plini so v največjih količinah prisotni dušik N_2 (78%), kisik O_2 (21%), ozon O_3 , argon Ar in ogljikov dioksid CO_2 . Prisotne so še manjše količine drugih plinov kot so vodik, neon, ksenon, kripton in helij. Trdne delce predstavljajo predvsem vulkanski pepel, pesek oziroma puščavski prah, pelodi

rastlin, sol in organske spojine. Po Daltonovem zakonu lahko zrak primerjamo z idealnim plinom. Zakon namreč pravi, da je celotni tlak mešanice idealnih plinov enak vsoti delnih tlakov posameznih plinov iz te mešanice [10].

Ker se zrak nahaja v zemeljskem težnostnem polju, ima svojo težo in maso. Zračni tlak tako predstavlja težo zračnega stebra od izbranega nivoja na Zemlji do najvišjih plasti atmosfere, kjer je tlak enak 0 Pa. Merimo ga z barometri [10].

Obstoj zračnega tlaka je dokazal matematik in fizik Evangelista Torricelli s svojim poskusom približno leta 1643. Uporabil je dolgo stekleno cevko, ki je bila na enem koncu zaprta. Napolnil jo je z živim srebrom (Hg) ter jo nato obrnil in z odprtim koncem potopil v posodo, napolnjeno prav tako z živim srebrom. Cevka je stala navpično. Stolpec živega srebra v cevki se je znižal. Kot posledica je v zgornjem delu cevke nastal vakuum. V cevki ostane 760 mm visok stolpec živega srebra. Pri njenem nagibu iz navpične lege se premakne tudi stolpec Hg za toliko, da ohranja višino med vrhom stolpca in gladino Hg v posodi. Stolpec Hg tako ostaja v ravnotežju zaradi vpliva zračnega tlaka. Na podlagi njegove teže lahko izračunamo tlak. Izhajamo iz Newtonove enačbe za silo težnosti [2]:

$$F = m * g \quad (E10)$$

Maso lahko zapišemo kot produkt gostote in volumna:

$$m = \rho * V \quad (E11)$$

Volumen nam predstavlja produkt višine živosrebrnega stolpca na površino:

$$V = S * h \quad (E12)$$

Upoštevamo še, da je tlak enak:

$$p = \frac{F}{S} \quad (E13)$$

V enačbo za tlak sedaj vstavimo prejšnje enačbe (E10 oziroma E11 in E12) in dobimo:

$$p = h * \rho * g \quad (E14)$$

kjer je:

F – sila težnosti [N]

m – masa [kg]

V – volumen [m]

p – zračni tlak

h – višina stolpca živega srebra na ničelni nadmorski višini ($h = 760$ mm)

S – površina [m²]

ρ – gostota živega srebra (približno $\rho = 13,6 * 10^3$ kg/m³)

g – težnostni pospešek na geografski širini okoli 45° ($g = 9,81$ m/s²)

Če vstavimo parametre v enačbo (E14), dobimo:

$$p = 0.76 \text{ m} * 13,6 * 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 101396,16 \text{ Pa} = 101396,16 \frac{\text{kg}}{\text{m} * \text{s}^2} \quad (\text{E15})$$

Dobljeni rezultat skoraj ustreza vrednosti za standardni zračni tlak na ničelni nadmorski višini. Le ta znaša: 101325 Pa. Če ga pretvorimo v druge enote: 1013,25 hPa ali 1013,25 mbar ali 760 torr ali 760 mmHg [5].

Ena od komponent enačbe za zračni tlak je težnostni pospešek g , ki ga merimo z gravimetrom. Njegova vrednost ni povsem konstantna. Odvisna je namreč od geografske širine (sploščenost Zemlje), nadmorske višine in sestave zemeljske skorje. Težnostnemu pospešku je nasproten centrifugalni pospešek, ki nastane kot posledica vrtenja Zemlje. Njegova vrednost na polih je enaka 0 m/s^2 in je največja na ekvatorju. Težnostni pospešek pada z naraščanjem višine od površine Zemlje. Poleg tega je zaradi sploščene oblike Zemlje zopet nekoliko manjši na ekvatorju kot na polih. Po dogovoru velja, da je normalni težnostni pospešek na ničelni nadmorski višini in na 45°N geografske širine enak: $g = 9,8066 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ [10].

Živosrebrni barometer nam tako za enak zračni tlak pokaže na polih nižji stolpec živega srebra kot na ekvatorju. Korekcija za Slovenijo, ki leži okrog 46°N geografske širine, je 0,1 mbar. Vrednost lahko zanemarimo saj je manjša od natančnosti odčitavanja z barometra [10].

V splošnem velja, da zračni tlak z višino pada. Na začetku pada hitro, z naraščanjem višine pa se zmanjšuje vedno počasneje. Na gostoto zraka ima vpliv tudi temperatura zračnega stebra in količina vodne pare v zraku. Še vedno se zračni tlak z višino spreminja dokaj enakomerno ob stabilnem vremenu. Zato ga lahko uporabimo skupaj z ostalimi meteorološkimi podatki v omejenem območju za merjenje višine v barometričnem višinomerstvu [10]. Z barometrično enačbo izračunamo višinsko razliko med točkama H_1 in H_2 [11]:

$$\Delta H = K * \ln \frac{B}{b} * (1 + \alpha * t) * (1 + \beta * \cos 2\varphi) * \left(1 + \frac{2H}{R}\right) * \left(1 + 0,377 * \frac{e}{p}\right) \quad (\text{E16})$$

kjer je:

ΔH – višinska razlika med točkama H_1 in H_2 [m]

K – barometrična konstanta

B in b – zračni tlak na točkah H_1 in H_2 [mbar ali torr]

α – razteznostni koeficient zraka ($\alpha = 1/273,16 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$)

t – srednja temperatura zraka [$^\circ\text{C}$]

p – srednji tlak zraka [mbar ali torr]

β – koeficient sploščenosti Zemlje

φ – geografska širina [rad]

H – srednja nadmorska višina [m]

R – radij Zemlje [m]

e – parcialni tlak vodne pare [mbar ali torr]

Pri tem je enačba razdeljena na posamezne dele, ki predstavljajo:

- vpliv temperature zraka: $(1 + \alpha * t)$
- vpliv zaradi sploščenosti Zemlje: $(1 + \beta * \cos 2\varphi)$
- vpliv nadmorske višine: $(1 + \frac{2H}{R})$
- vpliv delnega tlaka vodne pare: $(1 + 0,377 * \frac{e}{p})$

4.1 Barometer

Barometri so instrumenti za merjenje zračnega tlaka. Izkoriščajo pojave, deformacije ali spremembe, ki jih povzročata teža zračnega stebra.

4.1.1 Živosrebrni barometer

Osnovni princip delovanja živosrebrnega barometra je, da se višina (teža) stolpca živega srebra uravnoteži z višino (težo) zraka. Sestavljen je iz steklene cevke s konstantnim prerezom. Le ta je na zgornjem koncu zaprta. Spodnji konec je odprt in postavljen v posodico, napolnjeno z živim srebrom. V zgornjem zaprtem delu cevke nastane vakuum. Zračni tlak potiska živo srebro v to cevko, dokler se ne izenači teža zračnega stolpca s težo stolpca živega srebra. Pri standardnih pogojih ($t = 0 \text{ }^\circ\text{C}$, $g = 9,80665 \text{ m/s}^2$ in gostoto Hg: $\rho = 1,35951 * 10^4 \text{ kg/m}^3$) sega živosrebrni stolpec 760 mm visoko. To ustreza 1013,25 mbar. Njegova višina se sicer spreminja sorazmerno s spremembo zračnega tlaka. Večina živosrebrnih barometrov ima skale kalibrirane na mmHg (=torr) ali mbare (=hPa). Ker se v meteorologiji podaja vrednost zračnega tlaka v mbarih, uporabimo sledečo pretvorbo: 1013,25 mbar = 760 mmHg iz katere sledi, da 1 mbar ustreza 0,750062 mm živega srebra oziroma 1 mmHg ustreza 1,333224 mbar pri standardnih pogojih [5; 11].

Obstaja več vrst živosrebrnih barometrov. Nekateri so zelo natančni instrumenti. Kljub temu jih v sodobnem času izpodrivajo digitalni barometri. Glavni vzrok je v strupenosti hlapov živega srebra, ki zahteva zelo previdno ravnanje z njimi [1].



Slika 13: Živosrebrni barometer s skalo (mbar in mmHg) z nonijem [S8]

4.1.2 Aneroid

Aneroid je kovinski barometer. Njegov glavni sestavni del je kovinska posodica narejena iz tanke nagubane pločevine. Gube omogočajo večjo elastičnost posodice. V notranjosti posodice je zelo razredčen zrak. Občutljiva je na spremembo zračnega tlaka in spremembo temperature. Elastičnost posode se zmanjšuje z naraščanjem temperature. Posledično se pod vplivom zračnega tlaka posodica bolj splošči. Ta deformacija se prenese preko mehanizma vzvodov na kazalec, ki kaže vrednosti zračnega tlaka na ustrezni barometriški skali. Tako je odčitek zračnega tlaka pri višji temperaturi večji kot pri nižji temperaturi. Ravno obraten pa je vpliv razredčenega zraka v posodici. Pri naraščanju temperature se povečuje njegov tlak znotraj posode in s tem kompenzira njeno izgubo elastičnosti. Zato v posodicah aneroidov ni popolnega vakuumu [5].

Aneroid je umerjen in kalibriran največkrat z živosrebrnim barometrom. Omogoča enostavno uporabo in je neobčutljiv na prenašanje. Njegovo večjo natančnost dosežemo z zaporedno povezavo več pločevinastih posodic.

Za aneroid je pomembno, da je temperaturno kompenziran. Sestavljen mora biti tako, da se med seboj eliminirajo raztezki, ki so posledica temperaturnih sprememb. To omogoča, da ob različnih temperaturah aneroid kaže pravilne odčitke zračnega tlaka. Poleg tega za aneroid velja, da je neodvisen od vpliva težnostnega pospeška, zato ni potrebno upoštevati njegovega vpliva s korekcijami kot pri živosrebrnem barometru [5].



Slika 14: Mehanski žepni višinomer in barometer

4.1.3 Barograf

Barograf izhaja iz aneroida, ki mu je dodan urni mehanizem. Ta poganja valj na katerega pripnemo papir. Preko mehanizma in peresa se nanj zapisujejo odčitki zračnega tlaka. Tako dobimo pregled nad potekom sprememb zračnega tlaka v izbranem časovnem obdobju [10].



Slika 15: Barograf [S9]

4.1.4 Digitalni barometri

Digitalni barometri pretvarjajo mehanske vplive, ki jih povzroča zračni tlak, v digitalne preko neke električne količine. To je lahko sprememba napetosti, kapacitivnosti ali frekvence. Poznamo piezouporovne barometre. Glavna sestavna elementa sta silicijev čip in silicijeva membrana, ki je nad čipom. Zračni tlak vpliva na membrano. S spreminjanjem njene vrednosti se posledično membrani spreminja upornost. Na podlagi merjenja upornosti lahko določimo vrednost zračnega tlaka. Slabost teh barometrov je, da so zelo odvisni od temperature. Kapacitivni barometri izkoriščajo spremembe v kapacitivnosti, ki jih povzroči sprememba zračnega tlaka. Sestavljeni so iz fiksne in premične plošče,

ki tvorita kondenzator. Premična plošča je podvržena vplivu zračnega tlaka. Kapaciteta kondenzatorja se izračuna: $C = a / d$ (a – konstanta kondenzatorja, d – razdalja med ploščama). Frekvenčni barometri izkoriščajo kremenov kristal, ki služi kot oscilator za električno nihanje. Spreminjanje zračnega tlaka namreč spreminja njegove elektromehanske lastnosti med katerimi je tudi frekvenca [1; 7].



Slika 16: Digitalni barometer na FGG

5 VREMENSKA POSTAJA

Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo poseduje vremensko postajo za merjenje meteoroloških parametrov. Potrebujemo jo tako pri raziskovalnih kot pri izobraževalnih dejavnostih. Sestavljena je iz dveh delov. Prvi del je merilni instrument. Drugi del je sonda, ki se jo priključi na ta instrument.

5.1 Meteo Station HM30

Meteo Station HM30 je večfunkcijski merilni instrument za merjenje meteoroloških parametrov švicarskega podjetja Huber Instrumente AG. Merimo lahko zračni tlak, relativno vlažnost zraka in temperaturo. Lahko se uporablja tudi kot višinomer. Z izmerjenimi parametri preko enačbe, ki je shranjena v internem pomnilniku, izračuna nadmorsko višino. Nabor funkcij in visoka natančnost sta primerna za širok spekter uporabe instrumenta na različnih področjih. Proizvajalec Huber Instrumente AG zagotavlja, da naprava ustreza standardom EN50081/1 in EN50082/1.



Slika 17: Meteo Station HM30

Sestava merilne enote Huber Instrumente HM30:

- LCD zaslon
- 6 večfunkcijskih tipk
- priključek za sondo
- priključek za napajanje
- RS232 priključek za povezavo z računalnikom
- temperaturno tipalo

Povzetek navodil za uporabo:

Delovanje: Za delovanje instrumenta potrebujemo ustrezne baterije oziroma akumulatorje ali napajanje preko 230 V vtičnice z ustreznim napajalnikom. Sondo se poveže preko 5 pinskega priključka. Ima standardno dolžino kabla 1 m, ki je lahko po potrebi daljši. Maksimalna dolžina je 50 m za še ustrezen prenos signala brez oslabitev. Podatki so izpisani na zaslonu LCD in jih lahko preberemo v vsakem trenutku. Na instrumentu je 6 večfunkcijskih tipk, ki nam omogočajo vklop in izklop instrumenta, premikanje po menijih, spreminjanje nastavitvev, pregled po shranjenih meritvah, itd... Možni načini delovanja so prikazani v preglednicah, ki so sestavni del navodil instrumenta. Tehnični podatki iz navodil so v prilogi A. Kadar instrument vklopimo, je le ta vedno v zadnjem nastavljenem načinu delovanja. V prilogi B so prikazane možnosti nastavitvev. Preko njih vnesemo podatke o času in datum, izberemo ustrezne enote posamezne fizikalne količine (npr. zračni tlak [mbar], temperatura [°C], nadmorska višina [m], itd...), določimo druge nastavitve (npr. hitrost prenosa podatkov [9600 baud], avtomatični izklop instrumenta po 10 minutah, interval beleženja meritev v petnajstih možnostih – od 1 s do 24 h), ponastavimo vrednosti na tovarniške nastavitve, zaženemo funkcijo tiskanja).

Za barometrično višinomerstvo moramo preveriti začetno nadmorsko višino z neko referenčno in jo nastaviti. V primeru odstopanj preko nastavitvev popravimo začetno vrednost. To je pomembno, ker se reducirani zračni tlak (QNH) avtomatično izračuna iz nastavljenе višine in trenutno izmerjenega zračnega tlaka. Reducirani zračni tlak je absolutni zračni tlak na znani nadmorski višini, reduciran na ničelno nadmorsko višino. Instrument preko tovarniško nastavljenе enačbe izračuna nadmorsko višino iz trenutno izmerjenega zračnega tlaka in reduciranega zračnega tlaka:

$$h = \left(1 - \left(\frac{ph}{qnh} \right)^{\frac{1}{5,255}} \right) * 44307,7 \quad (E17)$$

kjer je:

ph – zračni tlak na višini h [hPa]

qnh – zračni tlak na ničelni nadmorski višini [hPa]

h – nadmorska višina [m]

Kalibracija: Vrednosti barometra in vgrajenega termometra (TEMP2) se lahko prilagodijo. Enako velja za vrednosti, ki jih merimo s sondo (termometer (TEMP1) in relativna vlažnost). Za to potrebujemo za vsako fizikalno količino natančen referenčni instrument in moramo zagotoviti ustrezne pogoje. Kalibracijo instrumenta sicer izvedejo v matičnem laboratoriju proizvajalca Huber Instrumente AG oziroma za sondo pri Rotronic AG.



Slika 18: Nalepka o kalibraciji na HM30

Instrument HM30 lahko povežemo in upravljamo z računalnikom preko povezave RS232 in ustreznim programskim paketom za Microsoft Windows. To nam omogoča predvsem večjo preglednost nad meritvami, njihovo avtomatsko shranjevanje in hitrejšo obdelavo.

Proizvajalec podaja še nekatere varnostne napotke: Vrednost posameznega merjenega parametra ne sme preseči merilnega območja. To lahko povzroči okvaro senzorja ali instrumenta. Ob izključitvi 230 V napajanja je priporočljivo počakati vsaj 30 s pred ponovno priključitvijo nazaj na električno omrežje. Kadar se instrument uporablja pri temperaturi pod $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, je potrebno uporabiti 9 V baterijo. Mraz namreč zmanjša zmogljivost navadnih alkalnih akumulatorjev, ki v določenem trenutku niso več sposobni napajati instrumenta z dovolj visoko napetostjo. Instrumenta se ne sme uporabljati v okoljih, kjer je nevarnost požara ali eksplozije. Pri menjavi baterije je potrebno paziti na pravilno polariteto.

Vzdrževanje: Sam instrument ne potrebuje posebnega vzdrževanja. Lahko ga obrišemo z vlažno krpo. Pri tem ne smemo uporabljati čistilnih sredstev, ki vsebujejo topila. Priporoča se, da se instrument kontrolira vsaj enkrat letno. Tovarniški laboratorij izvaja kontrolo izmerjenih parametrov po standardu DIN/ISO2533 [12].

5.2 Sonda Rotronic AG Hygromer HP100A



Slika 19: Sonda Hygromer HP100A

Sonda Hygromer HP 100A je proizvod švicarskega podjetja Rotronic AG. Predstavlja instrument za merjenje vlage in temperature. Namenjena je meritvam v zraku in v plinih. Je plod sodobnega razvoja in dolgoletnih izkušenj podjetja ter skupaj s prefinjeno elektroniko garantira visoko natančnost meritev skozi vrsto let. Osnovni podatki uporabljene sonde: Sonda Rotronic AG Hygromer HP100A; serijska številka: HP113A-5LW1F; temperaturni senzor: RTD Pt 100 Class B.

Oznaka RTD pomeni uporovno temperaturno tipalo (Resistance Temperature Detector), oznaka Pt je za kemijski element – platina. Za te vrste tipal velja standard DIN/IEC 60751, ki pod oznako class B podaja: Class B = $\pm(0,3 + 0,005 \cdot t)$ °C ali $100,00 \pm 0,12 \Omega$ pri 0 °C [14]. Tipalo je torej sestavljeno iz platine, ki se ji spreminja upornost ob spremembi temperature. Njena prednost je, da ni podvržena oksidaciji ali koroziji in ima visoko stabilnost. To temperaturno tipalo je namenjeno uporabi tako v laboratorijih kot tudi v raznih industrijskih procesih. Na podlagi serijske številke lahko razberemo, da deluje v temperaturnem področju od -20 do +60 °C (code1) in vlažnosti od 0 do 95% relativne vlage. Natančnost, ki jo podaja proizvajalec pri temperaturi 23 °C [16]:

- vlaga: $\pm 1,5\%$ relativne vlage (v območju od 10% do 95%), sicer $\pm 2,5\%$ relativne vlage (za območja pod 10%RH in nad 95%RH)
- temperatura: $\pm 0,3$ °C

Za potrebe kalibracije ima sonda na elektronskem vezju potenciometre. Z njimi lahko prilagodimo vrednosti vlage pri 35%, 80%, 10% in mejni vrednosti 100% ter minimalno in maksimalno temperaturo. Tehnični podatki za sondo so v prilogi B1.

Delovanje: Sondo povežemo preko 5-pinskega vtikača z merilno postajo Meteo Station HM30. Senzor je zaščiten s kapico in kovinskim mrežastim filtrom. Maksimalna dopustna hitrost zračnega toka okrog sonde je 20 m/s. Višje hitrosti lahko poškodujejo senzor. Sonda za vlago in temperaturo je tovarniško nastavljena in umerjena. Tako tega ni potrebno preverjati pred prvo uporabo instrumenta ampak lahko začnemo direktno z meritvami. Ob vklopu je sonda pripravljena že po 0,5 s. Vendar je zelo pomembno, da je sonda in medij, ki ga merimo, v temperaturnem in vlažnem ravnovesju. Le tako dobimo zanesljivo in verodostojno meritev. Tu proizvajalec podaja primer: pri 50% relativni vlažnosti in 23 °C povzroči razlika za 1 °C med sondo in medijem napako v vlažnosti za 3% relativne vlažnosti. Potrebni čas temperiranja sonde lahko traja do 30 minut in je odvisen od nekaterih dejstev:

- stopnje razlike med vlažnostjo in temperaturo sonde in medija pred začetkom meritve;

- spremembe merjenih vrednosti med časom prilagajanja sonde.

Merjenje vlage je bolj občutljivo in reagira veliko hitreje kot merjenje temperature. Če vrednosti na zaslonu nihajo približno za 0,1%, lahko smatramo, da je prilagajanje oziroma temperiranje končano.

Viri napak:

Napake pri merjenju temperature:

- zaradi prekratkega časa temperiranja;
- direktnega sončnega obsevanja instrumenta med meritvijo, ogrevanja, prepaha, telesne temperature operaterja.

Napake pri merjenju vlage:

- zaradi pare, vodnega pršca, kapljic vode ali same kondenzacije na senzorju itd. Zanesljivost in dolgotrajna stabilnost niso ogroženi, če je sonda izpostavljena visoki vlažnosti ali nasičenosti z vodno paro preko daljšega obdobja. Seveda morajo vrednosti ostati znotraj tovarniško določenih kriterijev.

Napake zaradi kontaminacije:

- posledica onesnaženosti s prahom v zraku ali meritvami v prašnatih snoveh. Temu se lahko izognemo z uporabo ustreznih filtrov. Zaščitni filter moramo redno čistiti ali celo zamenjati, kar je odvisno od stopnje onesnaženosti. Pred čiščenjem moramo zaščitni filter obvezno odstraniti s sonde, da se izognemo poškodbam senzorja. Očistimo ga z blago milnico, alkoholom ali drugim ustreznim čistilom in na koncu dobro speremo z vodo. Predno ga namestimo nazaj na sondo, mora biti popolnoma suh. Če se filtra ne da več očistiti, ga je potrebno zamenjati z novim. V primeru, da so močno umazani tudi senzorji, proizvajalec priporoča njihovo zamenjavo na pooblaščenem servisu.

Sam senzor sonde ni občutljiv na kemikalije, če deluje v območju normalnih koncentracij (MAK – maximum workplace exposure). Pri višjih koncentracijah ali možnostih direktnega kontakta s tekočimi kemikalijami se je potrebno posvetovati s proizvajalcem. To je odvisno od tipa sonde. Sonda, ki jo poseduje fakulteta, je namenjena za meritve temperature in vlažnosti zraka ter plinov (standardni model).

Garancija: Proizvajalec zagotavlja 12 mesečno garancijo za napake v materialu in tovarniške napake. Pri tem ne prevzema odgovornosti za uporabo instrumenta na področjih za katere ni namenjen.

Vzdrževanje in servis:

Temperatura: Kalibracijo izvede proizvajalec pred dobavo sonde, zato na začetku ni potrebna nobena prilagoditev temperature. V primeru dvomov v pravilnost vrednosti, se je potrebno obrniti na proizvajalca. Ostale tehnične specifikacije so v navodilih. Enako kot pri Meteo Station HM30, tudi za sondo velja priporočilo kontrole enkrat letno. Certifikat prve tovarniške kalibracije je v prilogi B2.

Vlaga: Proizvajalec pred dobavo opravi tritočkovno kalibracijo. To doprinese optimalno natančnost preko celotnega merilnega območja. Proizvajalec Rotronic priporoča njihove teste za vlago. Sestavljeni so iz nenasičenih raztopin soli, ki jih lahko hranimo daljši čas.

V navodilih proizvajalec posebej definira:

Kalibracija: kontrola meritev z Rotronicovimi testi za vlago.

Prilagoditev: kalibracija + dodatna prilagoditev sonde na točne vrednosti.

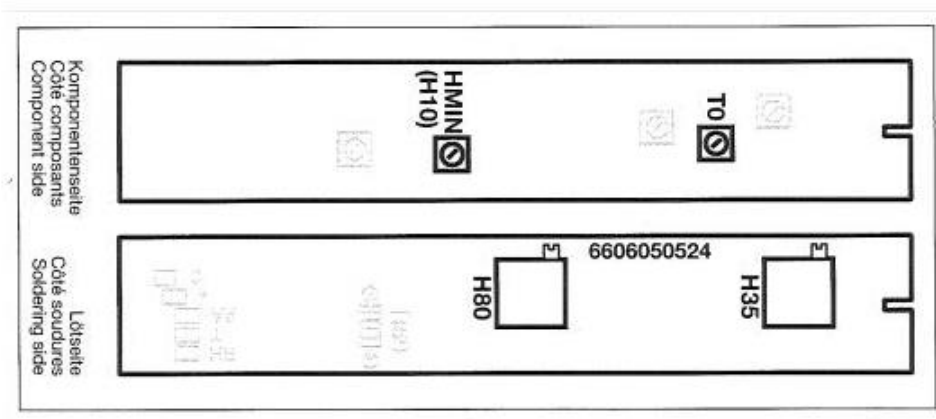
Proizvajalec sonde Rotronic AG omogoča tri možnosti prilagoditve sonde: enotočkovna prilagoditev pri 35% relativne vlage je zadostna, če merimo predvsem v srednjem območju relativne vlage (20% - 70%); bolj natančno dvotočkovno prilagoditev pri 35% in 80% priporočajo, če merimo zračno vlago tudi pri vrednostih višjih od 70% relativne vlage; tritočkovna prilagoditev se opravlja, če izvajamo meritve preko celotnega merilnega območja pri 35%, 80% in 10% relativne vlage. Katerikoli postopek uporabimo moramo vedno obvezno uporabiti pravilno zaporedje za prilagoditvene točke (najprej pri 35%, nato 80% in nazadnje pri 10%).

Za kalibracijo je potrebno upoštevati naslednja pravila:

- a) Kalibracija naj poteka v prostoru s konstantno temperaturo (po možnosti $23\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$). Pri tem se je potrebno izogniti možnostim raznih toplotnih vplivov na meritve (prepih, direktno sončno obsevanje, gretje, ventilacija itd).
- b) Sonda in še posebej njena kalibracijska naprava naj bo postavljena na izolirano površino, da omogočimo optimalno temperaturno prilagoditev.
- c) Kalibracijo pričnemo pri vrednosti 35% (potenciometer H35) relativne vlage. Nato nadaljujemo pri 80% (potenciometer H80) in nazadnje pri 10% (potenciometer Hmin), če opravljamo dvo- ali tritočkovno kalibracijo.

Koraki kalibracije:

1. Odvijte pokrovček na spodnjem delu kalibracijske naprave.
2. Na sondi odvijte zaščitni filter in privijte kalibracijsko napravo na sondo. Delajte previdno, da ne poškodujete tipal.
3. Odvijte tri majhne vijake na ohišju sonde in izvalcite ven elektroniko sonde (tiskano vezje).
4. Vstavite krog iz tekstila v predvideno posodico.
5. Pretresite ampulo dokler ni vsa tekočina v njenem debelejšem delu.
6. Odlomite ampulo pri belem označenem delu in izpraznite celotno vsebino na sredino kroga iz tekstila (rahlo potrkajte po ampuli, da izpraznite celotno vsebino).
7. Takoj privijte posodico na spodnji del kalibracijske naprave.
8. Postavite kalibracijsko napravo na izolirano površino in jo pustite vsaj eno uro.
9. Preverite vrednost na zaslonu. Če je potrebno, izvedite prilagoditev na posameznem ustreznem potenciometru z majhnim izvijačem.
10. Odstranite posodico s kalibracijske naprave.
11. Odstranite obroček iz tekstila in ga odvrzite v smeti.
12. Dobro izperite posodico pod tekočo vodo in jo skrbno posušite.
13. Glede na to, katero kalibracijsko metodo ste izbrali, ponovite proces od točke 4 do 12 glede na izvedbo ustreznega testa za vlago.
14. Potisnite tiskano vezje s potenciometri nazaj v ohišje sonde in skrbno privijte tri vijake.
15. Previdno odstranite kalibracijsko napravo in ponovno namestite zaščitni filter.



Slika 20: Shematski prikaz potenciometrov za prilagoditve na tiskanem vezju sonde [S10]

Zgoraj napisani koraki kalibracije in prilagoditve sonde so napisani v navodilih proizvajalca. Seveda so kalibracijska naprava in testi za vlago del njihove dodatne ponudbe. Za prilagoditev temperature ni v navodilih nič omenjeno. Glede na skico tiskanega vezja, predvidevamo, da je na njem poleg potenciometrov za vlago tudi potenciometer za temperaturo. Za prilagoditev temperature potrebujemo referenčni termometer in zagotoviti moramo ustrezne pogoje. Če tega ne moremo zagotoviti, je bolje, da sondo kalibrira laboratorij proizvajalca ali druga ustrezna institucija [13].

6 IZDELAVA NAPRAVE ZA PRISILNI VPIH ZRAKA

Namen naprave za prisilni vpih zraka je, da izmerimo dejansko temperaturo zraka in ne temperaturo, ki jo sevajo bližnji predmeti v okolici. Sama konstrukcija in ideja naprave je preprosta. Ustvariti moramo zračni tok, v katerega namestimo tipalo sonde vremenske postaje Meteo Station HM30 ter izmerimo temperaturo in zračno vlago. Tehnična izvedba izdelave naprave za prisilni vpih zraka je predstavljala nekoliko večji izziv. Nekaj osnovnih vprašanj na začetku je bilo: Kako ustvariti zračni tok? Kakšen ventilator uporabiti? Kako poskrbeti za napajanje? Na kakšen način fiksirati sondo v času meritev in kako jo na koncu varno odstraniti?

Uporabil sem cev PVC za hišne odtoke dolžine 30 cm. Na priključnem delu ima cev zunanji premer 75 mm. V ta del sem namestil ventilator dimenzij 60x60 mm. Kvadratnemu ohišju je bilo potrebno obžagati robove in ga čim tesneje prilagoditi premeru cevi. Za zapolnitev rež na obodu sem izdelal obročka iz laminirane pene, ki ustrežata premeru vetrnice ventilatorja na notranji strani in notranjemu premeru cevi na zunanji strani. Ventilator je pritrjen v cev z lepilom za vroče lepljenje in z obeh strani obdan s tesno prilegajočima se obročkoma. To omogoča nemoten zračni tok skozi cev, saj zrak lahko potuje le skozi ventilator in se ne vrtinči ob obodu. Motor ventilatorja se med delovanjem nekoliko greje, kar bi lahko imelo vpliv na izmerjene vrednosti temperature. Zato sem ventilator obrnil tako, da ob delovanju povzroča sesalni zračni tok skozi cev. Žici za napajanje ventilatorja sem speljal skozi luknjico na zunanjo stran cevi.



Slika 21: Namestitev ventilatorja

Na terenu je velikokrat težava z navadnimi baterijami, ki se ob nepravem trenutku izrabijo, smo pa brez rezervnih. Pri navadnih polnilnih baterijah je potrebno imeti polnillec pri roki, poleg tega potrebujemo še vtičnico 230 V. Zato je padla ideja o uporabi standardnih modelov baterij za tahimetre proizvajalca Leica. Za delo na terenu se namreč vedno poskrbi za polno rezervno baterijo instrumenta. Te baterije imajo sicer v večini nekoliko nižjo napetost od ventilatorja (12 V). Posledično teče nekoliko višji električni tok ob delovanju ventilatorja, vendar je njegova obremenitev dovolj majhna, da ni nobenih skrbi za prehitro izpraznitev baterije. Za izpeljavo ideje sem potreboval le še nosilec baterije. Po nekajtedenskem iskanju so mi ga odstopili v podjetju Geoservis d.o.o. kot del uničene polnilne postaje. Na nosilec sem namestil klecno stikalo ON/OFF in povezal ožičenje ventilatorja preko stikala do kontaktov za baterije. Za pravilno smer vrtenja ventilatorja je potrebna pravilna polariteta kontaktov. Sledila je izdelava platforme za nosilec baterije iz stirodurja, ki se prilega na cev PVC. Celoten nosilec in platformo sem pritrdil na cev z obojestranskim lepilnim trakom. Vse skupaj še dodatno učvrstil z lepilom za vroče lepljenje in oblepil z aluminijastim lepilnim trakom.



Slika 22: Nosilec baterije s klecnim stikalom

Sledi še izvedba nosilca sonde. Zanj sem uporabil hitro spojko za cevi namakalnega sistema. Z njo lahko namakalno cev s kratkim zasukom na spojki fiksiramo ali sprostimo. Največji problem je predstavljal notranji premer spojke, ki je bil manjši od premera sonde (25 mm). Ker je spojka nehomogene oblike in iz materiala PVC, jo je praktično nemogoče trdno vpeti v neko delovno orodje.

S potrpežljivim povrtavanjem mi je uspelo povečati premer, ki je ustrežal dimenziji sonde. Za namestitev sonde sem potreboval še luknjo v cevi s premerom 28 mm na približno 2/3 od ventilatorja. Izvrtal sem nekoliko manjšo luknjo in jo ročno popilil do ustrezne dimenzije kroga. Z direktnim vrtnjem prave dimenzije v okroglo cev bi namreč dobil elipso. Sledila je namestitev nosilca sonde na cev. Vse skupaj je še dodatno učvrščeno z lepilom za vroče lepljenje in oblepljeno z aluminijastim lepilnim trakom.



Slika 23: Nosilec sonde



Slika 24: Končni izgled z nameščeno baterijo

7 DEJANSKI LOMNI KOLIČNIK IN VPLIVI METEOROLOŠKIH PARAMETROV

Pri merjenju daljših dolžin z elektronskimi razdaljmeri moramo meriti tudi meteorološke parametre. To so temperatura zraka, zračni tlak in parcialni tlak vodne pare. Dolžina, ki nam jo poda instrument ob meritvi, je izračunana glede na referenčne pogoje, ki so izbrani s strani proizvajalca instrumenta. Upoštevati moramo dejanske pogoje v času izvedbe meritve dolžine. Različni atmosferski vplivi pogojujejo spremembo gostote zraka, po katerem se z drugačno hitrostjo od referenčne širi elektromagnetno valovanje. Za relativno spremembo dolžine lahko podamo poenostavljeno enačbo:

$$dD = -D * dn_D = -D * 10^{-6} * dN \quad (E18)$$

Pri tem je relativna sprememba lomnega količnika dn_D po absolutni vrednosti enaka relativni spremembi dolžine dD . Njun predznak pa je nasproten [16].

7.1 Parcialni tlak vodne pare

Parcialni tlak vodne pare e izračunamo po enačbi:

$$e = \eta * E \quad (E19)$$

Seveda moramo pri tem poznati tlak nasičene vodne pare E pri izmerjeni temperaturi t_s in t_m ali relativni vlažnosti zraka η in zračnem tlaku p [16].

7.1.1 Tlak nasičene vodne pare izračunan iz mokre temperature

Če na terenu uporabljamo psihrometer, lahko iz mokre in suhe temperature izračunamo najprej tlak nasičene vodne pare E_m za mokro temperaturo. Uporabimo lahko Magnus-Tetensovo enačbo ali katero drugo, ki zagotavlja ustrezno natančnost [16]:

$$E_m = 10^{\left(\frac{\alpha * t_m}{\beta + t_m} + \gamma\right)} \quad (\text{E20})$$

kjer je:

t_m – temperatura mokrega termometra [°C]
 α, β, γ – empirično določene konstante [torr ali hPa]

Delni tlak vodne pare izračunamo po Sprungovi enačbi:

$$e = E_m - (t_s - t_m) * \frac{K}{755} * p \quad (\text{E21})$$

kjer je:

t_s – temperatura suhega termometra [°C]
 t_m – temperatura mokrega termometra [°C]
 K – empirično določena konstanta [torr ali hPa]
 p – zračni tlak [torr ali hPa]

Vrednost konstant α, β, γ, K je različna, če je muslinova krpicica na mokrem termometru obdana z vodo ali ledom. Pri tem velja opozoriti še na pojav podhlajene vode. Takrat je mokri termometer pod vodo, čeprav je temperatura zraka lahko precej pod 0 °C [16; 17].

Magnus-Tetensovo enačbo (E20) vnesemo v Sprungovo enačbo (E21) in dobimo parcialni tlak vodne pare:

$$e = 10^{\left(\frac{\alpha * t_m}{\beta + t_m} + \gamma\right)} - (t_s - t_m) * \frac{K}{755} * p \quad (\text{E22})$$

7.1.2 Tlak nasičene vodne pare izračunan iz suhe temperature

V nalogi je za nasičen tlak vodne pare uporabljena Magnus – Tetensova enačba (E20), ki se jo pogosto uporablja v praksi. V svojem algoritmu upošteva temperaturo mokrega termometra. Magnus – Tetensovo enačbo lahko nadomestimo s katerokoli drugo enačbo, ki zadosti natančnosti. V preteklosti in tudi sedanjosti potekajo na temo določevanja nasičenega tlaka vodne pare številne raziskave. Cilj je poiskati poenostavljeno enačbo za določeno temperaturno območje, ki bo še vedno zagotavljala dovolj visoko natančnost in se čim bolj približala najbolj natančnim znanim enačbam za nasičen tlak vodne pare. To so osnovne enačbe (priloga C) imenovane po njihovih avtorjih: Goff & Gratch (1946), Wexler (1976) in Sonntag (1990). Eno takih raziskav sta opravila Oleg A. Alduchov in Robert E. Eskridge leta 1995 in podala enačbo za nasičen tlak vodne pare, ki je izračunan iz suhe temperature [17]:

$$E_s = 6,1094 \frac{17,625 * t_s}{243,04 + t_s} \quad (\text{E23})$$

Ugotovila sta, da so lahko napake pri izračunu nasičenega tlaka vodne pare s poenostavljenimi enačbami manjše, kot napake instrumentov in odčitavanja vrednosti parametrov. Standardna praksa v meteorologiji je, da se temperatura beleži na 0,1°C natančno. Zato bo napaka zaokroževanja pri temperaturi manjša ali enaka 0,05°C. Maksimalna napaka nasičenega tlaka vodne pare E , ki je odvisen le od temperature in izračunan z eno od osnovnih enačb, bi tako bila [17]:

$$\delta E(t_s) = \max_{-0,05 \leq \tau \leq 0,05} |E(t) - E(t_s + \tau)| \quad (\text{E24})$$

kjer je:

- δE – napaka določitve nasičenega tlaka vodne pare
- E – nasičen tlak vodne pare, izračunan z eno od osnovnih enačb
- τ – interval odstopanja
- t_s – temperatura suhega termometra

S tem sta dobila mero natančnosti ali interval zaupanja za aproksimacijo, ki sta jo iskala glede na osnovne tri enačbe v temperaturnem območju od -40° do $+50^\circ\text{C}$:

$$d = \max_{-40 \leq t \leq 50} \left| \frac{E_s - E(t_s)}{\delta E(t_s)} \right| \quad (\text{E25})$$

kjer je:

- d – mera natančnosti
- E_s – nasičen tlak vodne pare izračunan z aproksimacijo iz suhe temperature
- E – nasičen tlak vodne pare izračunan z eno od osnovnih enačb
- δE – napaka določitve nasičenega tlaka vodne pare

Njun sklep je bil, da je natančen približek E_s dovolj natančen, če razlika z osnovnimi enačbami ne znaša več kot napaka pri zaokroževanju temperature. Izbrala sta postopek iskanja minimumov od maksimalnih odklonov. Rezultat njune raziskave je enačba (E23) oziroma dovolj natančna aproksimacija za nasičen tlak vodne pare nad vodo v temperaturnem območju od -40°C do $+50^\circ\text{C}$, ki zadostuje postavljenim začetnim pogojem. Njuno enačbo bi lahko uporabil namesto Magnus – Tetensove enačbe (E20) [17].

7.2 Dejanski lomni količnik

Pri elektrooptičnih razdaljemerih za izračun dejanskega lomnega količnika n_D uporabljamo v geodeziji enačbo, ki sta jo podala H. Barrell in S. E. Sears ter jo je poenostavil F. Kohlrausch. Po njej interpoliramo redukcijo normalne atmosfere v dejanske atmosfere pogoje, ki smo jih izmerili na terenu [16].

$$n_D = 1 + \frac{n_G - 1}{1 + \alpha_z * t_s} * \frac{p}{760} - \frac{5,5 * 10^{-8}}{1 + \alpha_z * t_s} * e \quad -p \text{ in } e \text{ v [torr]} \quad (\text{E26})$$

$$n_D = 1 + \frac{n_G - 1}{1 + \alpha_z * t_s} * \frac{p}{1013,25} - \frac{4,1 * 10^{-8}}{1 + \alpha_z * t_s} * e \quad -p \text{ in } e \text{ v [hPa]} \quad (\text{E27})$$

kjer je:

- n_G – grupni lomni količnik svetlobe pri dejanskih razmerah (T, p, e)
- p – zračni tlak [torr ali hPa]
- t_s – temperatura suhega termometra [°C]
- e – delni tlak vodne pare [torr ali hPa]
- α_z – razteznostni koeficient zraka ($\alpha_z = 1/273,16 \text{ °C} = 0,00366 \text{ °C}^{-1}$)

V enačbi (E20) za dejanski lomni količnik n_D v [hPa] nadomestimo člen za delni tlak vodne pare in dobimo [17]:

$$n_D = 1 + \frac{n_G - 1}{1 + \alpha_z * t_s} * \frac{p}{1013,25} - \frac{4,1 * 10^{-8}}{1 + \alpha_z * t_s} * 10^{\left(\frac{\alpha * t_m + \gamma}{\beta + t_m}\right)} + \frac{4,1 * 10^{-8}}{1 + \alpha_z * t_s} * t_s * \frac{K}{755} * p - \frac{4,1 * 10^{-8}}{1 + \alpha_z * t_s} * t_m * \frac{K}{755} * p \quad (\text{E28})$$

Z odvodom enačbe za dejanski lomni količnik n_D po vseh merjenih meteoroloških parametrih izrazimo vpliv njihovih pogreškov:

$$dn_D = \frac{\partial n_D}{\partial p} * dp + \frac{\partial n_D}{\partial t_s} * dt_s + \frac{\partial n_D}{\partial t_m} * dt_m \quad (\text{E29})$$

pri čemer so posamezni parcialni odvodi po merjenih količinah [17]:

$$\frac{\partial n_D}{\partial p} = \frac{n_G - 1}{1 + \alpha_z * t_s} * \frac{1}{1013,25} + \frac{4,1 * 10^{-8}}{1 + \alpha_z * t_s} * (t_s - t_m) * \frac{K}{755} \quad (\text{E30})$$

$$\frac{\partial n_D}{\partial t_s} = - \frac{(n_G - 1) * p * \alpha_z}{(1 + \alpha_z * t_s)^2 * 1013,25} + \frac{4,1 * 10^{-8} * 10^{\left(\frac{\alpha * t_m + \gamma}{\beta + t_m}\right)} * \alpha_z}{(1 + \alpha_z * t_s)^2} + \frac{4,1 * 10^{-8} * K * p * (1 + t_m * \alpha_z)}{(1 + \alpha_z * t_s)^2 * 1013,25} \quad (\text{E31})$$

$$\frac{\partial n_D}{\partial t_m} = - \frac{4,1 * 10^{-8}}{1 + \alpha_z * t_s} * 10^{\left(\frac{\alpha * t_m + \gamma}{\beta + t_m}\right)} * \ln 10 * \frac{\beta * \alpha}{(\beta + t_m)^2} - \frac{4,1 * 10^{-8}}{1 + \alpha_z * t_s} * \frac{K}{755} * p \quad (\text{E32})$$

Če računamo z delnim tlakom vodne pare e :

$$\frac{\partial n_D}{\partial e} = - \frac{4,1 * 10^{-8}}{1 + \alpha_z * t_s} \quad (\text{E33})$$

Če na terenu ne merimo mokre temperature, ampak relativno zračno vlago η in suho temperaturo t_s , izračunamo parcialni odvod enačbe po relativni zračni vlagi [17]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial n_D}{\partial \mu} &= - \frac{4,1 * 10^{-8}}{1 - \alpha_z * t_s} * E_s * \frac{1}{100} = \\ &= - \frac{4,1 * 10^{-8}}{1 - \alpha_z * t_s} * 6,1094 * \frac{17,625 * t_s}{243,04 + t_s} * \frac{1}{100} \end{aligned} \quad (\text{E34})$$

Če sedaj preuredimo enačbo (E18) in za dejanski lomni količnik vstavimo odvode po vseh merjenih meteoroloških parametrih, dobimo:

$$dD = -D * dn_D = \left(\frac{-\partial n_D}{\partial p} * dp + \frac{\partial n_D}{\partial t_s} * dt + \frac{\partial n_D}{\partial t_m} * dt_m \right) * 10^{-6} D \quad (E35)$$

Relativna sprememba lomnega količnika je po absolutni vrednosti enaka relativni spremembi dolžine z nasprotnim predznakom. Glede na izbrane srednje vrednosti meteoroloških pogojev lahko izračunamo približen vpliv posameznih meteoroloških parametrov na spremembo dolžine [17]. Kot primer uporabimo instrument Leica TS30 z valovno dolžino $\lambda = 0,658 \mu\text{m}$ in si izberemo za srednje vrednosti meteoroloških pogojev:

- $t_s = 20 \text{ }^\circ\text{C}$
- $t_m = 15 \text{ }^\circ\text{C}$
- $p = 1000 \text{ hPa}$
- $e = 13,7 \text{ hPa}$
- $\eta = 58,6 \text{ } \%$

Če izbrane srednje vrednosti meteoroloških pogojev vstavimo v enačbe parcialnih odvodov po posameznih merjenih količinah (E30) do (E34), dobimo:

$$\frac{\partial n_D}{\partial p} = 0,28 * 10^{-6} \text{ hPa}^{-1}$$

$$\frac{\partial n_D}{\partial t_s} = -0,91 * 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$$

$$\frac{\partial n_D}{\partial t_m} = -0,07 * 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$$

$$\frac{\partial n_D}{\partial e} = -0,04 * 10^{-6} \text{ hPa}^{-1}$$

$$\frac{\partial n_D}{\partial \mu} = -0,004 * 10^{-6} \text{ } \%^{-1}$$

Sprememba dolžine pri izbranem instrumentu, ki je odvisna od sprememb meteoroloških parametrov, tako znaša:

$$dD = -D * dn_D = (-0,28 * dp + 0,91 * dt + 0,07 * dt_m) * 10^{-6} * D \quad (E36)$$

Posamezna spodaj zapisana vrednost meteorološkega parametra prinese približno 1 mm/km (1ppm) relativne spremembe vrednosti merjene dolžine [16]. Vrednosti so podane za instrument Leica TS30 z valovno dolžino $\lambda = 0,658 \mu\text{m}$ in izbranimi srednjimi vrednostmi meteoroloških pogojev :

- $p = 4 \text{ hPa}$ ali
- $t_s = 1 \text{ }^\circ\text{C}$ ali
- $t_m = 15 \text{ }^\circ\text{C}$ ali
- $e = 25 \text{ hPa}$

8 MERITVE

Izvedli smo dva sklopa meritev v razmiku nekaj tednov. V obeh primerih smo preizkušali različne možnosti glede postavitve sonde in preverjali čas temperiranja instrumentov. Pri vseh meritvah je popravljena vrednost za $+0,3 \text{ }^\circ\text{C}$ pri termometru za suho temperaturo na psihrometru 1. Uporabljeni instrumentarij: Vremenska postaja Meteo Station HM30 s sondo Rotronic AG Hygromer HP 100A, Psihrometra (Psi1 in Psi2), naprava za prisilni vpih zraka.



Slika 25: Izvajanje meritev

8.1 Meritve I

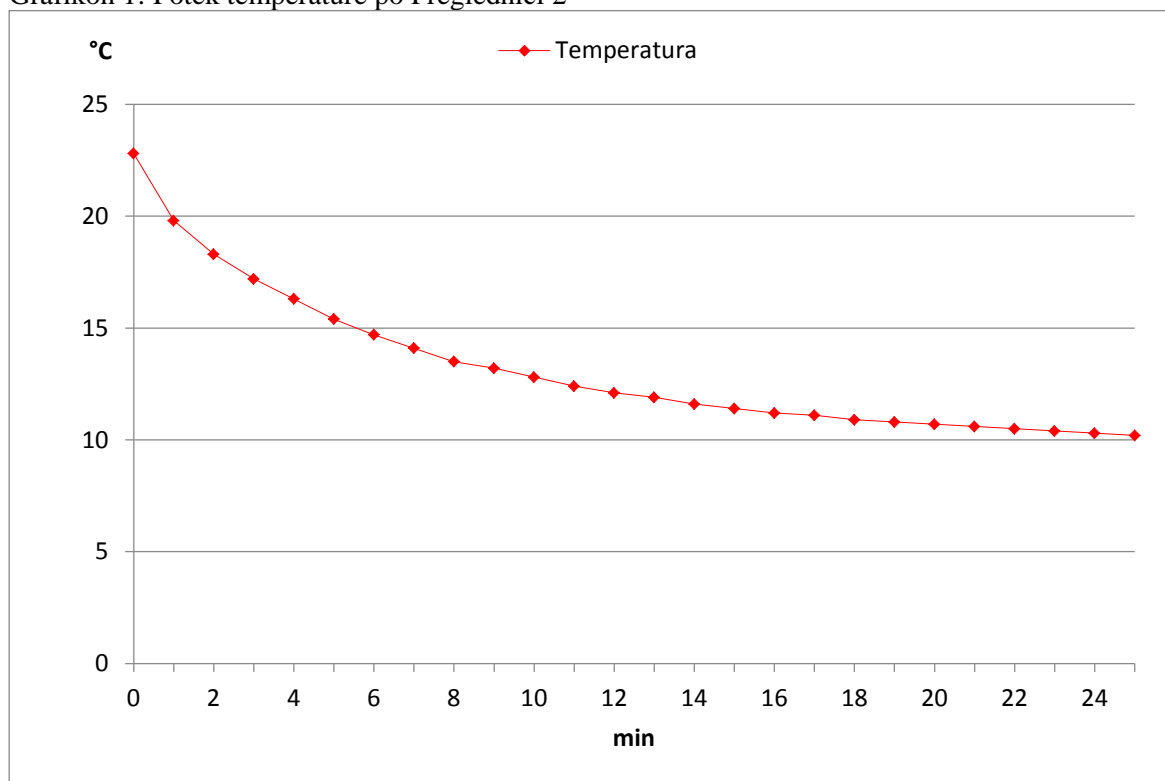
Datum: 19. 10. 2015. Vreme: hladno, rahel dež, rahel veter.

8.1.1 Temperiranje sonde – padajoča temperatura

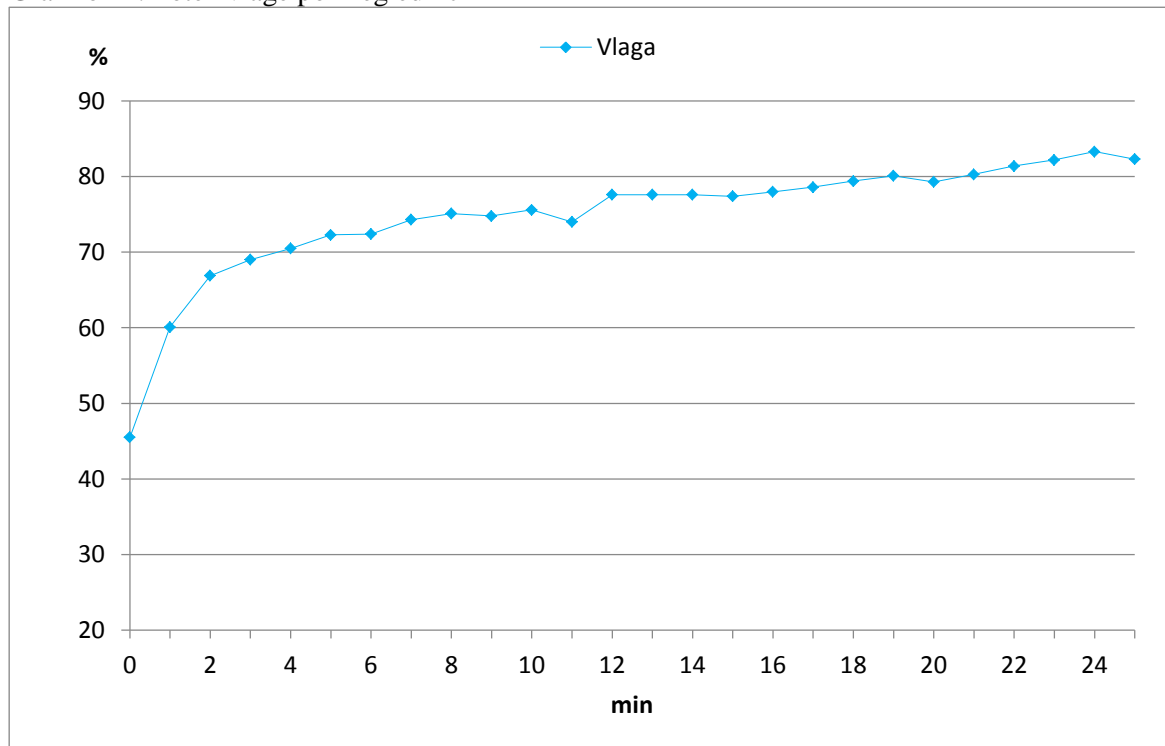
Preglednica 2: Temperiranje sonde na strehi FGG

Čas [min]	t [°C]	μ [%]	p [mbar]
0	22,8	45,5	977,1
1	19,8	60,1	977,1
2	18,3	66,9	977,2
3	17,2	69,0	977,1
4	16,3	70,5	977,1
5	15,4	72,3	977,1
6	14,7	72,4	977,1
7	14,1	74,3	977,1
8	13,5	75,1	977,1
9	13,2	74,8	977,1
10	12,8	75,6	977,2
11	12,4	74,0	977,2
12	12,1	77,6	977,2
13	11,9	77,6	977,2
14	11,6	77,6	977,2
15	11,4	77,4	977,2
16	11,2	78,0	977,2
17	11,1	78,6	977,2
18	10,9	79,4	977,2
19	10,8	80,1	977,2
20	10,7	79,3	977,3
21	10,6	80,3	977,3
22	10,5	81,4	977,3
23	10,4	82,2	977,3
24	10,3	83,3	977,2
25	10,2	82,3	977,2

Grafikon 1: Potek temperature po Preglednici 2



Grafikon 2: Potek vlage po Preglednici 2

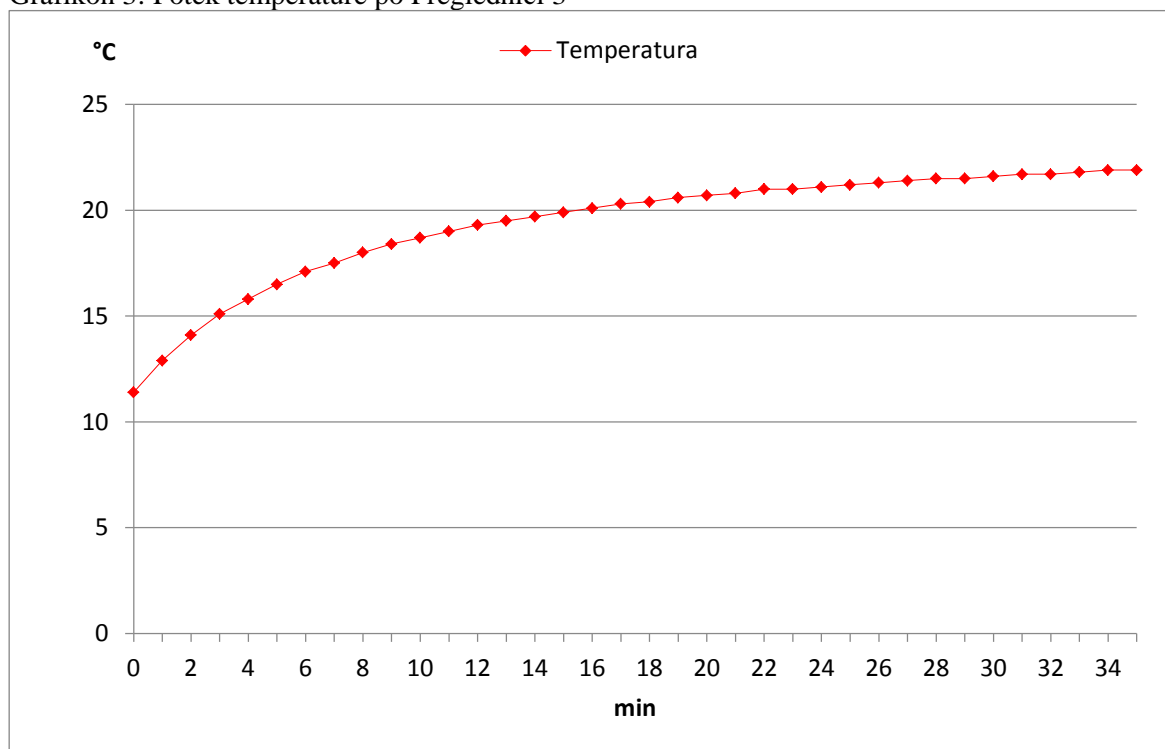


8.1.2 Temperiranje sonde – naraščajoča temperatura

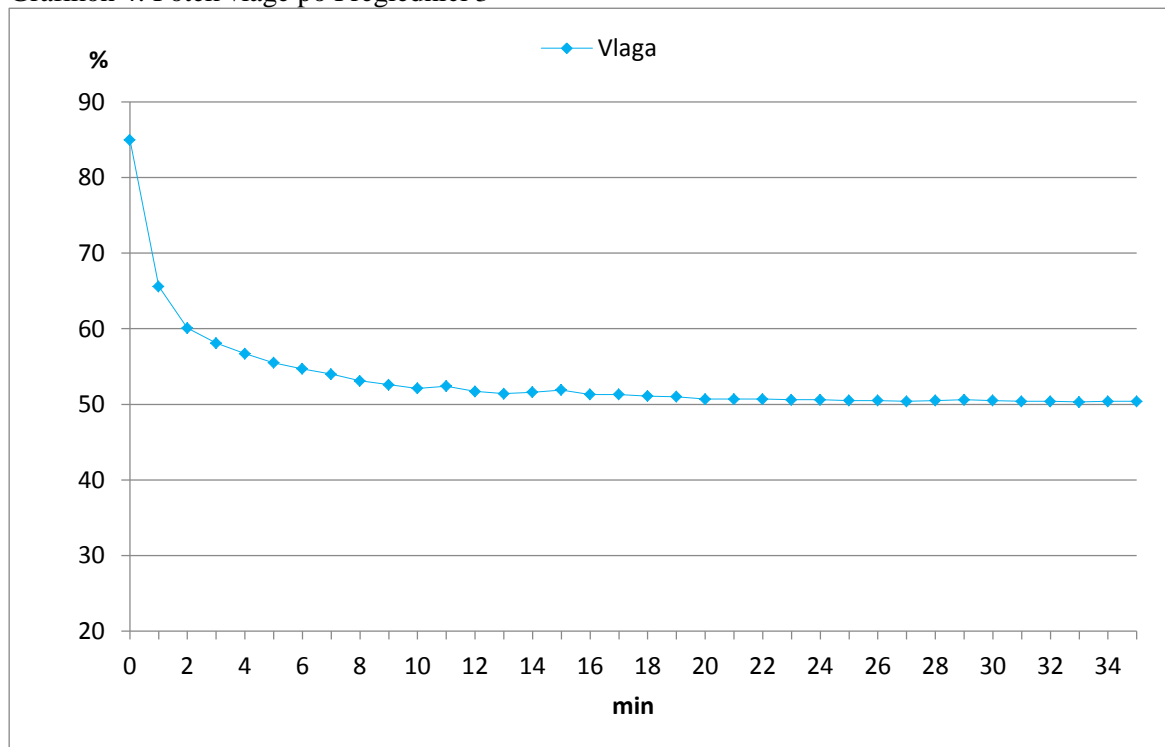
Preglednica 3: Temperiranje sonde v zimskih vajah

Čas [min]	t [°C]	μ [%]	p [mbar]
0	11,4	85,0	980,5
1	12,9	65,6	980,6
2	14,1	60,1	980,5
3	15,1	58,1	980,4
4	15,8	56,7	980,4
5	16,5	55,5	980,3
6	17,1	54,7	980,4
7	17,5	54,0	980,3
8	18,0	53,1	980,3
9	18,4	52,6	980,2
10	18,7	52,1	980,1
11	19,0	52,4	980,1
12	19,3	51,7	980,2
13	19,5	51,4	980,1
14	19,7	51,6	980,0
15	19,9	51,9	980,0
16	20,1	51,3	980,0
17	20,3	51,3	979,9
18	20,4	51,1	980,1
19	20,6	51,0	980,0
20	20,7	50,7	979,9
21	20,8	50,7	979,9
22	21,0	50,7	979,9
23	21,0	50,6	979,9
24	21,1	50,6	979,9
25	21,2	50,5	979,8
26	21,3	50,5	979,7
27	21,4	50,4	979,8
28	21,5	50,5	979,8
29	21,5	50,6	979,8
30	21,6	50,5	979,8
31	21,7	50,4	979,9
32	21,7	50,4	979,9
33	21,8	50,3	979,9
34	21,9	50,4	979,9
35	21,9	50,4	980,0

Grafikon 3: Potek temperature po Preglednici 3



Grafikon 4: Potek vlage po Preglednici 3



Iz grafikonov 1 in 3 lahko razberemo potek spreminjanja temperature s časom. V obeh primerih je razbrati, da instrument potrebuje časovno prilagoditev temperaturne sonde na temperaturo okolice, ki jo merimo. To je najbolj očitno v primerih, ko je temperaturna razlika med instrumentom in okolico

velika. Meritev na strehi FGG smo zaključili po 22 minutah. Temperatura se je sicer še spreminjala za vrednosti 0,1 °C. Vendar glede na navodila proizvajalca sonde lahko smatramo, da je temperiranje končano. Meritve v zimskih vajah smo namenoma podaljšali na 35 minut. Čas temperiranja sonde ja praktično enak prejšnji meritvi. Zopet se je temperatura spreminjala za 0,1 °C v zadnjih desetih minutah. To bi lahko pojasnili kot možen vpliv prisotnosti dveh oseb v manjšem prostoru, ki s svojo telesno temperaturo ta prostor segrevata.

Grafikona 2 in 4 za relativno vlago ponazarjata njeno spreminjanje s časom. Glede na njun potek lahko sklepamo, da tako kot temperaturni senzor, tudi senzor za vlago potrebuje čas za prilagoditev na večjo spremembo relativne vlage.

Proizvajalec navaja v navodilih, da je čas prilagoditve sonde 30 minut. Tega na začetku nismo pričakovali. Sklepali smo namreč, da se sonda prilagodi bistveno hitreje. Za dodatne informacije sem se obrnil na tehnično pomoč proizvajalca Rotronic AG, kjer so potrdili čas 30-ih minut za prilagajanje pri večjih temperaturnih razlikah. Med njihovimi proizvodi imajo sonde, ki so bolj občutljive in imajo bistveno krajši čas temperiranja.

V preglednicah 2 in 3 so še podatki za zračni tlak. Iz njih lahko razberemo, da tipalo v instrumentu ne potrebuje veliko časa za prilagoditev in so podatki merodajni od začetka meritev.

8.1.3 Meritve pri različnih položajih sonde

V tem sklopu meritev smo preizkusili možnosti postavitve sonde na nosilcu naprave za prisilni vpih.



Slika 26: Sonda na sredini

Preglednica 4: Testiranje skrajnih leg v napravi za prisilni vpih zraka

Meritev: zimske vaje				Meritev: streha FGG			
Sonda	t [°C]	μ [%]	p [mbar]	Sonda	t [°C]	μ [%]	p [mbar]
Skrajno notri	23,0	49,2	980,2	Skrajno notri	9,4	85,3	977,6
Sredina	23,0	49,8	980,0	Sredina	9,4	85,0	977,4
Skrajno zunaj	23,0	49,4	980,1	Skrajno zunaj	9,4	84,9	977,5

Pri testiranju skrajnih leg smo preverili možen vpliv slabo postavljene sonde v nosilec naprave za prisilni vpih zraka. Sredinska postavitvev je optimalna. Takrat je sonda sredi naprave in zračni tok nemoteno poteka okrog nje. Postavitvev skrajno notri pomeni, da je sonda potisnjena do stene cevi za prisilni vpih. Cevi se dotika s pokrovom, ki obdaja zaščitni filter. Tipali za temperaturo in relativno vlago sta pri tem odmaknjeni od sredine zračnega toka vendar sta mu še vedno primerno izpostavljeni.

Pri postavitvi skrajno zunaj je sonda postavljena v nosilec tako, da je le zaščitni filter viden v cevi za prisilni vpih. Tudi tokrat zračni tok lepo potuje mimo obeh tipal.

Iz dobljenih podatkov sklepamo, da različna postavitve sonde nima vpliva na rezultate meritev temperature. Nekoliko nihanja je nastalo pri merjenju relativne vlage vendar bi težko ocenili ali je to posledica postavitve sonde. Na podoben pojav smo naleteli pri naslednjem testu.

8.1.4 Rotacija sonde

Sondo smo obračali v nosilcu za kot 45° in beležili podatke.

Preglednica 5: Testiranje vpliva rotacije sredinsko postavljene sonde

Meritve: zimske vaje			
Kot [°]	t [°C]	μ [%]	p [mbar]
0	23,3	49,5	980,1
45	23,3	49,9	980,2
90	23,3	50,2	980,2
135	23,3	50,6	980,2
180	23,3	49,5	980,2
225	23,3	49,4	980,2
270	23,2	49,3	980,2
315	23,3	49,2	980,2
360	23,3	49,2	980,3

Preglednica 6: Testiranje vpliva rotacije sredinsko postavljene sonde

Meritve: streha FGG			
Kot [°]	t [°C]	μ [%]	p [mbar]
0	10,1	83,3	977,2
45	10,1	83,4	977,2
90	10,0	83,8	977,2
135	10,0	83,7	977,2
180	10,0	83,1	977,2
225	10,0	83,3	977,2
270	10,0	83,2	977,2
315	10,0	83,5	977,2
360	10,0	82,1	977,5

V tem poskusu smo testirali vpliv rotacije sonde v nosilcu za prisilni vpih zraka. Kot rotacije je bil 45° in meritve opravljene v približno 10 sekundnih intervalih. Podatki kažejo, da na temperaturo nima rotacija nobenega vpliva. Neka nihanja nastajajo pri meritvah zračne vlage, ki jih težko pojasnimo. Glede na kratek interval meritev, niso nastala zaradi naravne spremembe vlage v zraku. Eden od sklepov je, da je to lahko vpliv papirčka s serijsko številko, ki je del tipala in tovarniško nameščen nanj. Tipalo bi lahko slabše zaznavalo pretok zraka neposredno mimo, kadar je obrnjeno vzporedno z zračnim tokom. Z vsako rotacijo se poveča njegova izpostavljenost zračnemu toku, do popolne izpostavljenosti, ko sondo rotiramo za 90° od začetne vzporedne lege. Takrat je papirček pravokoten na smer zračnega toka. To je le naša domneva. Večje odstopanje, ki smo ga dobili pri zadnji meritvi na

strehi FGG, je posledica avtomatskega izklopa instrumenta. Ob ponovnem vklopu je dobro počakati kakšno minuto pred ponovnim odčitavanjem, da instrument vzpostavi meritve optimalno. Seveda to velja za že temperiran instrument.

8.1.5 Primerjava meritev temperiranih instrumentov

Meritve so potekale tako v zunanjih kot v notranjih prostorih. Tako smo dobili primerjavo pri nižjih in nekoliko višjih temperaturah.

Preglednica 7: Meritve meteoroloških parametrov z vsemi instrumenti

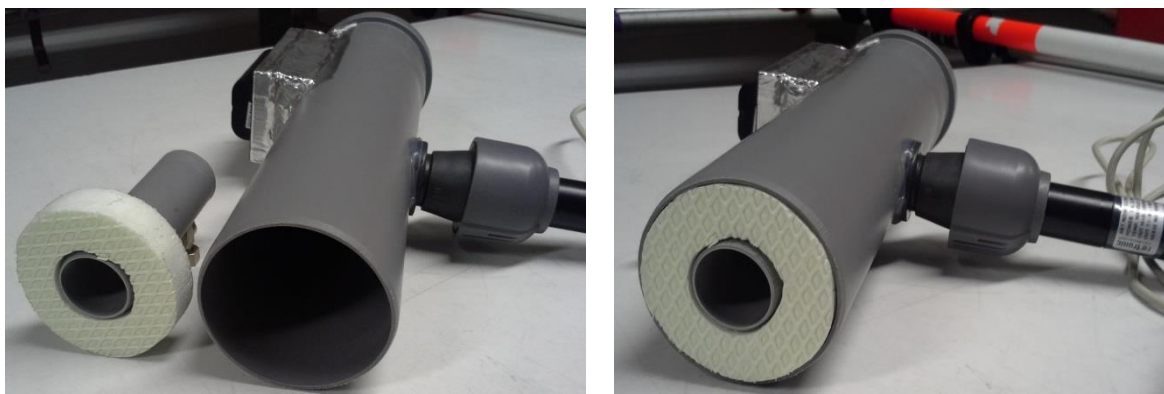
Meritve v prostoru zimskih vaj								
Interval	Psihrometer 1		Psihrometer 2		HM30			Paroscientific
(min)	t_s [°C]	t_m [°C]	t_s [°C]	t_m [°C]	t [°C]	μ [%]	p [mbar]	p [mbar]
0	22,7	16,2	22,7	16,3	23,3	49,4	979,8	979,79
5	22,4	15,9	22,6	16,1	23,1	50,0	979,9	979,78
10	22,7	16,2	22,9	16,2	23,1	49,4	980,0	979,86
Meritve na strehi FGG								
Interval	Psihrometer 1		Psihrometer 2		HM30			Paroscientific
(min)	t_s [°C]	t_m [°C]	t_s [°C]	t_m [°C]	t [°C]	μ [%]	p [mbar]	p [mbar]
0	9,6	8,6	9,9	8,7	9,9	83,0	977,3	977,56
5	9,6	8,8	9,7	8,8	9,6	84,6	977,4	977,53
10	9,4	8,7	9,7	8,8	9,4	85,8	977,3	977,52

Manjše odstopanje temperature je opaziti med obema suhima temperaturama obeh psihrometrov. Odstopanja pri obeh mokrih temperaturah so v območju natančnosti razdelbe termometrov. V primerjavi izmerjenih temperatur pri psihrometrih in Meteo Station HM30 v prostoru zimskih vaj je opaziti malce večje odstopanje. Meteo Station HM30 izmeri nekoliko višje vrednosti. Maksimalna razlika je 0,7 °C. Vzroka ne moremo pojasniti. Enaka meritev na strehi FGG pri nižji temperaturi nima takšnih odstopanj.

8.2 Meritve II

Datum: 03.12.2015. Vreme: hladno, megleno, rahel veter.

8.2.1 Vpliv zožitve vpiha – padajoča temperatura

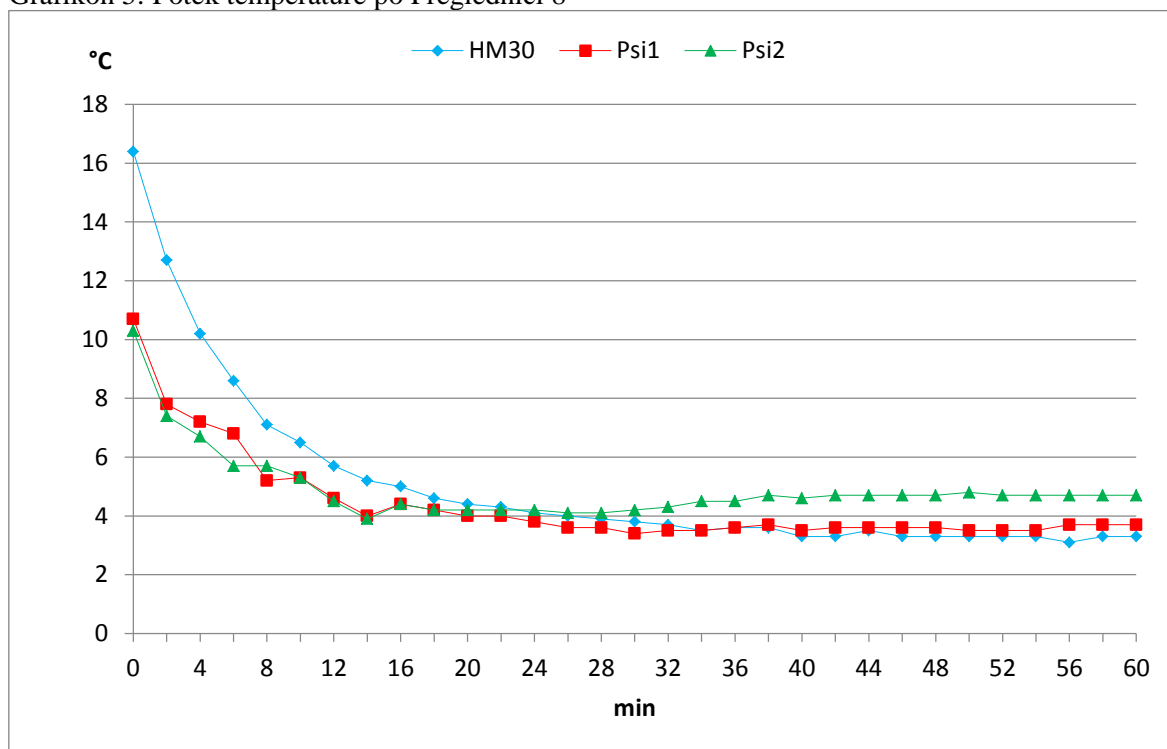


Slika 27: Zožitev vpiha

Preglednica 8: Temperiranje na strehi FGG – zožitev vpiha na napravi za prisilni vpih zraka

Interval (min)	HM30			Psihrometer 1		Psihrometer 2		Paroscientific <i>p</i> [mbar]
	<i>t</i> [°C]	<i>μ</i> [%]	<i>p</i> [mbar]	<i>t_s</i> [°C]	<i>t_m</i> [°C]	<i>t_s</i> [°C]	<i>t_m</i> [°C]	
0	16,4	49,3	993,7	10,7	9,6	10,3	7,2	993,86
2	12,7	70,6	993,7	7,8	7,6	7,4	6,8	993,85
4	10,2	74,9	993,6	7,2	6,4	6,7	6,6	993,84
6	8,6	77,6	993,5	6,8	6,7	5,7	4,9	993,84
8	7,1	82,2	993,5	5,2	5,1	5,7	5,1	993,85
10	6,5	84,5	993,6	5,3	4,7	5,3	4,2	993,85
12	5,7	87,5	993,5	4,6	4,1	4,5	3,8	993,89
14	5,2	86,9	993,4	4,0	3,9	3,9	3,4	993,90
16	5,0	86,5	993,5	4,4	4,0	4,4	3,8	993,93
18	4,6	88,9	993,5	4,2	3,6	4,2	3,5	993,95
20	4,4	88,1	993,7	4,0	3,7	4,2	3,7	994,00
22	4,3	87,9	993,7	4,0	3,7	4,2	3,5	994,04
24	4,1	88,0	993,7	3,8	3,6	4,2	3,6	994,04
26	4,0	87,9	993,8	3,6	3,5	4,1	3,6	994,02
28	3,9	88,3	993,7	3,6	3,5	4,1	3,6	993,99
30	3,8	88,5	993,7	3,4	3,3	4,2	3,9	993,93
32	3,7	88,4	993,7	3,5	3,4	4,3	4,0	993,91
34	3,5	89,3	993,8	3,5	3,4	4,5	4,1	993,93
36	3,6	87,8	993,8	3,6	3,4	4,5	4,2	993,95
38	3,6	88,6	993,8	3,7	3,4	4,7	4,3	993,97
40	3,3	89,4	994,2	3,5	3,2	4,6	4,3	993,98
42	3,3	89,9	994,1	3,6	3,3	4,7	4,3	994,00
44	3,5	88,5	994,1	3,6	3,3	4,7	4,3	994,02
46	3,3	88,2	994,2	3,6	3,3	4,7	4,4	994,02
48	3,3	89,5	994,2	3,6	3,3	4,7	4,5	994,01
50	3,3	88,3	994,2	3,5	3,4	4,8	4,6	994,03
52	3,3	89,3	994,3	3,5	3,4	4,7	4,6	994,04
54	3,3	89,2	994,3	3,5	3,4	4,7	4,6	994,03
56	3,1	88,5	994,3	3,7	3,5	4,7	4,5	994,02
58	3,3	88,8	994,4	3,7	3,5	4,7	4,5	994,03
60	3,3	89,0	994,4	3,7	3,4	4,7	4,5	994,03

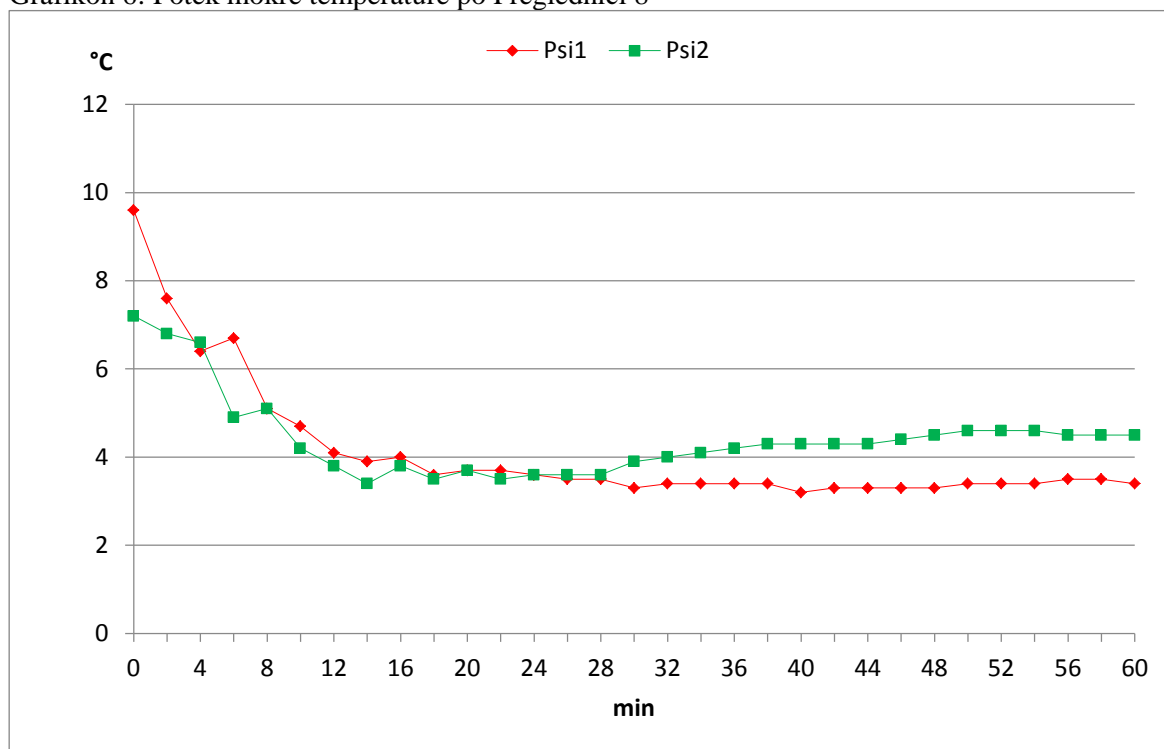
Grafikon 5: Potek temperature po Preglednici 8



Iz grafikona 5 razberemo, da je krivulja temperature odčitane na Meteo Station HM30 precej gladka. Krivulja poteka temperature odčitane na psihrometrih pa je prikazana z manjšimi lomi. Vzrokov za to je več. Na psihrometrih je odčitavanje vrednosti težavnejše zaradi drobne razdelbe, spraskanega pleksi stekla in cenitve meritev. Iz grafikona je tudi razvidno, da imata psihrometra podoben čas temperiranja kot Meteo Station HM30, da temperaturi Psihrometra 1 in Meteo Station HM30 dobro sovpadata. Medtem ko temperatura Psihrometra 2 bolj odstopa.

Z zožitvijo odprtine vpiha na začetku cevi naprave za prisilni vpih zraka smo preizkusili vpliv hitrejšega zračnega toka okrog sonde. Izkazalo se je, da s tem ničesar ne pridobimo. Čas temperiranja namreč ostane praktično enak. V času temperiranja se pokaže začetek pešanja baterij pri psihrometru 2 okrog 28 minute. Takrat temperatura celo nekoliko naraste in se nato ustali. Ventilator še deluje vendar ustvarja šibkejši zračni tok. Čas temperiranja psihrometra 2 se s tem podaljša in ni več enak kot pri psihrometru 1. Prikaz enake ugotovitve je na spodnjem grafikonu 6, ko primerjamo obe mokri temperaturi. Tu oba mokra termometra po začetnem odstopanju delujeta vedno bolj usklajeno. Enako kot pri suhi temperaturi se odstopanje pojavi pri 28. minuti.

Grafikon 6: Potek mokre temperature po Preglednici 8



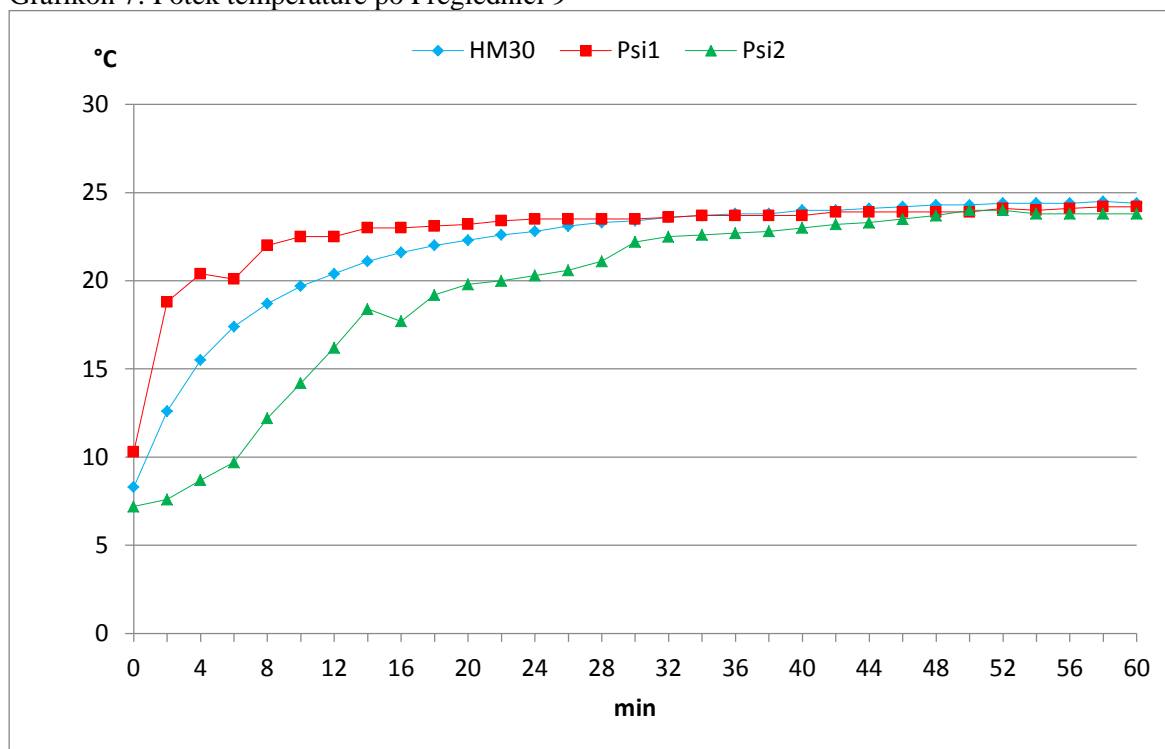
Na grafikonu 5 in 6 je v peti minuti lepo viden vpliv telesne toplote operaterja. Tako suha kot mokra temperatura na psihrometru 1 sta začeli naraščati. To je posledica predolgega držanja psihrometra v roki pri odčitavanju. Izrazitejše je pri nižjih temperaturah ozračja, ko ima telesna toplota večji vpliv. Če roko približamo območju zajema zraka, se to hitro pozna na vrednostih temperature.

8.2.2 Vpliv zožitve vpiha – naraščajoča temperatura

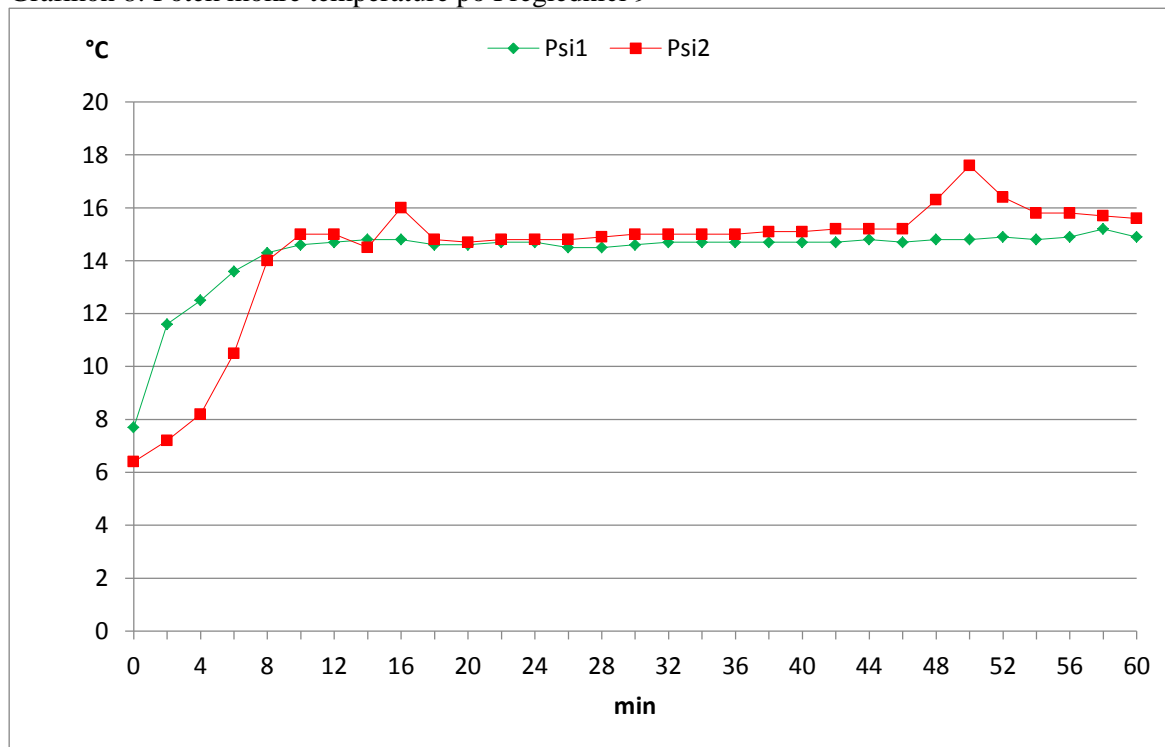
Preglednica 9: Temperiranje v kabinetu – zožitev vpiha na napravi za prisilni vpih zraka

Interval (min)	HM30			Psihrometer 1		Psihrometer 2		Paroscientific <i>p</i> [mbar]
	<i>t</i> [°C]	<i>μ</i> [%]	<i>p</i> [mbar]	<i>t_s</i> [°C]	<i>t_m</i> [°C]	<i>t_s</i> [°C]	<i>t_m</i> [°C]	
0	8,3	86,5	994,8	10,3	7,7	7,2	6,4	994,49
2	12,6	43,4	994,9	18,8	11,6	7,6	7,2	994,49
4	15,5	41,0	994,8	20,4	12,5	8,7	8,2	994,49
6	17,4	38,3	994,5	20,1	13,6	9,7	10,5	994,50
8	18,7	37,0	994,3	22,0	14,3	12,2	14,0	994,52
10	19,7	35,9	994,3	22,5	14,6	14,2	15,0	994,54
12	20,4	35,4	994,2	22,5	14,7	16,2	15,0	994,54
14	21,1	35,1	994,1	23,0	14,8	18,4	14,5	994,50
16	21,6	35,3	994,0	23,0	14,8	17,7	16,0	994,58
18	22,0	34,5	993,9	23,1	14,6	19,2	14,8	994,53
20	22,3	34,4	994,0	23,2	14,6	19,8	14,7	994,50
22	22,6	34,0	994,0	23,4	14,7	20,0	14,8	994,53
24	22,8	34,1	994,1	23,5	14,7	20,3	14,8	994,53
26	23,1	34,0	994,0	23,5	14,5	20,6	14,8	994,54
28	23,3	34,0	994,0	23,5	14,5	21,1	14,9	994,51
30	23,4	33,9	993,9	23,5	14,6	22,2	15,0	994,52
32	23,6	33,6	994,0	23,6	14,7	22,5	15,0	994,54
34	23,7	33,6	993,9	23,7	14,7	22,6	15,0	994,55
36	23,8	33,5	993,9	23,7	14,7	22,7	15,0	994,53
38	23,8	33,9	993,9	23,7	14,7	22,8	15,1	994,54
40	24,0	33,4	994,2	23,7	14,7	23,0	15,1	994,49
42	24,0	33,6	994,1	23,9	14,7	23,2	15,2	994,47
44	24,1	33,4	994,2	23,9	14,8	23,3	15,2	994,46
46	24,2	33,6	994,2	23,9	14,7	23,5	15,2	994,48
48	24,3	33,6	994,3	23,9	14,8	23,7	16,3	994,52
50	24,3	33,4	994,3	23,9	14,8	24,0	17,6	994,52
52	24,4	33,4	994,3	24,1	14,9	24,0	16,4	994,50
54	24,4	33,4	994,3	24,0	14,8	23,8	15,8	994,50
56	24,4	33,3	994,4	24,1	14,9	23,8	15,8	994,50
58	24,5	33,6	994,4	24,2	15,2	23,8	15,7	994,50
60	24,4	33,2	994,4	24,2	14,9	23,8	15,6	994,48

Grafikon 7: Potek temperature po Preglednici 9



Grafikon 8: Potek mokre temperature po Preglednici 9



Na začetku meritev dokončno odpovejo baterije ventilatorja na psihrometru 2. Težavo smo poskušali rešiti tako, da smo usmerili izhodni zračni tok naprave za prisilni vpih zraka v spodnji del psihrometra 2, kjer sta obe bučki termometrov. Direktno močnejše vpihovanje je tudi povzročilo hitrejše sušenje krpice mokrega termometra. Ponovno jo je bilo potrebno navlažiti okrog 48. minute. To se pokaže tudi

pri rezultatih meritev, ko začne mokra temperatura na psihrometru 2 naraščati in zopet padati. Zaradi same konstrukcije psihrometra je težko zagotoviti kakovosten zračni tok po celotni dolžini obeh termometrov. Meritve s psihrometra 2 tako niso merodajne. Vseeno smo jih vključili v analizo meritev zgolj kot primerjavo. Na grafikonu 7 in 8 se lepo vidi počasnejša odzivnost psihrometra 2. Posebno, če ga primerjamo s psihrometrom 1, ki je konstrukcijsko enak.

8.2.3 Temperiranje sonde – postavitve celotne sonde v cev naprave za prisilni vpih

Preizkusili smo hitrost temperiranja sonde, ko smo celo sondo položili v napravo za prisilni vpih zraka.

Preglednica 10: Temperiranje na strehi FGG – postavitve cele sonde v cev naprave za prisilni vpih

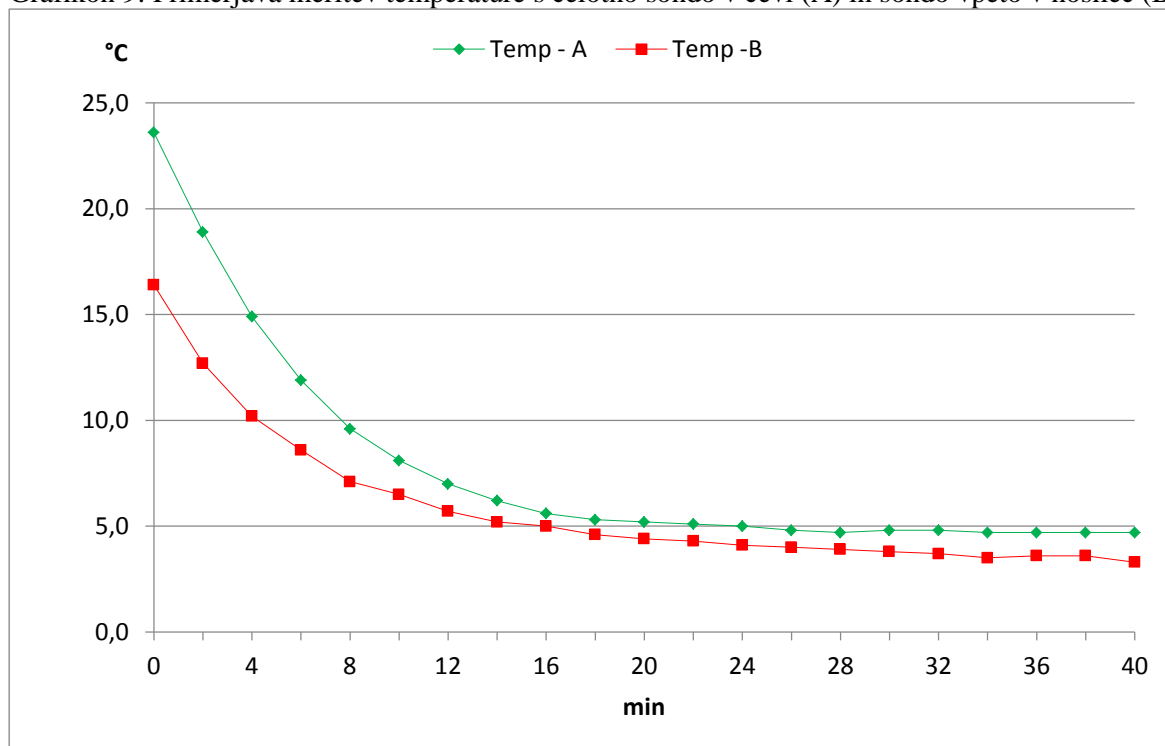
Interval (min)	HM30		
	t [°C]	μ [%]	p [mbar]
0	23,6	29,6	994,0
2	18,9	45,9	994,0
4	14,9	55,6	994,0
6	11,9	62,6	993,8
8	9,6	68,2	993,7
10	8,1	72,3	993,8
12	7,0	75,8	993,7
14	6,2	78,2	993,6
16	5,6	79,7	993,5
18	5,3	81,0	993,6
20	5,2	81,2	993,8
22	5,1	81,2	993,6
24	5,0	81,1	993,6
26	4,8	82,4	993,6
28	4,7	83,4	993,6
30	4,8	83,5	993,8
32	4,8	82,8	993,6
34	4,7	83,9	993,7
36	4,7	83,6	993,7
38	4,7	83,1	993,7
40	4,7	83,2	994,0



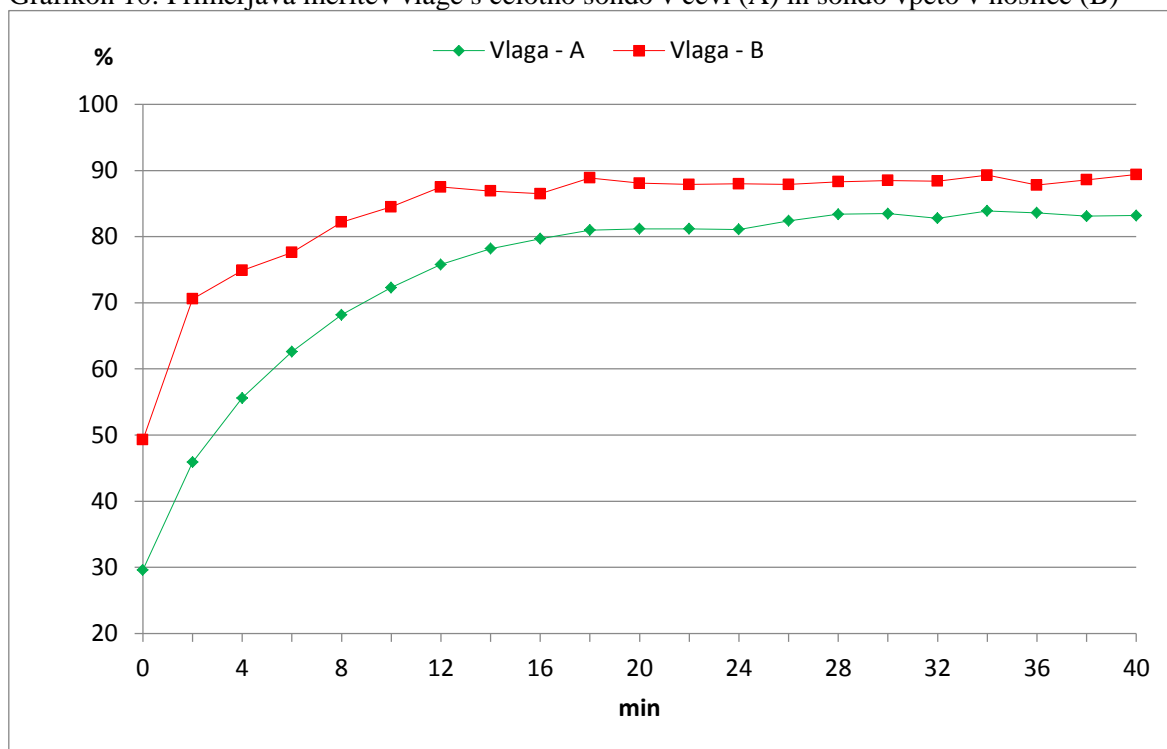
Slika 28: Celotna sonda v cevi

Za primerjavo smo vzeli podatke prvotne meritve na strehi (preglednica 8), ko je bila sonda normalno vpeta v nosilec naprave za prisilni vpih zraka. Ne glede na to, da so se v času obeh meritev spremenili vsi meteorološki parametri, smo pričakovali, da bodo posamezne krivulje na grafikonu precej podobne. To je razvidno na spodnjih dveh grafikonih 9 in 10, kjer primerjamo potek temperature in relativne vlage. Na podlagi tega sklepamo, da postavitve celotne sonde v cev za prisilni vpih zraka ne prinaša sprememb v času pri temperiranju sonde.

Grafikon 9: Primerjava meritev temperature s celotno sondo v cevi (A) in sondo vpeto v nosilec (B)



Grafikon 10: Primerjava meritev vlage s celotno sondo v cevi (A) in sondo vpeto v nosilec (B)



8.2.4 Temperiranje sonde brez zaščitnega filtra

Pri tem poskusu nas je zanimalo kakšen vpliv ima zaščitni filter sonde na hitrost temperiranja.



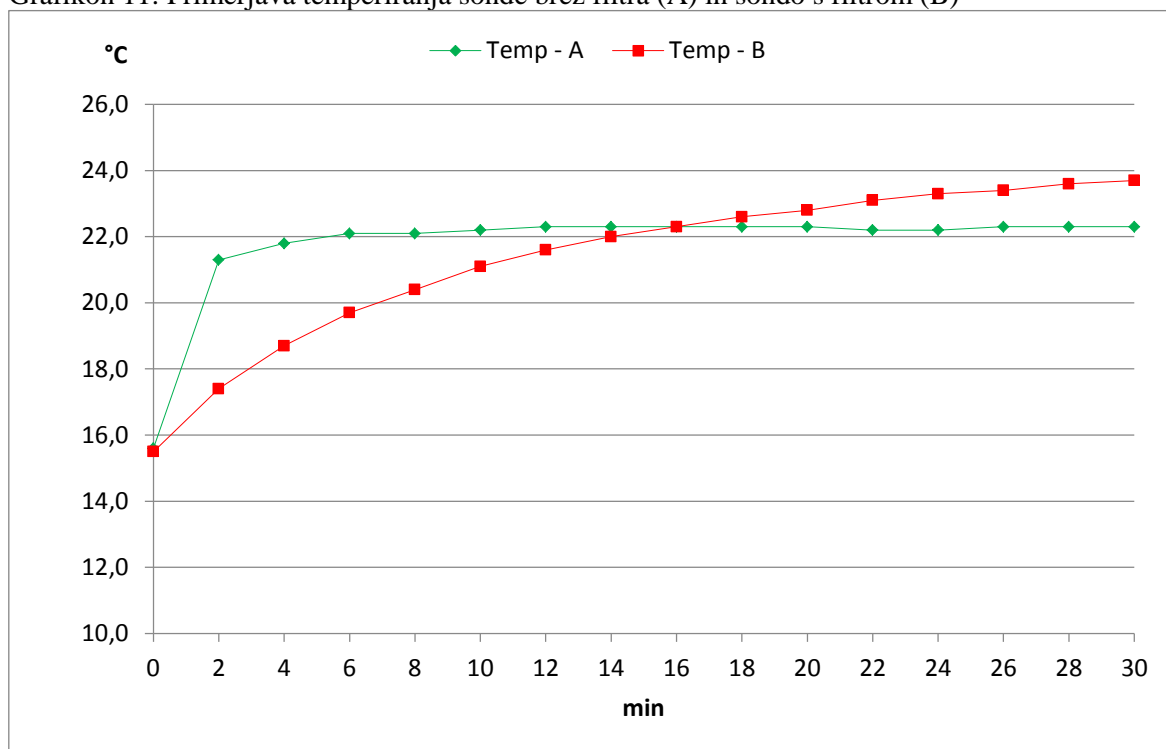
Slika 29: Odstranjen zaščitni filter sonde

Preglednica 11: Temperiranje v učilnici – sondi odstranjen zaščitni filter

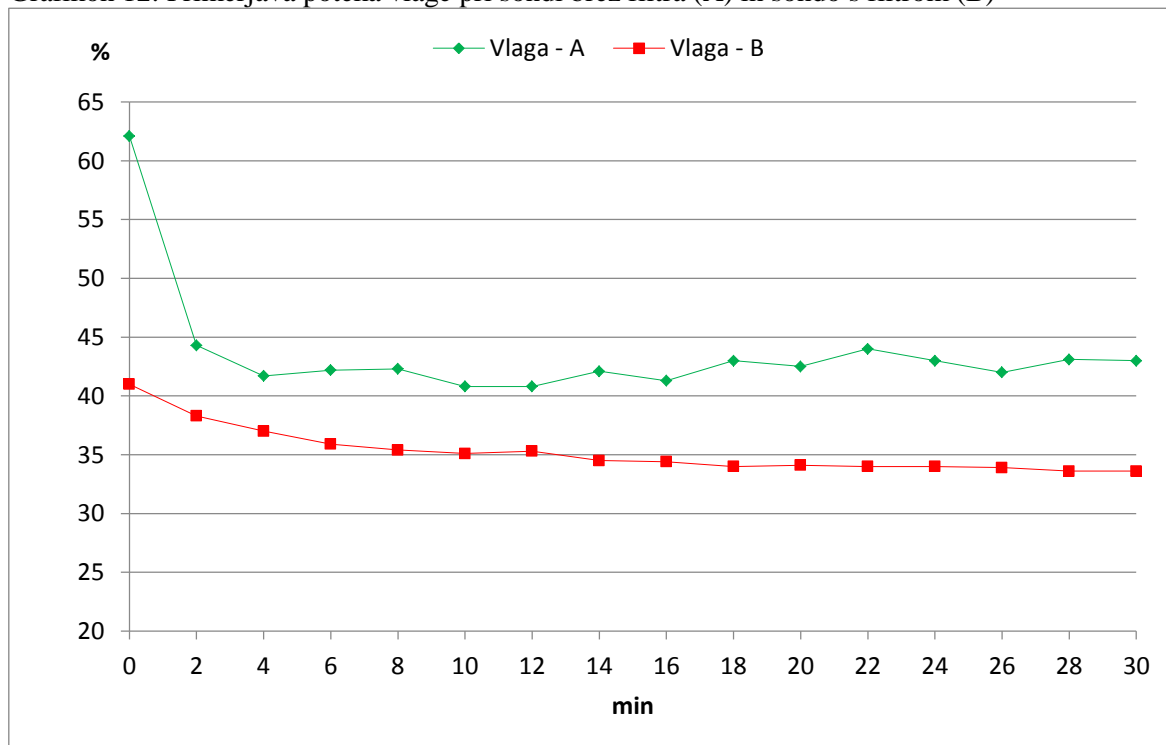
Interval (min)	HM30		
	t [°C]	μ [%]	p [mbar]
0	15,6	62,1	994,6
2	21,3	44,3	994,7
4	21,8	41,7	994,3
6	22,1	42,2	994,1
8	22,1	42,3	993,9
10	22,2	40,8	993,9
12	22,3	40,8	993,9
14	22,3	42,1	993,8
16	22,3	41,3	993,7
18	22,3	43,0	993,7
20	22,3	42,5	993,7
22	22,2	44,0	993,3
24	22,2	43,0	993,3
26	22,3	42,0	993,4
28	22,3	43,1	993,4
30	22,3	43,0	993,4

S tem poskusom smo primerjali hitrost temperiranja v primeru, ko odstranimo zaščitni filter na sondi in ko uporabimo sondo z zračnim filtrom. Ker je bila sonda ob odstranitvi zračnega filtra že delno temperirana, smo za primerjavo vzeli del podatkov iz temperiranja v kabinetu (preglednica 9), ko je bila začetna temperatura približno enaka. To je približno od četrte minute naprej. Spodnja grafikona 11 in 12 prikazujeta primerjavo temperatur in relativne vlage.

Grafikon 11: Primerjava temperiranja sonde brez filtra (A) in sondo s filtrom (B)



Grafikon 12: Primerjava poteka vlage pri sondi brez filtra (A) in sondo s filtrom (B)



Ob pogledu na oba grafikona je takoj razvidno, da sonda brez filtra reagira zelo hitro. Glede na strmo začetno krivuljo potrebuje sonda za prilagoditev le nekaj minut. To kaže na precejšen vpliv zaščitnega filtra na hitrost temperiranja sonde. Vendar na tem mestu opozarjamo, da na terenu nikakor ni

dovoljeno odstraniti zaščitnega filtra sonde. Namen zaščitnega filtra je, da varuje temperaturno tipalo in tipalo za relativno vlago pred umazanijo, ki je v zraku, prijemanjem z rokami in deloma pred mehanskimi poškodbami. Umazanija lahko povzroči nepravilno delovanje sonde. Kot navaja proizvajalec v navodilih, se kovinska filtrirna mrežica lahko očisti ali zamenja. Čiščenje tipal lahko izvede le pooblaščen servis. Če so tipala bolj umazana, jih moramo zamenjati. V vsakem primeru je potrebno na koncu narediti postopek kalibracije.

9 ZAKLJUČEK

Delo geodeta na terenu poteka v različnih vremenskih pogojih. Pri natančnih meritvah dolžin moramo izbrati čas za meritve ob stabilnih vremenskih razmerah. Za eliminacijo sistematičnih pogreškov zaradi meteoroloških vplivov je potrebno meriti temperaturo in relativno vlago na obeh točkah (instrument - tarča). Zračni tlak lahko merimo le na stojišču. Ob znani višinski razliki med točkama lahko za izračun uporabimo srednjo vrednost zračnega tlaka izračunano po Jordanovi enačbi [16]. Namesto mokre temperature s psihometri lahko merimo relativno vlago s higrometri. Vremenski pojavi vplivajo na gostoto zraka po katerem se širi elektromagnetno valovanje, ki ga generira instrument v času meritve. Posledično je lomni količnik v danih razmerah različen od referenčnega, ki ga določi proizvajalec instrumenta.

Preko enačbe za relativno spremembo dolžine in dejanski lomni količnik so prikazani vplivi različnih meteoroloških parametrov na izmerjeno dolžino. Meteorološke popravke ponazorimo s korekcijskim faktorjem, ki predstavlja relativno spremembo dolžine na km izmerjene dolžine. Imenujemo ga tudi ppm popravek. Iz izbranih meteoroloških pogojev in izračunanih vrednosti korekcijskih faktorjev je razvidno, da ima največji vpliv na merjenje dolžin, zračni tlak p in temperatura t_s .

Glavni namen diplomske naloge je bilo testiranje vremenske postaje HM30. V ta namen je bila izdelana naprava za prisilni vpih zraka kamor se namesti merilno sondo za temperaturo in zračni tlak. Naprava omogoča na terenu optimalno merjenje vremenskih parametrov. Ventilator skrbi za stalni zračni tok, ki poteka mimo sonde. Sledilo je testiranje. Začeli smo z ugotavljanjem časa temperiranja sonde. Pri večji temperaturni razliki med instrumentom in okolico potrebuje sonda približno 30 min. To nas je presenetilo. Pričakovali smo namreč bistveno krajši prilagoditveni čas. Ta čas je omenjen tudi v navodilih. Obrnil sem se še na proizvajalca sonde preko elektronske pošte. Njihova tehnična služba je potrdila, da je za temperiranje sonde potrebnih 30 minut. Če bi potrebovali, imajo med svojimi artikli tudi sonde, ki se hitreje odzivajo. Vse je odvisno od namena uporabe. Testiranje smo nadaljevali z različno globino postavitve sonde in njeno rotacijo pri sredinski postavitvi v nosilec naprave za prisilni vpih. V obeh primerih je temperatura ostajala praktično nespremenjena. Opazno je le manjše nihanje relativne vlage. Najverjetneje je to posledica sestave samega tipala za vlago in kratkih časovnih intervalov med odčitki. Pri primerjavi vrednosti izmerjenih meteoroloških parametrov s HM30 in obema psihrometroma so opazne razlike pri vrednostih temperature in posledično tudi vlage. Psihrometra delujeta bolj usklajeno. HM30 izmeri nekaj desetink višje temperature. Vsekakor bi bilo dobro njihove vrednosti preveriti z nekim referenčnim termometrom. Test smo nadaljevali z zožitvijo cevi za vpih, kjer se zajema zrak. Posledično je v tem primeru zračni tok hitrejši. Rezultati kažejo, da zožitev vpiha ne povzroči hitrejšega temperiranja sonde. Enaka je ugotovitev, ko smo celotno sondo postavili v cev naprave za prisilni vpih. Zgolj za primerjavo je bil izveden še test s sondo brez zaščitnega filtra. Izkazalo se je, da v tem primeru sonda reagira bistveno hitreje. Čas temperiranja je posledično precej krajši.

Pri izvajanju meritev smo ugotovili, da je potrebno biti previden. Še posebno pri nižjih zunanjih temperaturah se zelo hitro pozna vpliv telesne toplote človeka, ki je preblizu instrumenta. Ta vpliv je bil najbolj izrazit pri psihrometrih. Že bližina roke ob predelu zajema zraka hitro povzroči dvig temperature.

Za najnatančnejše meritve dolžin geodeti uporabljamo najbolj napredne instrumente. Ker je izmerjena dolžina in njena natančnost določitev odvisna od meteoroloških, geometričnih in projekcijskih popravkov, moramo vsakega od sklopov dosledno upoštevati. Pri meteoroloških parametrih velja, da jih je potrebno izmeriti z ustrezno kalibriranimi in dovolj natančnimi instrumenti. Kakovostni parametri tako s pravilno interpretacijo in uporabo zagotavljajo optimalno upoštevanje njihovega vpliva na izmerjeno dolžino.

VIRI

- [1] World meteorological organization. 2008. Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation; 7th edition. Geneva, Secretariat of the World Meteorological Organization. https://www.wmo.int/pages/prog/gcos/documents/gruanmanuals/CIMO/CIMO_Guide-7th_Edition-2008.pdf (Pridobljeno 05. 12. 2015.)
- [2] Fizika. 2002. Die Physik (slovenski jezik). Duden leksikon. Tržič, Učila International: 476 str.
- [3] Kladnik, R. 1969. Osnove fizike za tehnike. Ljubljana, Državna založba Slovenije: 283 str.
- [4] OMEGA ENGINEERING - The International Temperature Scale of 1990 (ITS-90). 2015. <http://www.omega.com/techref/intltemp.html> (Pridobljeno 05. 12. 2015.)
- [5] Hočevar, A., Petkovšek, Z. 1988. Meteorologija: osnove in nekatere aplikacije. Ljubljana, Partizanska knjiga: 219 str.
- [6] Vodopivec, F. 1992. Geodezija II – Razdaljemer in trilateracija. Ljubljana, FAGG, Oddelek za gradbeništvo in geodezijo: 216 str.
- [7] Bastian, P., idr. 2013. Elektrotehniški priročnik. Fachkunde Elektrotechnik (slovenski jezik). Ljubljana, Tehniška založba Slovenije: 645 str.
- [8] Resistance thermometer. 2015. https://en.wikipedia.org/wiki/Resistance_thermometer (Pridobljeno 15. 11. 2015.)
- [9] Webster, J.G. 1999. The measurement, instrumentation, and sensors handbook. Boca Raton (FL USA), CRC Press; Heidelberg (D), Springer : 2588 str.
- [10] Pučnik, J. 1974. Vreme in podnebje. Murska Sobota, Pomurska založba: 280 str.
- [11] Vodopivec, F. 1997. Geodezija II – Višinomerstvo. Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za geodezijo: 284 str.
- [12] Huber Instrumente AG. 2007. Uporabniška navodila za Meteo Station HM30. Nunningen CH, Huber Instrumente AG: 56.str.
- [13] Rotronic AG. 2007. Uporabniška navodila za Hygromer HP 100A. Bassersdorf CH, Rotronic AG: 37 str.
- [14] OMEGA ENGINEERING, 76-79 Technical_REF.qxd_Layout 1. 2016. http://www.omega.co.uk/temperature/pdf/pt100_tolerance.pdf (Pridobljeno 12. 01. 2016.)
- [15] Savšek, S., Gregorn, Z., Ambrožič, T. 2013. Measuring meteorological data along the ray path of a distance meter with an ultra-light aircraft. Surv. rev. 45: 3-12. [doi:10.1179/1752270612Y.00000000086136673](https://doi.org/10.1179/1752270612Y.00000000086136673).
- [16] Kogoj, D. 2000. Merjenje dolžin z elektronskimi razdaljemerji. Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za geodezijo: 133 str.
- [17] Alduchov, O. A. , Eskridge, R.E. 1996. Improved Magnus form approximation of saturation vapor pressure. J. Appl. Met. 35: 601-609.

VIRI SLIK

- [S1] Physics Department @ Brock University. 2016.
http://www.physics.brocku.ca/PPLATO/h-flap/phys7_2.html#section_3.2
(Pridobljeno 12. 03. 2016.)
Slika 1: Diagram trojne točke vode
Slika 4: Skica sestave plinskega termometra
- [S2] Starodávne teploměry. 2016.
<http://danyk.cz/reaumur.html> (Pridobljeno 17. 03. 2016.)
Slika 3: Natančen živosrebrni termometer – vrednost odčitka na sliki je 22,56 °C
Slika 9: Primer Sixovega termometra
- [S3] ATECH Application Technology Limited Home Page. 2015. http://www.atech.ca/Product/Series/921/1144_1146_Platinum_Resistance_Thermometer_Simulation/?tab=1
(Pridobljeno 17. 11. 2015.)
Slika 5: Uporovni senzor Pt
- [S4] Pentronic - Pt100 sensors. 2016.
<http://www.pentronic.se/home/temperature-sensors/theory-of-sensors/pt100-sensors.aspx>
(Pridobljeno 17. 03. 2016.)
Slika 6: Oblika tuljave, navitja žice in tanek film v obliki meandra
- [S5] Teketecno: Técnica,energía,kw,electricidad y tecnología. 2016.
<https://teketecno.files.wordpress.com/2012/10/termistores.jpg> (Pridobljeno 17. 03. 2016.)
Slika 7: NTC termistorja
- [S6] Walden Effect: Homesteading and Simple Living Blog. 2016.
http://www.waldeneffect.org/blog/Analog_max_47_min_thermometer/
(Pridobljeno 03. 03. 2016.)
Slika 8: Premik plavača z magnetom za ponastavitev termometra
- [S7] B2B Veleprodaja za profesionalne vrtnarje, cvetličarje in urejevalce okolja - Njiva.si. 2016.
<http://www.njiva.si/steps-37310-hygrometer-merilec-vlazonosti-vlagomer>
(Pridobljeno 12. 03. 2016.)
Slika 10: Lasni higrometer
- [S8] Patrick Marney - Fine Antique Barometers. 2016.
<http://www.patrickmarney.co.uk/galleryfiles/Darton/DartonFull.jpg> (Pridobljeno 03. 03. 2016.)
Slika 13: Živosrebrni barometer s skalo (mbar in mmHg) z nonijem
- [S9] Skozi grede - na poti skozi življenje spoznano, ustvarjeno in urejeno. 2016.
<http://diameter.si/sciquest/pict1/barograph.jpg> (Pridobljeno 22. 02. 2016.)
Slika 15: Barograf
- [S10] Rotronic AG. 2007. Uporabniška navodila za Hygromer HP 100A: 37 str.
Slika 20: Shematski prikaz potenciometrov za prilagoditve na tiskanem vezju sonde
Slika 32: Navodila za sondo – tehnični podatki
Slika 33: Certifikat kalibracije sonde
- [S11] Huber Instrumente AG. 2007. Uporabniška navodila za Meteo Station HM30: 56.str.
Slika 30: Navodila za HM30 – tehnični podatki
Slika 31: Navodila za HM30 – možnosti nastavitvev

»Ta stran je namenoma prazna«

PRILOGE

PRILOGA A: METEO STATION HM30 - NAVODILA

A.1: Tehnični podatki za HM30

A.2: Nastavitve za HM 30

PRILOGA B: SONDA HYGROMER HP 100A - NAVODILA

B.1: Tehnični podatki sonde

B.2: Certifikat kalibracije sonde

PRILOGA C: OSNOVNE ENAČBE ZA NASIČEN TLAK VODNE PARE E_w NAD VODO OMENJENE V RAZISKAVI OLEGA A. ALDUCHOVA IN ROBERTA E. ESKRIDGA [17]

»Ta stran je namenoma prazna«

PRILOGA A: METEO STATION HM30 - NAVODILA

A.1: Tehnični podatki za HM30 [S11]

4 Specifications			
4.1 Technical data			
Cal. temperature range	-20 to +60 °C		
Long term stability			
- Pressure sensor	± 1 hPa/year		
- Humidity sensor	± 1%rH/year		
Temperature sensors	Pt100 4-conductor connection		
Units			
- Barometric pressure	mbar, hPa, mmHg, inH ₂ O, inHg, psia		
- Humidity	%rF, %rH		
- Temp., Dew-point	°C, °F		
- Height	m, ft		
- Trend	../h, ../min.		
Measuring media			
- Combined sensor 1	air		
- Temp. sensor 2	water and soft plastic media, compatible with stainless steel V4A		
Cable extension	max. 50m		
RS232 cable length	max. 50m with screened RS232 cable		
Operating temperature	-20 to +60 °C		
Storage temperature	-30 to +80 °C		
Humidity	0 to 95 %rH, non-condensing		
Case protection	IP54		
Storage interval	manual, 1sec to 24h (15 possibilities)		
Memory size	max 908 measurements		
Baudrate RS232	9600, 2400, 1200 baud		
Measuring rate with PC	25 measurements/s		
Display rate	2 measurements/s		
Display	LCD matrix, 2 lines of 16 characters		
Power supply	9V battery (IEC 6LR61), accumulator, regulated plug-in mains supply unit (min 7/max 12VDC)		
Current consumption without sensors	<12 mA		
temp. sensor	1 mA		
combined sensor	4 mA		
Battery life	continuous operation up to 48 h		
Autom. cut-out time	continuous operation 1, 10, 30, 60 min		
Case measurements	152x83x34/29 mm		
Weight including battery	275 gram		
Weight of sensors and cable	185 gram		
Short temperature sensor			
Measuring range	-20 to +60 °C		
Element	Pt100 1/3DIN B+		
Tolerance acc. DIN IEC 751	0,1 °C + 0,0017 x t		
Response time T _{90%}	< 10 min.		
Max. loading capacity			
Resolution			
Measuring ranges			
Pressure	225 ... 1125 hPa	0.1 hPa	0/2000 hPa
Humidity	0 ... 100 %rF	0.1 %rF	0/100 %rF
Temperature1	-40 ... 60 °C	0.1 °C	-40/80 °C
Dew-point	-30 ... 30 °C	0.1 °C	—
Temperature2	-50 ... 200 °C	0.1 °C	-50/400 °C
Altitude	-500 ... 10000 m	1 m	—
Error limits (± 1 digit, at 22 °C) incl. measuring sensor			
Pressure (-20 to +60 °C)	± 1 hPa		
Humidity ²⁾ (10 .. 90 %rH)	± 1,5 %rH		
(<10, >90 %rH)	± 2,5 %rH		
Temperature 1 ²⁾	± 0,3 °C		
Dew-point ²⁾			
- at humidity 20 ... 50 %	± 2,5 °C		
- at humidity 50 ... 100 %	± 1,5 °C		
Temperature 2 ²⁾	± 0,3 °C		
Altitude ¹⁾	± 10 m		
height differences < 500 m	± 2 m		
1 theoretical values without meteorological ambient influences			
2) inc. measuring sensor tolerances			

e

Slika A1: Navodila za HM30 – tehnični podatki

A.2: Nastavitve za HM 30 [S11]

3.6 Setup (Configuration)
 Select mode, store and exit: Press simultaneously for >1 sec

Parameter	Display example	Settings bold = default	Description
SET ALTI SET QNH SET DATE/TIME	4321 m 1013.2 hPa 01.02.97 12:34:00	+/- (adjust) +/- (adjust) +/- (adjust)	Adjustment see chap. 3.7 Adjustable value flashes Next value Save setting Units of measurement
SET Unit Pressure SET Unit Temp. SET Unit Humidity SET Unit Altitude SET Unit Tendency SET Rec. Interval	hPa °C %rF m ./minute 1 s (16 min)	mbar °C %rF m ./h manual 1, 5, 10, 20, 30 sec 1, 2, 5, 10, 20, 30 min 1, 3, 6, 24 h	hPa mmHg inHg psia °F %rH ft ./min 1, 5, 10, 20, 30 sec 1, 2, 5, 10, 20, 30 min 1, 3, 6, 24 h
SET Baudrate SET Timeout SET Mixed Mode	9600 1 min BARO	9600 continuous BARO	Interval time datalogging (max. recording time) Data transfer rate autom. cut-out time Adjust mixed mode
Reset	RESET? press CLEAR	[CLEAR]	General reset to works setting
Print Setup	PRINT? press START	[START]	Log settings
At „Print Setup“ Press > 5 sec SET BARO-OFFSET	+1.2 hPa	+/- (adjust)	Adjustment see chap. 3.7 Influences measuring accuracy
At „SET BARO-OFFSET“ Press > 5 sec SET TEMP2-OFFSET	-0.3 °C	+/- (adjust)	Adjustment see chap. 3.7 Influences measuring accuracy

Slika A2: Navodila za HM30 – možnost nastavitvev

PRILOGA B: SONDA HYGROMER HP 100A - NAVODILA

B.1: Tehnični podatki sonde [S10]

9. Technical data

Type series HP 100A

Humidity sensor

ROTRONIC-HYGROMER® C80

Temperature sensor

RTD Pt 100 Class B

Probe operating range:

Humidity	0...100% RH
Temperature	
- Code 1	-20...+60 °C
- Code 2	-50...+150 °C
- Code 3	-50...+200 °C

Example: HP 101A-K25-W2F

└ -50...+150 °C

Electronics operating range:

not condensing	
Humidity	0...95% RH
Temperature	-20...+60 °C

Accuracy at 23°C:

Humidity	±1,5% RH (10...90% RH)
	±2,5% RH (< 10%, > 90% RH)
Temperature	±0.3°C

Reproducibility

Humidity	< 0.5% RH
Temperature	< 0.1°C

Long-term stability for humidity

typical under normal conditions < 1% RH/year

Time constants at 23°C

and 1 m/s air movement:

Humidity	< 10 s
Temperature	< 15 s

Adjustment points (potentiometers)

Humidity	35%, 80%, 10%
100% limit	Hmax
Temperature	Tmin, Tmax

Output signals:

Humidity	0...1 V DC = 0...100% RH
Temperature	
- HP 101A, 111A	-0,5...2 V DC = -50...+200 °C
- HP 102A, 112A	0...1 V DC = -30...+70 °C
- HP 103A, 113A	0...1 V DC = -40...+60 °C

Load per output

> 1000 Ohm

Supply voltage

- HP 101A, 102A, 103A	4,8...30,0 V DC
- HP 111A, 112A, 113A	3,6...12 V DC

Max. current

consumption	8 mA (4,8...30,0 V DC)
	7 mA (3,6...12 V DC)

Probe connection

(Standard) 5-pin LEMO plug

Sensor protection:

according to model
wire filter, sinter filter, slotted cap
(contact protection without filter)

Weight

70...150 g, according to model

Slika B1: navodila za sondo – tehnični podatki

B.2: Certifikat kalibracije sonde [S10]

ROTRONIC AG
 Grindelstr. 6
 CH-8303 Bassersdorf
 www.rotronic.com

Phone +41 44 838 11 11
 Fax +41 44 836 44 24

CERTIFICATE OF FACTORY CALIBRATION

ART NO: HP113A-L5W1F

SERIE NO: 60010038

ROTRONIC AG certifies that this instrument meets the published specifications.
 It has been calibrated using standards and instruments as stated below and corresponds to the test requirements of ISO 9001 : 2000, the reference and service standards are traceable to national standards.

Traceable Standards
 Humidity reference: Chilled Mirror Hygrometer MBW PM-20277/1, SCS certified
 Temperature reference: Temperature sensor Pt100 PM-20252/2 / AC measuring bridge ASL PM20258/2, SCS certified

Temperature, Relative Humidity

Set Point: °C / %rh	23,2	35%	80%	10%
Adjusted:	✓	✓	✓	✓

Uncertainty of measurement ±1%rh, ±0.3K
 The calibrated values are valid under above mentioned conditions only at the time of measurement and are referenced to the marked reference and working standards.

Bassersdorf, 25.10.2007

Name of Inspector: P.Sax

Test Engineer: M. Righi

Slika B2: certifikat kalibracije sonde

PRILOGA C: OSNOVNE ENAČBE ZA NASIČEN PARNI TLAK E_w NAD VODO, OMENJENE V RAZISKAVI OLEGA A. ALDUCHOVA IN ROBERTA E. ESKRIDGA [17]:

Geoff & Gratch (GG46):

$$\log E_w = 10,79574 * \left(1 - \frac{T_1}{T}\right) - 5,028 * \log\left(\frac{T}{T_s}\right) + 1,50475 * 10^{-4} * \left(1 - 10^{8,2969 * \left(1 - \frac{T}{T_1}\right)}\right) - 0,42873 * 10^{-3} * \left(1 - 10^{4,76955 * \left(1 - \frac{T_1}{T}\right)}\right) + 0,78614$$

kjer je:

- E_w – nasičen parni tlak nad vodo [hPa]
- T_s – temperatura vrelišča vode (=373,16 K) [K] [17]
- T_1 – temperatura trojne točke vode (=273,16 K) [K]
- T – izmerjena temperatura [K]

Wexler (WE76):

$$E_w = 0,01 * e^{(\phi)}$$

$$\phi = -2,9912729 * 10^3 * T^{-2} - 6,0170128 * 10^3 * T^{-1} + 1,887643845 * 10 - 2,8354721 * 10^{-2} * T + 1,7838301 * 10^{-5} * T^2 - 8,4150417 * 10^{-10} * T^3 + 4,4412543 * 10^{-13} * T^4 + 2,858487 * \ln T$$

kjer je:

- E_w – nasičen parni tlak nad vodo [hPa]
- T – izmerjena temperatura [K]

Sonntag (SO90):

$$E_w = e^{(\phi)}$$

$$\phi = -6096,9385 * 10^{-1} * T_{90} + 16,635794 - 2,711193 * 10^{-2} * T_{90} + 1,673952 * 10^{-5} * T_{90}^2 + 2,433502 * \ln T_{90}$$

kjer je:

- E_w – nasičen parni tlak nad vodo [hPa]
- T_{90} – izmerjena temperatura definirana po ITS-90 [K]