Mjerenje temperature u hladnomorskim spiljama

Havoić, Danijela

Undergraduate thesis / Završni rad

2018

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:843389

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Danijela Havoić

Zagreb, 2018.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentor: Studentica:

Izv. prof. dr. sc. Lovorka Grgec Bermanec Danijela Havoić

Zagreb, 2018.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradila samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem svojoj mentorici prof. dr. sc. Lovorki Grgec Bermanec na stručnim savjetima i pomoći. Posebno hvala dr. sc. Danijelu Šestanu na izdvojenom vremenu i pomoći tijekom mjerenja u laboratoriju. Također zahvaljujem izv. prof. dr. sc. Tatjani Bakran-Petricioli s Prirodoslovno-matematičkog fakulteta u Zagrebu i Donatu Petricioliju, dipl. ing. biol. iz D.I.I.V. d.o.o., Sali na ustupljenim podacima o temperaturama izmjerenim u spilji Poganica te mjernoj opremi koja se umjeravala.

Danijela Havoić

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE
Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:
procesno-energetski, konstrukcijski, brodostrojarski i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Danijela Havoić** Mat. br.: 0035195048

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Mjerenje temperature u hladnomorskim spiljama**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Temperature measurements in sublittoral caves**

Opis zadatka:

Za potrebe dugotrajnih i preciznih mjerenja temperature mora u hladnomorskim spiljama potrebno je karakterizirati samostalne temperaturne osjetnike za mjerenje i arhiviranje podataka (data loggere). Predvidjeti mogućnost arhiviranja podataka do 5 godina u mjernom području 0 °C do 30 °C.

U radu je potrebno:

- Opisati mogućnosti i metode mjerenja temperature mora u području od 0 °C do 30 °C.
- Opisati postupak mjerenja za zadanu opremu (Onset Computers, točnost ± 0,2 °C).
- Provesti sljedivo umjeravanje odabranih pet temperaturnih osjetnika u najmanje pet točaka korištenjem etalonske mjerne opreme Laboratorija za procesna mjerenja Fakulteta strojarstva i brodogradnje te odrediti odstupanja.
- Izraditi procjenu mjerne nesigurnosti
- Statistički obraditi rezultate provedenih dugotrajnih mjerenja s ciljem određivanja odstupanja termometara u ovisnosti o vremenu.

U radu navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:
30. studenog 2017.

Rok predaje rada:
1. rok: 23. veljače 2018.
2. rok (izvanredni): 28. lipnja 2018.
3. rok: 21. rujna 2018.

Predviđeni datumi obrane:
1. rok: 26.2. - 2.3. 2018.
2. rok (izvanredni): 2.7. 2018.
3. rok: 24.9. - 28.9. 2018.

Zadatak zadao:

Izv. prof. dr. sc. Lovorka Grgec Bermanec

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Igor Balen

SADRŽAJ

SADRŽAJ II
POPIS SLIKA III
POPIS GRAFOVA IV
POPIS TABLICA V
POPIS OZNAKA VI
SAŽETAK VII
SUMMARY VIII
1. UVOD 1
2. UMJERAVANJE 2
2.1. Postupak 3
2.2. Obrada rezultata umjeravanja 6
2.3. Tablični prikaz rezultata umjeravanja 6
3. ODREĐIVANJE MJERNE NESIGURNOSTI 9
3.1. Metoda A 9
3.2. Metoda B 10
3.3. Izračun proširene mjerne nesigurnosti 11
3.4. Grafički prikaz mjerne nesigurnosti 15
4. OBRADA DOBIVENIH PODATAKA 18
4.1. Spilja Poganica 18
4.2. Lokacija data loggera 21
4.3. Promjena temperature po godinama 22
4.4. Provjera točnosti data loggera 25
5. ZAKLJUČAK 29
LITERATURA 30

POPIS SLIKA

Slika 1. Data logger 2

Slika 2. Povezivanje data loggera s računalom 3

Slika 3. Data loggeri u kupki 4

Slika 4. Mjerna linija za ispitivanje temperature 5

Slika 5. Lokacija spilje Poganica 18

Slika 6. Izgled spilje Poganica 19

Slika 7. Ulaz u spilju Poganica 20

Slika 8. Ulaz u spilju Poganica 20

Slika 9. Data logger pričvršćem užetom za spilju 21

Slika 10. Data logger nakon vađenja iz spilje 22

POPIS GRAFOVA

Graf 1: Mjerna nesigurnost za 0°C 15

Graf 2: Mjerna nesigurnost za 6°C 15

Graf 3: Mjerna nesigurnost za 12°C 16

Graf 4: Mjerna nesigurnost za 18°C 16

Graf 5: Mjerna nesigurnost za 24°C 17

Graf 6: Mjerna nesigurnost za 30°C 17

Graf 7: Promjena temperature u 2008. godini 23

Graf 8: Promjena temperature u 2009. godini 23

Graf 9: Promjena temperature u 2010. godini 24

Graf 10: Promjena temperature u 2011. godini 24

Graf 11: Promjena temperature u 2012. godini 25

Graf 12: Promjena temperature u odabranom razdoblju u 2008. godini 26

Graf 13: Promjena temperature u odabranom razdoblju u 2009. godini 26

Graf 14: Promjena temperature u odabranom razdoblju u 2010. godini 27

Graf 15: Promjena temperature u odabranom razdoblju u 2011. godini 27

Graf 16: Promjena temperature u odabranom razdoblju u 2012. godini 28

POPIS TABLICA

Tablica 1: Rezultati umjeravanja na 0°C 6

Tablica 2: Rezultati umjeravanja na 6°C 7

Tablica 3: Rezultati umjeravanja na 12°C 7

Tablica 4: Rezultati umjeravanja na 18°C 7

Tablica 5: Rezultati umjeravanja na 24°C 8

Tablica 6: Rezultati umjeravanja na 30°C 8

Tablica 7: Proširena mjerna nesigurnost za 0°C 11

Tablica 8: Proširena mjerna nesigurnost za 6°C 12

Tablica 9: Proširena mjerna nesigurnost za 12°C 12

Tablica 10: Proširena mjerna nesigurnost za 18°C 13

Tablica 11: Proširena mjerna nesigurnost za 24°C 13

Tablica 12: Proširena mjerna nesigurnost za 30°C 14

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
n	-	broj izmjerenih veličina
$\bar{X}_i$	°C	srednja vrijednost (aritmetička sredina)
$X_{i,k}$	°C	izmjerena temperatura
s	°C	standardna devijacija
u	°C	standardna nesigurnost
u_c	°C	složena standardna mjerna nesigurnost
U	°C	proširena mjerna nesigurnost
k	-	faktor prekrivanja

SAŽETAK

Ovaj rad temelji se na ispitivanju mjernih uređaja (*data loggera*) koji se koriste za mjerenje temperature u hladnomorskim spiljama u temperaturnom rasponu od 0°C do 30°C. Također su obrađeni dobiveni podaci izmjereni u spilji Poganica na otoku Šolti u razdoblju od 2008. do 2012. godine.

U prvom dijelu rada provedeno je umjeravanje *data loggera* u šest točaka: 0°C, 6°C, 12°C, 18°C, 24°C, 30°C iz čijih je rezultata kasnije izračunata mjerna nesigurnost. Pokazalo se da su odstupanja *data loggera* u svim točkama mala. Korišten je etalonski platinski otpornički termometar Pt 25,5, a umjeravanje je provedeno na Fakultetu strojarstva i brodogradnje čiji je Laboratorij za procesna mjerenja nositelj državnih etalona za temperaturu, tlak i vlažnost.

Drugi se dio rada odnosi na obradu podataka izmjerenih u spilji s ciljem provjere jesu li uređaji, nakon određenog vremena u spilji, izgubili točnost. Zamišljeno je da se prati kašnjenje maksimuma temperatura unutar spilje za onim na samom ulazu u spilju, no ispostavilo se da je problem mnogo složeniji te nije moguće na ovaj način odrediti točnost uređaja. Naime, dolazi do prijenosa topline između toplije i hladnije vode u različitim dijelovima godina te se ne može odrediti shema primjenjiva u svim situacijama.

Ključne riječi: *data loggeri*, umjeravanje, mjerna nesigurnost, Poganica

SUMMARY

This paper is based on assessing measuring devices (data loggers) which are used for temperature measurements in sublittoral caves ranging from 0°C to 30°C. The collected data, measured in the cave Poganica on the island of Šolta between 2008 and 2012, are also processed.

In the first part of the paper a calibration of data loggers in six points: 0°C, 6°C, 12°C, 18°C, 24°C, 30°C was carried out. From those results the measurement uncertainty was calculated. It turned out that the deviation of data loggers are small at all points. Standard platinum resistance thermometer Pt 25,5 is used. The calibration was carried out at the Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, whose Laboratory for Process Measurements is the holder of national standards for temperature, pressure and humidity.

The second part of the paper refers to processing the data measured in the cave in order to check whether the devices had, after specific time in cave, lost their accuracy. It had been planned to track the delay of maximum temperature inside the cave from the one at the entrance to the cave. However, it turned out that the problem was much more complicated and it is not possible to determine the accuracy of the devices in this way. The heat transfer between warm and cold water occurs in different parts of the year and there is no way to determine a scheme that can be applied in all situations.

Key words: data loggers, calibration , measurement uncertainty, Poganica

1. UVOD

Pod vodstvom Donata Petriciolija, dipl. ing. biol. skupina istraživača iz područja biologije nekoliko je godina pratila ″ponašanje″ spilje Poganica na otoku Šolti, a između ostalog provedena su i mjerenja temperature tijekom duljeg perioda. Nakon pregleda svih prikupljenih podataka, zaključuju da Poganica ima neka obilježja koja nisu svojstvena takvim spiljama. Profil temperature uvelike se razlikovao od očekivanog te su u spilji pronađeni organizmi koji se na tim dubinama ne bi trebali nalaziti. Cilj ovog završnog rada je provjeriti jesu li temperature različite od očekivanih zbog loših mjernih uređaja korištenih u ovoj spilji ili je ona po nečemu posebna. Uređaji korišteni kod mjerenja temperature su *data loggeri*.

Prvi korak u procjeni mjernih uređaja (*data loggera*) je njihovo umjeravanje. *Data loggeri* umjeravani su u Laboratoriju za procesna mjerenja na Fakultetu strojarstva i brodogradnje, a umjeravanje je izvršeno u šest točaka: 0°C, 6°C, 12°C, 18°C, 24°C te 30°C.

Drugi dio rada zamišljen je kao provjera jesu li *data loggeri* jednako točni u prvoj i zadnjoj godini mjerenja jer su mjerili temperaturu u spilji pet godina. Na raspolaganju su dva niza podataka: jedan s *data loggera* smještenog na ulazu u spilju na dubini od 7 metara, a drugi s onog smještenog u spilji na dubini od 30 metara. Uspoređeno je kašnjenja maksimuma temperature na dubini od 30 metara za onim na 7 metara.

2. UMJERAVANJE

U znanstvenoj i stručnoj literaturi pojam umjeravanje definira se kao skup postupaka kojima se u određenim uvjetima uspostavlja odnos između vrijednosti koje pokazuje mjerilo i odgovarajućih vrijednosti ostvarenih etalona. Točnost mjerila se tijekom vremena mijenja, kao i pod djelovanjem raznih štetnih utjecaja kao što su temperatura, vlaga, strujanje zraka i sl. Umjeravanjem u određenim i kontroliranim vremenskim razmacima osigurava se točnost i ispravnost mjerila. Umjeravanje mora biti sljedivo. Sljedivost je definirana kao svojstvo mjernog rezultata ili vrijednost etalona po kojemu se on može dovesti u vezu s referencijskim etalonima neprekinutim lancem usporedaba koje imaju utvrđene nesigurnosti. Mjerni etalon precizniji je od mjerila, na višoj je razini hijerarhijske ljestvice sljedivosti i ima manju mjernu nesigurnost od mjerila koja se njime umjeravaju. Umjeravanjem mjerila dobije se informacija koliko uređaj odstupa od vrijednosti koja bi se dobila mjerenjem s primarnim etalonom.

Uređaji korišteni za mjerenje temperature i umjeravani u ovom radu su *data loggeri* (Slika 1. Data logger) tvrtke *Onset*. Namijenjeni su za rad na otvorenome te pod vodom. Vodootporni su do dubine od tristo metara, a točnost im je ±0.2°C. Radno područje im je od -20° do 70 °C u zraku te maksimalno 30°C u vodi.



Slika 1. Data logger

2.1. Postupak

Data loggeri komuniciraju s računalom preko Optic USB Base Station, dalje u tekstu komunikator. No, prvo je potrebno instalirati program koji će prepoznati komunikator te očitati podatke s *data loggera*. Komunikator koristi infracrvenu svjetlost za prijenos podataka s *data loggera* što im omogućuje da budu potpuno zabrtvljeni i vodootporni. Prije početka umjeravanja *data loggere* je potrebno povezati s računalom (Slika 2. Povezivanje data loggera s računalom) te ih uključiti nakon čega oni počinju mjeriti i pohranjivati temperaturu svakih deset sekundi. Zatim je potrebno pripremiti kupku te etalon koji paralelno s *data loggerima* mjeri temperaturu kupke svakih pet sekundi. Etalon je povezan s računalom koji daje grafički prikaz njegovih očitanja. *Data loggeri* se smještaju u kupku (Slika 3. Data loggeri u kupki) te počinje postupak umjeravanja. Umjeravano je četiri *data loggera*, a za umjeravanje je korištena termometrijska kupka punjena denaturiranim etanolom te etalonski platinski otpornički termometar.

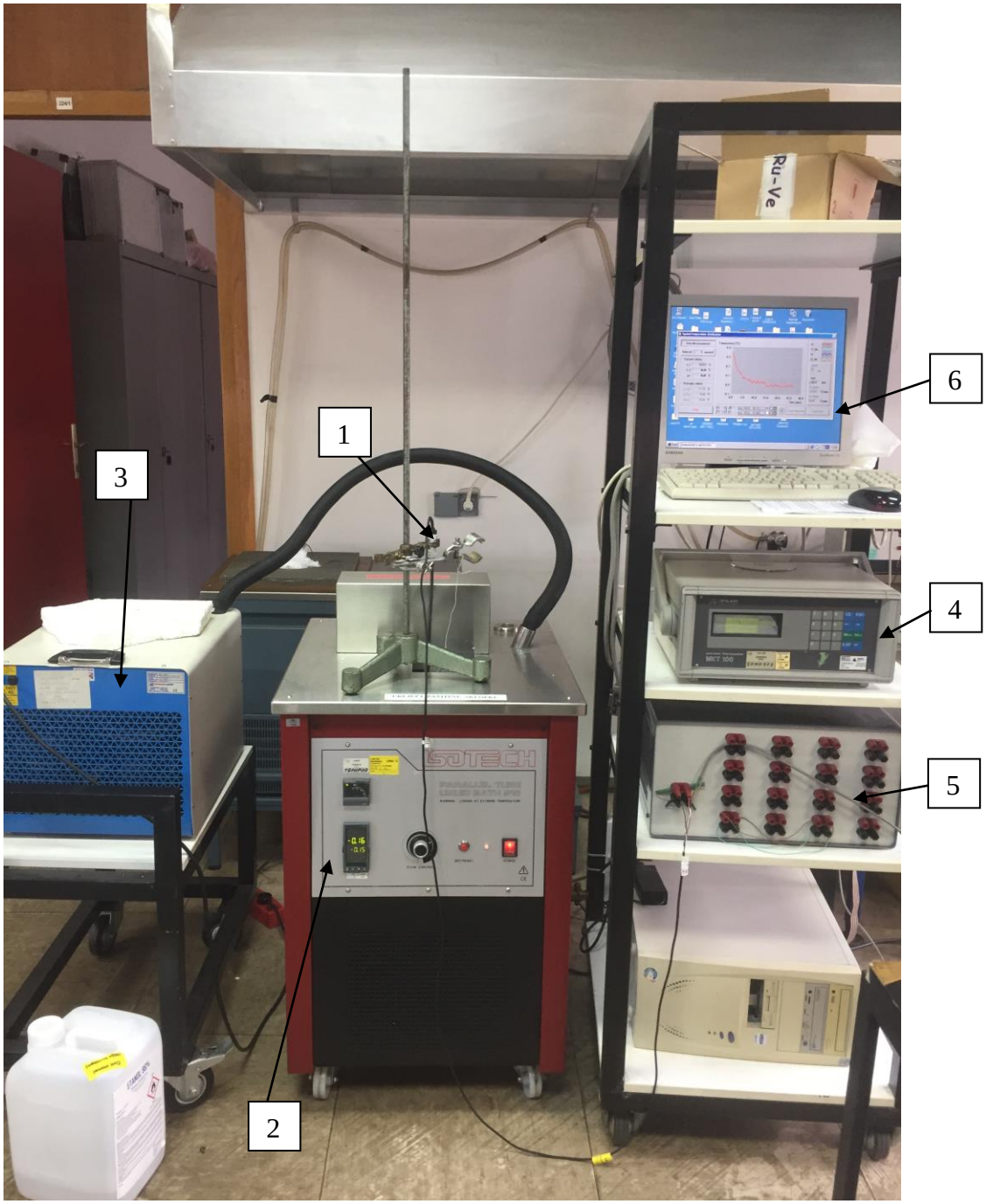


Slika 2. Povezivanje data loggera s računalom



Slika 3. Data loggeri u kupki

Kupka se najprije postavlja na 0°C te se ostavlja na toj temperaturi trideset minuta. Nakon isteka trideset minuta spremaju se sva mjerenja etalona na toj temperaturi te se temperatura kupke mijenja na 6°C, a cijeli postupak (Slika 4. Mjerna linija za ispitivanje temperature) ponavlja se za svaku od šest točaka umjeravanja.



Slika 4. Mjerna linija za ispitivanje temperature

Na prethodnoj slici brojevi redom označuju:

1 – etalonski platinski otpornički termometar Pt 25,5 (SPRT)

2 – termometrijska kupka punjena denaturiranim etanolom (96%)

3 – rashladna jedinica termometrijske kupke

4 – termometrijski otpornički most (istosmjerni)

5 – multipleksor (skener)

6 – računalo s programom za očitavanje podataka s mosta

2.2. Obrada rezultata umjeravanja

Svi podaci mjereni etalonom kopirani su u Microsoft Excel. Odabrane su temperature izmjerene zadnjih deset minuta prije mijenjanja temperature kupke u svakoj točki te su iz njih izračunate srednje vrijednosti očitanja, broj očitanja i standardna devijacija. Isti je postupak ponovljen za podatke mjerene *data loggerima*. Svi izačunati podaci upisani su u tablicu radi lakšeg snalaženja kod računanja mjerne nesigurnosti. Na kraju je izračunato odstupanje odnosno razlika između srednje vrijednosti očitanja *data loggera* i srednje vrijednosti očitanja etalona, a svi navedeni podaci prikazani su u sljedećim tablicama. DUC je kratica za *device under calibration* što znači umjeravani uređaj, a u ovom slučaju to su *data loggeri*.

2.3. Tablični prikaz rezultata umjeravanja

Tablica 1: Rezultati umjeravanja na 0°C

Nazivna temperatura: 0°C	1235465	1235466	1235477	1235478
Datum	13.12.2017	13.12.2017	13.12.20117	13.12.2017
Vrijeme početka	11:17:25	11:17:12	11:17:17	11:17:08
Vrijeme završetka	11:27:25	11:27:12	11:27:17	11:27:08
Srednja vrijednost očitanja etalona [˚C]	-0,006	-0,006	-0,006	-0,006
Standardna devijacija etalona [˚C]	0,005	0,005	0,005	0,005
Broj očitanja etalona	121	121	121	121
Srednja vrijednost očitanja DUC-a [˚C]	-0,006	-0,060	0,000	-0,004
Standardna devijacija DUC-a [˚C]	0,007	0,000	0,000	0,000
Broj očitanja DUC-a	61	61	61	61
Odstupanje [˚C]	0,0000	-0,0541	0,0059	0,0019

Tablica 2: Rezultati umjeravanja na 6°C

Nazivna temperatura: 6°C	1235465	1235466	1235477	1235478
Datum	13.12.2017	13.12.2017	13.12.20117	13.12.2017
Vrijeme početka	12:00:05	11:59:52	12:00:07	11:59:58
Vrijeme završetka	12:10:05	12:09:52	12:10:07	12:09:58
Srednja vrijednost očitanja etalona [˚C]	6,127	6,127	6,127	6,127
Standardna devijacija etalona [˚C]	5,805	5,805	5,805	5,805
Broj očitanja etalona	121	121	121	121
Srednja vrijednost očitanja DUC-a [˚C]	6,147	6,102	6,153	6,153
Standardna devijacija DUC-a [˚c]	0,011	0,000	0,000	0,000
Broj očitanja DUC-a	61	61	61	61
Odstupanje [˚C]	0,0199	-0,0250	0,0260	0,0260

Tablica 3: Rezultati umjeravanja na 12°C

Nazivna temperatura: 12°C	1235465	1235466	1235477	1235478
Datum	13.12.2017	13.12.2017	13.12.20117	13.12.2017
Vrijeme početka	12:47:15	12:47:12	12:47:17	12:47:08
Vrijeme završetka	12:57:15	12:57:12	12:57:17	12:57:08
Srednja vrijednost očitanja etalona [˚C]	12,121	12,121	12,121	12,121
Standardna devijacija etalona [˚C]	5,324	5,324	5,324	5,324
Broj očitanja etalona	121	121	121	121
Srednja vrijednost očitanja DUC-a [˚C]	12,147	12,098	12,171	12,171
Standardna devijacija DUC-a [˚C]	0,000	0,000	0,000	0,003
Broj očitanja DUC-a	61	61	61	61
Odstupanje [˚C]	0,0260	-0,0230	0,0500	0,0496

Tablica 4: Rezultati umjeravanja na 18°C

Nazivna temperatura: 18°C	1235465	1235466	1235477	1235478
Datum	13.12.2017	13.12.2017	13.12.20117	13.12.2017
Vrijeme početka	13:43:55	13:42:22	13:46:17	13:47:48
Vrijeme završetka	13:53:55	13:52:22	13:56:17	13:57:48
Srednja vrijednost očitanja etalona [˚C]	18,110	18,110	18,110	18,110
Standardna devijacija etalona [˚C]	9,164	9,164	9,164	9,164
Broj očitanja etalona	121	121	121	121
Srednja vrijednost očitanja DUC-a [˚C]	18,152	18,084	18,174	18,176
Standardna devijacija DUC-a [˚C]	0,003	0,008	0,007	0,000
Broj očitanja DUC-a	61	61	61	61
Odstupanje [˚C]	0,0416	-0,0262	0,0636	0,0660

Tablica 5: Rezultati umjeravanja na 24°C

Nazivna temperatura: 24°C	1235465	1235466	1235477	1235478
Datum	14.12.2017	14.12.2017	14.12.2017	14.12.2017
Vrijeme početka	11:07:35	11:07:32	11:07:47	11:07:28
Vrijeme završetka	11:17:35	11:17:32	11:17:47	11:17:28
Srednja vrijednost očitanja etalona [˚C]	24,083	24,083	24,083	24,083
Standardna devijacija etalona [˚C]	7,044	7,044	7,044	7,044
Broj očitanja etalona	121	121	121	121
Srednja vrijednost očitanja DUC-a [˚C]	24,126	24,074	24,146	24,146
Standardna devijacija DUC-a [˚C]	0,009	0,000	0,000	0,003
Broj očitanja DUC-a	61	61	61	61
Odstupanje [˚C]	0,0425	-0,0090	0,0630	0,0634

Tablica 6: Rezultati umjeravanja na 30°C

Nazivna temperatura: 30°C	1235465	1235466	1235477	1235478
Datum	14.12.2017	14.12.2017	14.12.20117	14.12.2017
Vrijeme početka	11:52:05	11:51:52	11:51:27	11:51:48
Vrijeme završetka	12:02:05	12:01:52	12:01:27	12:01:48
Srednja vrijednost očitanja etalona [˚C]	30,091	30,091	30,091	30,091
Standardna devijacija etalona [˚C]	6,080	6,080	6,080	6,080
Broj očitanja etalona	121	121	121	121
Srednja vrijednost očitanja DUC-a [˚C]	30,142	30,086	30,165	30,167
Standardna devijacija DUC-a [˚C]	0,000	0,010	0,007	0,003
Broj očitanja DUC-a	61	61	61	61
Odstupanje [˚C]	0,0510	-0,0045	0,0740	0,0756

3. ODREĐIVANJE MJERNE NESIGURNOSTI

Mjerna nesigurnost prikazuje određenu sumnju u valjanost mjernog rezultata odnosno opisuje rasipanje vrijednosti koje bi se razumno moglo pripisati mjerenoj veličini, navodi se u literaturi. Mjerni rezultat je samo procjena vrijednosti mjerene veličine, a mjerna nesigurnost određuje područje unutar kojeg bi se trebala nalaziti prava vrijednost mjerene veličine.

Svakom mjerenju pa tako i mjerenju temperature treba pridružiti mjernu nesigurnost, odnosno odrediti pouzdanost izmjerenog rezultata. Mjerna nesigurnost pokazuje koliko je mjerenje kvalitetno i s kolikom sumnjom trebamo koristiti rezultat mjerenja.

Izračun mjerne nesigurnosti sastoji se od nekoliko koraka. Prvo je potrebno prepoznati sve izvore mjerne nesigurnosti, npr. mjerni instrument, pomoćnu opremu, objekt mjerenja, metodu mjerenja, nesigurnost samih mjerila, uvjete okoliša i dr. Sljedeći korak je procjena mjerne nesigurnosti za svaki izvor, a nju je moguće procijeniti na dva načina: tip A i tip B. Metoda A odnosno tip A koristi se kada za neki podatak postoji više mjerenja pri čemu se standardna nesigurnost računa iz standardne devijacije podataka više mjerenja odnosno statistički. Kod metode B procjene se temelje na drugim podacima kao što su iskustvo s tim tipom mjerila, podaci iz umjernica, specifikacije, iz objavljenih izvora i slično.

3.1. Metoda A

Prije računanja složene mjerne nesigurnosti potrebno je sve podatke svesti na istu razinu pouzdanosti odnosno na standardnu nesigurnost. Za podatke dobivene metodom A standardna se nesigurnost računa iz standardne devijacije za sve podatke dobivene mjerenjem.

Srednja vrijednost (aritmetička sredina):

$$\bar{X}_i = \frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n} x_{i,k}$$

Standardna devijacija:

$$s(x_i) = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{k=1}^{n}(x_k - \bar{X})^2}$$

Standardna nesigurnost:

$$u = \frac{s}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{X})^2}{n(n-1)}}$$

3.2. Metoda B

Kada se nesigurnost računa metodom B, poznat je samo interval nesigurnosti u kojem je vjerojatno prava vrijednost, a takva razdioba se naziva pravokutnom. Za takav tip mjerenja standardna se nesigurnost računa na sljedeći način:

$$u = \frac{a}{\sqrt{3}}$$

gdje je *a* poluinterval nesigurnosti.

Prije računanja složene standardne mjerne nesigurnosti potrebno je svesti sve sastavnice na iste mjerne jedinice. Složena standardna mjerna nesigurnost računa se kao korijen iz sume kvadrata nesigurnosti iz svakog izvora.

$$u_c = \sqrt{{u_1}^2 + {u_2}^2 + {u_3}^2 + \cdots}$$

Proširena mjerna nesigurnost računa se tako da se složena standardna mjerna nesigurnost pomnoži s faktorom prekrivanja.

$$U = k \cdot u_c$$

Faktor *k* je najčešće 2 što odgovara pouzdanosti od 95%.

3.3. Izračun proširene mjerne nesigurnosti

Izračun proširene mjerne nesigurnosti najbolje je prikazati u tablici.

Tablica 7: Proširena mjerna nesigurnost za 0°C

Nesigurnost određivanja zone kontrolirane temperature						
Tip	Izvor nesigurnosti	Procjena	Nesigurnost	Razdioba	Koeficijent	Doprinos
A	Očitanje etalona	-0,006 °C	0,0005 °C	normalna (1σ)	1,0 [-]	0,5 mK
B	Umjeravanje etalona	0,00 °C	0,0050 °C	normalna (2σ)	1,0 [-]	2,5 mK
	Samozagrijavanje etalona	0,00 °C	0,0010	pravokutna	1,0 [-]	0,6 mK
	Drift etalona	0,00 °C	0,0300 °C	pravokutna	1,0 [-]	17,3 mK
	Umjeravanje mosta	0,00 mΩ	0,40 mΩ	normalna (2σ)	9,9 °C/Ω@t_S	2,0 mK
	Rezolucija mosta	0,00 mΩ	0,04 mΩ	pravokutna	9,9 °C/Ω@t_S	0,2 mK
	Gradijenti	0,00 °C	0,0200 °C	pravokutna	1,0 [-]	11,5 mK
A&B	DUT temperatura	-0,0060 °C			Standardna nesigurnost (1σ)	21,1 mK

Nesigurnost objekta umjeravanja		$t_{cal:}$	-0,0060 °C			
Tip	Izvor nesigurnosti	Procjena	Nesigurnost	Razdioba	Koeficijent	Doprinos
A	Očitanje DUT-a	-0,060 °C	0,00100 °C	normalna (1σ)	1,0 [-]	1,00 mK
B	Rezolucija DUT-a	0,000 °C	0,03000 °C	pravokutna	1,0 [-]	8,66 mK
	Temp. devijacija	-0,006 °C	0,02107 °C	normalna (1σ)	1,0 [-]	21,07 mK
A&B	DUT temperatura	-0,0540 °C			Nesigurnost (1σ)	22,81 mK

Proširena nesigurnost					***k*=2**	**46 mK**

Tablica 8: Proširena mjerna nesigurnost za 6°C

Nesigurnost određivanja zone kontrolirane temperature						
Tip	Izvor nesigurnosti	Procjena	Nesigurnost	Razdioba	Koeficijent	Doprinos
A	Očitanje etalona	6,127 °C	0,0006 °C	normalna (1σ)	1,0 [-]	0,6 mK
B	Umjeravanje etalona	0,00 °C	0,0050 °C	normalna (2σ)	1,0 [-]	2,5 mK
	Samozagrijavanje etalona	0,00 °C	0,0010	pravokutna	1,0 [-]	0,6 mK
	Drift etalona	0,00 °C	0,0300 °C	pravokutna	1,0 [-]	17,3 mK
	Umjeravanje mosta	0,00 mΩ	0,40 mΩ	normalna (2σ)	9,9 °C/Ω@t_S	2,0 mK
	Rezolucija mosta	0,00 mΩ	0,04 mΩ	pravokutna	9,9 °C/Ω@t_S	0,2 mK
	Gradijenti	0,00 °C	0,0200 °C	pravokutna	1,0 [-]	11,5 mK
A&B	DUT temperatura	6,1270 °C			Standardna nesigurnost (1σ)	21,1 mK

Nesigurnost objekta umjeravanja	$t_{cal:}$	6,1270 °C				
Tip	Izvor nesigurnosti	Procjena	Nesigurnost	Razdioba	Koeficijent	Doprinos
A	Očitanje DUT-a	6,153 °C	0,00140 °C	normalna (1σ)	1,0 [-]	1,40 mK
B	Rezolucija DUT-a	0,000 °C	0,03000 °C	pravokutna	1,0 [-]	8,66 mK
	Temp. devijacija	6,127 °C	0,02108 °C	normalna (1σ)	1,0 [-]	21,08 mK
A&B	DUT temperatura	0,0260 °C			Nesigurnost (1σ)	22,83 mK

Proširena nesigurnost					***k*=2**	**46 mK**

Tablica 9: Proširena mjerna nesigurnost za 12°C

Nesigurnost određivanja zone kontrolirane temperature						
Tip	Izvor nesigurnosti	Procjena	Nesigurnost	Razdioba	Koeficijent	Doprinos
A	Očitanje etalona	12,121 °C	0,0005 °C	normalna (1σ)	1,0 [-]	0,5 mK
B	Umjeravanje etalona	0,00 °C	0,0050 °C	normalna (2σ)	1,0 [-]	2,5 mK
	Samozagrijavanje etalona	0,00 °C	0,0010	pravokutna	1,0 [-]	0,6 mK
	Drift etalona	0,00 °C	0,0300 °C	pravokutna	1,0 [-]	17,3 mK
	Umjeravanje mosta	0,00 mΩ	0,40 mΩ	normalna (2σ)	9,9 °C/Ω@t_S	2,0 mK
	Rezolucija mosta	0,00 mΩ	0,04 mΩ	pravokutna	9,9 °C/Ω@t_S	0,2 mK
	Gradijenti	0,00 °C	0,0200 °C	pravokutna	1,0 [-]	11,5 mK
A&B	DUT temperatura	12,1210 °C			Standardna nesigurnost (1σ)	21,1 mK

Nesigurnost objekta umjeravanja	$t_{cal:}$	12,1210 °C				
Tip	Izvor nesigurnosti	Procjena	Nesigurnost	Razdioba	Koeficijent	Doprinos
A	Očitanje DUT-a	12,171 °C	0,00040 °C	normal (1σ)	1,0 [-]	0,40 mK
B	Rezolucija DUT-a	0,000 °C	0,03000 °C	rectangular	1,0 [-]	8,66 mK
	Temp. devijacija	12,121 °C	0,02107 °C	normal (1σ)	1,0 [-]	21,07 mK
A&B	DUT temperatura	0,0500 °C			Nesigurnost (1σ)	22,79 mK

Proširena nesigurnost					***k*=2**	**46 mK**

Tablica 10: Proširena mjerna nesigurnost za 18°C

Nesigurnost određivanja zone kontrolirane temperature						
Tip	Izvor nesigurnosti	Procjena	Nesigurnost	Razdioba	Koeficijent	Doprinos
A	Očitanje etalona	18,110 °C	0,0009 °C	normalna (1σ)	1,0 [-]	0,9 mK
B	Umjeravanje etalona	0,00 °C	0,0050 °C	normalna (2σ)	1,0 [-]	2,5 mK
	Samozagrijavanje etalona	0,00 °C	0,0010	pravokutna	1,0 [-]	0,6 mK
	Drift etalona	0,00 °C	0,0300 °C	pravokutna	1,0 [-]	17,3 mK
	Umjeravanje mosta	0,00 mΩ	0,40 mΩ	normalna (2σ)	9,9 °C/Ω@t_S	2,0 mK
	Rezolucija mosta	0,00 mΩ	0,04 mΩ	pravokutna	9,9 °C/Ω@t_S	0,2 mK
	Gradijenti	0,00 °C	0,0200 °C	pravokutna	1,0 [-]	11,5 mK
A&B	DUT temperatura	18,1100 °C			Standardna nesigurnost (1σ)	21,1 mK

Nesigurnost objekta umjeravanja		$t_{cal:}$	18,1100 °C			
Tip	Izvor nesigurnosti	Procjena	Nesigurnost	Razdioba	Koeficijent	Doprinos
A	Očitanje DUT-a	18,176 °C	0,00100 °C	normalna (1σ)	1,0 [-]	1,00 mK
B	Rezolucija DUT-a	0,000 °C	0,03000 °C	pravokutna	1,0 [-]	8,66 mK
	Temp. devijacija	18,110 °C	0,02109 °C	normalna (1σ)	1,0 [-]	21,09 mK
A&B	DUT temperatura	0,0660 °C			Nesigurnost (1σ)	22,82 mK

Proširena nesigurnost					***k*=2**	**46 mK**

Tablica 11: Proširena mjerna nesigurnost za 24°C

Nesigurnost određivanja zone kontrolirane temperature						
Tip	Izvor nesigurnosti	Procjena	Nesigurnost	Razdioba	Koeficijent	Doprinos
A	Očitanje etalona	24,083 °C	0,0007 °C	normalna (1σ)	1,0 [-]	0,7 mK
B	Umjeravanje etalona	0,00 °C	0,0050 °C	normalna (2σ)	1,0 [-]	2,5 mK
	Samozagrijavanje etalona	0,00 °C	0,0010	pravokutna	1,0 [-]	0,6 mK
	Drift etalona	0,00 °C	0,0300 °C	pravokutna	1,0 [-]	17,3 mK
	Umjeravanje mosta	0,00 mΩ	0,40 mΩ	normalna (2σ)	10,0 °C/Ω@t_S	2,0 mK
	Rezolucija mosta	0,00 mΩ	0,04 mΩ	pravokutna	10,0 °C/Ω@t_S	0,2 mK
	Gardijenti	0,00 °C	0,0200 °C	pravokutna	1,0 [-]	11,5 mK
A&B	DUT temperatura	24,0830 °C			Standardna nesigurnost (1σ)	21,1 mK

Nesigurnost objekta umjeravanja		$t_{cal:}$	24,0830 °C			
Tip	Izvor nesigurnosti	Procjena	Nesigurnost	Razdioba	Koeficijent	Doprinos
A	Očitanje DUT-a	24,146 °C	0,00110 °C	normalna (1σ)	1,0 [-]	1,10 mK
B	Rezolucija DUT-a	0,000 °C	0,03000 °C	pravokutna	1,0 [-]	8,66 mK
	Temp. devijacija	24,083 °C	0,02108 °C	normalna (1σ)	1,0 [-]	21,08 mK
A&B	DUT temperatura	0,0630 °C			Nesigurnost (1σ)	22,82 mK

Proširena nesigurnost					***k*=2**	**46 mK**

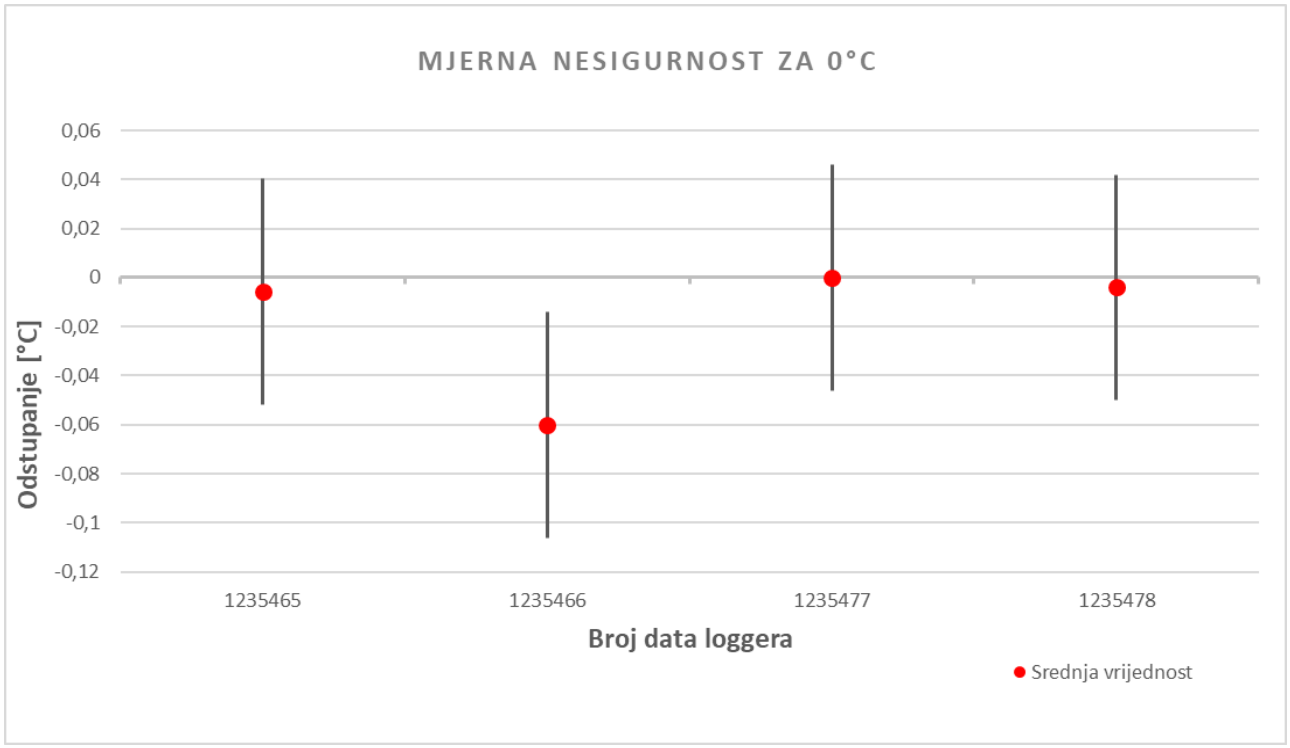
Tablica 12: Proširena mjerna nesigurnost za 30°C

Nesigurnost određivanja zone kontrolirane temperature						
Tip	Izvor nesigurnosti	Procjena	Nesigurnost	Razdioba	Koeficijent	Doprinos
A	Očitanje etalona	30,091 °C	0,0006 °C	normalna (1σ)	1,0 [-]	0,6 mK
B	Umjeravanje etalona	0,00 °C	0,0050 °C	normalna (2σ)	1,0 [-]	2,5 mK
	Samozagrijavanje etalona	0,00 °C	0,0010	pravokutna	1,0 [-]	0,6 mK
	Drift etalona	0,00 °C	0,0300 °C	pravokutna	1,0 [-]	17,3 mK
	Umjeravanje mosta	0,00 mΩ	0,40 mΩ	normalna (2σ)	10,0 °C/Ω@t_S	2,0 mK
	Rezolucija mosta	0,00 mΩ	0,04 mΩ	pravokutna	10,0 °C/Ω@t_S	0,2 mK
	Gradijenti	0,00 °C	0,0200 °C	pravokutna	1,0 [-]	11,5 mK
A&B	DUT temperatura	30,0910 °C			Standardna nesigurnost (1σ)	21,1 mK

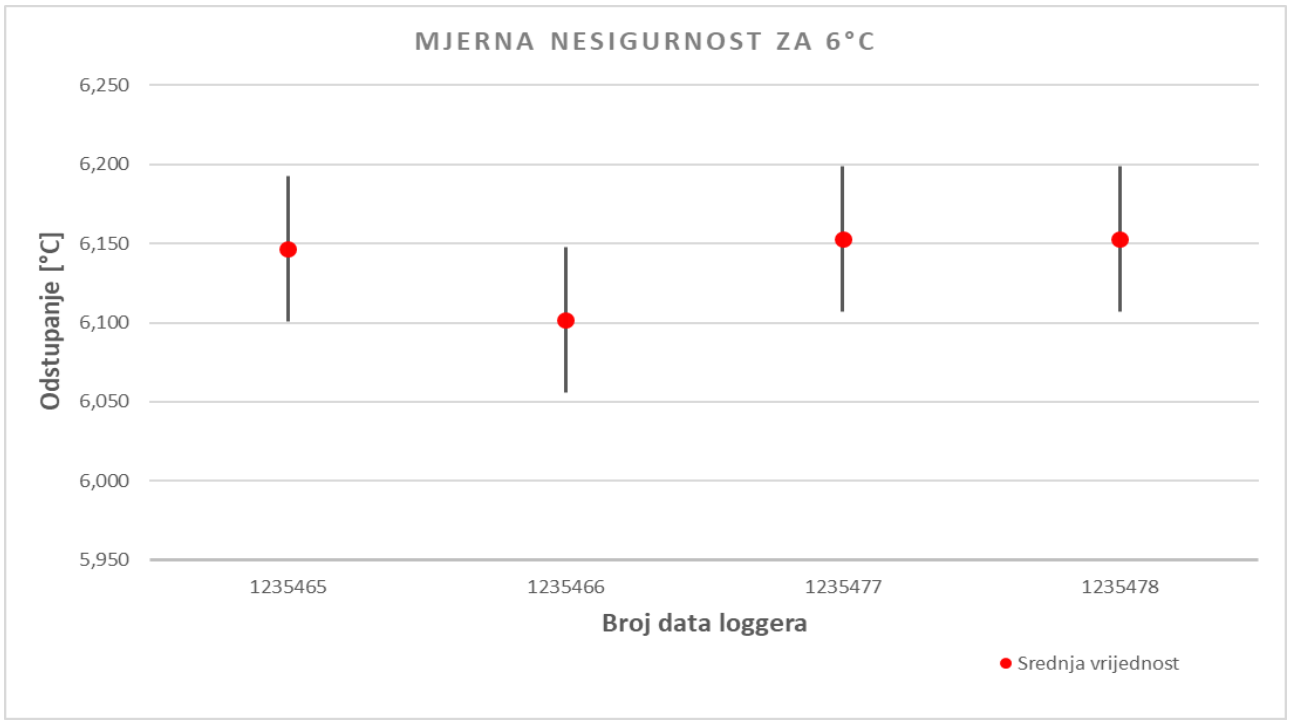
Nesigurnost objekta umjeravanja		$t_{cal:}$	30,0910 °C			
Tip	Izvor nesigurnosti	Procjena	Nesigurnost	Razdioba	Koeficijent	Doprinos
A	Očitanje DUT-a	30,167 °C	0,00130 °C	normalna (1σ)	1,0 [-]	1,30 mK
B	Rezolucija DUT-a	0,000 °C	0,03000 °C	pravokutna	1,0 [-]	8,66 mK
	Temp. devijacija	30,091 °C	0,02108 °C	normalna (1σ)	1,0 [-]	21,08 mK
A&B	DUT temperatura	0,0760 °C			Nesigurnost (1σ)	22,83 mK

Proširena nesigurnost					***k*=2**	**46 mK**

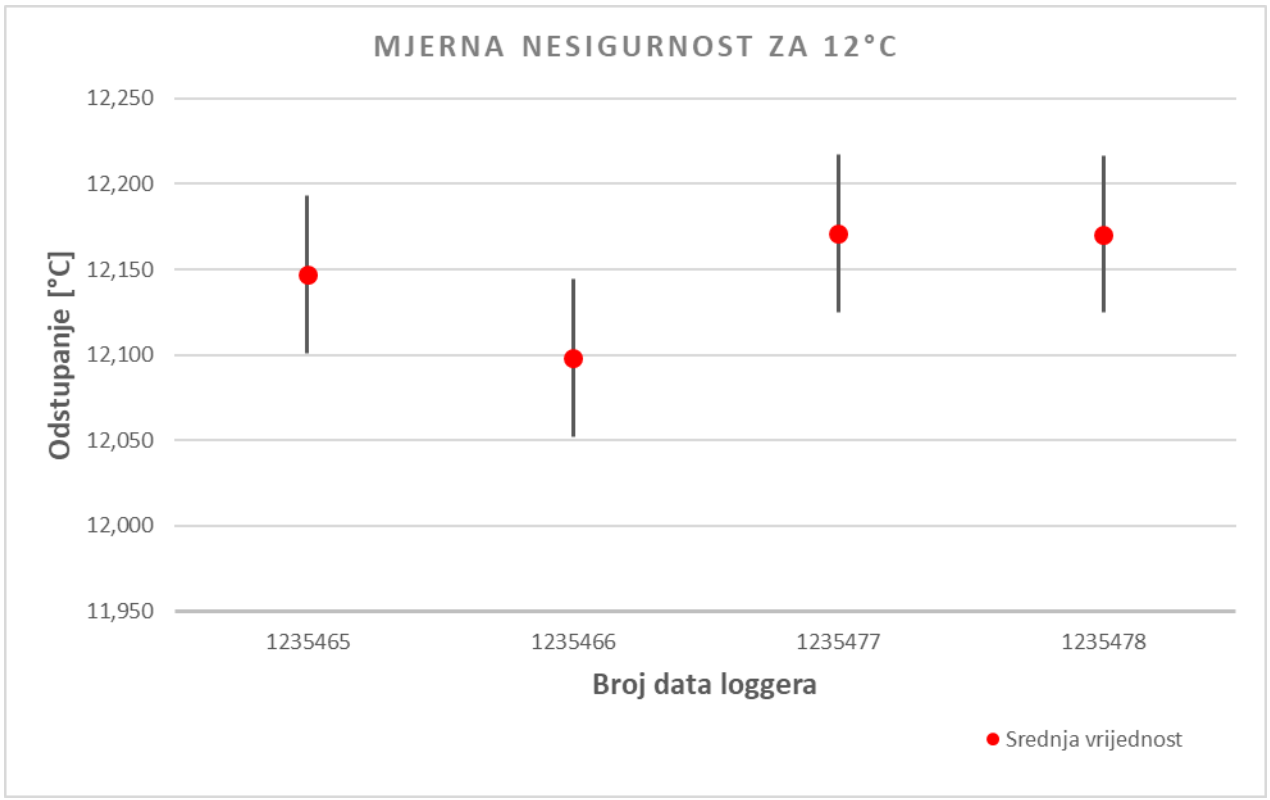
3.4. Grafički prikaz mjerne nesigurnosti



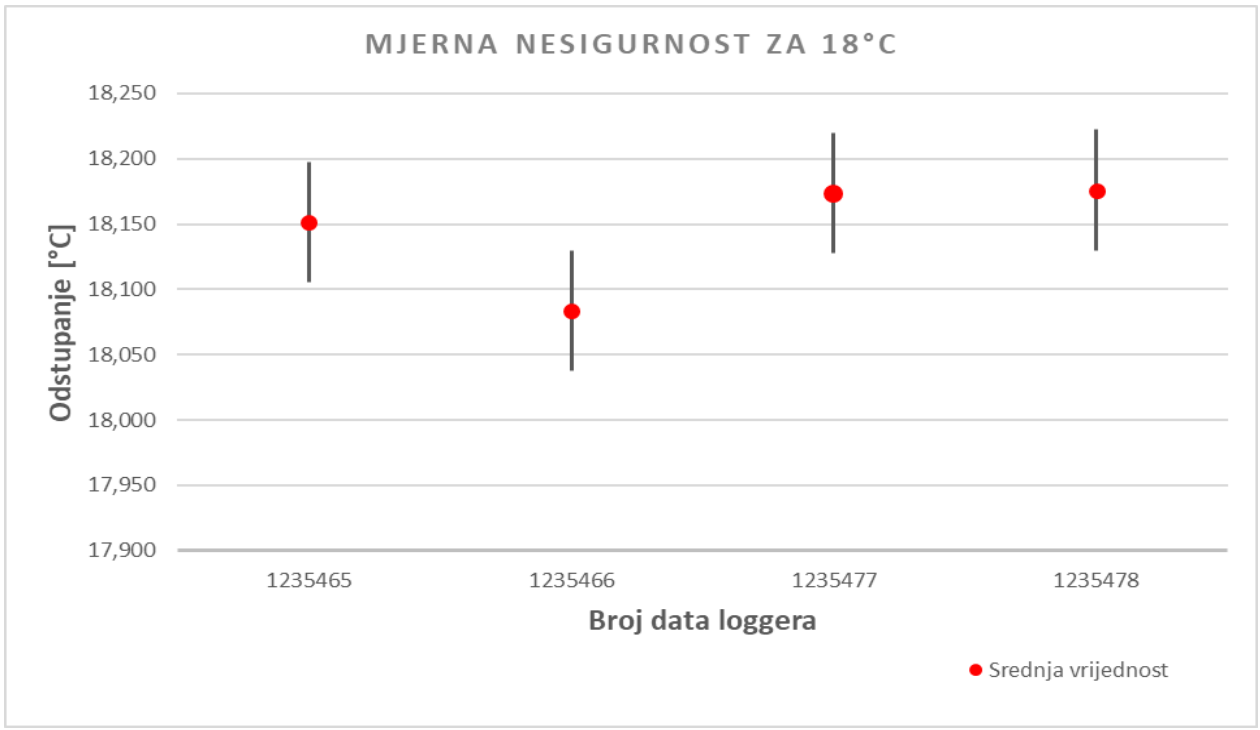
Graf 1: Mjerna nesigurnost za 0°C



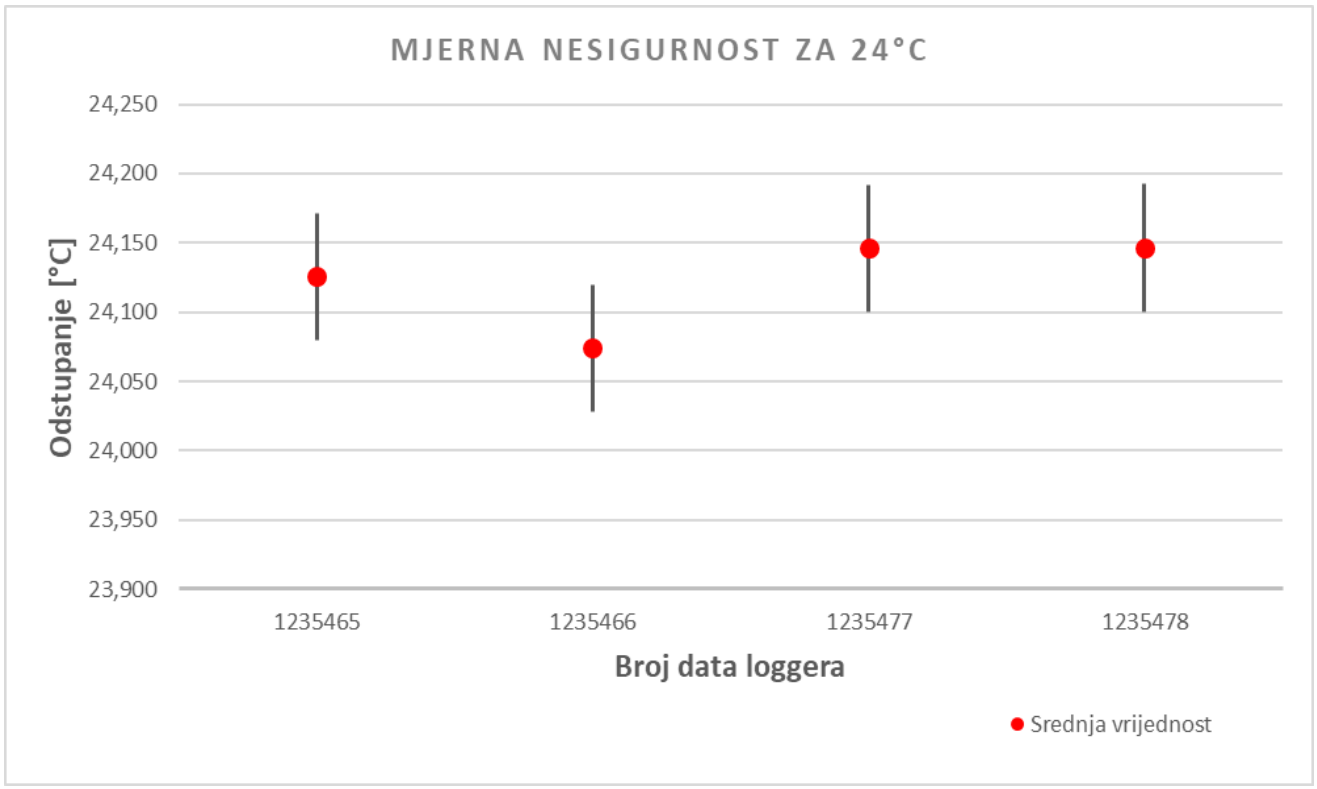
Graf 2: Mjerna nesigurnost za 6°C



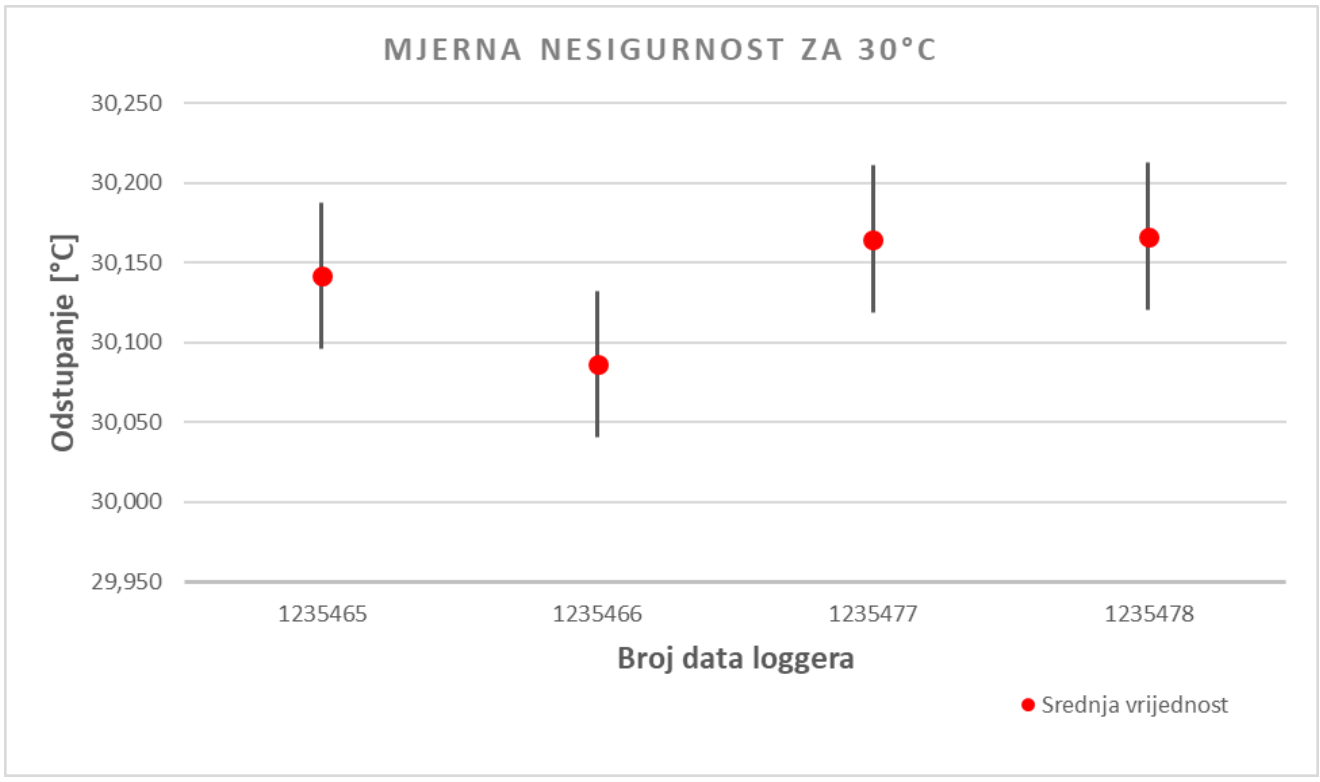
Graf 3: Mjerna nesigurnost za 12°C



Graf 4: Mjerna nesigurnost za 18°C



Graf 5: Mjerna nesigurnost za 24°C



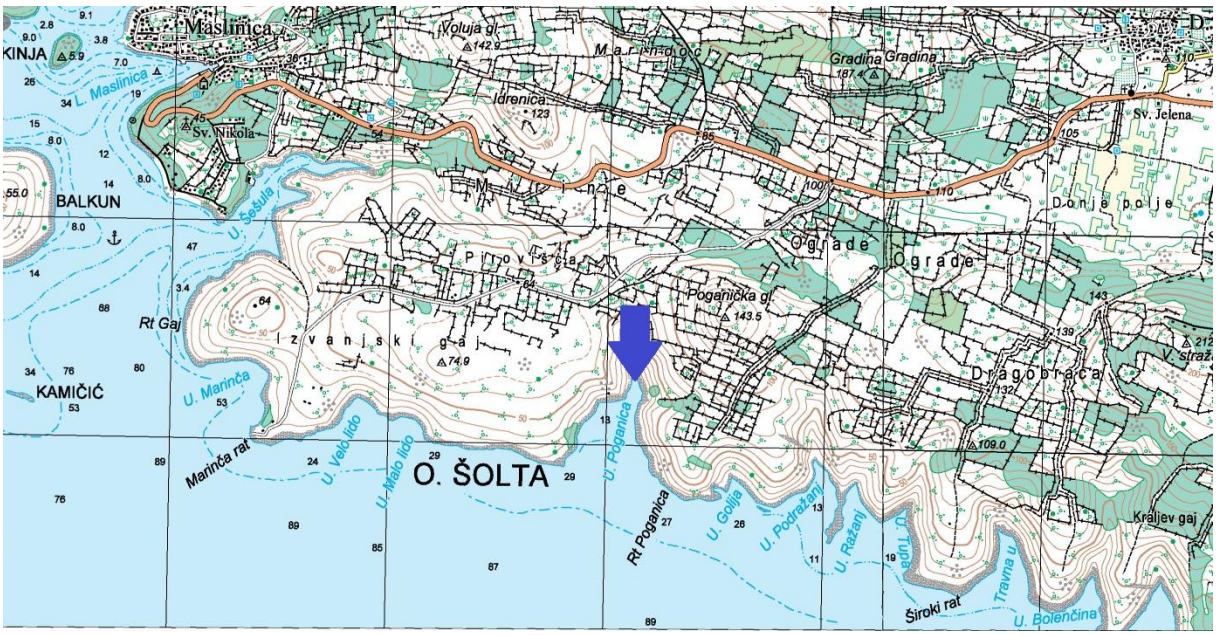
Graf 6: Mjerna nesigurnost za 30°C

4. OBRADA DOBIVENIH PODATAKA

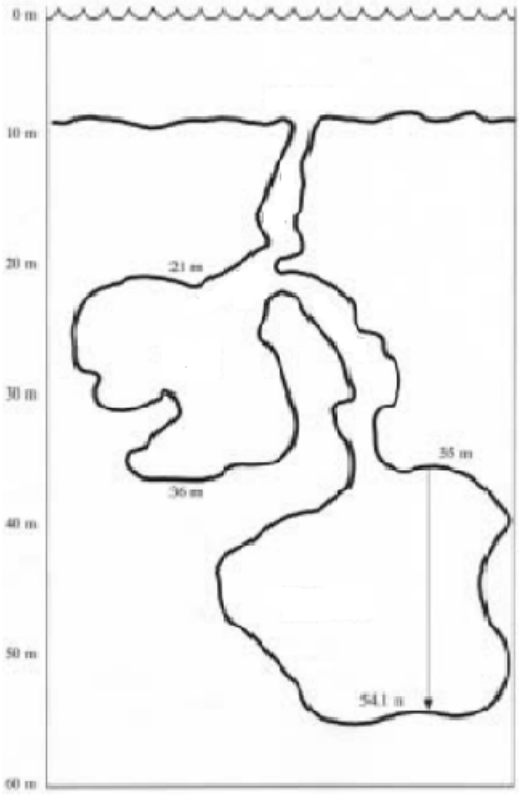
Za potrebe ovoga rada dobiveni su podaci mjereni u spilji Poganica na otoku Šolti od 2008. do 2012. godine. Dobiveni podaci o temperaturi vode prelaze broj od 70 000. Cilj obrade podataka je odrediti jesu li uređaji tijekom godina izgubili točnost. Korišteni su podaci mjereni *data loggerima* na dvjema lokacijama spilje Poganica.

4.1. Spilja Poganica

Poganica se nalazi na južnoj strani otoka Šolte, pored mjesta Maslinica. Spilja ima ulaz promjera dva metra i dubine devet metara nakon čega se postepeno širi te na dubini od petnaest metara dolazi do točke gdje se spajaju dvije galerije. Plića se galerija nalazi trideset i šest metara ispod morske razine, a dublja pedeset i sedam metara.



Slika 5. Lokacija spilje Poganica

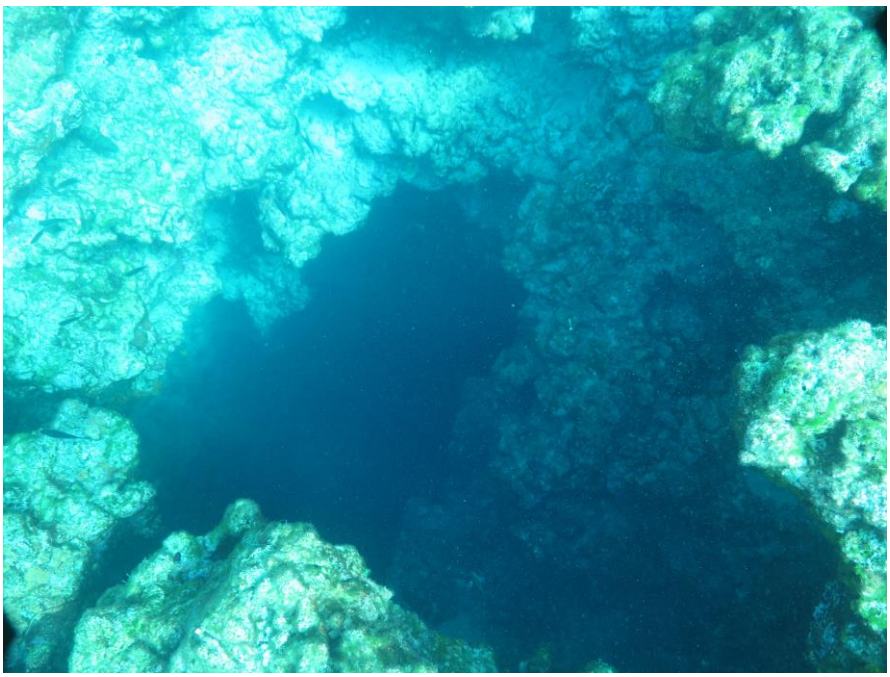


Slika 6. Izgled spilje Poganica

Zbog specifičnog oblika u ovoj spilji izgubljena su već četiri života. Naime, ronioci koji su istraživali ovu spilju zamijenili bi ulazak u pliću galeriju izlazom te lutali ovim dvjema galerijama dok ne bi ostali bez kisika. Spilja ima ulaz na 7 m dubine.



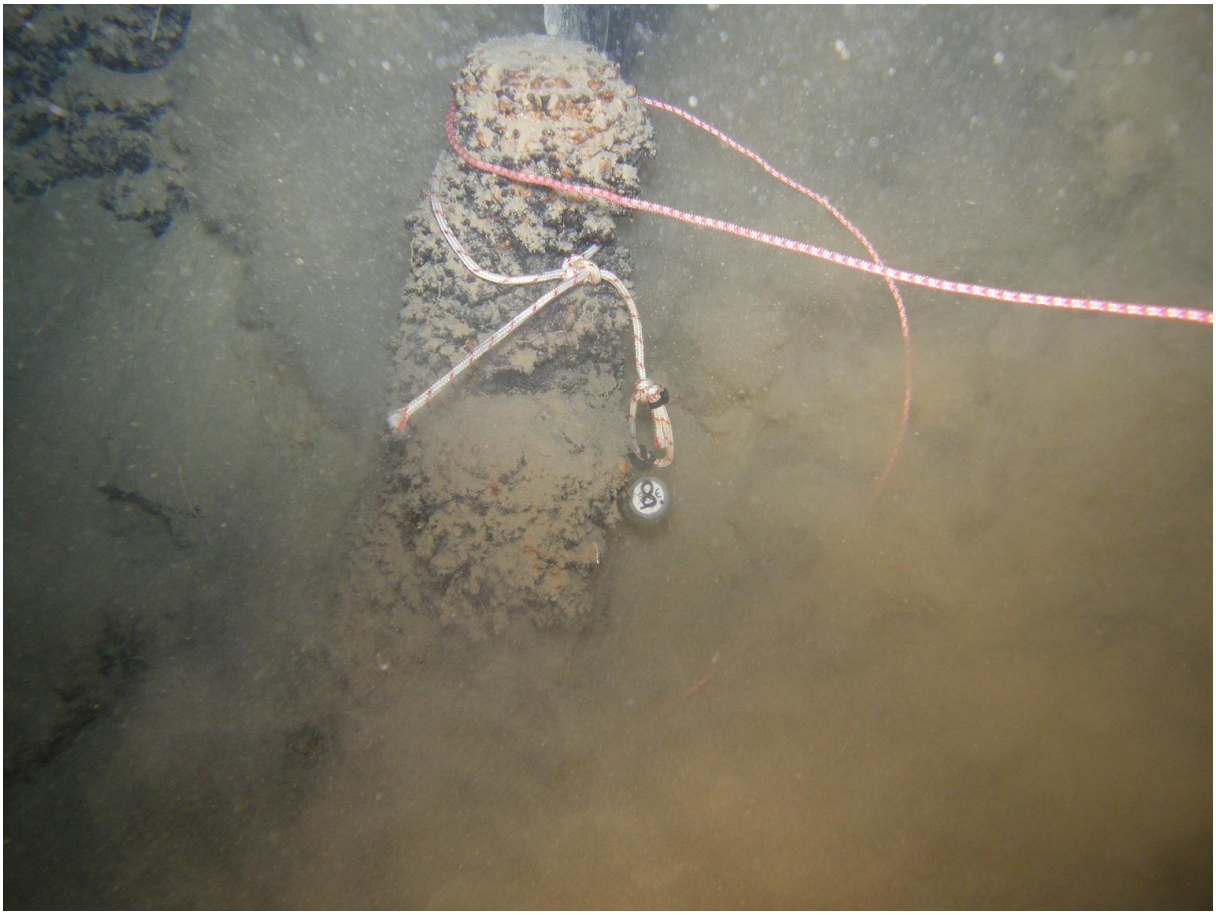
Slika 7. Ulaz u spilju Poganica



Slika 8. Ulaz u spilju Poganica

4.2. Lokacija data loggera

Data loggeri su postavljeni na nekoliko lokacija u spilji, ali neke su otkinule životinje dok su druge slučajno odnijeli drugi istraživači te su na kraju ostala dva *data loggera*. Jedan od njih nalazio se na samom ulazu u spilju, na dubini od 7 metara, a drugi u spilji na dubini od 30 metara. Oba *data loggera* pričvršćena su za spilju užetom, a mjerili su i pohranjivali temperaturu vode u razdoblju od 20.6.2008. do 19.10.2012.



Slika 9. Data logger pričvršćem užetom za spilju

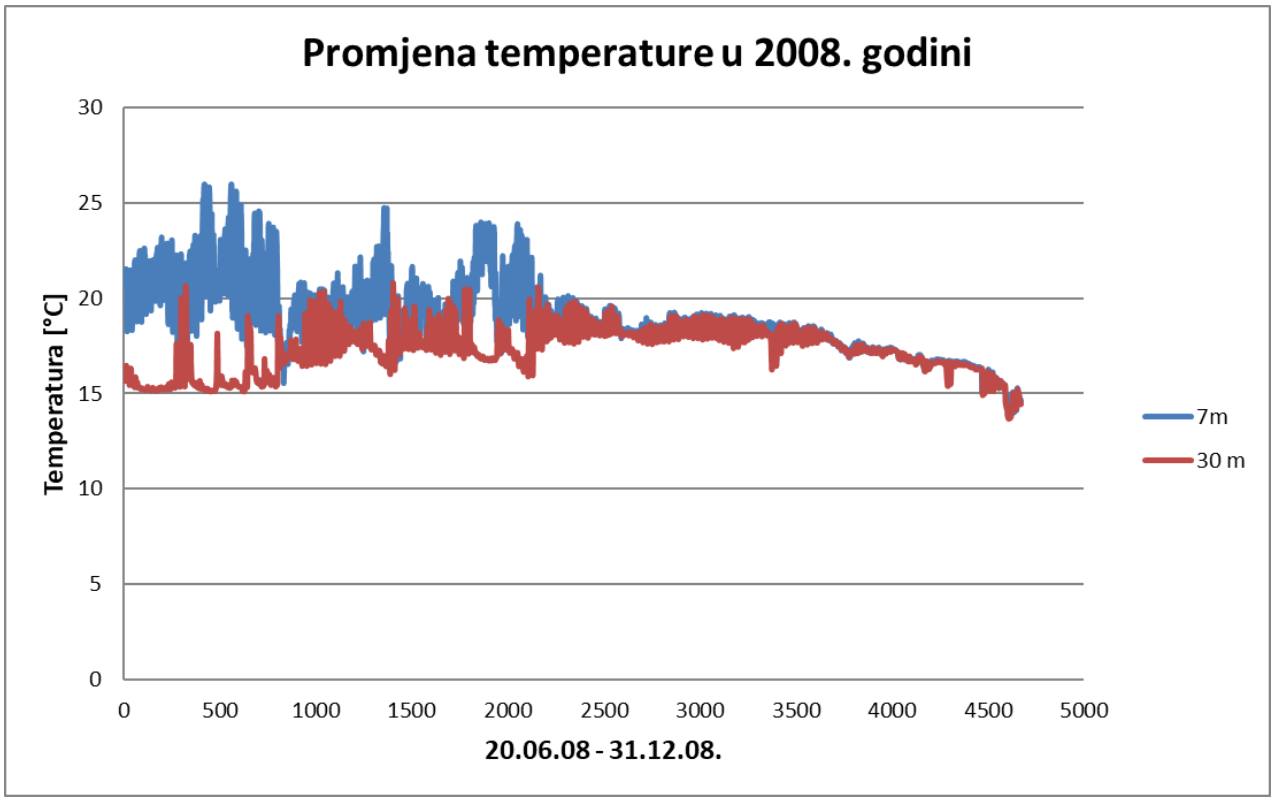
Uređaji su ostali u spilji još nekoliko godina nakon mjerenja odnosno nakon što im se ispraznila baterija jer nije bilo moguće odmah ih sakupiti. Nakon što su izvađeni iz spilje, iz njih su očitani svi podaci koje su bilježili godinama.



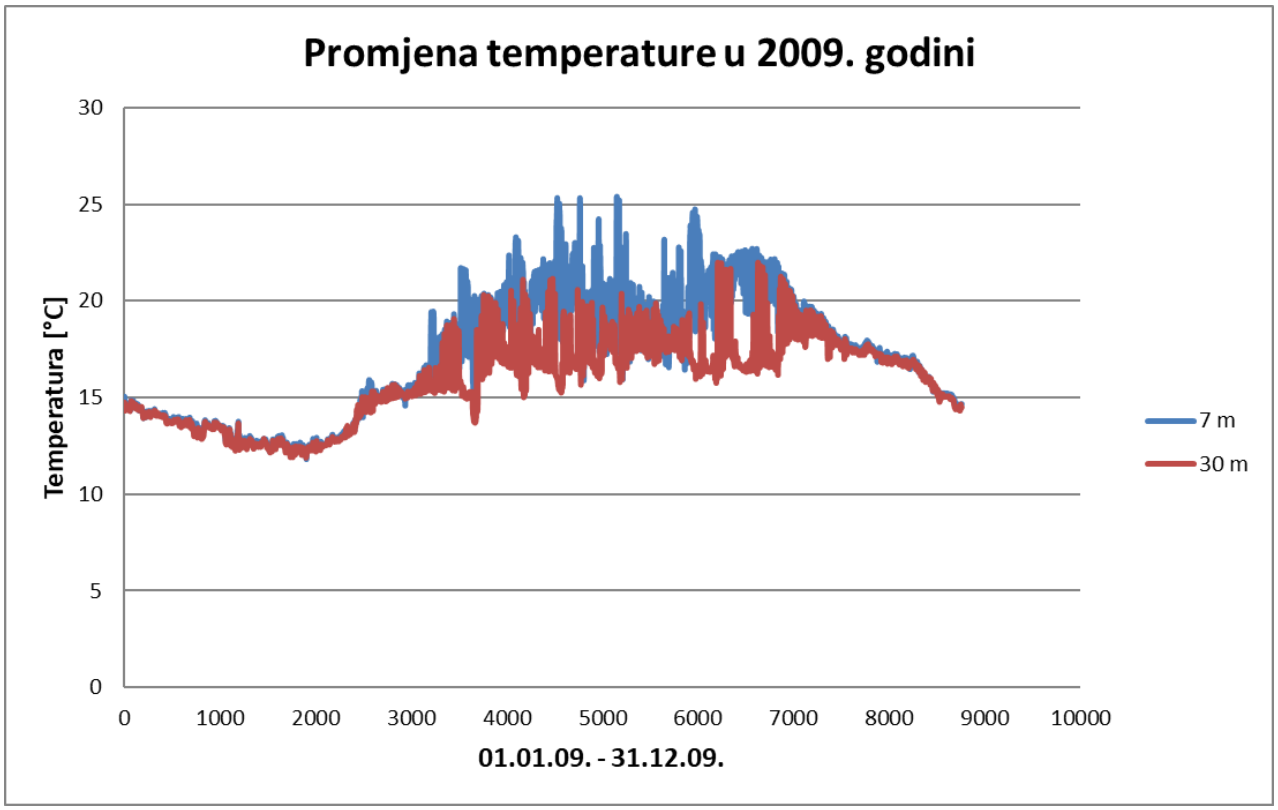
Slika 10. Data logger nakon vađenja iz spilje

4.3. Promjena temperature po godinama

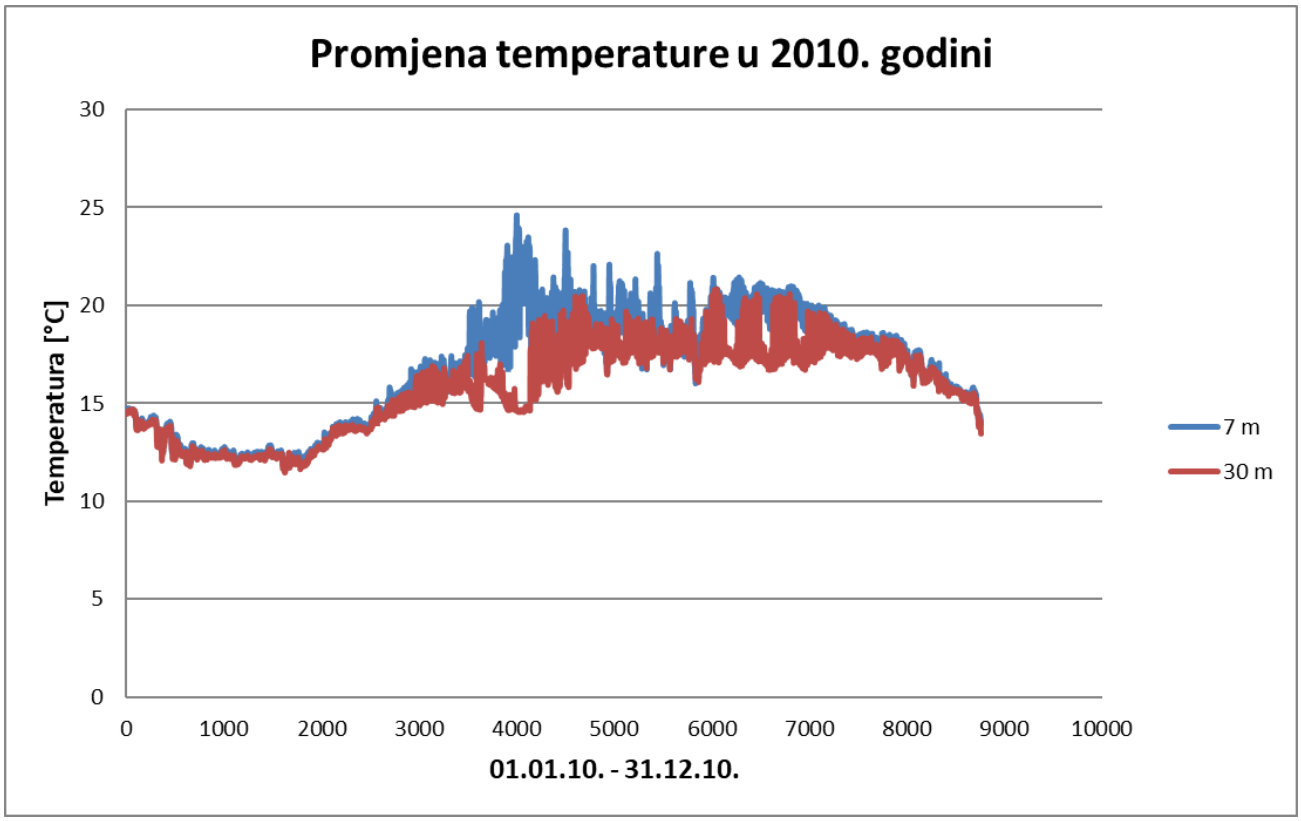
U sljedećim je grafovima prikazana promjena temperature po godinama u kojima je mjerena temperatura. Potrebno je napomenuti da temperatura nije mjerena tijekom cijele godine u prvoj godini mjerenja (2008.) već tek od 20.6. kao ni tijekom zadnje godine mjerenja (2012.) gdje je mjerenje završeno 19.10. Usporedno su prikazana dva toka temperatura, jedan na samom ulazu u spilju na 7 metara ispod razine mora, a drugi na 30 metara dubine u samoj spilji.



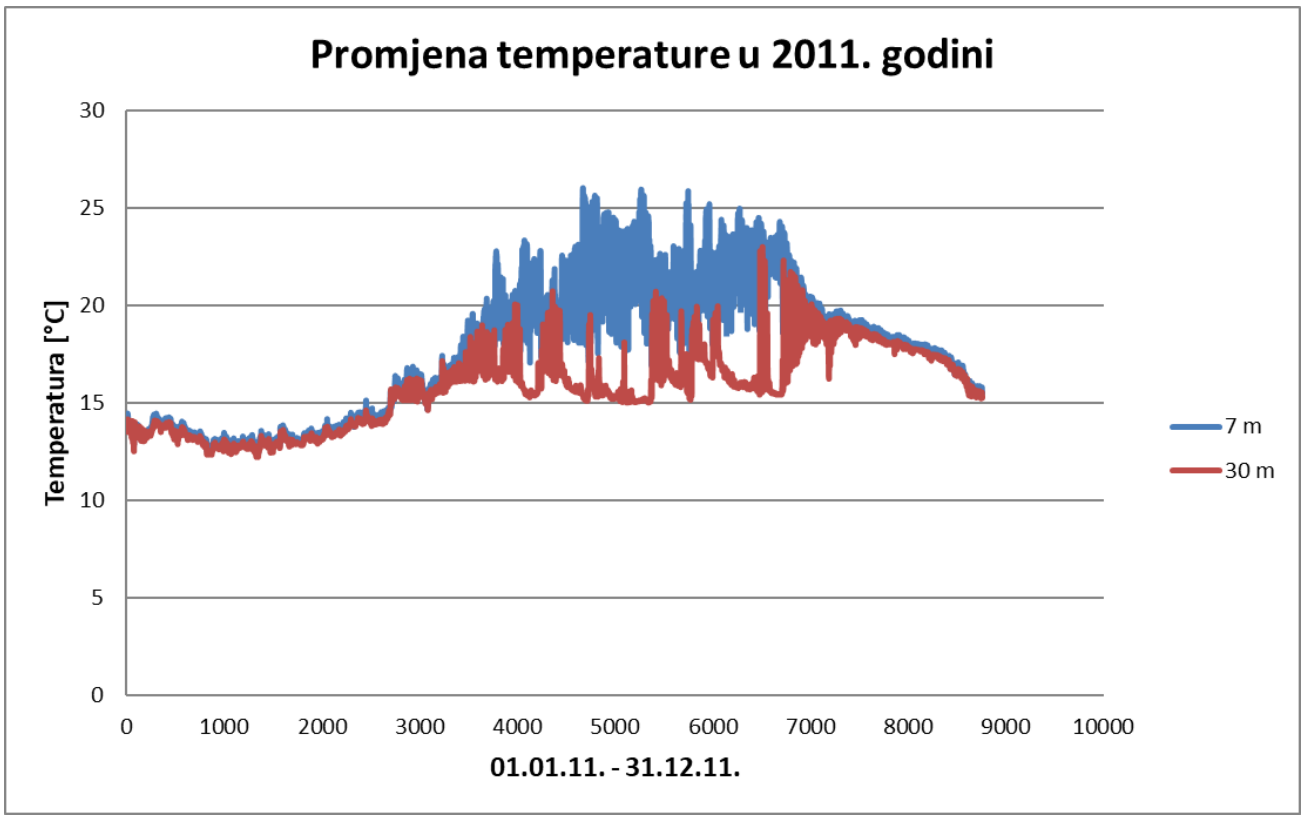
Graf 7: Promjena temperature u 2008. godini



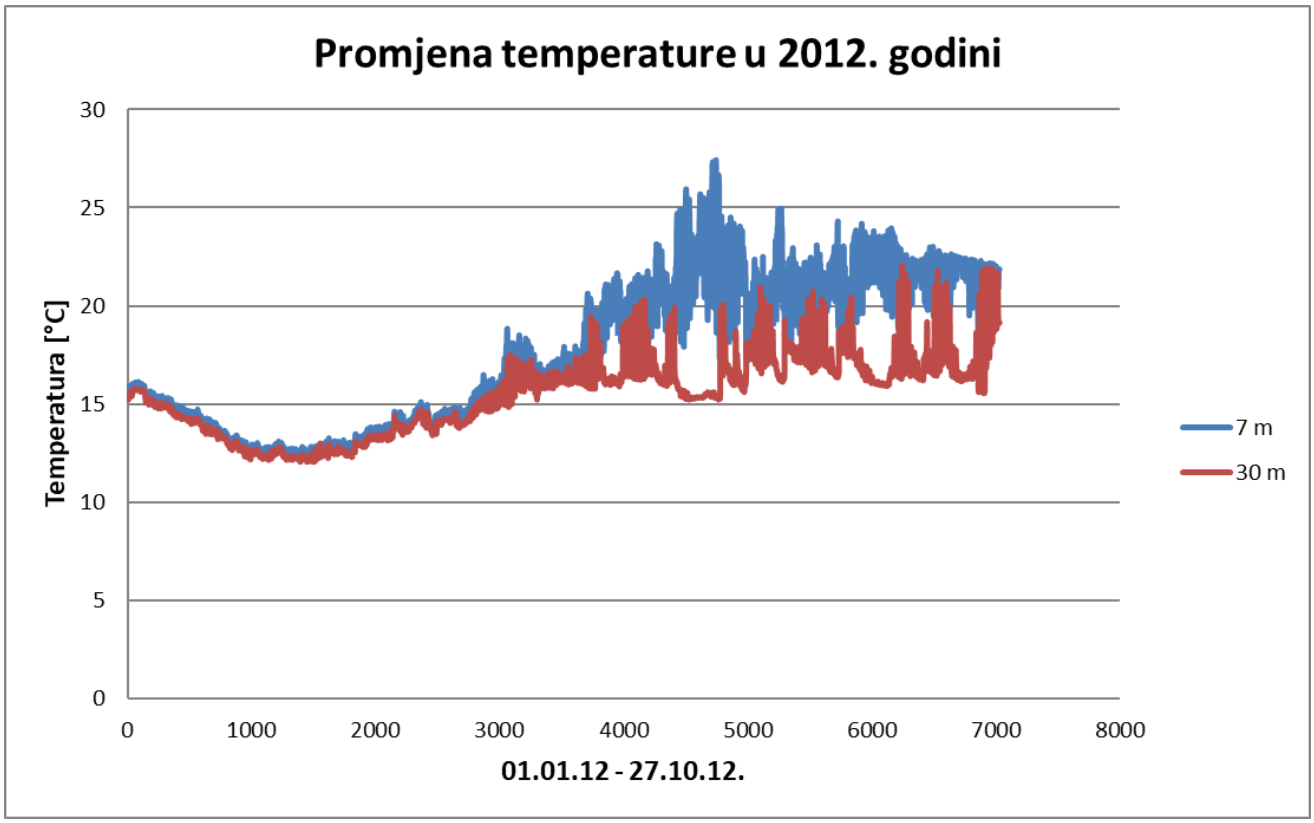
Graf 8: Promjena temperature u 2009. godini



Graf 9: Promjena temperature u 2010. godini



Graf 10: Promjena temperature u 2011. godini

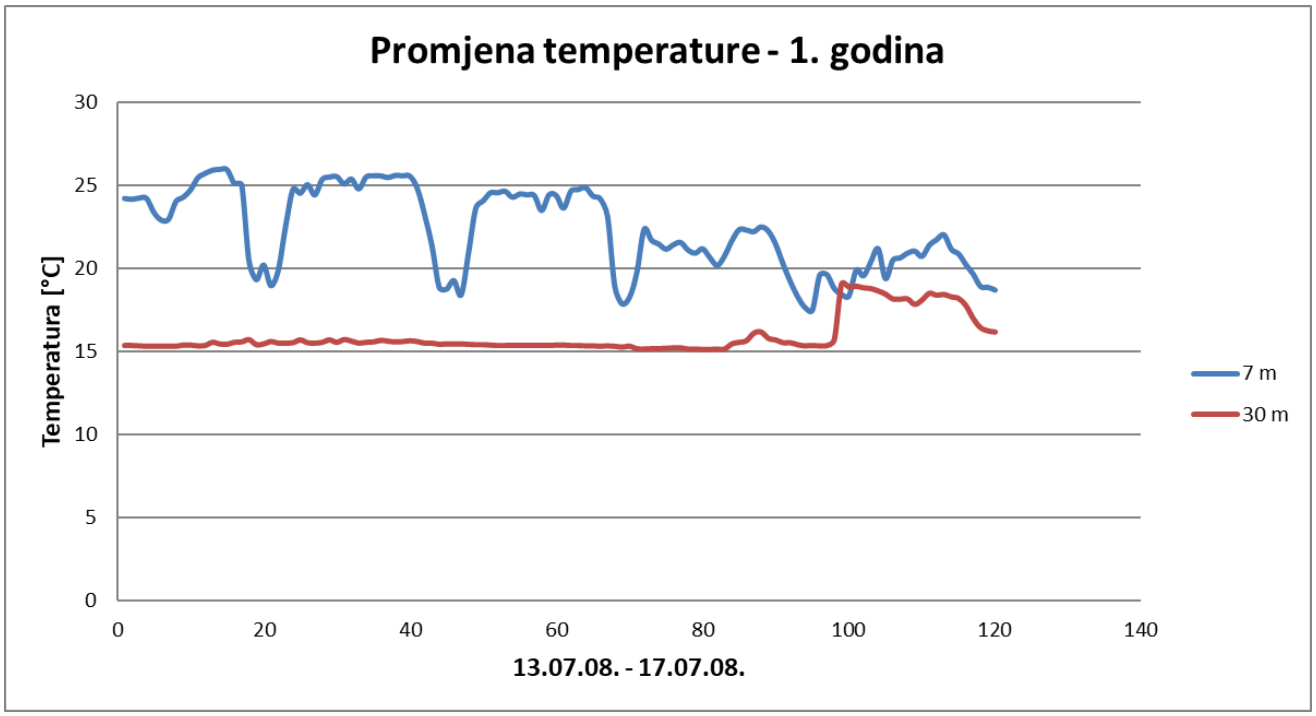


Graf 11: Promjena temperature u 2012. godini

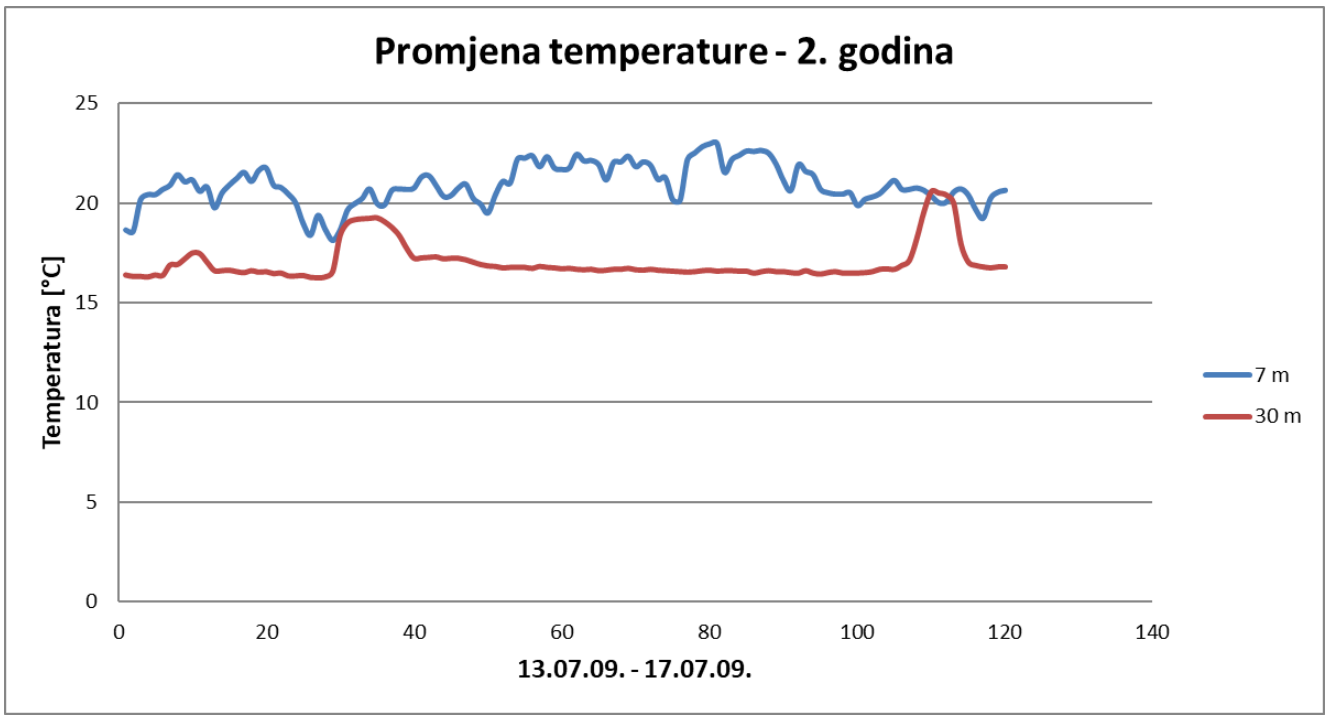
Vidljivo je da su temperature zimi gotovo identične dok ljeti dolazi do većih oscilacija, a time i većih razlika između temperature na 7 i 30 metara. Iako uz puno veće razlike, profil temperature na 30 metara i zimi otprilike prati profil temperature na 7 metara.

4.4. Provjera točnosti data loggera

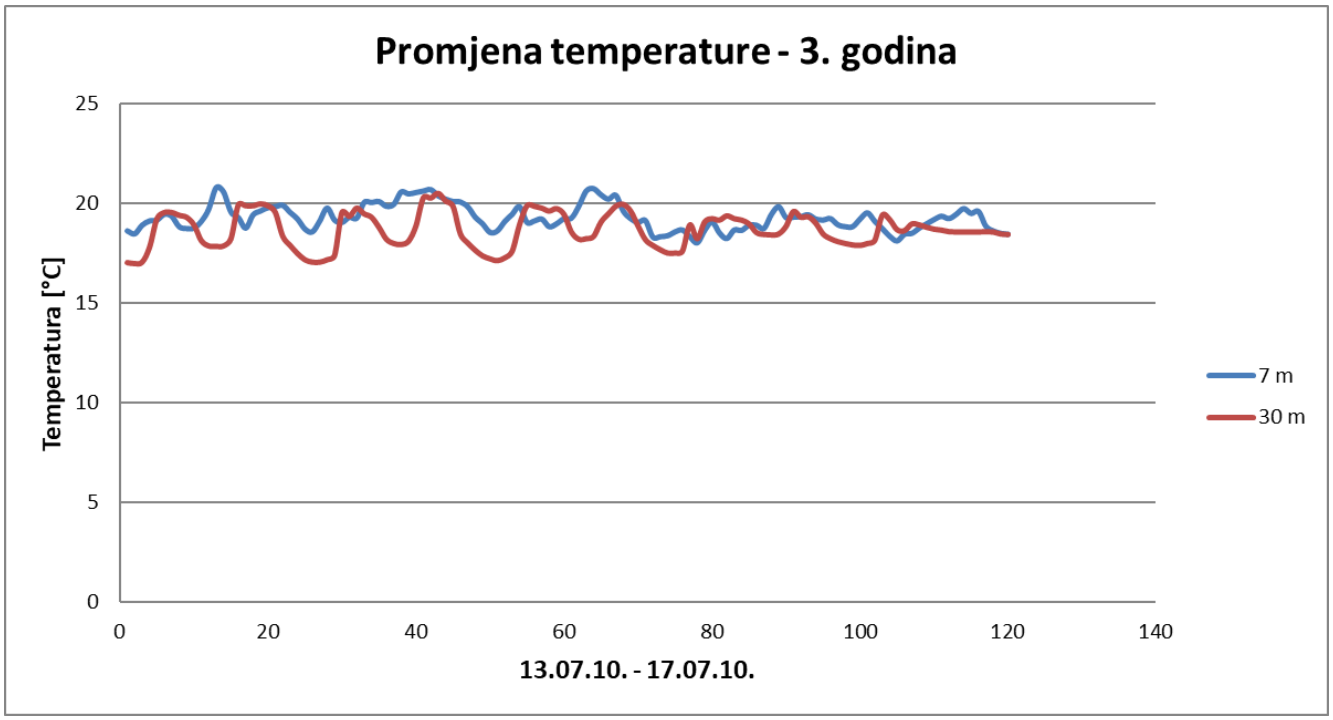
Kako je i ranije navedeno, svi mjerni uređaji, pa tako i data loggeri s godinama gube točnost svojih mjerenja. Provjera točnosti je zamišljena tako da se odabere pet dana u prvoj godini mjerenja, iz podataka o temperaturi na 7 metara, unutar kojih su najveće oscilacije temperature i da se prati promjena temperature u tom razdoblju tijekom svih godina mjerenja. Zatim bi se u tom razdoblju pronašla, u prvoj godini mjerenja, maksimalna temperatura na dubini od 7 metara te na 30 metara i izračunalo bi se koliko maksimum na 30 metara kasni za maksimumom na 7 metara. Odabrani period je od 13.7. do 17.7., a promjena temperature tijekom godina u tom razdoblju prikazana je na sljedećim grafovima.



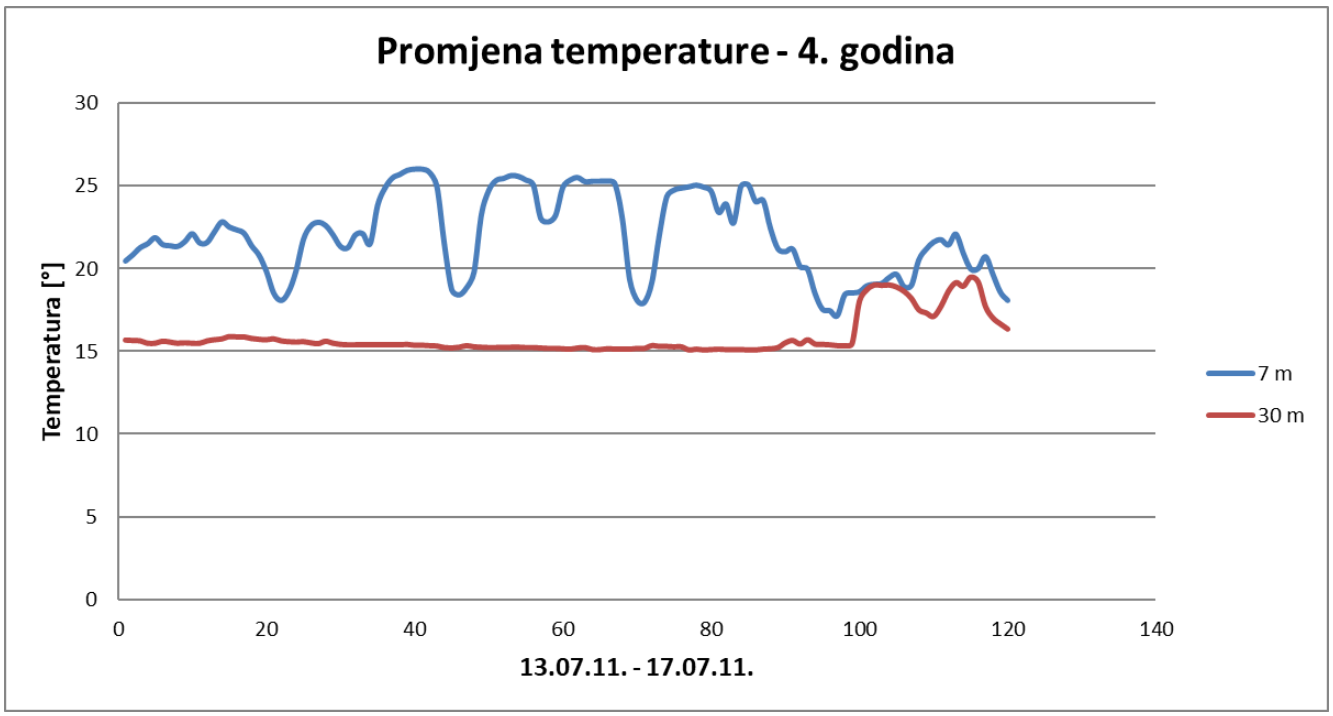
Graf 12: Promjena temperature u odabranom razdoblju u 2008. godini



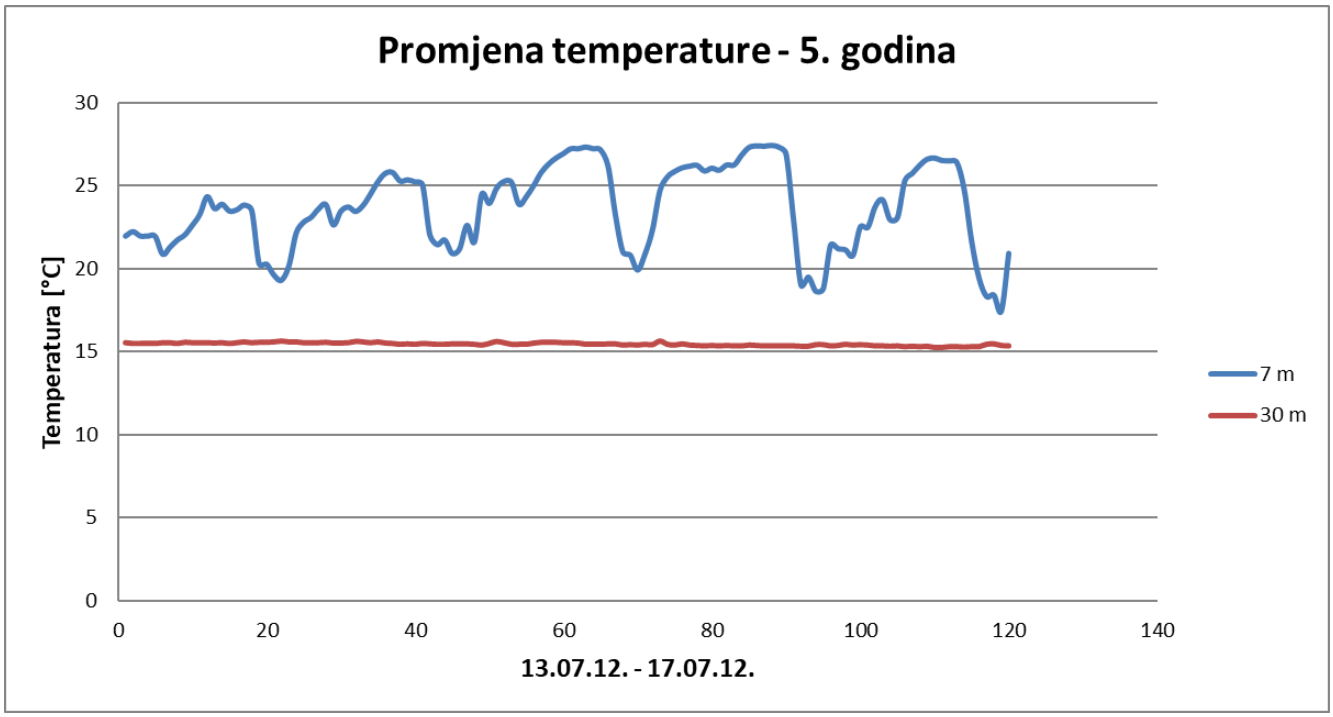
Graf 13: Promjena temperature u odabranom razdoblju u 2009. godini



Graf 14: Promjena temperature u odabranom razdoblju u 2010. godini



Graf 15: Promjena temperature u odabranom razdoblju u 2011. godini



Graf 16: Promjena temperature u odabranom razdoblju u 2012. godini

Očekivano je da svi grafovi budu slični i eventualno pomaknuti za nekoliko sati jedan u odnosu na drugoga. Vidi se da se grafovi za isto razdoblje u različitim godinama znatno razlikuju. Tako su u 2010. godini temperature na dvije različite dubine jako slične, dok je u 2012. godini temperatura na 30 metara u cijelom razdoblju konstanta, a temperatura na 7 metara znatno oscilira, odnosno jedna krivulja temperature ne prati drugu. Zaključujemo da dolazi do miješanja ″jamske″ vode i toplije vode, ali različito za svaku godinu, dan pa i sat zbog čega je nemoguće suditi o točnosti data loggera na način zamišljen u ovom radu.

5. ZAKLJUČAK

Nakon što su biolozi shvatili da spilja Poganica ima neobične profile temperatura, provedeno je ispitivanje mjernih uređaja korištenih u toj spilji. Prvi provedeni postupak je njihovo umjeravanje izvedeno u šest točaka. Nakon umjeravanja i određivanja mjerne nesigurnosti iz rezultata umjeravanja utvđeno je da mjerni uređaji (*data loggeri*) korišteni kod mjerenja temperature imaju malu mjernu nesigurnost, a ona iznosi 46 mK. Mjerna nesigurnost je, kao što je i očekivano, jednaka u svim točkama umjeravanja zbog relativno malog temperaturnog raspona.

Drugi se dio rada temelji na obradi podataka očitanih s *data loggera* koji su mjerili temperaturu u razdoblju od pet godina na dvije različite lokacije u spilji. Nakon obrade podataka u Microsoft Excelu iscrtan je velik broj grafova koji su prikazivali promjene temperature tijekom godina mjerenja. Nakon odabira razdoblja s najvećim oscilacijama u prvoj godini mjerenja i analizom temperaturnih grafova tog razdoblja u svim godinama, zaključeno je da nije moguće provjeriti točnost uređaja iz vremena kašnjenja maksimuma temperature na većoj dubini za onom na manjoj dubini. To nije moguće jer dolazi do konvekcije između voda različitih temperatura, ali ne svakoga dana i na drugačiji način u različitim godinama. Ispostavilo se da je situacija mnogo kompliciranija od očekivanog.

Ono što je dalje potrebno jest odrediti zašto do konvekcije dolazi u određenom dijelu godine, na određeni dan i sat što uključuje dodatna mjerenja i analize, ali i mišljenje biologa i drugih struka, a to će biti tema nekog drugog rada.

LITERATURA

[1] Petri, N. M., Definis-Gojanović, M., Andrić, D.: Scuba Diver with a Knife in His Chest: Homicide or Suicide? u: *Croatian Medical Journal*

[2] http://www.onsetcomp.com/products/data-loggers/utbi-001 (6. veljače 2018.)

[3] L. Grgec Bermanec, D. Zvizdić: Predavanja iz kolegija toplinska i procesna mjerenja (mjerenja u energetici), FSB LPM, 2015

[4] L. Grgec Bermanec, D. Zvizdić: Vježbe iz kolegija toplinska i procesna mjerenja (mjerenja u energetici), FSB-LPM, 2015.

[5] H. Bašić: *Mjerenja u mašinstvu*, Sarajevo, 2008.

[6] E. Seferović, H. Bašić: *Osnovi metrologije i obrade rezultata mjerenja*, Sarajevo, 2005.

[7] D. Zvizdić, T. Veliki, L. Grgec Bermanec: Realization of the Temperature Scale in the Range from 234.3 K (Hg Triple Point) to 1084.62°C (Cu Freezing Point) in Croatia u: *International Journal of Thermophysics*, 2008.

[8] Đ. Šilić: *Mjerenja*, Velika Gorica, 2016.