

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:

Matičič, A., 2015. Opazovanje jamskih vhodov s termalnimi satelitskimi podatki. Magistrsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Oštir, K., somentor Kokalj, Ž.): 51 str.

Datum arhiviranja: 03-11-2015

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:

Matičič, A., 2015. Opazovanje jamskih vhodov s termalnimi satelitskimi podatki. Master Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Oštir, K., co-supervisor Kokalj, Ž.): 51 pp.

Archiving Date: 03-11-2015

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

**MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI
PROGRAM DRUGE STOPNJE
GEODEZIJA IN
GEOINFORMATIKA**

Kandidatka:

ANA MATIČIČ

**OPAZOVANJE JAMSKIH VHODOV S TERMALNIMI
SATELITSKIMI PODATKI**

Magistrsko delo št.: 5/II.GIG

**OBSERVING CAVE ENTRANCES WITH THERMAL
SATELLITE DATA**

Graduation – Master Thesis No.: 5/II.GIG

Mentor:

izr. prof. dr. Krištof Oštir

Somentor:

dr. Žiga Kokalj

Ljubljana, 27. 10. 2015

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA.

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

Ta stran je namenoma prazna.

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisana Ana Matičič izjavljam, da sem avtorica magistrskega dela z naslovom »Opazovanje jamskih vhodov s termalnimi satelitskimi podatki.«.

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

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Ljubljana, september 2015

Ana Matičič

Ta stran je namenoma prazna.

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

- UDK:** 551.442:528.7/.8(497.4)(043.2)
- Avtor:** Ana Matičič
- Mentor:**izr. prof. dr. Krištof Oštir
- Somentor:** dr. Žiga Kokalj
- Naslov:** Opazovanje jamskih vhodov s termalnimi satelitskimi podatki
- Tip dokumenta:** magistrsko delo
- Obseg in oprema:** 51 str., 7 tab., 41 sl., 3 pril.
- Ključne besede:** termalni satelitski posnetek, Landsat, temperatura tal, jamski vhod, jamska klima

Izvleček

Termalni satelitski posnetki prikazujejo termično sevanje zemeljskega površja in so uporabni na mnogih področjih. Njihova prednost je, da je zajem podatkov brezkontakten, celovit in periodičen, kar omogoča časovno primerjavo podatkov. V tej nalogi smo s termalnimi satelitskimi podatki opazovali jamske vhode. V prvem delu naloge so predstavljeni program Landsat in značilnosti satelita Landsat 8. Postopek določitve temperature tal s satelitskimi termalnimi posnetki je opisan na splošno in za različne rabe tal. Kraške jame imajo posebno mikroklimo, ki je odvisna od mnogih dejavnikov. Opredelili smo značilnosti jamskih vhodov, ki so pomembne za potrebe magistrske naloge. Drugi del predstavlja praktični del naloge, kjer so izbrani primerni jamski vhodi in termalni satelitski posnetki. S slednjimi smo opazovali temperaturo jamskih vhodov glede na njihovo okolico v obliki dveh pravokotnih prečnih profilov. Zaradi spremembe jamske klime med različnimi letnimi časi smo opravili obdelave poletnih in zimskih posnetkov. Analiza rezultatov je pokazala, da je pri nekaterih jamskih vhodih mogoče opaziti temperaturno anomalijo, a bi to lahko povezali tudi z reliefom. Pri veliki večini jam ni opaziti pričakovanih temperaturnih razlik.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 551.442:528.7/.8(497.4)(043.2)

Author: Ana Matičič

Supervisor: Assoc. prof. Krištof Oštir, Ph. D.

Co-advisor: Žiga Kokalj, Ph. D.

Title: Observing cave entrances with thermal satellite data

Document type: Master thesis

Notes: 51 p., 7 tab., 41 fig., 3 ann.

Keywords: thermal satellite image, Landsat, ground temperature, cave entrance, cave climate

Abstract

Thermal satellite images show thermal radiation of Earth's surface and are useful in many fields. Their advantage is that the data capture is non-contact, comprehensive and periodical, which enables comparing the data through time. In this master thesis we observed cave entrances with thermal satellite images. First part of thesis presents the programme Landsat and characteristics of the satellite Landsat 8. Process of ground temperature determination is described in general and for different land usage. Karst caves have special microclimate which is dependent of many factors. We defined the characteristics of cave entrances that are important for this master thesis. Second part presents practical work where we have chosen suitable cave entrances and thermal satellite images. With the latter we observed temperatures of cave entrances compared to their surroundings and created two perpendicular cross profiles. Because cave's climate change through the year, we processed summer and winter images. The analysis of results shows that there at some cave entrances there is a temperature anomaly. But that can also be related to the relief. At most cave entrances there are no temperature differences which we expected.

ZAHVALA

Za pomoč pri izdelavi magistrske naloge se za vse koristne nasvete in potrpežljivost zahvaljujem mentorju izr. prof. dr. Krištofu Oštirju in somentorju dr. Žigu Kokalju. Zahvaljujem se tudi izr. prof. dr. Franciju Gabrovšku in Franju Droletu iz inštituta za raziskovanje Krasa za strokovno svetovanje in posredovanje podatkov.

Posebna zahvala gre tudi moji družini in prijateljem, ki so me vsa študijska leta podpirali in mi stali ob strani.

Ta stran je namenoma prazna.

KAZALO

| | |
|--|------------|
| STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA..... | I |
| IZJAVA O AVTORSTVU..... | III |
| BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK | V |
| BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT..... | VI |
| ZAHVALA..... | VII |
| 1 UVOD | 1 |
| 1.1 Namen magistrske naloge | 1 |
| 1.2 Cilj magistrske naloge..... | 1 |
| 1.3 Delovni hipotezi | 2 |
| 2 PROGRAM LANDSAT..... | 3 |
| 2.1 Landsat 8 | 4 |
| 3 DOLOČITEV TEMPERATURE TAL S SATELITSKIMI TERMALNIMI POSNETKI..... | 6 |
| 3.1 Termično sevanje, emisivnost in odbojnost | 6 |
| 3.2 Pretvorba zaznanega termičnega sevanja | 7 |
| 3.3 Termično sevanje na območjih različnih rab tal | 9 |
| 4 KRAŠKO POVRŠJE IN KLIMA V KRAŠKIH POJAVIH | 12 |
| 4.1 Kraško površje | 12 |
| 4.2 Kraške jame in brezna | 12 |
| 4.3 Kraško površje v Sloveniji in na Hrvaškem..... | 13 |
| 4.4 Jamska mikroklima | 13 |
| 4.5 Mikroklima na vhodu v jamo | 15 |
| 4.6 Iskanje vhodov jam | 16 |
| 5 IZBOR PODATKOV IN NJIHOVA OBDELAVA | 17 |
| 5.1 Kataster jam v Sloveniji in v tujini..... | 17 |
| 5.2 Izbor ustreznih jam..... | 17 |
| 5.3 Izbor satelitskih posnetkov in njihova obdelava | 20 |
| 6 ANALIZA PODATKOV | 23 |
| 6.1 Velika ledena jama v Paradani | 23 |
| 6.2 Snežnica vrh Snežnika | 25 |
| 6.3 Dimnice | 28 |
| 6.5 Brezno Suni, L 61 in L 92..... | 36 |
| 6.5 Škocjanske jame in Postojnska jama..... | 42 |
| 6.6 Ostale obravavane jame v Sloveniji | 47 |
| 6.7 Jame na Hrvaškem | 47 |
| 7 UGOTOVITVE IN ZAKLJUČEK..... | 48 |
| VIRI..... | 49 |

KAZALO PREGLEDNIC

| | |
|--|----|
| Preglednica 1: Lastnosti satelitov Landsat. [5] | 3 |
| Preglednica 2: Lastnosti senzorja OLI. [5]..... | 5 |
| Preglednica 3: Lastnosti senzorja TIRS. [5]..... | 5 |
| Preglednica 4: Emisivnosti različnih materialov pri temperaturi 300 K oz. 27 °C. | 7 |
| Preglednica 5: Sevalni faktorji satelita Landsat 8 (vir: .MTL datoteka) | 8 |
| Preglednica 6: Kalibracijske konstante satelita Landsat 8 (vir: .MTL datoteka) | 9 |
| Preglednica 7: Pomen barv pikslov slike kakovosti. [16] | 21 |

KAZALO SLIK

| | |
|---|----|
| Slika 1: Časovnica delovanja satelitov Landsat. [6]..... | 3 |
| Slika 2: Spektralni pasovi valovnih dolžin za senzorja OLI in TIRS pri satelitu Landsat 8, v primerjavi s senzorjem ETM+ pri satelitu Landsat 7. Prirejeno po [7]. | 4 |
| Slika 3: Prikaz valovnih dolžin EMV. Prirejeno po [11]. | 6 |
| Slika 4: Proces radiometrične pretvorbe. Prirejeno po [21]. | 8 |
| Slika 5: Prikaz kroženja zraka v jami žepaste oblike z vhodom na zgornji strani votline (levo) in v jami z vhodom na spodnji strani votline (desno). Prirejeno po [32]. | 14 |
| Slika 6: Prikaz kroženja zraka v dinamični jami. Prirejeno po [32]..... | 14 |
| Slika 7: Prikaz kroženja zraka v jami z vhodi na približno enaki nadmorski višini. Prirejeno po [32]. | 15 |
| Slika 8: Prikaz kroženja zraka v jami s slabo povezanostjo s površjem. Prirejeno po [32]. | 15 |
| Slika 9: Prikaz zimskega spreminjanja temperature na vhodu (rdeča), globoko v jami (zelena) in na površju (črna). Prirejeno po [33]. | 16 |
| Slika 10: Položaji vhodov izbranih jam na območju Kanina | 18 |
| Slika 11: Položaji treh vhodov Pološke jame pri Tolminu..... | 18 |
| Slika 12: Položaji vhodov ostalih izbranih jam v Sloveniji | 19 |
| Slika 13: Obravnavana območja in položaji vhodov nekaterih izbranih jam na Hrvaškem..... | 19 |
| Slika 14: Položaji vhodov izbranih jam na območju rezervata Hajdučki i Rožanski kukovi | 20 |
| Slika 15: Slika kakovosti za območje SZ Slovenije, dne 07.02.2015. [36] | 21 |
| Slika 16: Satelitski posnetke, na katerem je razvidna oblačnost na območju Kanina (levo) in Velebita (desno). [36] | 21 |
| Slika 17: Vhod v Veliko ledeno jamo v Paradani je velik (levo), a je velikokrat zaledenel [38, 39]. .. | 23 |
| Slika 18: Velika ledena jama v Paradani - poletna prečna profila v smereh Z–V (zg.) in J–S (sp.) | 24 |
| Slika 19: Velika ledena jama v Paradani - zimska prečna profila v smereh Z–V (zg.) in J–S (sp.)..... | 25 |
| Slika 20: Snežnica vrh Snežnika - poletna prečna profila v smereh Z–V (zgoraj) in J–S (spodaj). | 26 |
| Slika 21: Snežnica vrh Snežnika - zimska prečna profila v smereh Z–V (zgoraj) in J–S (spodaj)..... | 27 |
| Slika 22: Dimnice - poletna prečna profila v smereh Z–V (zgoraj) in J–S (spodaj)..... | 28 |
| Slika 23: Dimnice - zimska prečna profila v smereh Z–V (zgoraj) in J–S (spodaj)..... | 29 |
| Slika 24: Tloris in stranski prerez Pološke jame z označenimi vhodi. Prirejeno po [40]..... | 30 |
| Slika 25: Pološka jama 1 - poletna prečna profila v smereh Z–V (zgoraj) in J–S (spodaj). | 31 |
| Slika 26: Pološka jama 1 - zimska prečna profila v smereh Z–V (zgoraj) in J–S (spodaj). | 32 |
| Slika 27: Pološka jama 2 - poletna prečna profila v smereh Z–V (zgoraj) in J–S (spodaj). | 33 |
| Slika 28: Pološka jama 2 - zimska prečna profila v smereh Z–V (zgoraj) in J–S (spodaj). | 34 |
| Slika 29: Pološka jama 3 - poletna prečna profila v smereh Z–V (zgoraj) in J–S (spodaj). | 35 |
| Slika 30: Pološka jama 3 - zimska prečna profila v smereh Z–V (zgoraj) in J–S (spodaj). | 36 |
| Slika 31: Brezno Suni - poletna prečna profila v smereh Z–V (zgoraj) in J–S (spodaj). | 37 |
| Slika 32: Brezno Suni - zimska prečna profila v smereh Z–V (zgoraj) in J–S (spodaj). | 38 |
| Slika 33: L 61 - poletna prečna profila v smereh Z–V (zgoraj) in J–S (spodaj). | 39 |
| Slika 34: L 61 - zimska prečna profila v smereh Z–V (zgoraj) in J–S (spodaj)..... | 40 |
| Slika 35: L 92 - poletna prečna profila v smereh Z–V (zgoraj) in J–S (spodaj). | 41 |
| Slika 36: L 92 - zimska prečna profila v smereh Z–V (zgoraj) in J–S (spodaj)..... | 42 |
| Slika 37: Vhod v Postojnsko jamo (levo) se nahaja na območju pozidane rabe tal (desno). [41, 42] .. | 43 |
| Slika 38: Postojnska jama - poletna prečna profila v smereh Z–V (zgoraj) in J–S (spodaj)..... | 43 |
| Slika 39: Postojnska jama - zimska prečna profila v smereh Z–V (zgoraj) in J–S (spodaj). | 44 |
| Slika 40: Škocjanske jame - poletna prečna profila v smereh Z–V (zgoraj) in J–S (spodaj)..... | 45 |
| Slika 41: Škocjanske jame - zimska prečna profila v smereh Z–V (zgoraj) in J–S (spodaj). | 46 |

Ta stran je namenoma prazna.

1 UVOD

Daljinsko zaznavanje je področje geodezije, ki je v današnjem času vse bolj razširjeno in v uporabi. Satelitski posnetki omogočajo pogled na naš planet z nove perspektive. Poleg čudovitih prizorov narave (fitoplanktoni, puščavske sipine), lahko s posnetkov opazujemo in preučujemo tudi spremembe na zemeljskem površju. Tako lahko določimo obseg naravnih katastrof in človeškega posega v naravo (širjenje mest, krčenje gozdov). Landsat je satelitski program z najdaljšim obdobjem delovanja, zato so njegovi posnetki zelo uporabni za primerjavo v daljšem časovnem obdobju.

Dolgovalovno infrardečo svetlobo ali termično radianco oddajajo vsi objekti, katerih temperatura je večja od absolutne ničle. Termalni senzorji pretvorijo to nevidno sevanje v vidne termalne posnetke ali termograme. Prednost te tehnologije je, da je brezkontaktna in zato ni invazivna ali uničujoča.

Novejši sateliti vsebujejo tudi senzorje za zaznavanje termične energije na površju Zemlje. Termično radianco, ki jo oddajajo vsi objekti na Zemlji, lahko s senzorjem zaznamo in uporabimo za izračun temperature površja ali vode. Zato so termalni posnetki zelo uporabni pri geotermalnih analizah in zaznavanju virov toplote, kot so požari in elektrarne. Zaradi izboljšane ločljivosti so postali posnetki uporabni tudi za iskanje virov vode in spremljanje kakovosti pridelkov na kmetijskih površinah. Zdrave rastline namreč z evapotranspiracijo oddajajo več vode in s tem hladijo zrak [1]. Prav tako lahko razločimo dele gozdov z različnimi drevesnimi vrstami, starostjo in sukcesijsko stopnjo.

Satelitski termalni posnetki so zelo uporabni v težko dostopnih ali nedostopnih predelih, kot so puščave, deževni in tropski gozdovi ter gorovja. Na takih območjih se pogosto nahajajo neraziskani jamski sistemi in brezna. Za njih je značilno, da imajo posebno klimo, ki se razlikuje od klime v njihovi okolice. Temperatura jamskega zraka je rezultat izmenjav toplotnih tokov med zunanjo in jamsko atmosfero.

Poleg tega, da jamski vhod določimo vizualno, ga lahko zaznamo tudi s termalnimi posnetki zaradi razlike temperatur na njegovem območju. Po svetu je potekalo že kar nekaj raziskav na to temo, a z različnimi senzorji in pristopi. Na Irskem so izbrano območje posneli s termalno kamero, ki je bila pritrjena na brezpilotni letalnik. Rezultati so bili dobri, saj so bili na posnetkih vidno opazni tudi vhodi, pri katerih vleče zrak v jamo. [2] Podobne raziskave opravljajo s pomočjo balonov in termalnih kamer pod okriljem NASE, saj jih zanima, ali je mogoče zaznati vhode jam in njihovo obliko glede na njihove termalne lastnosti. Ugotovitve bodo uporabne pri iskanju jam na Marsu, ki bi bile primerne za prvo naselitev. Jame so prav tako odlično okolje za ohranitev dokazov morebitnega življenja na Marsu. [3]

1.1 Namen magistrske naloge

Povezovanje podatkov, ki imajo različne vire, je lahko težavno. Namen magistrske naloge je prikaz združevanja satelitskih termalnih posnetkov in podatkov iz katastra jam, ter ugotavljanje prostorske povezanosti med njimi.

1.2 Cilj magistrske naloge

V Sloveniji in na Hrvaškem je zelo razširjeno kraško površje, za katero so značilne jame in brezna. Cilj magistrske naloge je določiti primerne jame za raziskavo, pregledati obstoječe termalne posnetke

satelita Landsat 8, jih obdelati in analizirati na območju jamskih vhodov. Poleg tega je cilj naloge tudi postavitev osnov in usmeritev za morebitne nadaljnje raziskave na tem področju.

1.3 Delovni hipotezi

Jamske vhode je mogoče zaznati s termalnimi satelitskimi podatki. Pri primerjavi zimskih in poletnih termalnih satelitskih posnetkov so opazne temperaturne razlike na območju vhoda jame, in sicer je vhod pozimi toplejši od okolice, poleti pa hladnejši.

2 PROGRAM LANDSAT

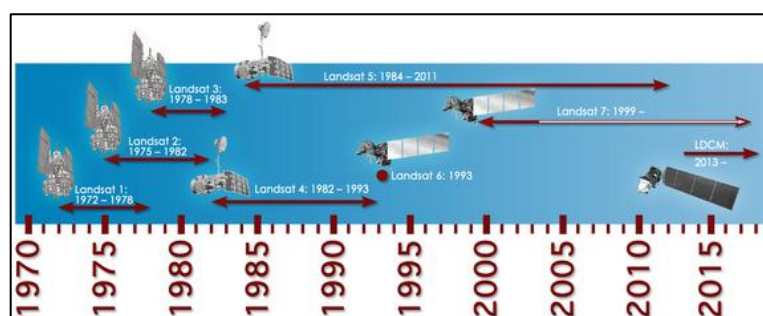
Landsat je 40-letni satelitski program, ki obsega sistem satelitov za opazovanje zemljinega površja. Namen uporabe njihovih satelitskih posnetkov je spremljanje širjenja urbanizacije, posledic in učinkov podnebnih sprememb ter opazovanje vplivov sekanja gozdov na okoliško pokrajino.

Program je začel delovati leta 1972 pod vodstvom NASE¹, skozi leta pa so ga prevzele različne vladne agencije. Kljub nekaterim težavam do danes poteka neprekinjeno in ga trenutno vodita NASA in USGS². [4] Od leta 2008 so podatki javno dostopni in se uporabljajo v kmetijstvu, geologiji, hidrologiji, geografiji, kartografiji, meteorologiji, oceanografiji in pri raziskovanju vodnih virov ter izkoriščanju rudnega bogastva. Poleg omenjenih področij pa so možnosti uporabe podatkov še veliko širše.

Trenutno³ zajemata podatke satelita Landsat 7 (delno okvarjen) in Landsat 8, v letu 2023 pa je predvidena izstrelitev satelita Landsat 9.

Preglednica 1: Lastnosti satelitov Landsat. [5]

| Satelit | Izstrelitev | Instrumenti | Opomba |
|-----------|-------------|--|--|
| Landsat 1 | 23.07.1972 | RBV ⁴ , MSS ⁵ | - prvotno imenovan ERTS ⁶ |
| Landsat 2 | 22.01.1975 | RBV, MSS | - identičen satelitu Landsat 1 |
| Landsat 3 | 05.03.1978 | RBV, MSS | - prenehal delovati kmalu po izstrelitvi |
| Landsat 4 | 16.07.1982 | TM ⁷ , MSS | - okvara kmalu po izstrelitvi |
| Landsat 5 | 01.03.1984 | TM, MMS | - identičen satelitu Landsat 4 - najdaljša satelitska misija v zgodovini (29 let, 3 mesecev in 4 dni) |
| Landsat 6 | 05.10.1993 | ETM ⁸ | - neuspela izstrelitev |
| Landsat 7 | 15.04. 1999 | ETM+ ⁹ | - okvara korektorja snemalnih vrstic (SLC ¹⁰) - uporaba podatkov v spletni kartografiji (Google maps, Google Earth, Yahoo Maps) |
| Landsat 8 | 11.02.2013 | OLI ¹¹ , TIRS ¹² | - izboljšana natančnost |



Slika 1: Časovnica delovanja satelitov Landsat. [6]

¹ angl. National Aeronautics and Space Administration

² angl. United States Geological Survey

³ na dan 04.05.2015

⁴ angl. Return Beam Vidicon

⁵ angl. Multispectral Scanner

⁶ angl. the Earth Resources Technology Satellite

⁷ angl. Thematic Mapper

⁸ angl. Enhanced Thematic Mapper

⁹ angl. ETM+ - Enhanced Thematic Mapper Plus

¹⁰ angl. Scan Line Corrector

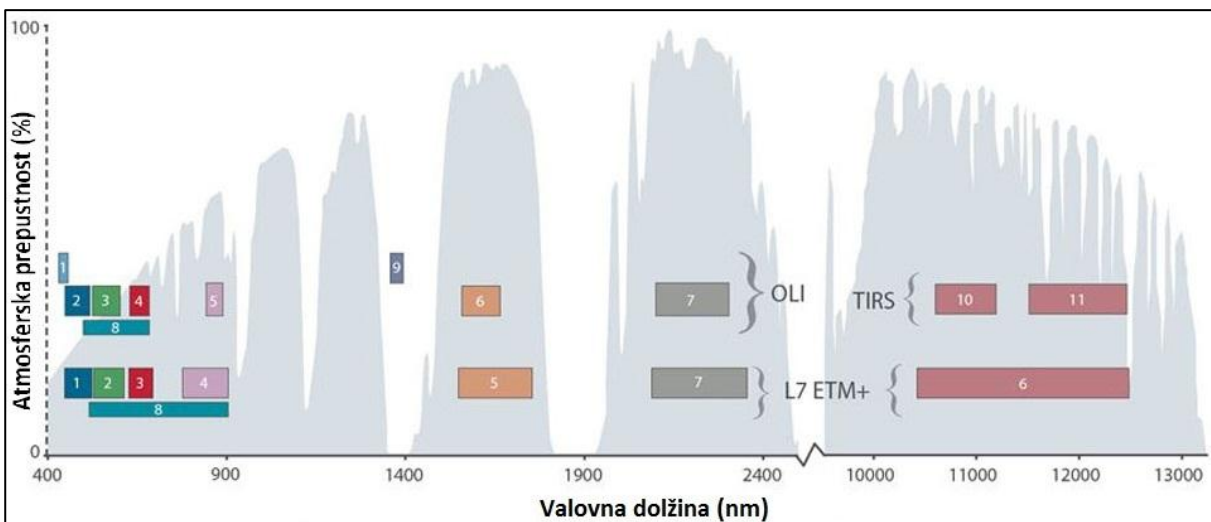
¹¹ angl. Operational Land Imager

¹² angl. Thermal InfraRed Sensor

2.1 Landsat 8

Satelit Landsat 8 ali prvotno LDCM¹ je bil izstreljen leta 2013 s predvideno dobo delovanja od 5 do 10 let. Cilj misije je, poleg zbiranja in arhiviranja večspektralnih posnetkov, tudi brezplačna distribucija podatkov javnosti, saj so podatki dostopni na spletnih straneh GloVis, EarthExplorer ali LandsatLook Viewer v 24-ih urah po zajetju.

Namesto ETM+ so na Landsat 8 namestili nova senzorja OLI in TIRS (slika 2). Landsat 8 zajame 400 posnetkov na dan, medtem ko jih Landsat 7 samo 250. Velikost posnetka je približno 170 km (smer sever–jug) x 183 km (smer vzhod–zahod). Tudi kakovost podatkov (razmerje med signalom in šumom – SNR²) in radiometrična ločljivost sta pri instrumentih OLI in TIRS večja v primerjavi s prejšnjimi senzorji. Radiometrična ločljivost je pri satelitu Landsat 8 kar 12-bitna, torej ima posnetek lahko 4096 odtenkov sive. [7]



Slika 2: Spektralni pasovi valovnih dolžin za senzorja OLI in TIRS pri satelitu Landsat 8, v primerjavi s senzorjem ETM+ pri satelitu Landsat 7. Prirejeno po [7].

Parametri standardnih produktov satelita Landsat 8 [8]:

- Tip produkta: Level 1T (popravek zaradi terena)
- Izhodni format: GeoTIFF
- Velikost piksla: 15 m (pankromatski kanal) / 30 m (večspektralni kanal) / 100 m (termalni kanal)
- Kartografska projekcija: UTM³
- Datum: WGS 84
- Orientacija: sever
- Prevzorčenje: kubična konvolucija
- Natančnost: OLI: 12 m krožni položajni odklon, 90% zanesljivost
TIRS: 41 m krožni položajni odklon, 90% zanesljivost

¹ ang. Landsat Data Continuity Mission

² angl. signal-to-noise ratio

³ angl. Universal Transverse Mercator

Tirnica, po kateri kroži satelit Landsat 8, je polarna sončno-sinhrona. Prepotuje jo v 99 minutah, kar pomeni, da satelit obkroži Zemljo 14-krat na dan. Zemljo posname popolnoma vsakih 16 dni. [9]

Senzor OLI ima 7000 detektorjev za vsak spektralni kanal in posodobljen dizajn (vzdolžni tip senzorja), kar omogoča povečano občutljivost, manjše premikanje delov in izboljšani podatki o zemeljskem površju. [10]

OLI zbira podatke iz devetih spektralnih kanalov. Za možno združevanje s prejšnjimi podatki Landsat je sedem kanalov enakih kot pri senzorjih TM in ETM+. Dodana sta dva nova spektralna kanala. Posnetki temno modrega kanala so primerni za merjenje kakovosti vode in raziskovanje obalnih območij. Kratkovalovni IR kanal omogoča zaznavanje visokih, tankih oblakov imenovanih cirusi. [10] V vsak podatkovni sklop je vključen tudi kanal za oceno kakovosti, ki vsebuje informacije o prisotnosti oblakov, vode in snega na posnetkih. Vsak piksel posnetka vsebuje bitno vrednost, ki predstavlja kombinacijo površja, ozračja in pogojev senzorja, ki lahko vplivajo na splošno uporabnost določenega piksla. [11]

Preglednica 2: Lastnosti senzorja OLI. [5]

| | Kanal | Valovna dolžina (μm) | Spektralni pas | Ločljivost (m)* |
|-----|---------|-----------------------------------|------------------|-----------------|
| OLI | Kanal 1 | 0,43–0,45 | Temno modra | 30 |
| | Kanal 2 | 0,45–0,51 | Modra | 30 |
| | Kanal 3 | 0,53–0,59 | Zelena | 30 |
| | Kanal 4 | 0,64–0,67 | Rdeča | 30 |
| | Kanal 5 | 0,85–0,88 | Bližnja IR | 30 |
| | Kanal 6 | 1,57–1,65 | Kratkovalovna IR | 30 |
| | Kanal 7 | 2,11–2,29 | Kratkovalovna IR | 30 |
| | Kanal 8 | 0,50–0,68 | Pankromatski | 15 |
| | Kanal 9 | 1,36–1,38 | Cirus | 30 |

Instrument TIRS zajema termalne posnetke, s katerimi je mogoče meriti stopnjo uparivanja in transpiracije vode. V Združenih državah Amerike uporabijo kar 80% pitne vode za namakanje, zato je upravljanje s porabo vode zelo pomembno.

TIRS deluje v območju dolgovalovne infrardeče valovne dolžine in sicer v dveh spektralnih kanalih.

Preglednica 3: Lastnosti senzorja TIRS. [5]

| | Kanal | Valovna dolžina (μm) | Spektralni pas | Ločljivost (m) |
|------|----------|-----------------------------------|----------------|----------------|
| TIRS | Kanal 10 | 10,60–11,19 | Termalna IR | 100* (30) |
| | Kanal 11 | 11,50–12,51 | TermalnaIR | 100* (30) |

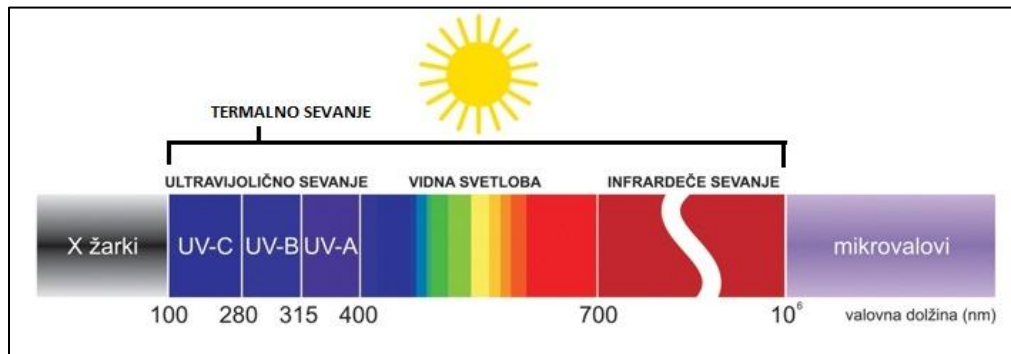
*Ločljivost posnetkov je prevzorčena iz 100 m na 30 m.

3 DOLOČITEV TEMPERATURE TAL S SATELITSKIMI TERMALNIMI POSNETKI

Termalni satelitski posnetki so uporabni za kartiranje temperaturnih razlik v morskih tokovih, spremljanje požarov, ocenjevanje vlažnosti zemlje itd. Za to je potrebno razumeti njihov nastanek in dejavnike, ki nanje vplivajo in prav tako vsaka uporaba podatkov zahteva njihovo razumevanje in pravilen izbor. Nato pa moramo izbrati tudi ustrezen postopek pretvorbe in obdelave posnetkov.

3.1 Termično sevanje, emisivnost in odbojnost

Termično sevanje je EMV¹, ustvarjeno s termičnim gibanjem nabitih delcev v snovi. Vsak objekt v naravi, ki ima temperaturo višjo od absolutne ničle (-273,15 °C), oddaja termično sevanje (slika 3). To je našim očem redko vidno, saj zaznavamo lahko le vidno svetlobo z valovno dolžino med 400 in 700 nm (10^{-6} m) oziroma med 0,4 in 0,7 μm (10^{-9} m). [12] Objekt, ki ima visoko temperaturo (nekaj sto °C), vidimo v žareči, rdeči barvi, z večanjem temperature pa v oranžni, rumeni, beli in na koncu v modri barvi. Večinoma objekti oddajajo termično sevanje z valovno dolžino v spektralnem pasu infrardeče svetlobe (0,7 – 1000 μm). [13]



Slika 3: Prikaz valovnih dolžin EMV. Prirejeno po [11].

Za zaznavanje termičnega sevanja uporabljamo infrardeče detektorje, ki merijo na podlagi različnih efektov (termični, kvantni ali fotonski, optični in kemični efekt). [15] Instrument TIRS uporablja kvantne detektorje (QWIP²), s katerimi meri dolgovalovno termično infrardečo (TIR³) energijo, ki jo oddaja zemeljsko površje. Detektor sestavlja več sto čipov galijevega arzenida, debelih do nekaj sto atomov. Čipi delujejo kot potencialne jame z ujetimi elektroni. Ko fotoni infrardeče svetlobe izbijajo elektrone iz potencialnih jam, začne pod napetostjo skozi detektor teči tok, ki ga lahko preberemo, zabeležimo, pretvorimo v fizikalne količine in na koncu zapišemo v digitalni obliki. [16]

Pri termičnem sevanju ločimo dolgovalovno sevanje, ki ga Zemlja prejme od Sonca (downwelling radiation) in odbito dolgovalovno sevanje, ki je oddano nazaj v vesolje (upwelling radiation). Telesa na zemeljskem površju sevalno energijo ali radianco vpijejo, prepustijo ali odbijejo, zato imajo zase značilno vpojnost oz. absorptivnost, prepustnost oz. transmisivnost in odbojnost. Razmerje med prejetim in odbitim sevanjem imenujemo koeficient odbojnosti ali albedo. Razpon albeda je od 0 (brez odboja) do 1 (popoln odboj) oziroma 0–100%. [17]

¹ elektromagnetno valovanje

² angl. Quantum Well Infrared Photodetectors

³ angl. thermal infrared

Za razumevanje delovanja termalnih kanalov na satelitu nas bolj zanima, kako telesa sevalno energijo oddajajo oziroma emitirajo. Sposobnost oddajanja imenujemo emisivnost, ki je razmerje med sevano energijo, ki jo odda opazovano telo in sevano energijo črnega telesa pri enakih pogojih. Ti pogoji so kot in valovna dolžina sevanja ter temperatura telesa. Črno telo je teoretičen pojem, saj zanj velja, da je popolni oddajnik in je njegova emisivnost enaka 1. V naravi se telesa zgolj približajo konceptu črnega telesa, saj je njihova emisivnost (preglednica 4) vedno večja od nič in manjša od 1 (črno telo). Kirchoffov¹ zakon o termičnem sevanju pravi, da je emisivnost črnega telesa enaka njegovi absorpciji in da velja:

$$\alpha + \rho + \tau = 1 \quad (1)$$

kjer so:

α ... absorpcija (= ε - emisivnost),

ρ ... odbojnost,

τ ... prepustnost. [18]

Energijski tok, ki ga seva črno telo, je odvisen le od temperature. Gostoto energijskega toka in temperaturo povezuje Stefan–Boltzmannov² zakon [13]:

$$M_\lambda = \sigma T^4 \quad (2)$$

kjer so:

M_λ ... gostota energijskega toka sevanja črnega telesa [$W m^{-2}$],

$\sigma = 5,6697 \times 10^{-8} W m^{-2} K^{-4}$... Stefan-Boltzmannova konstanta,

T ... absolutna temperatura črnega telesa (K).

Preglednica 4: Emisivnosti različnih materialov pri temperaturi 300 K oz. 27 °C.
Prirejeno po [19] in [20].

| Material | Emisivnost | Material | Emisivnost |
|--------------------|------------|-------------------------|------------|
| Železo, polirano | 0,06 | Voda | 0,96 |
| Železo, oksidirano | 0,6 | Sneg | 0,8–0,9 |
| Asfalt | 0,88 | Kamen | 0,88–0,95 |
| Beton | 0,94 | Kmetijske površine | 0,94 |
| Steklo | 0,95 | Gozd, zrel | 0,99 |
| Led, hrapav* | 0,99 | Gozd, mlad | 0,98 |
| Apnenec | 0,9 | Gola zemlja | 0,95 |
| Kremenov pesek | 0,9 | Mestne površine / ceste | 0,92 |

* Pri 0°C.

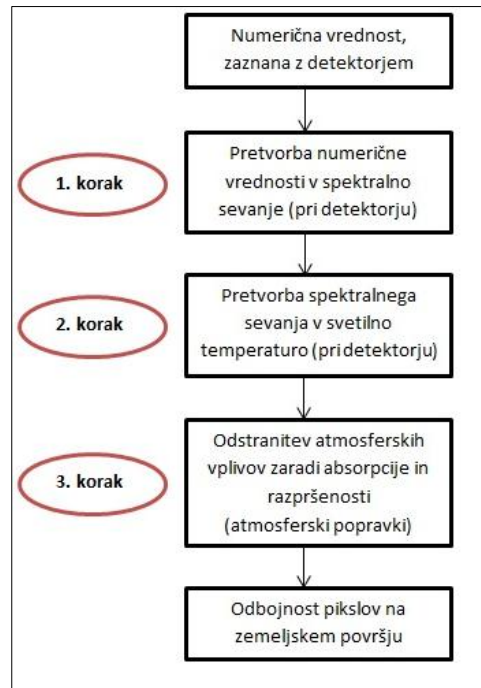
3.2 Pretvorba zaznanega termičnega sevanja

Senzor TIRS na Landsatu 8 zaznava intenzivnost sevane energije zemeljskega površja v dveh kanalih. Kanal 10 zaznava EMV z valovno dolžino med 10,60 in 11,19 μm , kanal 11 pa EMV z valovno dolžino med 11,50 in 12,51 μm . Detektorja beležita intenziteto fotonov v območju spektralnega pasu. Glede na jakost prejetega impulza oziroma števila fotonov, se določi numerična vrednost. Razpon numeričnih vrednosti je odvisen od radiometrične ločljivosti. Landsat 8 ima 12-bitni zapis, kar pomeni, da so numerične vrednosti zapisane v razponu od 0 do 4096. Odvisne so od kota detektorja ob

¹ Gustav Kirchoff, nemški fizik

² Jožef Stefan, slovenski fizik in Ludwig Edward Boltzmann, avstrijski fizik

zajetju podatkov, lokacije sonca, vremenskih razmer itd. Torej so specifične za vsak posnetek posebej. Čeprav so te numerične vrednosti sorazmerne z odhodnim dolgovalovnim sevanjem, je prava enota sevanja $\frac{W}{m^2 \cdot sr \cdot \mu m}$ ¹. Potrebna je pretvorba numeričnih vrednosti v spektralno sevanje. Tako lahko postanejo posnetki primerljivi med seboj. Povezava med numeričnimi vrednostmi in spektralnim sevanjem je bila določena s kalibracijo senzorja že pred samo izstrelitvijo satelita. [21]



Slika 4: Proces radiometrične pretvorbe. Prirejeno po [21].

1. korak: Najprej izvršimo pretvorbo iz numeričnih vrednosti v spektralno sevanje:

$$L_{\lambda} = M_L * Q_{cal} + A_L \quad (3)$$

kjer so:

L_{λ} ... spektralno sevanje ($\frac{W}{m^2 \cdot sr \cdot \mu m}$),

M_L ... sevalni multiplikativni faktor za kanal (RADIANCE_MULT_BAND_n iz metapodatkov; preglednica 5),

A_L ... sevalni aditivni faktor za kanal (RADIANCE_ADD_BAND_n iz metapodatkov; preglednica 5),

Q_{cal} ... numerična vrednost piksla (level 1).

Preglednica 5: Sevalni faktorji satelita Landsat 8 (vir: .MTL datoteka)

| Faktor | Kanal 10 | Kanal 11 |
|--------|-------------------|-------------------|
| M_L | $3,342 * 10^{-4}$ | $3,342 * 10^{-4}$ |
| A_L | 0,1 | 0,1 |

¹ Mera prenosa energije (Watt – W) zaznane na senzorju glede na en m² površja, en steradian* in μm merjene valovne dolžine. Steradian je prostorski kot glede na senzor z vrhom v točki na zemljinem površju.

2. korak: Nato spektralno sevanje pretvorimo v svetilno temperaturo, ki jo zazna senzor na satelitu. Pri tem predpostavimo, da je emisivnost površja enaka 1. Pretvorba je dana z izrazom [20]:

$$T = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{L_\lambda} + 1\right)} \quad (4)$$

kjer so:

T – svetilna temperatura (K),

L_λ – spektralno sevanje ($\frac{W}{m^2 * sr * \mu m}$),

K1 - termična kalibracijska konstanta za spektralni pas (K1_CONSTANT_BAND_n iz metapodatkov; preglednica 6),

K2 - termična kalibracijska konstanta za spektralni pas (K2_CONSTANT_BAND_n iz metapodatkov; preglednica 6).

Preglednica 6: Kalibracijske konstante satelita Landsat 8 (vir: .MTL datoteka)

| Konstanta | Kanal 10 | Kanal 11 |
|-----------|----------|----------|
| K1 | 774,89 | 480,89 |
| K2 | 1321,08 | 1201,14 |

3. korak: V resnici ozračje, skozi katero potuje valovanje, vpliva nanj in posledično na izmerjeno sevanje. Nanj najbolj vplivata procesa absorpcije in razpršitve. Absorpcija nastane zaradi medsebojnega vplivanja med EMV in plini, kot so vodna para, ogljikov dioksid in ozon. Razpršitev nastane pri srečanju EMV z molekulami plina ter z delci v zraku, pri čemer se valovanje preusmeri. To je potrebno upoštevati pred uporabo podatkov. [21]

Na voljo je več algoritmov, ki se razlikujejo glede na število termalnega kanalov, ki jih ima satelit in glede na zahtevane atmosferske podatke v času snemanja posnetka. Za določitev temperature tal na podlagi enega termalnega kanala uporabimo algoritem enega okna. Za izračun je potrebno poznati emisivnost, transmisijo in srednjo temperaturo atmosfere. Tudi algoritem enega kanala je zastavljen na podlagi enega termalnega kanala, toda v tem primeru je za izračun potreben samo podatek o deležu vodne pare. Tretji algoritem je algoritem deljenega okna in ga lahko uporabimo samo pri izračunu na podlagi dveh termalnih kanalov satelita Landsat 8. Temelji na predpostavki, da obstaja linearna povezava med radianco in zaznano temperaturo. Prednost tega algoritma je, da pri izračunu niso potrebni natančni podatki o zračnem tlaku ali temperaturi atmosfere. Termalna kanala namreč zaznavata drugačno transmisijo in emisivnost površja. Potreben pa je podatek o deležu vodne pare in emisivnosti površja. [22]

3.3 Termično sevanje na območjih različnih rab tal

Koliko toplote oddajajo tla, je zelo odvisno od deleža vegetacije in vsebnosti vode v zemlji. Mikroklima v gozdu je odvisna od razmerja temperature v krošnjah in temperature v gozdu, saj se lahko zelo razlikujeta. Temperature, ki jih pridobimo iz satelitskih termalnih posnetkov, so pravzaprav temperature površin. V primeru gozda so to krošnje dreves, torej pridobljene temperature so temperature na vrhu krošenj. Raziskave so pokazale, da ima vsak tip gozda svoje značilnosti. V suhem tropskem gozdu nižja temperatura pomeni bolj gost in zrel gozd. V nekaterih vlažnih tropskih

gozdovih pa je sekundarni sukcesijski del gozda bolj gost in je zato bolj hladen od zrelega dela gozda. [20]

Za namen določitve točne temperature na površju je potrebno poznati rabo tal in njeno emisivnost (preglednica 4). Točno temperaturo lahko izračunamo z izrazom [20]:

$$\varepsilon\sigma T_S^4 \sim \sigma T_a^4 \quad (5)$$

kjer so:

ε – emisivnost določene rabe tal,
 σ – Stefan-Boltzmannova konstanta,
 T_S – temperatura na senzorju,
 T_a – temperatura na površju.

Vključitev emisivnosti v izračun ne spremeni vzorca temperature za vsako rabo tal, toda poudari razlike med njimi. [20]

Raziskave so pokazale, da so biofizikalne lastnosti gozdov povezane z rdečim in bližnje-infrardečim sevanjem. Najbolj znan vegetacijski indeks je normiran diferencialni vegetacijski indeks NDVI¹, ki je močno povezan z rabami tal v mestnih, predmestnih in naravnih ekosistemih. Uporablja se ga pri določanju pokritosti z vegetacijo in ocenjevanju, kako zdrave so rastline. Zdrave rastline z veliko klorofila za potrebe fotosinteze močno vpijajo vidno svetlobo z valovno dolžino 400–700 nm. Bližnjo infrardečo svetlobo (700–1100 nm) pa zdrave rastline odbijajo, saj vpiranje le-te povzroča pregrevanje in s tem poškodbe rastlinskega tkiva. Zaradi te razlike so rastline prikazane temno v vidnem spektru in svetlo v spektru bližnje infrardeče svetlobe. [23] Vegetacijski indeks NDVI izračunamo iz razmerja med kanaloma 3 in 4 pri senzorjih TM in ETM+ [20]:

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \quad (6)$$

kjer sta:

NIR ... odbojnost rdeče svetlobe, merjena s kanalom 3,
 R ... odbojnost bližnje infrardeče svetlobe, merjena s kanalom 4.

Termalni kanal je dober vir podatkov tako sam kot tudi v kombinaciji z drugimi kanali (za barvne kompozite in vegetacijske analize). Z rabami tal ga lahko povežemo direktno, saj ima vsaka raba tal določene temperaturne razpone. Najtoplejše so ceste in mesta, sledi jim gola zemlja in mladi gozdovi. Nekoliko hladnejši so zreli gozdovi in intenzivno kmetijstvo, največkrat zaradi namakanja. Najhladnejša so vodna območja.

Povsod po svetu se območja gozdov krčijo, medtem ko se pozidana območja širijo. Temperatura je večinoma v središču mesta občutno večja v primerjavi s temperaturo na območju predmestja in parkov. Vzrok za to so antropogeni toplotni onesnaževalci in onesnaževalci zraka na območju stavb in tovarn. [25] Poleg tega pa na temperaturo v mestih zelo vpliva vegetacija zaradi svoje odbojnosti in absorpcije sončne radiance. Pri pozidanih površinah se prejeta energija pretvori v toploto, ki jo nato oddaja, vegetacija pa ima velik hladilni učinek, saj vpija veliko vhodne sončne energije in razprši energijo s transpiracijo vode. [26] Zaradi tega v gozdu nastanejo posebni klimatski pogoji, ki v

¹ angl. Normalized Difference Vegetation Index

primerjavi z neporaščenimi območji na obravnavanem območju v raziskavi poleti znižajo temperaturo v povprečju za 3–4 °C, pozimi pa povečajo v povprečju za 2–3 °C. [25]

Prst vsebuje vlago in omogoča stalno izhlapevanje v ozračje, medtem ko pozidane površine povzročajo povečano odtekanje vode in preprečujejo izhlapevanje vlage. Poleg tega lahko visoke stavbe spremenijo zračni tok, ki ohlaja mesto. Gradbeni materiali, strehe, asfalt, beton in ceste vpijejo več sončne toplote in posledično tudi oddajajo več toplote, kar povzroči, da so območja mest toplejša v primerjavi s podeželjem. Ta toplotni pojav je rezultat nenamerne klimatske spremembe zaradi antropogenih dejavnosti in ga imenujemo mestni toplotni otok. [26]

4 KRAŠKO POVRŠJE IN KLIMA V KRAŠKIH POJAVIH

4.1 Kraško površje

Kraško površje ali kras je del zemeljskega površja, ki nastane na apnencih in dolomitih. Pomembno vlogo pri raztapljanju apnenca in dolomita igra ogljikov dioksid, s katerim se voda obogati na poti skozi atmosfero in še posebej pri pronicanju skozi prst. Pri tem nastaja šibka ogljikova kislina, v kateri se hitrost raztapljanja in topnost karbonatnih kamnin močno poveča. Celotna kemična reakcija raztapljanja kalcita, ki v večini tvori apnenec, zapišemo z enačbo:



Intenzivnost raztapljanja kamnin je odvisna od podnebja (padavin, temperature), reliefa in od lastnosti karbonatne kamnine (čistosti, razpokanosti). Preko daljših časovnih obdobij se z raztapljanjem in odlaganjem delcev razvijejo različne podzemeljske in površinske kraške oblike. [24]

Površinske kraške oblike:

- kraški ravniki
- kraška polja,
- reke ponikalnice s ponori in slepimi dolinami,
- uvale
- vrtače,
- udornice,
- kraški izvir,
- suhe doline,
- brezstropne jame
- kraški kanjoni
- škraplje, žlebiči in ostale drobne oblike.

Podzemeljske kraške oblike:

- kraške jame
Jame so lahko pretežno vertikalne (brezna), horizontalne ali kombinacija obojega. So sled oblikovanja vodne poti skozi kraški vodonosnik, nastale zaradi korozijskega širjenja primarnih razpok v karbonatnih kamninah. Jame so lahko suhe (fosilne), če današnji vodni tok poteka nižje v vodonosniku, ali vodne (aktivne), če vodni tok teče skozi njih. V jamah najdemo veliko sekundarnih kraških oblik, ki nastanejo ob odlaganju kalcita iz prenasočene prenikle vode.

Poznamo več različnih vrst krasa in jih lahko delimo glede na:

- razvitost (popolni, nepopolni),
- pokritost s prstjo (goli, pokriti, fluviokras),
- podnebne pogoje (tropski, sredozemski),
- relief (nižinski, gorski in visokogorski kras),
- mineralno sestavo,
- kemično sestavo.

Poseben je tudi stožčasti kras, za katerega so značilni skalnati stožci, ki se dvigajo iz pokrajine. [28]

4.2 Kraške jame in brezna

Najznačilnejši kraški pojav so kraške jame in brezna. Nastanejo s korozijskim širjenjem razpok v

karbonatni kamnini (ob prelomih, razpokah). Pravzaprav so to podzemni kanali, ki jih je oblikovala tekoča voda. Jame se razpletajo v horizontalni smeri, medtem ko so brezna vertikalni kanali.

Kraške jame lahko delimo na različne načine. Naslednja delitev tipov jam temelji na hidrologiji jam [29]:

- Izvirna jama ima stalen ali občasen izvir.
- Ponorna jama ima stalen ali občasen ponor.
- Estavela ima vhod, ki je včasih izvir, včasih pa ponor vode.
- Vodne jame z neaktivnim vhodom so tiste jame ali brezna, kjer je vhod sicer stalno suh, v jami pa je stalna voda. Izoblikujeta jih tako korozija apnenca kot rečna erozija.
- Suhe jame ali brezna so starejše, saj se je nivo pretakanja vode spustil globlje.
- Ledena in snežena jama s stalnim ali občasnim ledom ali snegom.
- Dihalniki so mesta na površju, kjer je stalna izmenjava zraka s podzemljem.

Jame in brezna so zapleteni sistemi, ki so se skozi čas spreminjali, prekinjali in povezovali. Tako ima vsaka jama svoje značilnosti, ki se razlikujejo geomorfološko, hidrološko, geološko, zoološko in botanično.

4.3 Kraško površje v Sloveniji in na Hrvaškem

Južni del Slovenije pripada zunanjim Dinaridom, ki jih gradi debela skladovnica močno zakraselih karbonatnih kamnin. Glede na topografijo te velikokrat delimo na Nizki dinarski kras, ki obsega podolja in doline (Pivška dolina, Notranjsko podolje, Kras), medtem ko Visoki kras predstavljajo višje planote (Javorniki, Hrušica, Nanos, Trnovski gozd, Banjšice in Snežnik). Nizki kras je večinoma poseljen in kmetijsko obdelan, medtem ko na Visokem krasu prevladuje gozd. Visokogorski ali Alpski kras se nahaja na območju Južnih Alp na severozahodnem in severnem delu (pretežni del Julijskih in Kamniško Savinjskih Alp). Tu gre za značilno glaciokraško pokrajino, kjer so površje in jamske splete oblikovale vode pleistocenskih poledenitev.

Na območju Velebita na Hrvaškem prevladuje gol kras, podoben našemu Alpskemu krasu. V narodnem parku Sjevni Velebit se nahaja strogi naravni rezervat Hajdučki i Rožanski kukovi z veliko gostoto kraških pojavov. Skozi izjemno razgiban in nedostopen glaciokraški teren, prepreden z globokimi globelmi, poteka znamenita Premužičeva pot. V masivu Crnopac na južnem Velebitu so v zadnjem desetletju odkrili več kot 50 km velikih jamskih spletov. Jamski sistem Kita Gačešina – Draženova Puhaljka je trenutno s svojimi 30,7 km najdaljši na Hrvaškem. Najbolj znana jama v rezervatu Hajdučki i Rožanski kukovi je Lukina jama, ki je najgloblja jama na Hrvaškem in deveta najgloblja jama na svetu (-1431 m). Druga najgloblja jama na Hrvaškem je Slovačka jama, ki so jo odkrili slovaški jamarji.

4.4 Jamska mikroklima

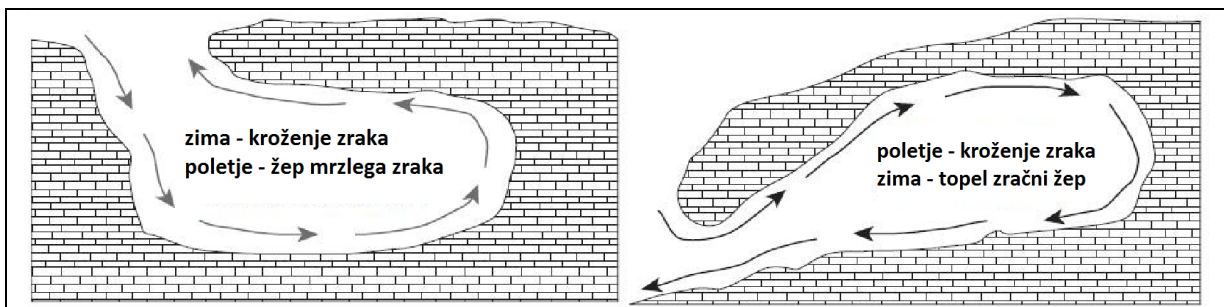
Temperatura zemeljskega površja je sorazmerno odvisna od podnebja in vremenskih pogojev. Z globino se temperatura tal počasi spreminja. V globini 20–30 m se temperatura približa povprečni letni temperaturi kraja na površju, globlje pa narašča po geotermični stopnji. Ta znaša približno 1°C na 30 m globine. Na območju krasa je to bolj zapleteno, saj se toplota prenaša v globino še s pronicujočo vodo in kroženjem zraka. [30]

Jame so mejno klimatsko okolje med zemeljsko notranjostjo in zunanjo atmosfero. Samo stanje jamske mikroklimе lahko določamo z osnovnimi parametri, ki fizikalno opredeljujejo stanje zraka. To so temperatura, gibanje zraka, vlažnost, zračni pritisk in vsebnost drugih plinov, na primer CO₂. [30] V

turističnih jamah je pomembno tudi določanje vsebnosti radona zaradi zdravja turističnih delavcev, ki se v jami zadržujejo dlje časa. [31]

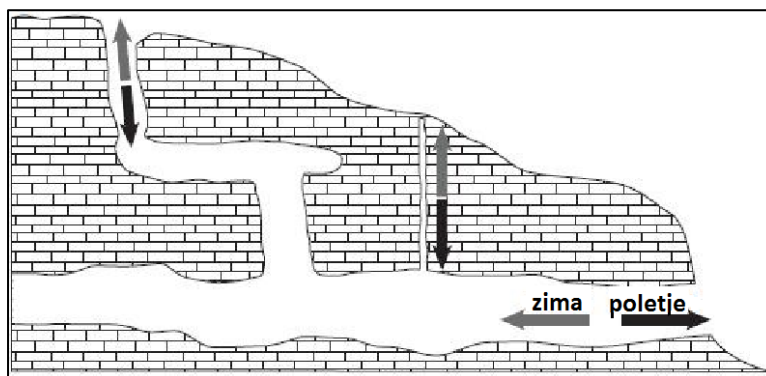
Kako se zrak giblje v jami, je odvisno od oblikovanosti jame, števila vhodov in višinske razlike med vhodi oziroma med deli jame. Poleg tega lahko na gibanje zraka vplivajo tudi sprememba zračnega pritiska, zunanji vetrovi in dvig ter upad vodostaja v vodnih jamah.

Glede pretoka zračnih mas poznamo jame statičnega in jame dinamičnega tipa. Jame statičnega tipa so pogosto žepaste oblike z velikim vhodom. V primeru, da je vhod v jamo v zgornjem delu votline, skozenj priteka v hladni polovici leta hladnejši in zato težji zrak. Pri tem izpodrine toplejšega, ki je lažji. Ko se temperatura zunanjega zraka dvigne, se izpodrivanje ustavi in v jami se zadrži jezero hladnega zraka. Tak zrak se lahko ohladi tudi pod temperaturo ledišča. Ker zrak ne kroži več, se hladni žep ohrani tudi v topli polovici leta. V primeru jame z vhodom v spodnjem delu votline je pojav obraten. Poleti toplejši zrak vdira v jamo, ter izpodriva hladnega, pozimi pa v jami ostane žep toplega zraka (slika 5). [32]



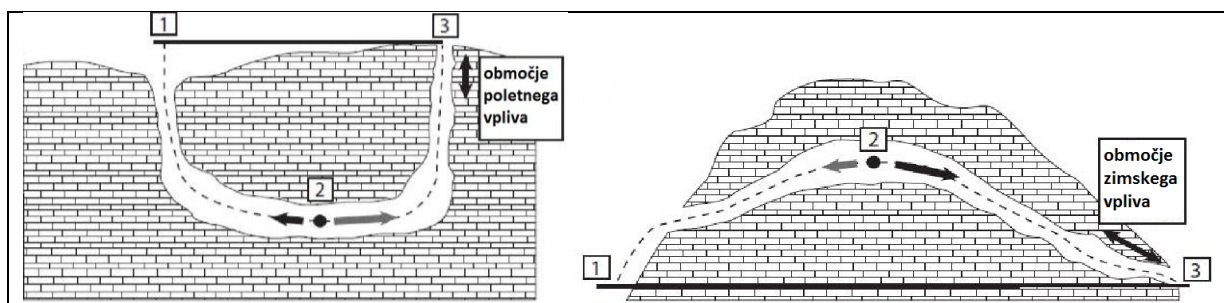
Slika 5: Prikaz kroženja zraka v jami žepaste oblike z vhodom na zgornji strani votline (levo) in v jami z vhodom na spodnji strani votline (desno). Prirejeno po [32].

Za jame dinamičnega tipa je značilno, da se zaradi temperaturnih razlik zrak v jami giblje skozi vse leto. Tu so pomembni predvsem jamski sistemi z več vhodi na različnih višinah. Ko je zunanji zrak hladnejši od temperature masiva, toplejši in lažji jamski zrak teži proti zgornjim vhodom, v spodnje vhode pa prodira hladen zunanji zrak. Tako se vzpostavi stalni zračni tok v smeri od nižjih proti višjim vhodom. Poleti oz. v toplem obdobju je situacija obratna, hladnejši jamski zrak se seseda od višjih proti nižjim vhodom (slika 6). Pri ohlajanju se njegova relativna vlažnost poveča, kar vidimo kot kondenzacijo na jamskih stenah. Ta pojav imenujemo »efekt dimnika«. [32]



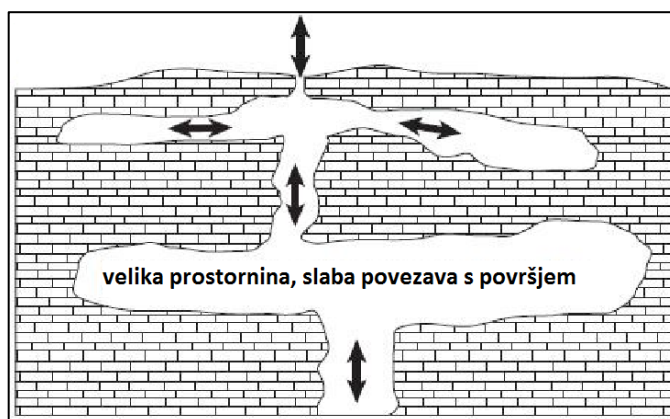
Slika 6: Prikaz kroženja zraka v dinamični jami. Prirejeno po [32].

V jamah, pri katerih so vhodi na približno enakih nadmorskih višinah, je »efekt dimnika« bolj izrazit ob skrajnih temperaturah, torej poleti ali pozimi (slika 7). To je odvisno od geometrije jame in globine vpliva zunanje temperature.



Slika 7: Prikaz kroženja zraka v jami z vhodi na približno enaki nadmorski višini. Prilagojeno po [32].

Tlak v kraških jamah se izenačuje z zunanjim zračnim tlakom. Ob spremembah zunanjega tlaka iz jam ali v jame teče zračni tok, ki ga še posebej močno zaznamo v jamah, kjer velike prostore povezujejo ozki prehodi oz. pri jamah z velikim volumnom in ozkim vhodom (slika 8). [32]



Slika 8: Prikaz kroženja zraka v jami s slabo povezanostjo s površjem. Prilagojeno po [32].

Poleg naštetih primerov prepriha zaradi geometrije jame, lahko prepriha v jami povzroči tudi dvigovanje kraške podtalnice, ki iztiska zrak iz jame. Prepriha se lahko okrepi ali obrne zaradi spremembe zunanje tlaka ob prehodih vremenskih front.

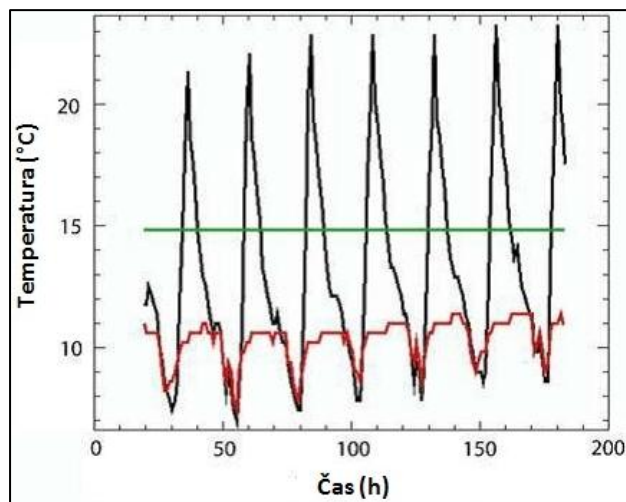
4.5 Mikroklima na vhodu v jamo

Pretok zračnih mas in intenzivnost mešanja jamskega zraka z zunanjim je odvisna od različnih pogojev, tudi od razmerja med velikostjo vhoda in globino jame ter gibanja zunanjega zračnega pritiska. [30] Prepriha na vhodu je značilen predvsem pri jamah, kjer se pojavlja »efekt dimnika«, torej pri jamah z vhodi na različnih nadmorskih višinah. Toda smer gibanja zraka je odvisna od zunanje temperature, zato pri določenem vhodu poleti piha iz jame, medtem ko pozimi vleče zrak v jamo.

Raziskave v tujini [33] so pokazale, da je optimalen čas za termalno opazovanje jamskih vhodov sredi dneva, saj se okolica jame takrat najbolj segreje v primerjavi z vhodom jame. Notranost jame sončni žarki ne dosežejo, zato ostane temperatura sten konstantna čez celo leto. Skalnata okolica je podvržena velikim temperaturnim spremembam, saj se podnevi močno segreje, ponoči pa počasi ohladi.

Temperatura skal pri vhodu v jamo se spreminja podobno, vendar so te spremembe manjše zaradi vpliva notranjega zraka s konstantno temperaturo (slika 9).

V Sloveniji in na Hrvaškem so temperaturne razlike med ozračjem in masivom največje pozimi in poleti, zato pričakujemo temperaturne anomalije pri vhodih jam prav v teh obdobjih. Jamske vhode je potrebno opazovati v obdobju, ko iz njega zrak izhaja, saj so takrat večje možnosti, da jih opazimo na termalnih satelitskih posnetkih. Tako je potrebno poleti opazovati nižje ležeče vhode jamskih sistemov, medtem ko pozimi bolj izstopajo višje ležeči vhodi.



Slika 9: Prikaz zimskega spreminjanja temperature na vhodu (rdeča), globoko v jami (zeleni) in na površju (črna). Prirejeno po [33].

4.6 Iskanje vhodov jam

Način iskanja novih vhodov jam se od začetka razvoja jamarstva ni veliko spremenil. Jamarji še vedno največkrat peš pregledujejo teren, ki je potencialen za odkrivanje novih jam. Vsak jamar in jamarsko društvo ima svoj način iskanja, pri tem pa si pomagajo z geološkimi kartami, starimi kartami, zapiski in koordinatami ter s svojim instinktom. Teren je najbolje pregledati pozimi, saj se zaradi toplejšega zraka, ki izhaja iz vhoda, sneg nad njim stopi in je tako vhod bolj opazen. Prav tako je to znak, da je jama večjega obsega. S sodobno tehnologijo se pojavljajo tudi nove ideje in načini raziskovanja. Na težko prehodnih mestih v rezervatu Hajdučki i Rožanski kukovi na Hrvaškem bodo teren pregledali vizualno s kamero na brezpilotnem letalniku. V Sloveniji so na tak način že pregledali teren na Pokljuki in iz posnetkov izdelali DMR¹ visoke ločljivosti.

¹ digitalni model reliefa

5 IZBOR PODATKOV IN NJIHOVA OBDELAVA

Pred primerjavo in analizo podatkov, je le-te potrebno ustrezno izbrati, urediti in obdelati. Uporabili smo programsko orodje ENVI 5.1, ki je primerno za obdelavo veliko vrst prostorskih podatkov oziroma podatkov daljinskega zaznavanja. Nato smo nadaljevali obdelavo v programskem orodju ArcGis oziroma v njegovi komponenti ArcMap 10.2.2. ArcGIS je geografski informacijski sistem, ki je primeren za delo s kartami, prostorskimi podatki in bazami.

5.1 Kataster jam v Sloveniji in v tujini

V Sloveniji je kataster jam del dejavnosti Jamarske zveze Slovenije, ki vodi tudi aktivnosti jamarskih društev v Sloveniji. Vsaki jami, ki je na novo odkrita, je potrebno določiti ime, zabeležiti koordinate vhoda, jo izmeriti, izrisati načrt in opisati njene značilnosti. Za pomoč so na spletu dostopne predloge zapisnikov A (osnovni zapisnik), B (dopolnilni zapisnik), C (kartografsko gradivo), D (drugo gradivo), E (načrt), F (fotografsko gradivo), G (meritve), H (zapisnik o stanju jam) in I (oprema). Največkrat zapisnike izpolnijo jamarji, ki so jamo prvi obiskali, in jih posredujejo Jamarski zvezi Slovenije (JZS) preko svojega jamarskega društva ali Inštituta za raziskovanje krasa (IZRK), ki je del Znanstvenoraziskovalnega centra Slovenske akademije znanosti in umetnosti (ZRC SAZU). [34] Na spletni strani e-katastra jam [35] so javno dostopne koordinate jam in nekateri njihovi podatki (dolžina, globina, stanje jame).

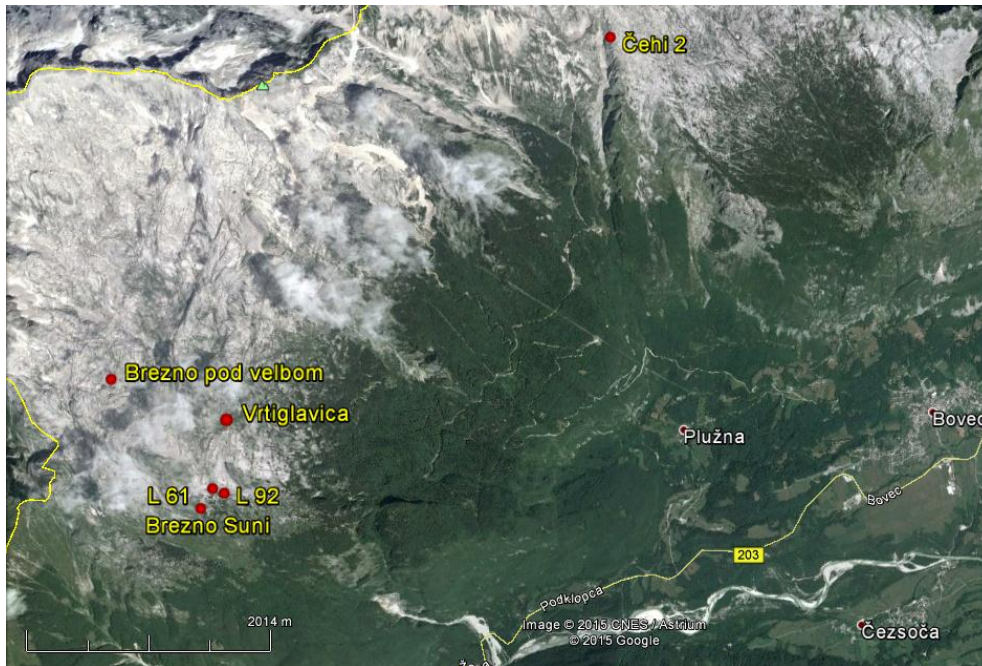
Slovenski kataster jam je edinstven, saj omogoča javen dostop do podatkov o jamah na celotnem ozemlju države. V tujini lahko na spletu pridobimo le nekaj podatkov o večjih jamah. Za več podrobnosti in podatke o manjših jamah pa se je potrebno obrniti na lokalna jamarska združenja ali društva, ki vodijo evidenco okoliških jam.

5.2 Izbor ustreznih jam

Trenutno¹ je v Sloveniji registriranih 11392 jam, vsako leto pa je odkritih še okoli 200 novih. Za potrebe magistrske naloge smo iskali jame, ki ustrezajo opisu potencialnih jam za raziskavo. Izbrali smo tiste, ki so znane bodisi po svoji velikosti, velikem vhodu ali močnem prepihu.

Ugotovili smo, da jame, ki se nahajajo na območju gozda, niso primerne, ker krošnje regulirajo temperaturo v gozdu in s tem zabrišejo temperaturne razlike pri tleh. Uporabili smo rastrski posnetek rabe tal z velikostjo piksla 10 m in ga prekrili s slojem koordinat izbranih jam. Vsakemu vhodu v jamo smo tako dodali atribut njegove rabe tal in nato izločili jame v gozdu. Večinoma so preostale velike turistične jame, kjer so vhodi pozidani (Postojnska jama, Škocjanske jame) in jame na območju Kanina ter Rombona. V katastru jam se lahko pojavi več različnih koordinat vhodov (delovni seznam jam) zaradi različnih izmer koordinat. Te se lahko razlikujejo tudi do 50 m. Za potrebe magistrske naloge smo izbrali najbolj verjetne koordinate. Slika 10 prikazuje položaj vhodov izbranih jam na območju Kanina, slika 11 območje vhodov Pološke jame in slika 12 vse ostale vhode izbranih jam v Sloveniji.

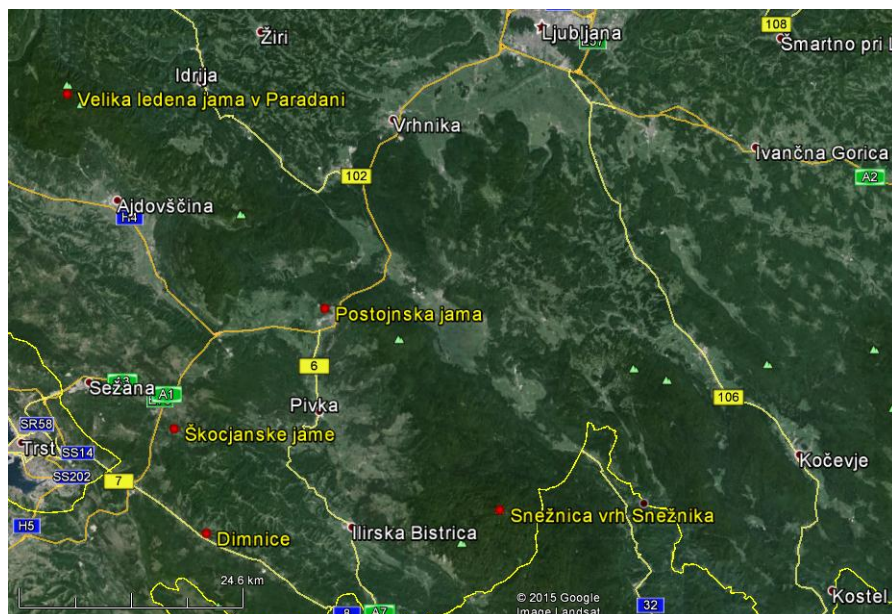
¹ na dan 03.03.2015



Slika 10: Položaji vhodov izbranih jam na območju Kanina



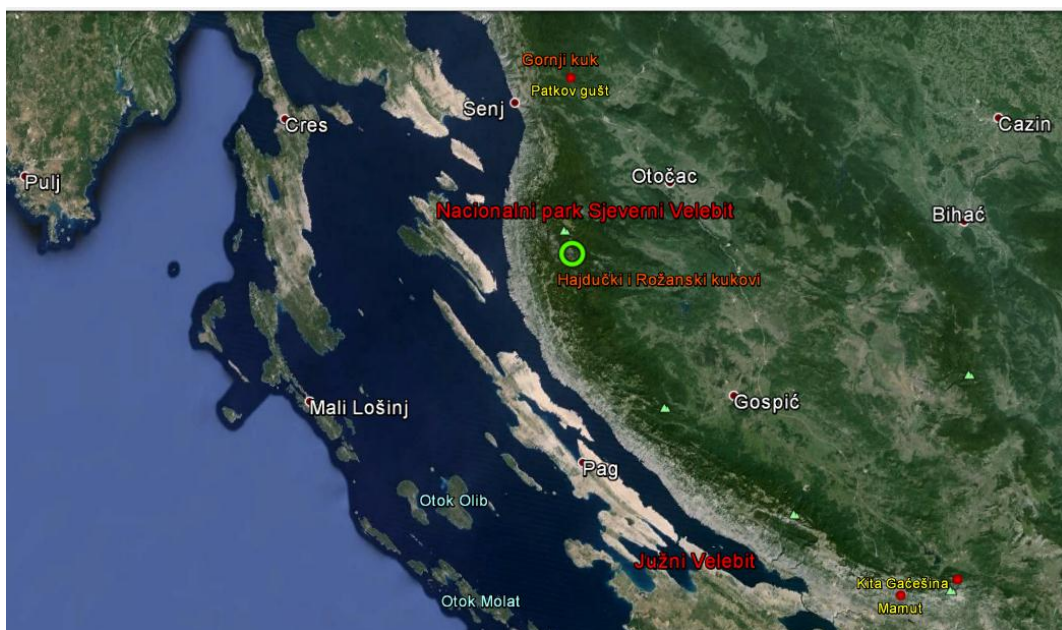
Slika 11: Položaji treh vhodov Pološke jame pri Tolminu



Slika 12: Položaji vhodov ostalih izbranih jam v Sloveniji

Pri izbiri jam v tujini nismo upoštevali jam v tropskem pasu, saj se večinoma nahajajo v tropskih gozdovih. Zaradi ustreznosti območja smo se najbolj osredotočili na bližnji Velebit na Hrvaškem. Za krasi na Velebitu je značilno, da je zelo razgiban in večinoma ni pokrit z vegetacijo. V rezervatu Hajdučki i Rožanski kukovi in na območju Crnopac se nahaja veliko jam, ki sodijo med največje na Hrvaškem in celo na svetu. Položaj obravnavanih območij je prikazan na sliki 13, položaji vhodov izbranih jam v rezervatu Hajdučki i Rožanski kukovi pa so prikazani na sliki 14.

Izbor jam in njihovo izločanje je prikazano v Prilogi A.



Slika 13: Obravnavana območja in položaji vhodov nekaterih izbranih jam na Hrvaškem



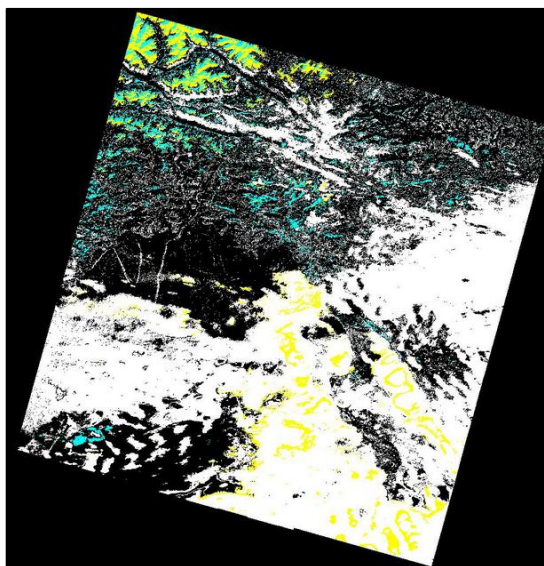
Slika 14: Položaji vhodov izbranih jam na območju rezervata Hajdučki i Rožanski kukovi

5.3 Izbor satelitskih posnetkov in njihova obdelava

Posnetki satelita Landsat 8 so dosegljivi na spletnih straneh EarthExplorer, Global Visualization Viewer (GloVis) in LandsatLook Viewer. LandsatLookViewer prikazuje samo arhivske podatke Landsat, medtem ko EarthExplorer in GloVis ponujata pregled in prenos več vrst podatkov iz arhiva USGS. Podatke je na vseh treh portalih mogoče prenesti brezplačno, vendar se je potrebno pred tem prijaviti na spletni strani EarthExplorer.

Pri prenosu izdelkov Landsat 8 lahko izbiramo med prenosom posameznih posnetkov (posnetek naravnih barv, termalni posnetek, podatki o kakovosti) ali stisnjenim paketom »Level 1 Data Product«, ki vsebuje vse posamezne večspektralne in termalne kanale, pankromatski kanal ter metapodatkovno datoteko. Njegova približna velikost je 950 MB. [16]

Kadar izbiramo podatke za določeno območje, je potrebno preveriti njihovo kakovost. V poglavju 2.2 je opisan kanal za oceno kakovosti. Za lažjo in hitrejšo oceno ustreznosti je poleg posnetka Landsat priložena tudi njegova slika kakovosti (LandsatLook Quality Image). Ta 8-bitna .png datoteka omogoča hiter pregled kakovosti pikselov za lažje izbiranje posnetkov. Na sliki 15 vidimo, da so nekateri piksli pobarvani z močnimi barvami, katerih pomen je podan v preglednici 7.



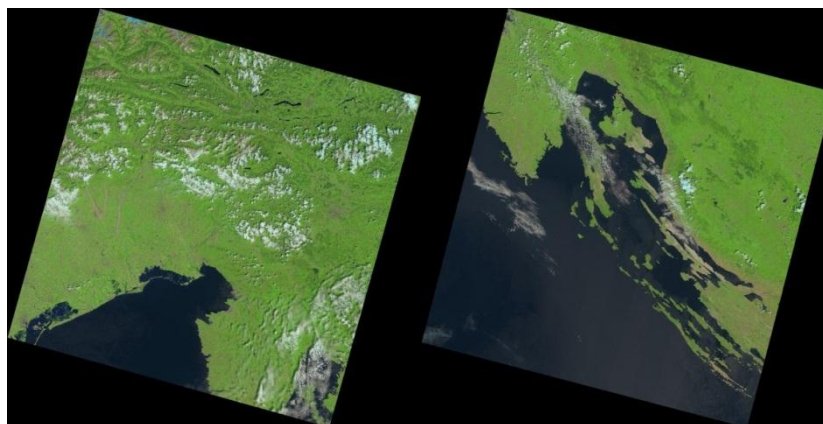
Slika 15: Slika kakovosti za območje SZ Slovenije, dne 07.02.2015. [36]

Preglednica 7: Pomen barv pikslov slike kakovosti. [16]

| Bit | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|-------|--------------------|-----------------------|-------------------------|------|------------|----------|--------------|--------|
| Opis | Predpisano polnilo | Izpuščen del posnetka | Zakritost zaradi terena | Voda | Vegetacija | Sneg/led | Cirus oblaki | Oblaki |
| Barva | | | | | | | | |

Decembra 2014 je bila konfiguracija senzorja TIRS preoblikovana zaradi zaznane napake. Zato posnetki niso bili dosegljivi. Posnetki, ki so nastali v obdobju 19.12.2014–13.03.2015, so bili maja 2015 ponovno obdelani, tako da zdaj vsebujejo prave podatke. Nekaj posnetkov pa vseeno ni bilo mogoče popraviti. [37]

Tako na območju SZ Slovenije kot na Velebitu se je pojavila težava pri izbiri termalnih posnetkov, saj se na obeh območjih pogosto pojavlja oblačnost (slika 16), takrat narejeni posnetki pa niso primerni za analizo. Izbor posnetkov Landsat 8 za magistrsko nalogo je prikazan v Prilogi B.



Slika 16: Satelitski posnetke, na katerem je razvidna oblačnost na območju Kanina (levo) in Velebita (desno). [36]

Izbrane posnetke je bilo pred analizo potrebno obdelati. V program ENVI 5.1 smo uvozili posnetke Landsat 8 skupaj z njihovimi metapodatki. Da smo pridobili temperaturo na senzorju, smo z uporabo orodja v programu določili »Brightness temperature«. Temperatura je podana v kelvinih (K), zato smo jo pretvorili v stopinje Celzija ($^{\circ}\text{C}$) s pomočjo izraza:

$$T(^{\circ}\text{C}) = T(\text{K}) - 273.15 \quad (8)$$

kjer sta

$T(^{\circ}\text{C})$... temperatura v stopinjah Celzija,

$T(\text{K})$... temperatura v kelvinih; absolutna temperatura.

Da s termalnimi satelitskimi posnetki določimo točno temperaturo terena, potrebujemo meteorološke podatke za opazovano območje v času snemanja. Jamski vhodi se večinoma nahajajo na odročnih območjih (gozd, gore), kjer se največkrat ne meri meteoroloških parametrov (temperatura, zračni tlak, vlažnost). Zato točnih temperatur na teh območjih s termalnimi satelitskimi posnetki ne moremo določiti, jih pa za potrebe naloge niti ne potrebujemo, saj nas zanima le primerjava z okolico oziroma temperaturna razlika.

Posnetke smo v ArcMap uvozili v obliki TIFF, jame pa kot točke s koordinatami. Vsi posnetki Landsat 8 so georeferencirani v koordinatni sistem WGS 84/UTM, medtem ko so koordinate jam podane v državnih koordinatnih sistemih. V Sloveniji je to koordinatni sistem D48/GK, na Hrvaškem pa je to koordinatni sistem HTRS96/TM. Da bi bili posnetki združljivi s slojem jam, jih je bilo potrebno transformirati.

Opazovali smo bližnjo okolico jame, zato smo za lažjo obdelavo iz termalnih posnetkov izrezali kroge z radijem 500 m in s središčem na vhodu jame. Preko vsakega jamskega vhoda smo izrisali dva prečna profila z dolžino 1 km, in sicer prvega v smeri zahod–vzhod (x os) in drugega v smeri jug–sever (y os). Nato smo vsakemu profilu priredili vrednosti posameznega termalnega posnetka in izrisali graf prečnih profilov za različne datume. Pri interpretaciji rezultatov smo upoštevali tudi relief okolice vhoda, saj le-ta zelo vpliva na temperaturo. K izrisu smo tako dodali digitalni model višin ali DMV oziroma njegove prečne profile. Ločljivost DMV-ja je 12,5 m, kar je dovolj glede na manjšo ločljivost termalnih posnetkov.

6 ANALIZA PODATKOV

Podatke smo obdelali tako, da so med seboj primerljivi in tako primerni za analizo. Običajno so registrirani vhodi jam v njihovem zgornjem delu, zato lahko pričakujemo opazne temperaturne razlike predvsem pozimi, ko iz vhoda izhaja toplejši zrak. Toda jam ni mogoče obravnavati skupno, saj ima vsaka jama svoje značilnosti, zato je bila za vsako jamo izdelana samostojna analiza. Grafi prečnih profilov so prikazani v prilogi C.

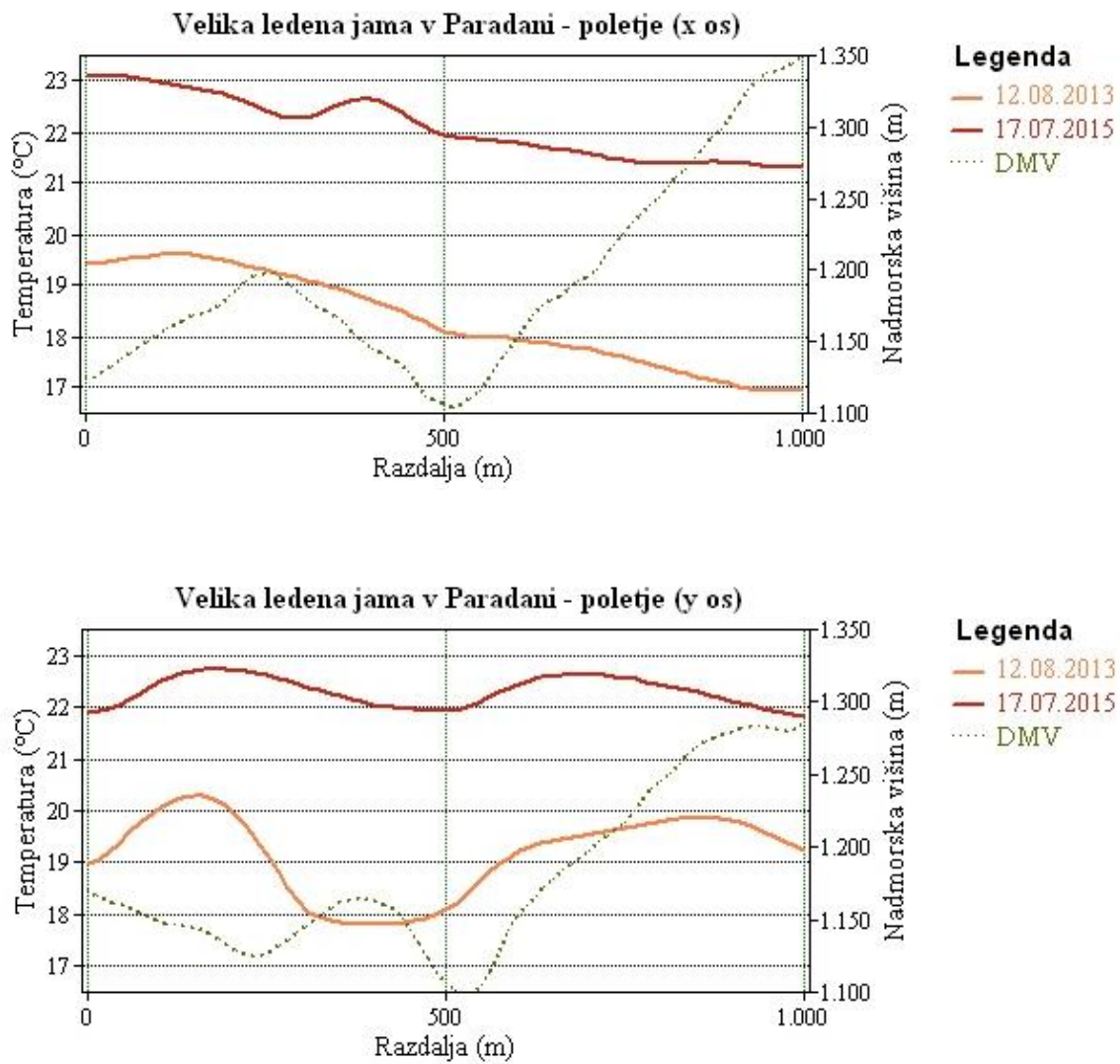
6.1 Velika ledena jama v Paradani

Velika ledena jama v Paradani se sicer nahaja v gozdu, vendar nas je vseeno zanimalo, kako se temperaturno obnaša vhod jame ledenice (slika 17). V njej se namreč led zadržuje tudi poleti. Grafa na sliki 18 prikazujeta prečna profila poleti. Jamski vhod se nahaja na sredini profila, torej na razdalji 500 m. Vhod bi moral biti v primerjavi z okolico hladnejši, kar je vidno predvsem v smeri zahod–vzhod. Pri tem pa je potrebno upoštevati tudi relief. Vidimo lahko, da se vhod nahaja v udorni vrtači, kjer se lažje zadržuje hladen zrak. Tako težko trdimo, da je temperaturna anomalija nastala samo zaradi jamskega vhoda.

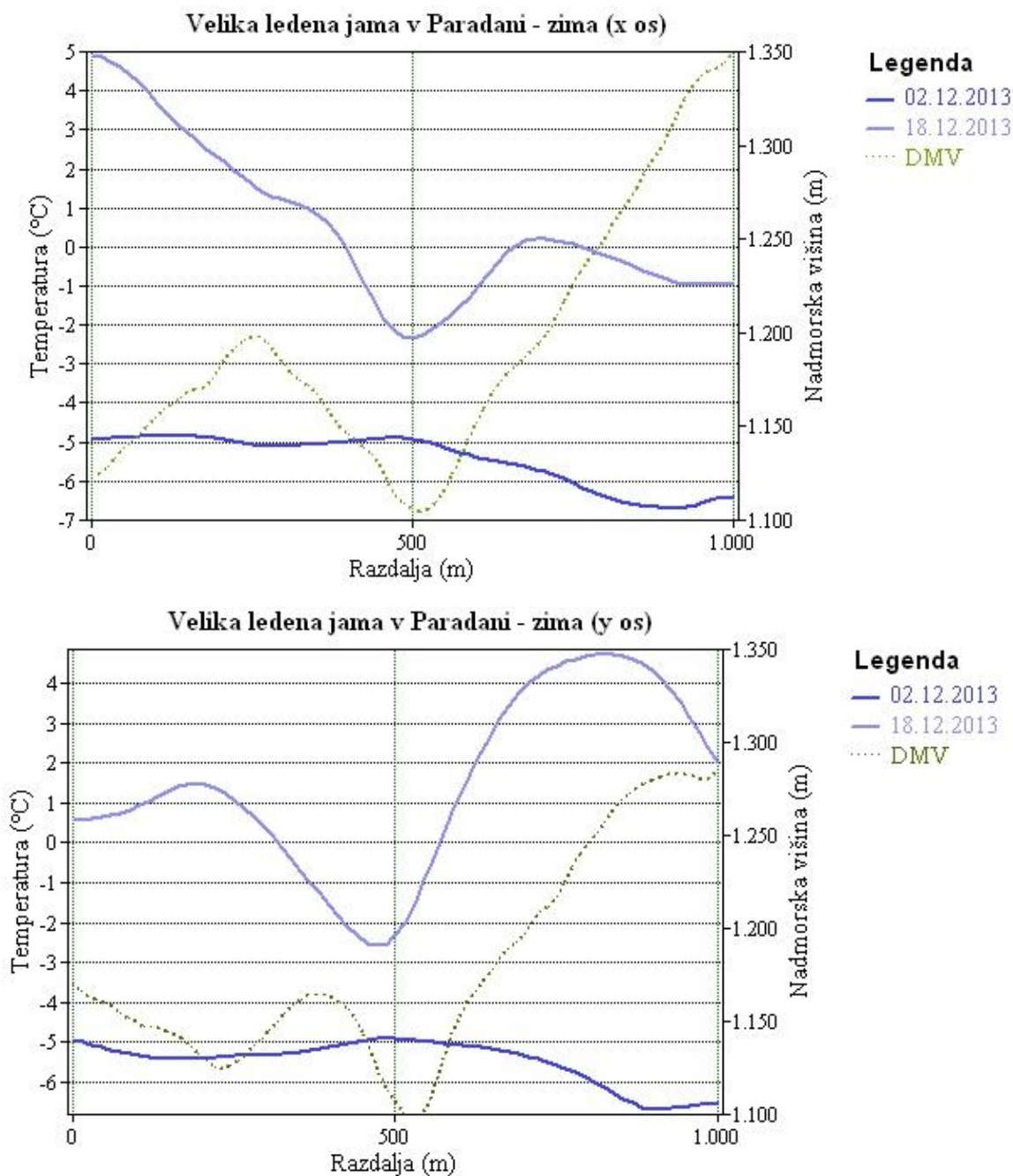


Slika 17: Vhod v Veliko ledeno jamo v Paradani je velik (levo), a je velikokrat zaledenel [38, 39].

Zimska grafa (slika 19) lepo prikazujeta lastnost ledenice, da je pozimi zaledenela in zasnežena. Tako je bil vhod 02.12.2013 občutno hladnejši v primerjavi z okolico. Kasneje, 18.12.2013, ko pa se je tudi temperatura okolice znižala pod ledišče, na vhodu ne opazimo več tako velike temperaturne spremembe.



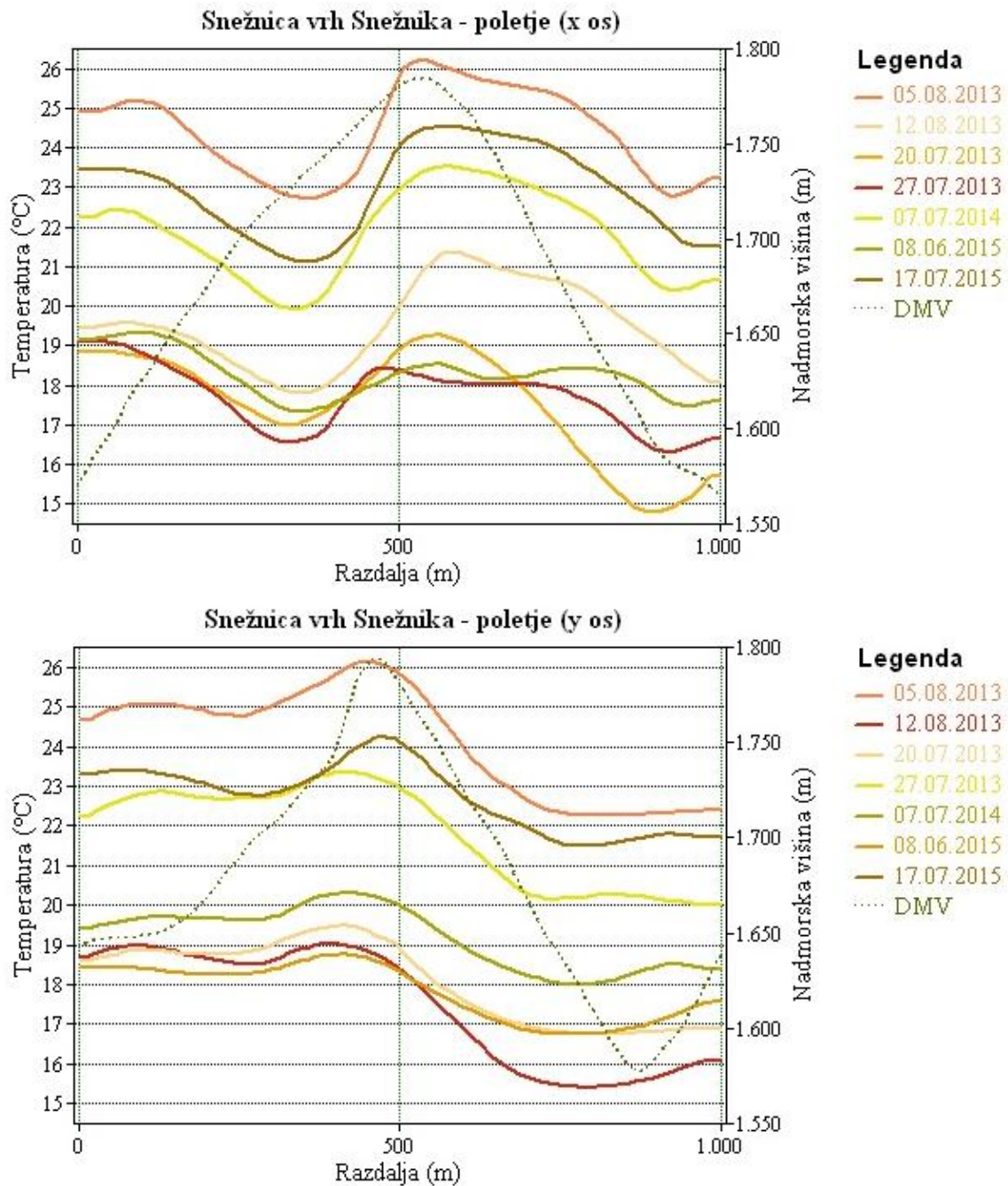
Slika 18: Velika ledena jama v Paradani - poletna prečna profila v smereh Z-V (zg.) in J-S (sp.)



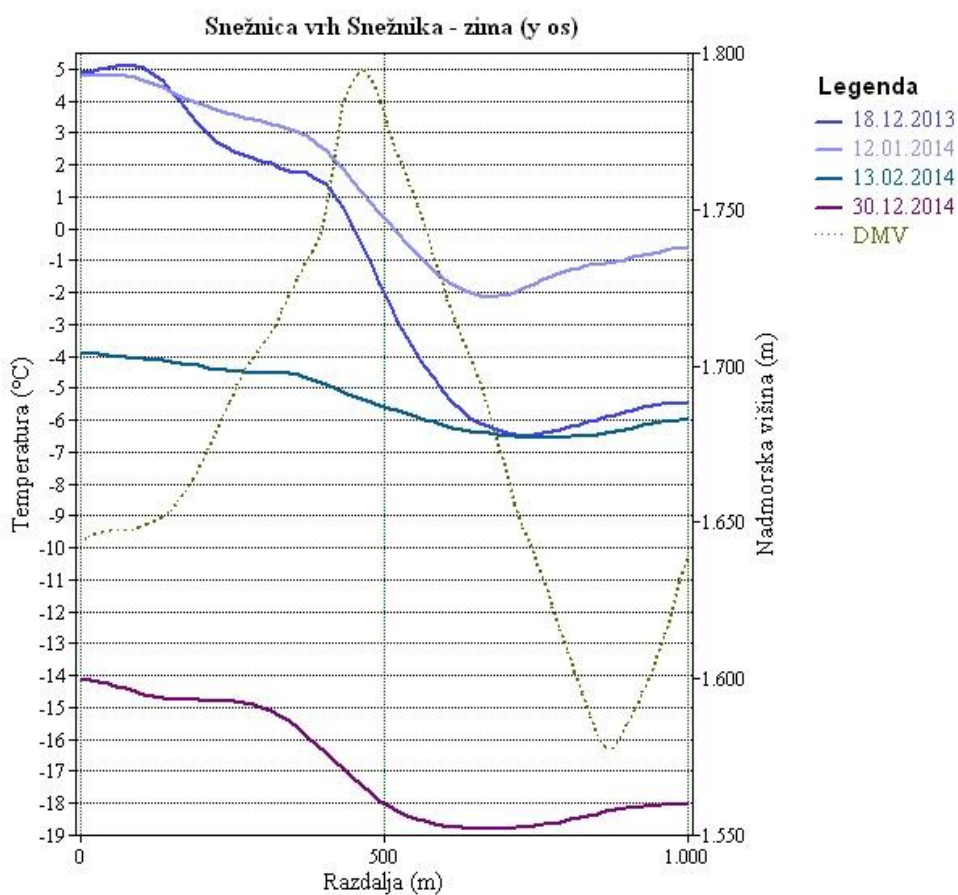
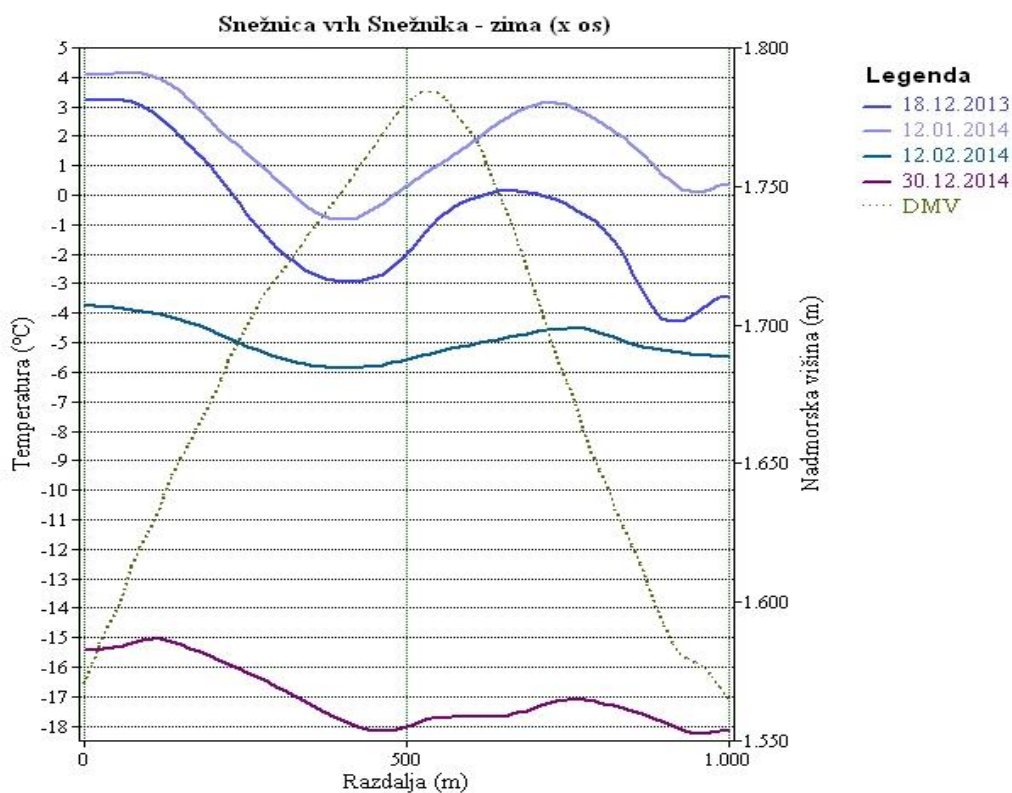
Slika 19: Velika ledena jama v Paradani - zimska prečna profila v smereh Z–V (zg.) in J–S (sp.).

6.2 Snežnica vrh Snežnika

Vhod v jamo Snežnica vrh Snežnika se nahaja tik pod vrhom Snežnika, zato na temperaturo zelo očitno vpliva relief, medtem ko vhod v jamo na termalnem posnetku ni viden. Še posebej pri prečnem profilu v smeri jug–sever (y os) je opazen padec temperature na severni strani hriba.



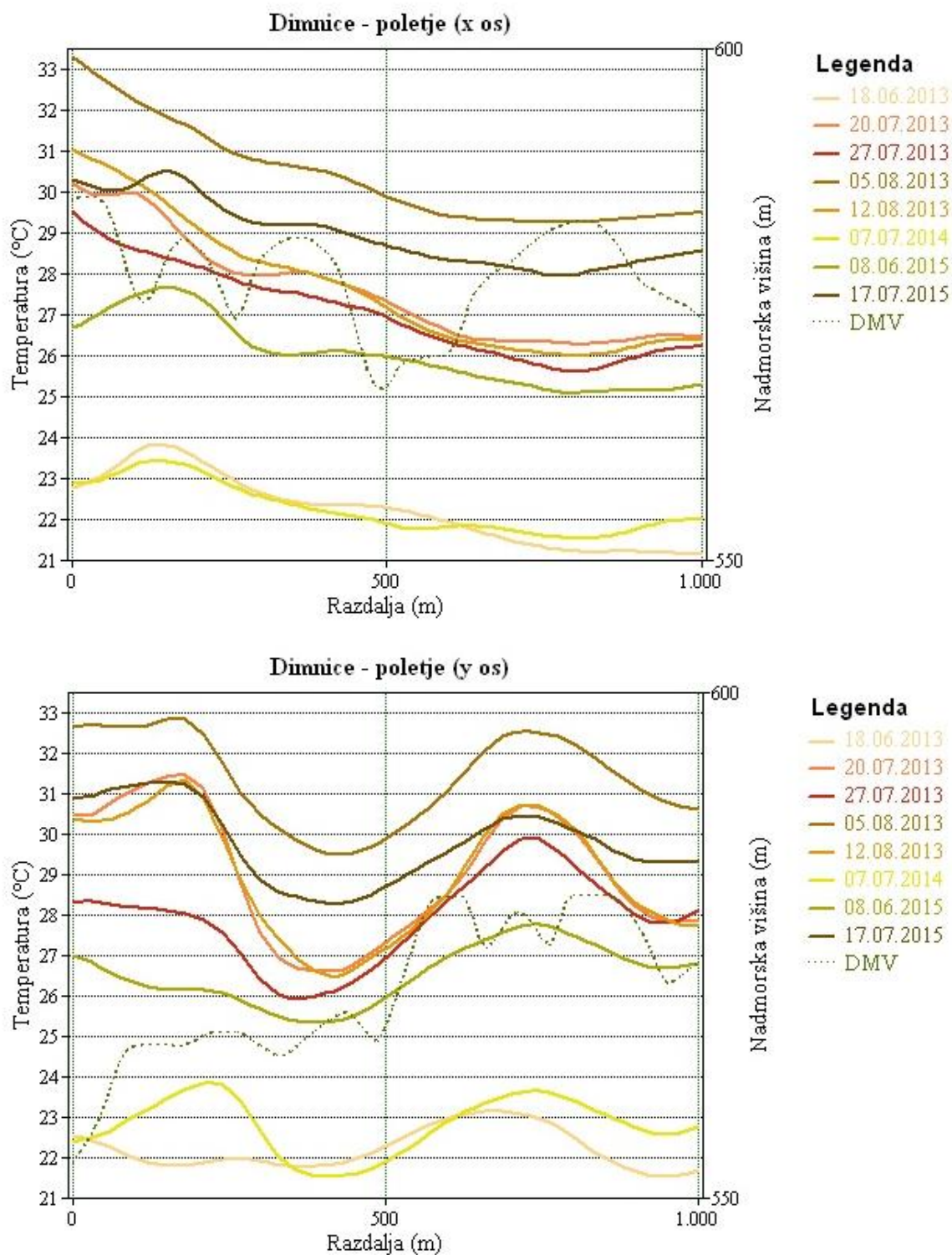
Slika 20: Snežnica vrh Snežnika - poletna prečna profila v smereh Z–V (zgoraj) in J–S (spodaj).



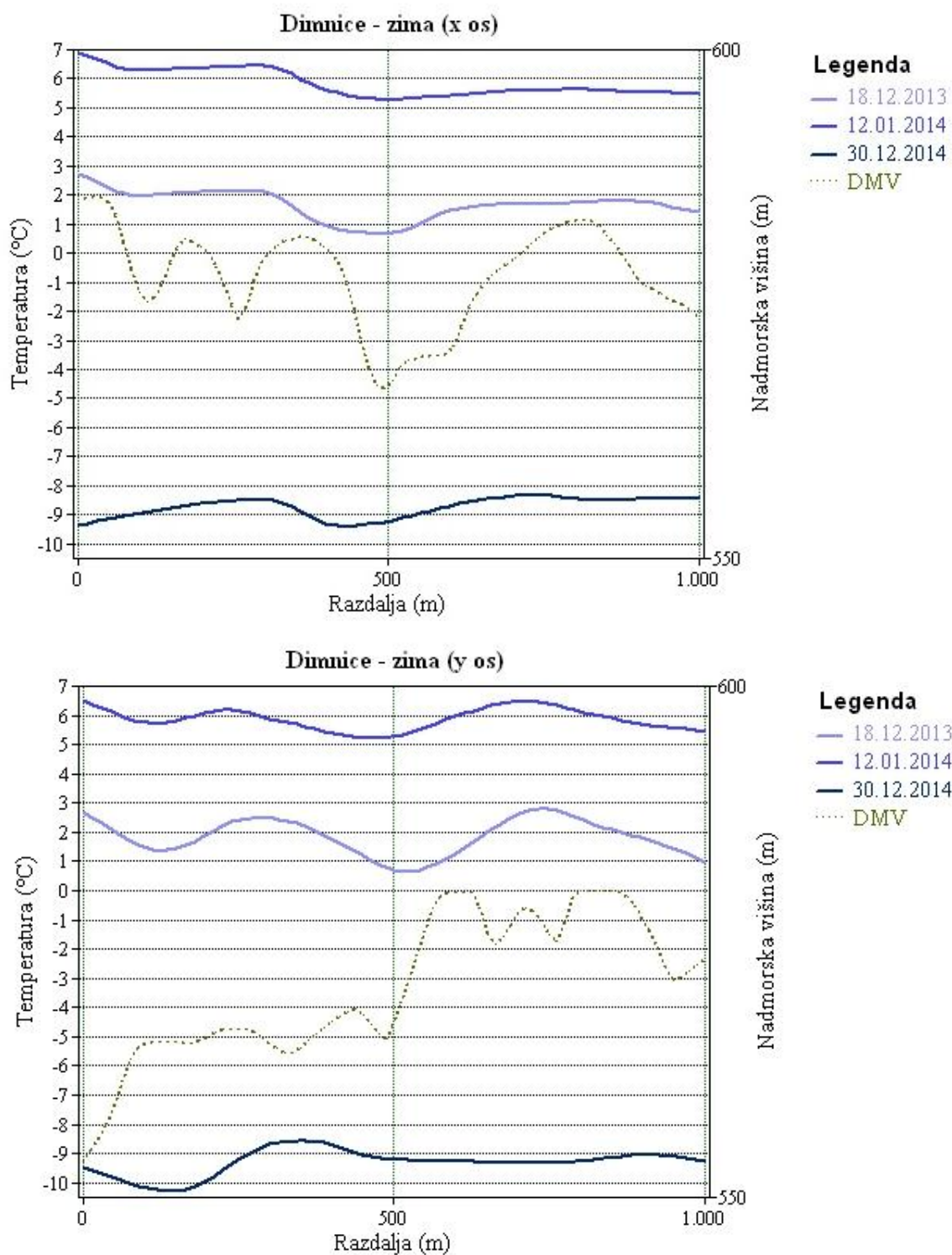
Slika 21: Snežnica vrh Snežnika - zimska prečna profila v smerih Z-V (zgoraj) in J-S (spodaj).

6.3 Dimnice

Jama Dimnice je dobila ime po »dimu« oziroma oblaku toplejšega zraka, ki pozimi izhaja iz vhoda. To pomeni, da bi morala biti na grafih prečnih profilov razvidna pozitivna temperaturna sprememba na območju vhoda, vendar pojava v naših rezultatih ni mogoče opaziti.



Slika 22: Dimnice - poletna prečna profila v smereh Z–V (zgoraj) in J–S (spodaj).

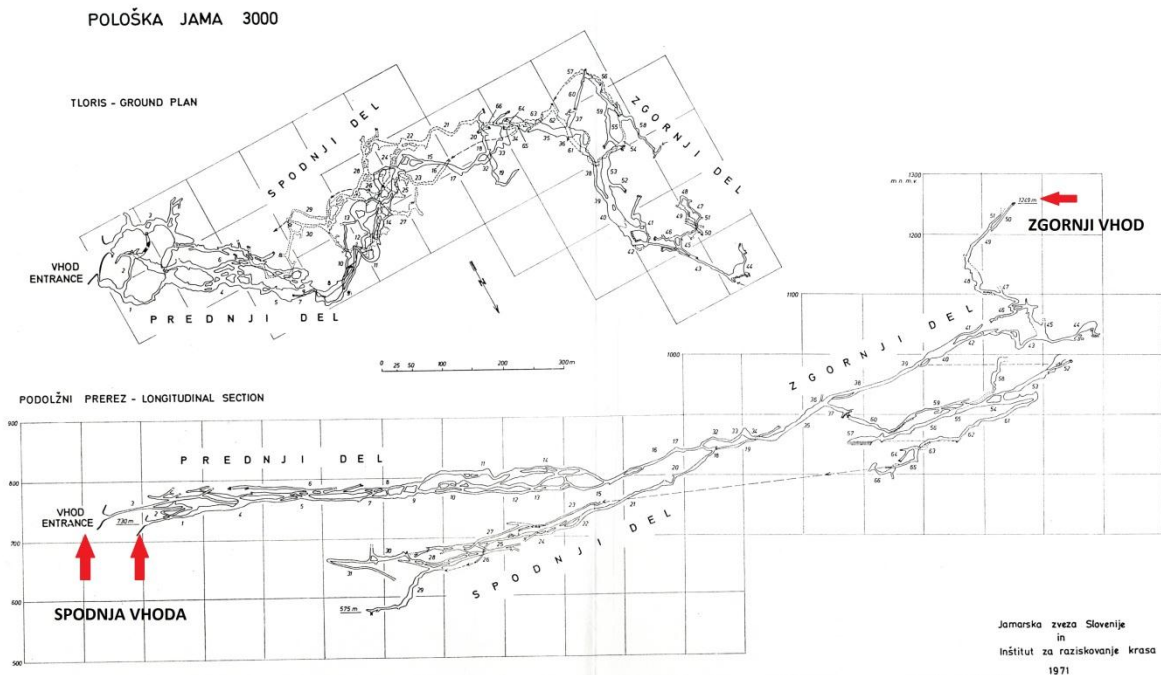


Slika 23: Dimnice - zimska prečna profila v smereh Z–V (zgoraj) in J–S (spodaj).

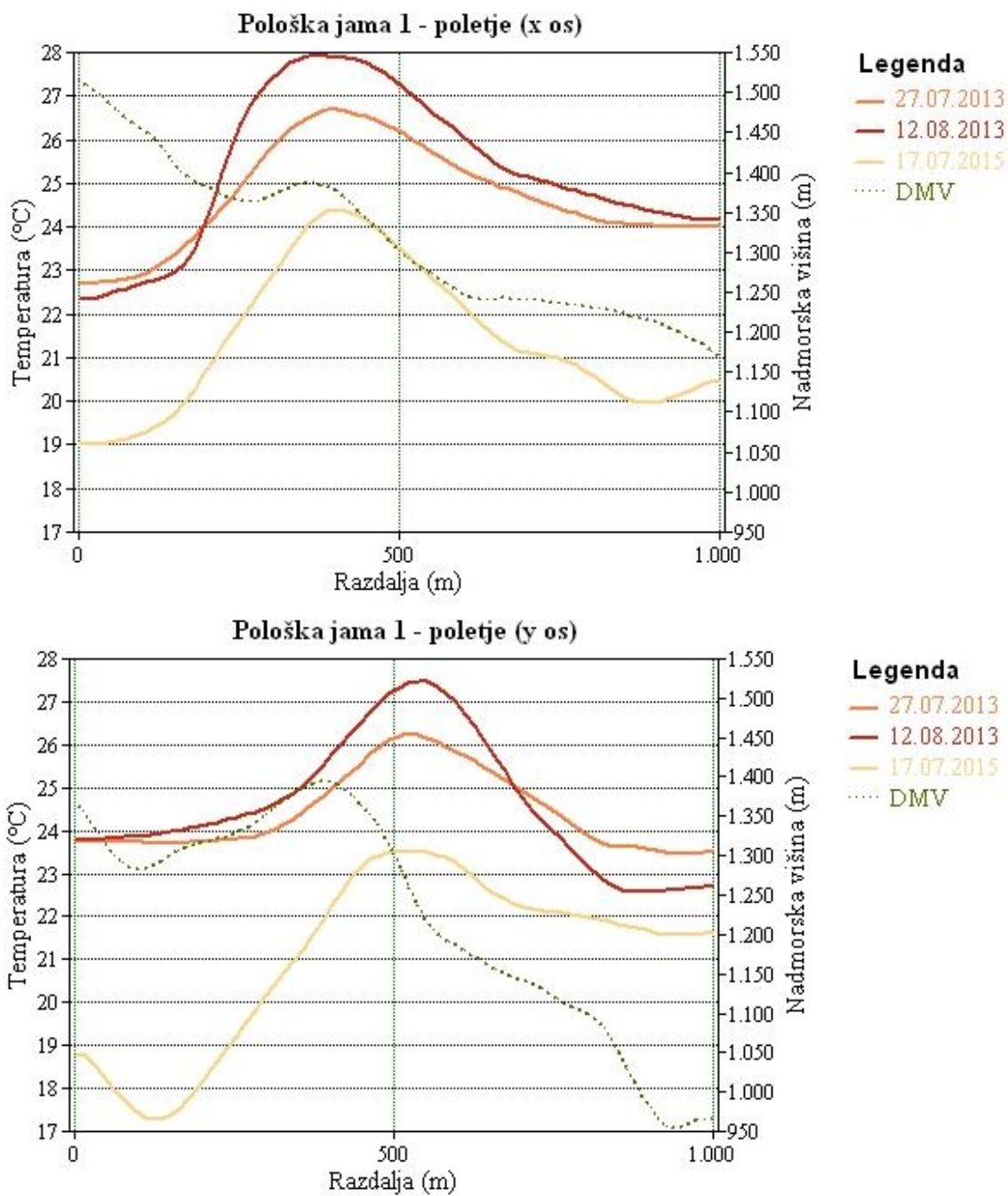
6.4 Pološka jama

Pološka jama ima tri znane vhode (slika 24). Med zgornjim (Pološka jama 1) in spodnjim vhodom (Pološka jama 2) je okoli 500 m višinske razlike. Poleg njiju se v spodnjem delu jame nahaja še en stranski vhod (Pološka jama 3). Pričakujemo lahko, da je spodnja vhoda mogoče zaznati poleti, ko iz njiju izhaja hladen zrak. Pozimi se situacija obrne in je bolj očiten zgornji vhod, ko iz njega izhaja

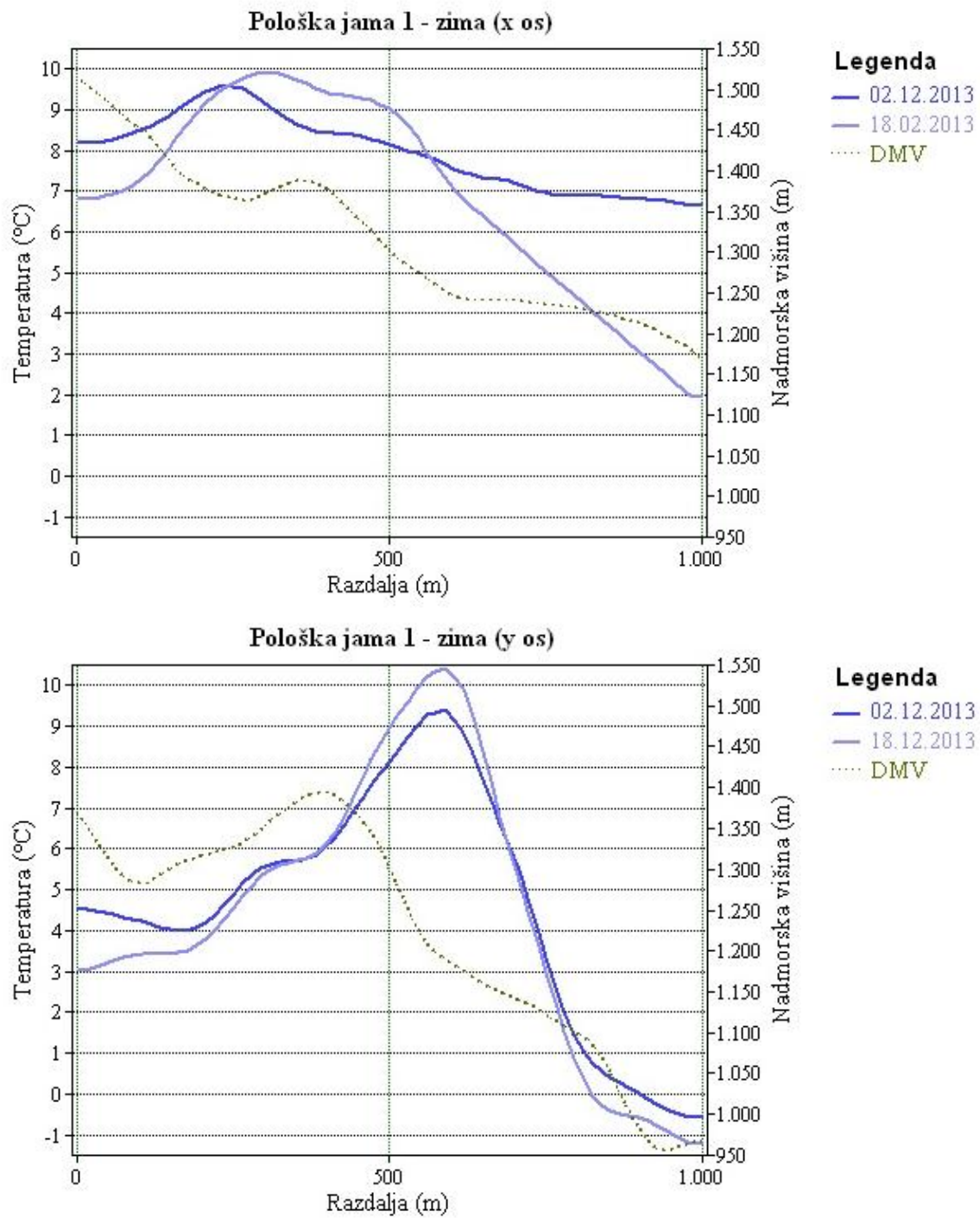
toplejši zrak. Tudi tokrat igra relief pomembno vlogo, saj se vsi vhodi nahajajo na pobočju Osojnice, je pa njegov vpliv težko oceniti.



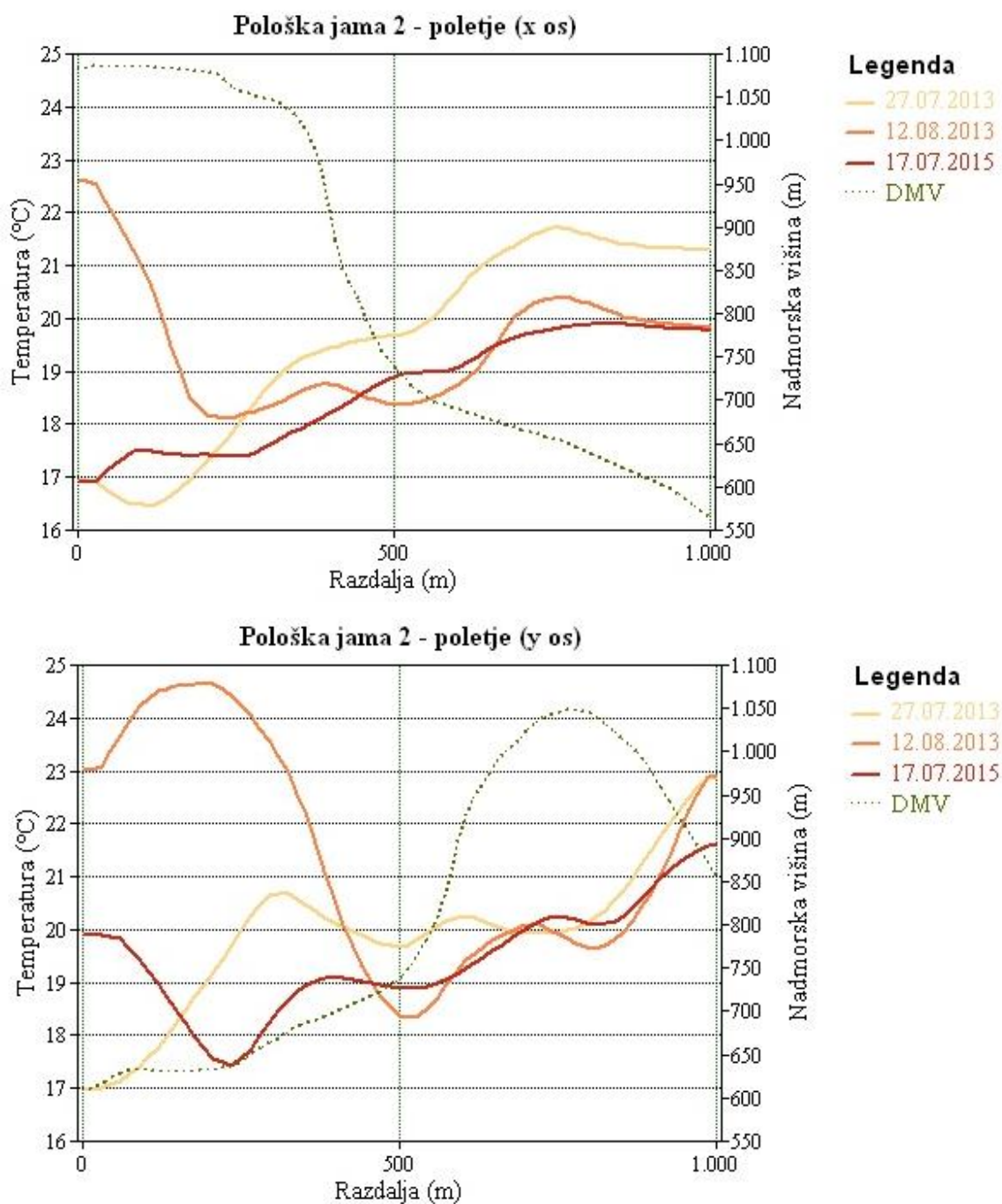
Slika 24: Tloris in stranski prerez Pološke jame z označenimi vhodi. Prirejeno po [40].



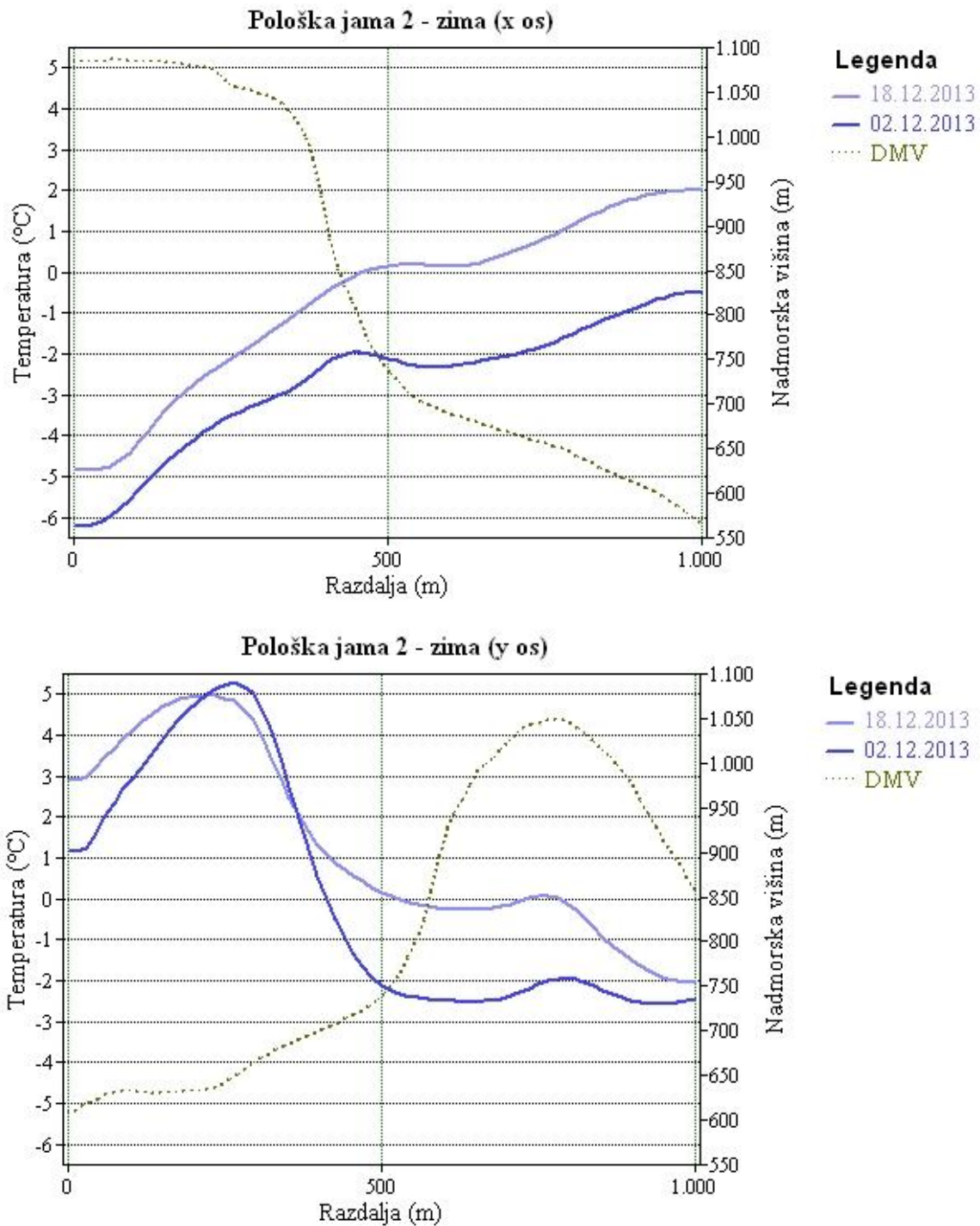
Slika 25: Pološka jama 1 - poletna prečna profila v smereh Z-V (zgoraj) in J-S (spodaj).



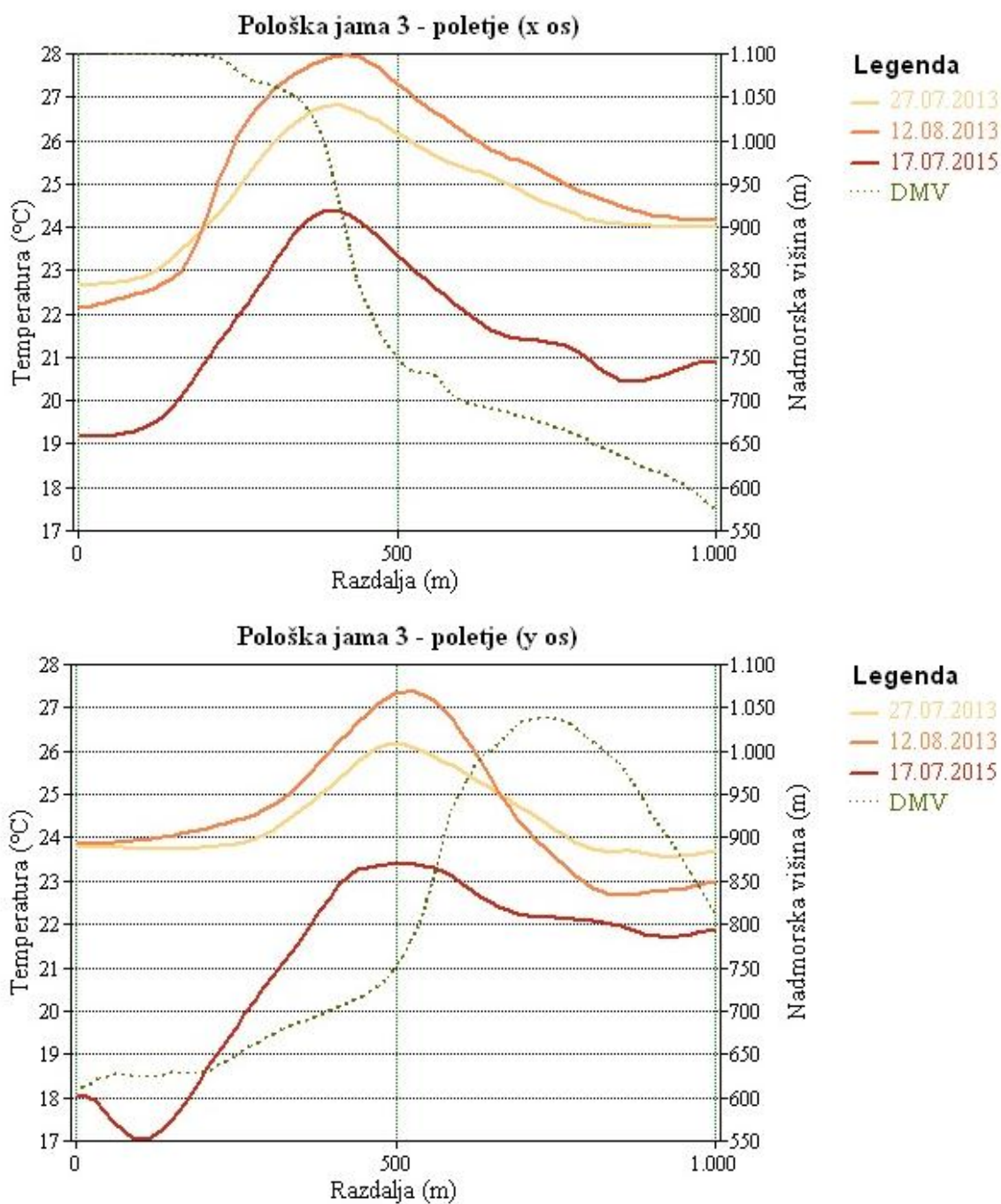
Slika 26: Pološka jama 1 - zimska prečna profila v smereh Z-V (zgoraj) in J-S (spodaj).



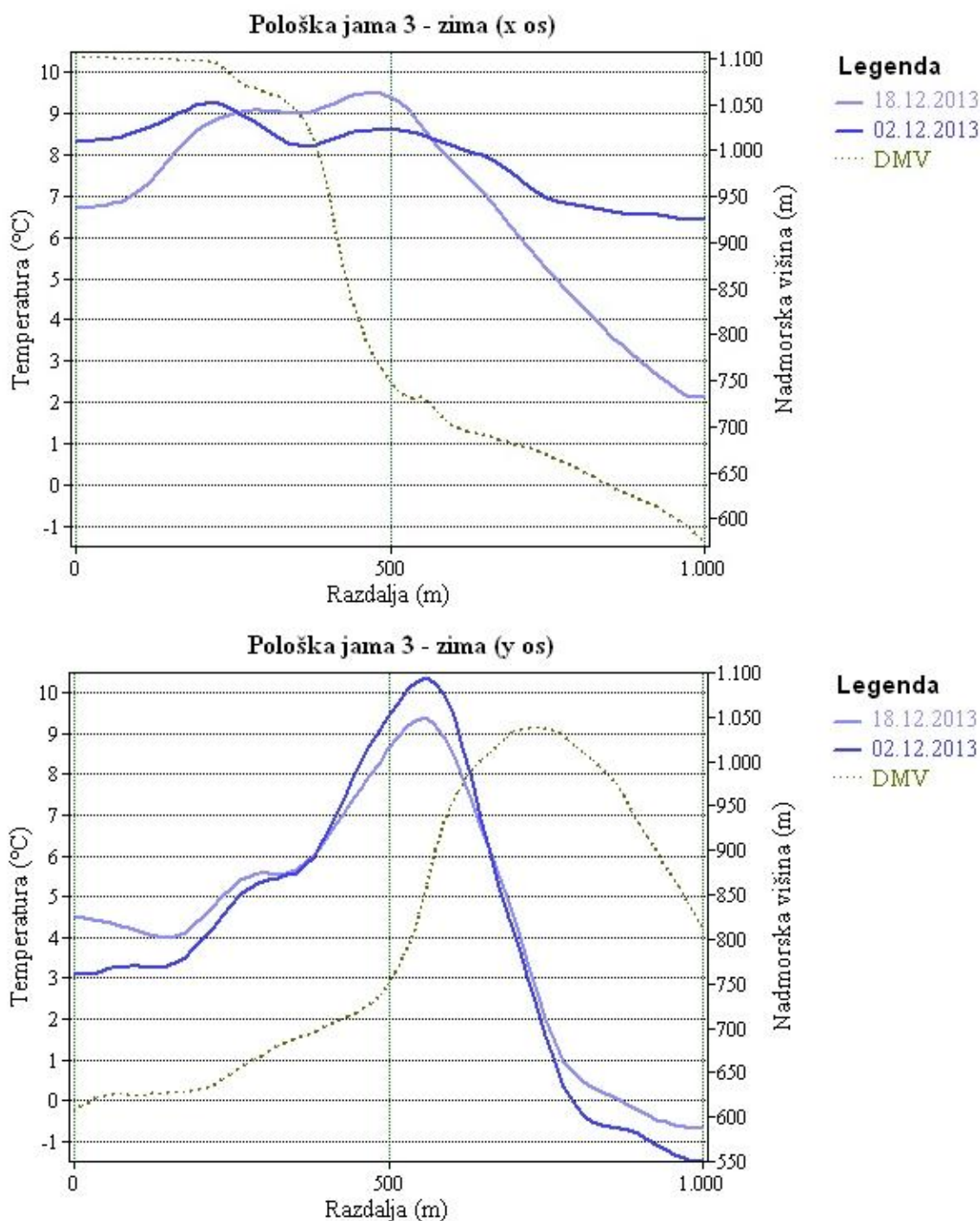
Slika 27: Pološka jama 2 - poletna prečna profila v smereh Z–V (zgoraj) in J–S (spodaj).



Slika 28: Pološka jama 2 - zimska prečna profila v smereh Z-V (zgoraj) in J-S (spodaj).



Slika 29: Pološka jama 3 - poletna prečna profila v smereh Z-V (zgoraj) in J-S (spodaj).

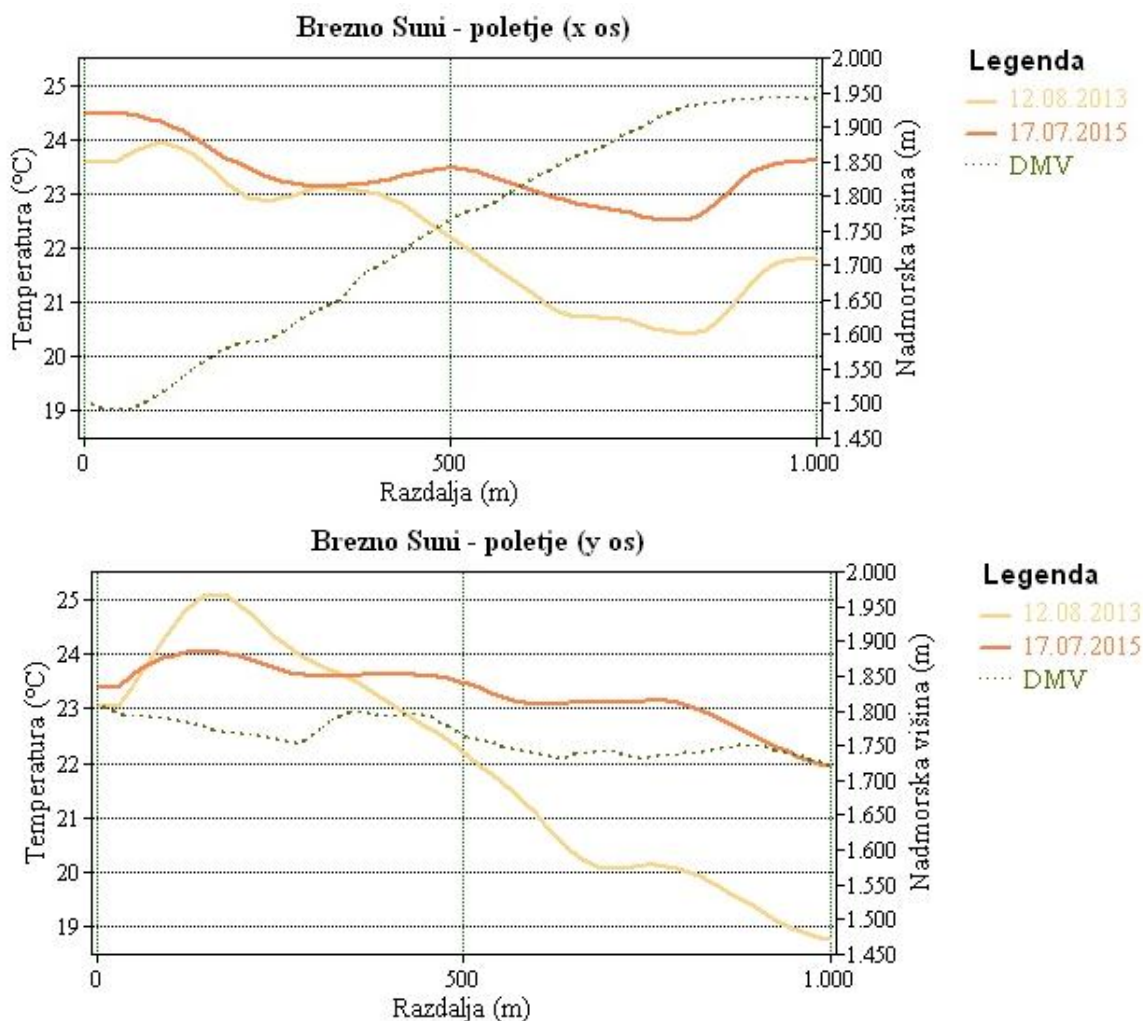


Slika 30: Pološka jama 3 - zimska prečna profila v smereh Z-V (zgoraj) in J-S (spodaj).

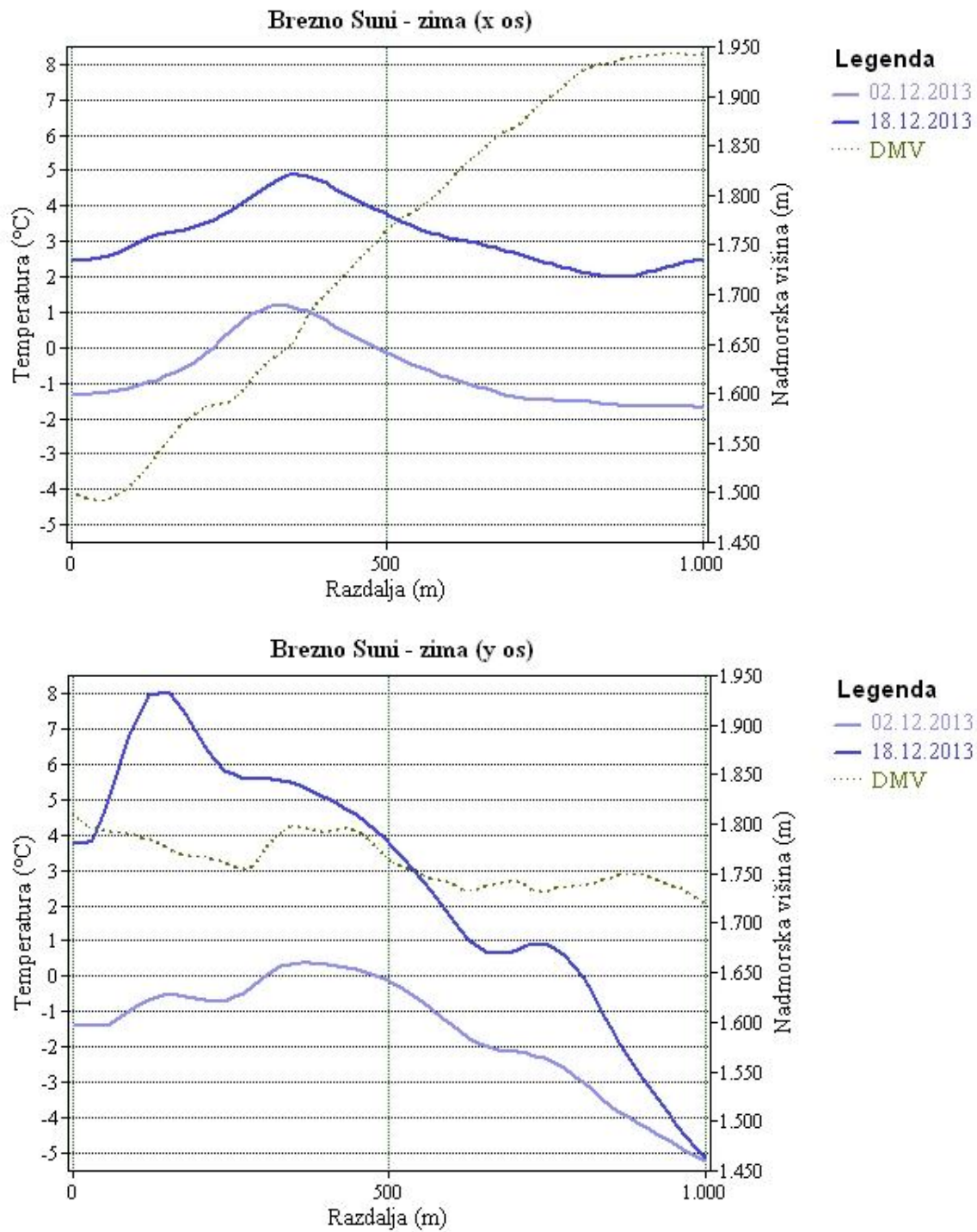
6.5 Brezno Suni, L 61 in L 92

Podobno kot Pološka jama s svojimi tremi vhodi, se obnašajo tudi jame L 61, L 92 in Brezno Suni. Vhod v Brezno Suni se nahaja na pobočju Malega Babanskega Skednja, vendar nižje kot vhoda v jami L 61 in L 92. Med sistemi obstajajo manjše, neraziskane povezave, saj je za spodnje vhode značilno izhajanje hladnega zraka poleti in za zgornje vhode izhajanje toplejšega zraka pozimi. V primeru Brezna Suni lahko temperaturne anomalije pričakujemo poleti in v primerih L 61 in L 96 pozimi,

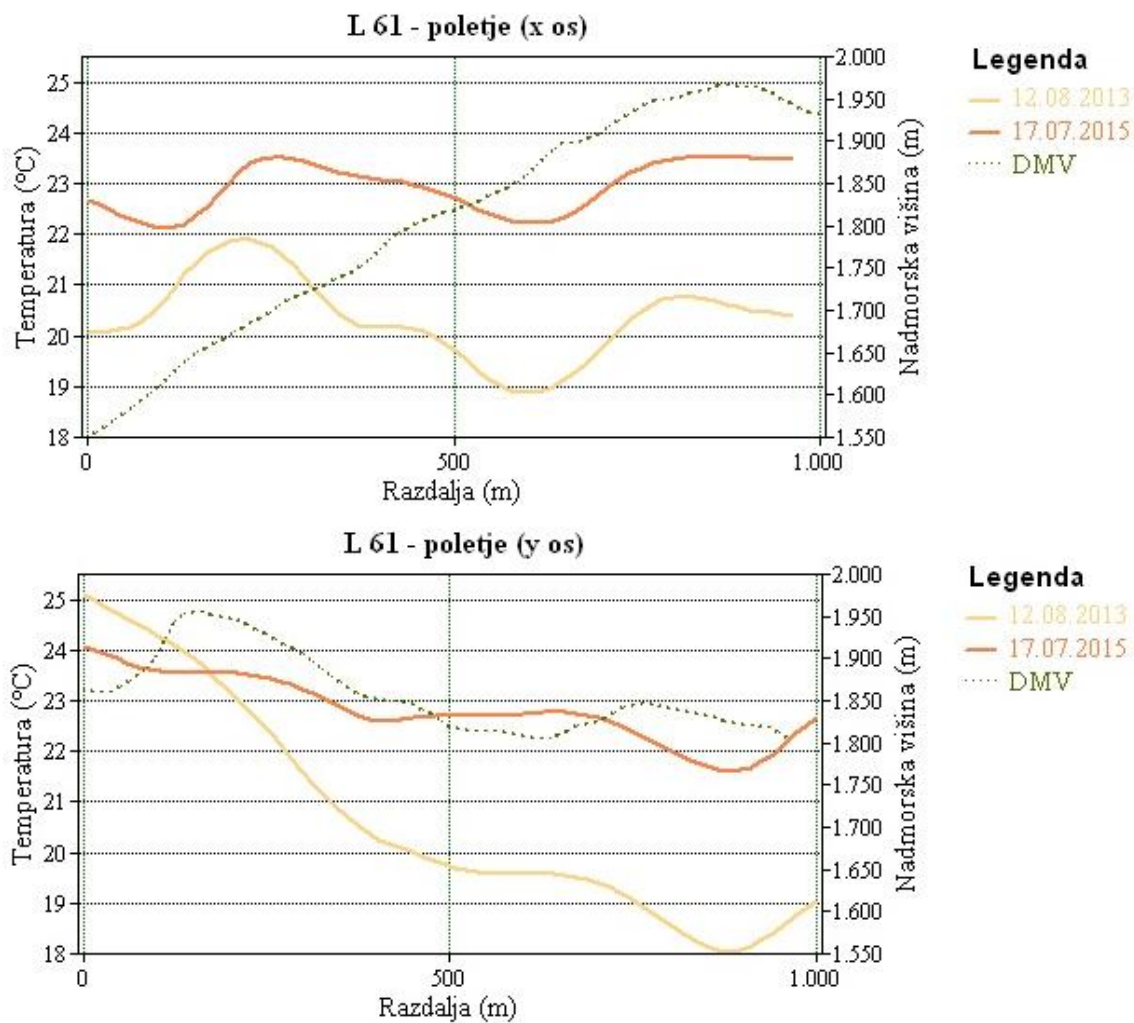
vendar pa grafi te predpostavke ne potrjujejo, v nekaterih primerih se pojavi celo obratna temperaturna razlika (L 96 - zima (x os)).



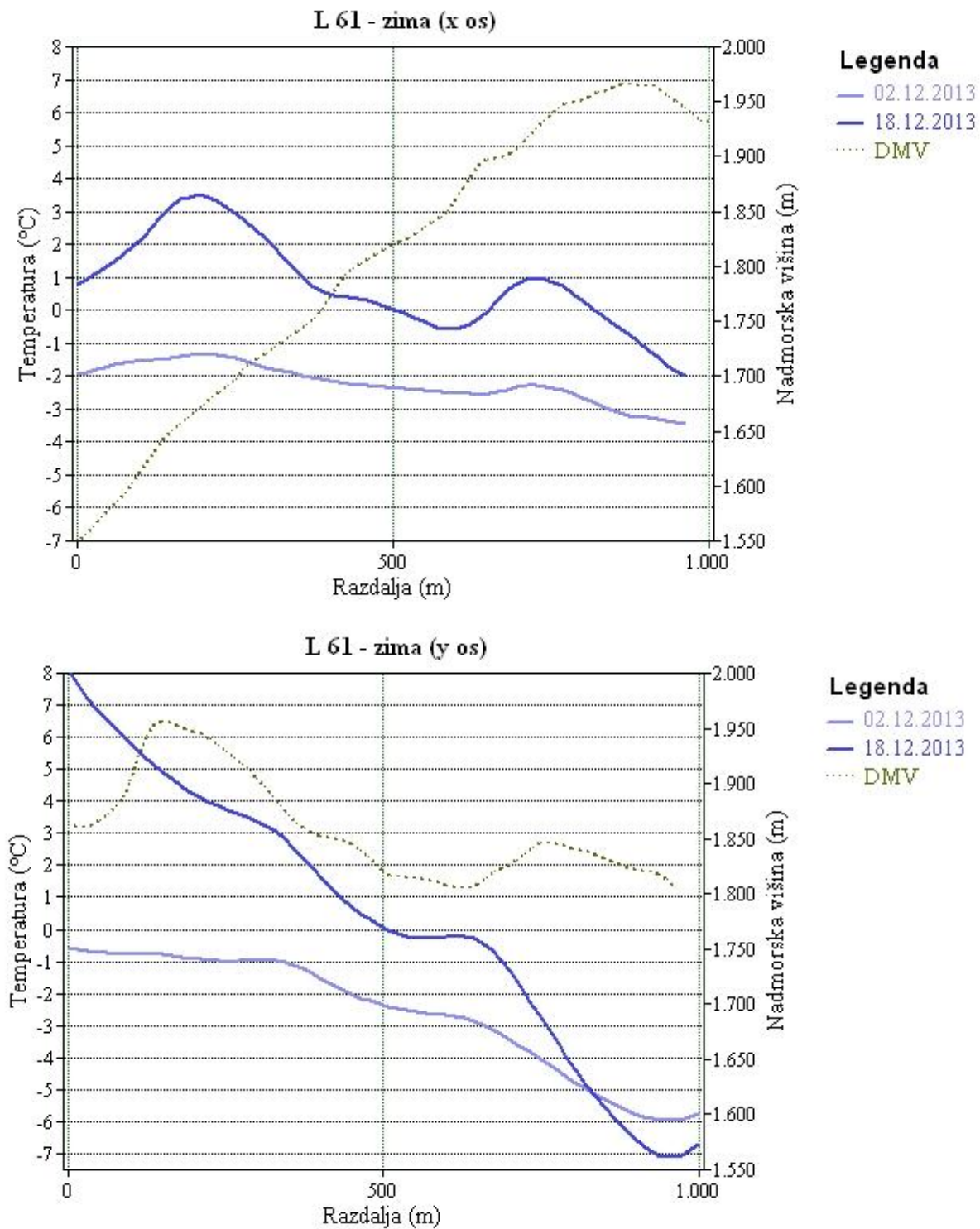
Slika 31: Brezno Suni - poletna prečna profila v smereh Z-V (zgoraj) in J-S (spodaj).



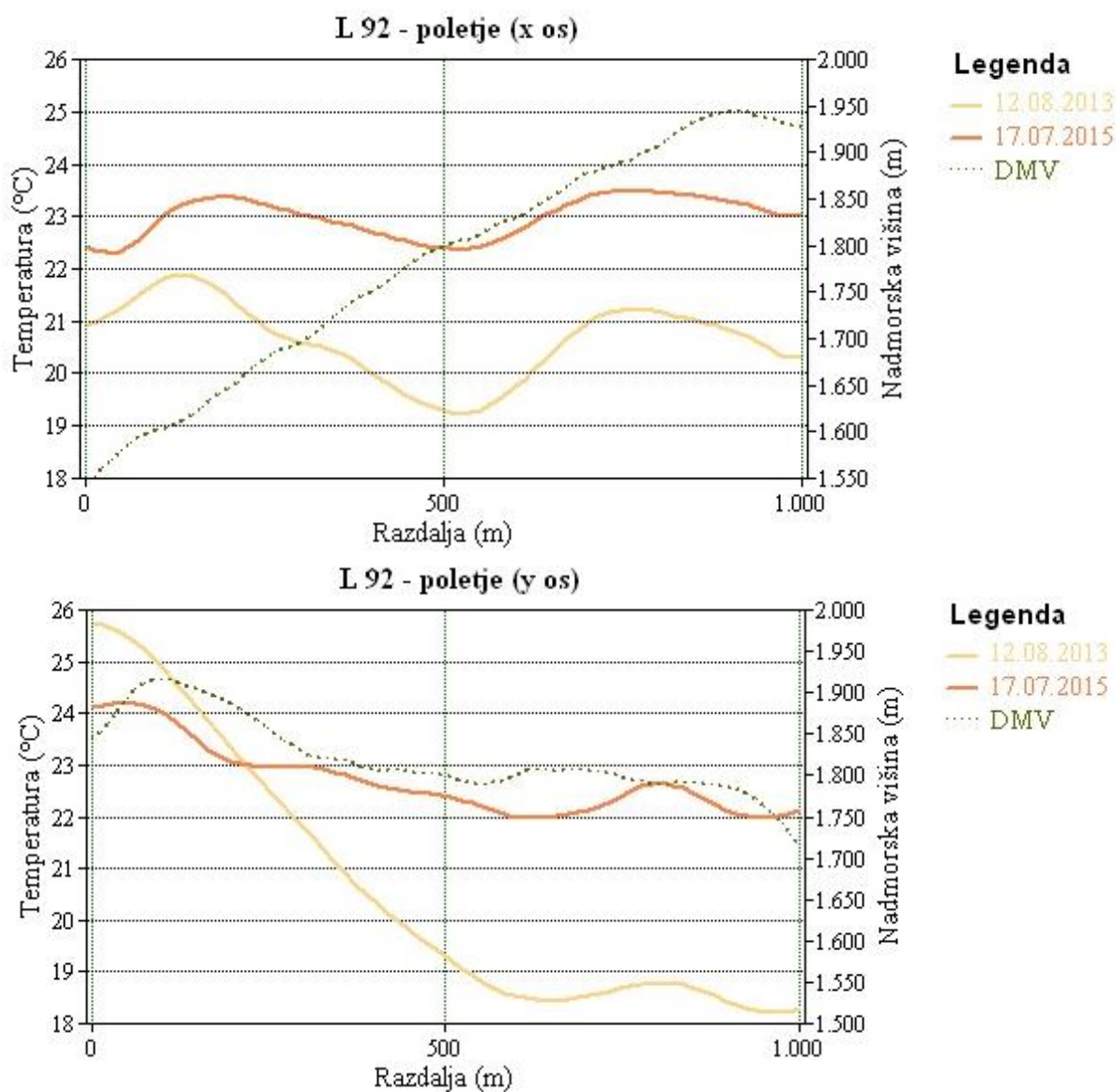
Slika 32: Brezno Suni - zimska prečna profila v smereh Z-V (zgoraj) in J-S (spodaj).



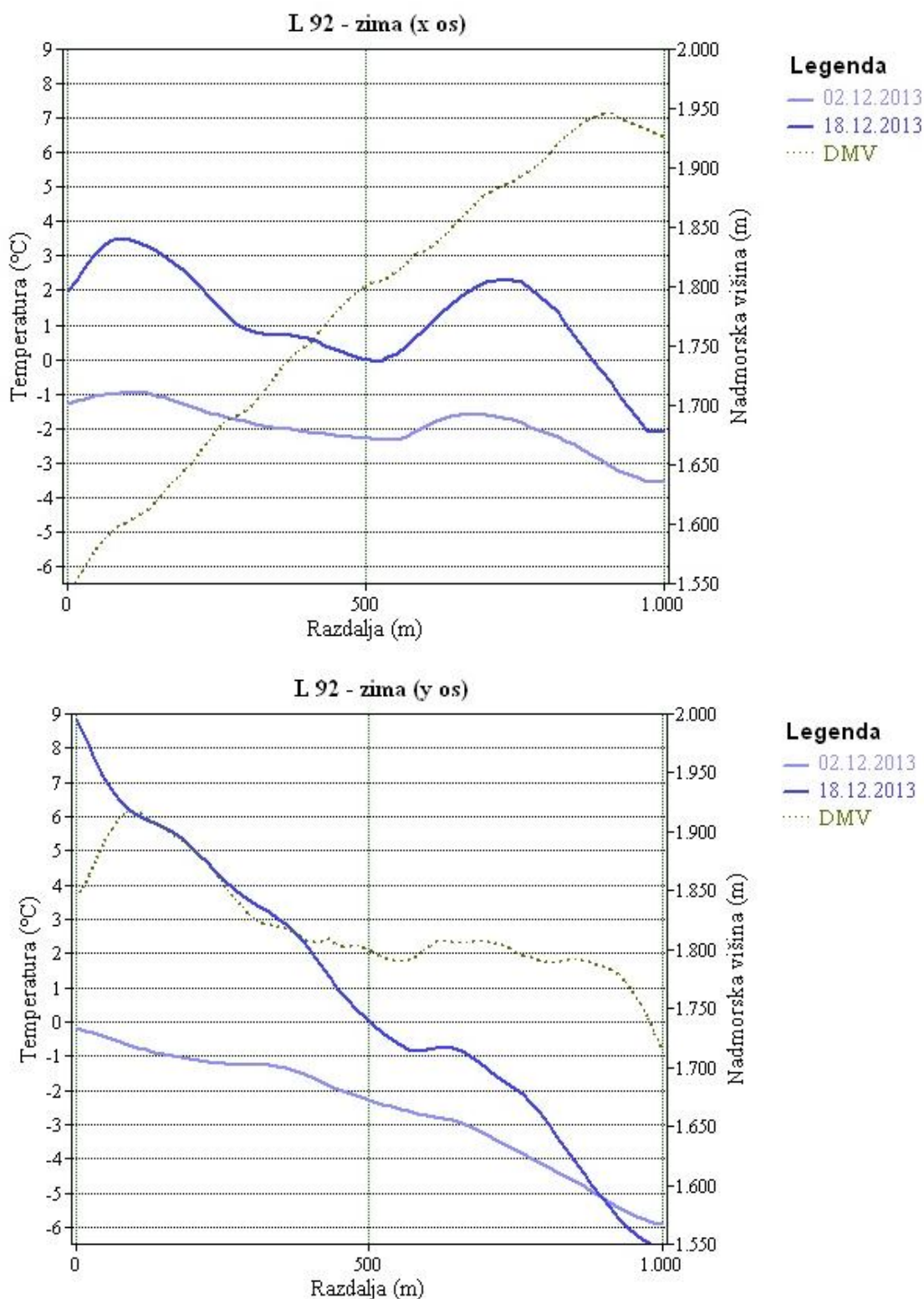
Slika 33: L 61 - poletna prečna profila v smereh Z-V (zgoraj) in J-S (spodaj).



Slika 34: L 61 - zimski prečna profila v smereh Z–V (zgoraj) in J–S (spodaj).



Slika 35: L 92 - poletna prečna profila v smereh Z-V (zgoraj) in J-S (spodaj).



Slika 36: L 92 - zimska prečna profila v smereh Z–V (zgoraj) in J–S (spodaj).

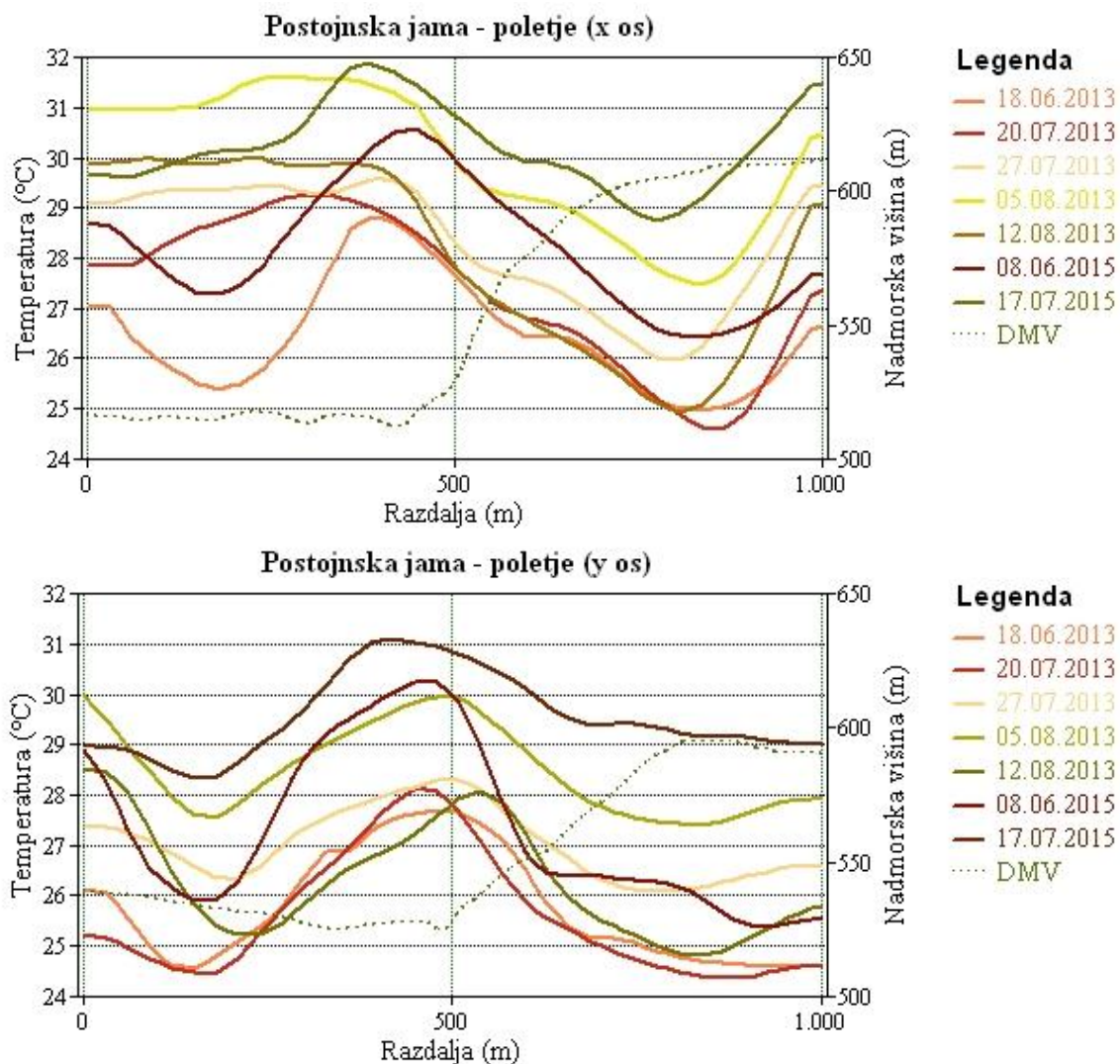
6.5 Škocjanske jame in Postojnska jama

Eden od vhodov v Škocjanske jame je registriran v kataster jam na mestu, kjer reka Reka vstopi v podzemlje. V neposredni bližini vhoda se nahaja vasica Matavun. Ob vhodu v Postojnsko jamo (slika

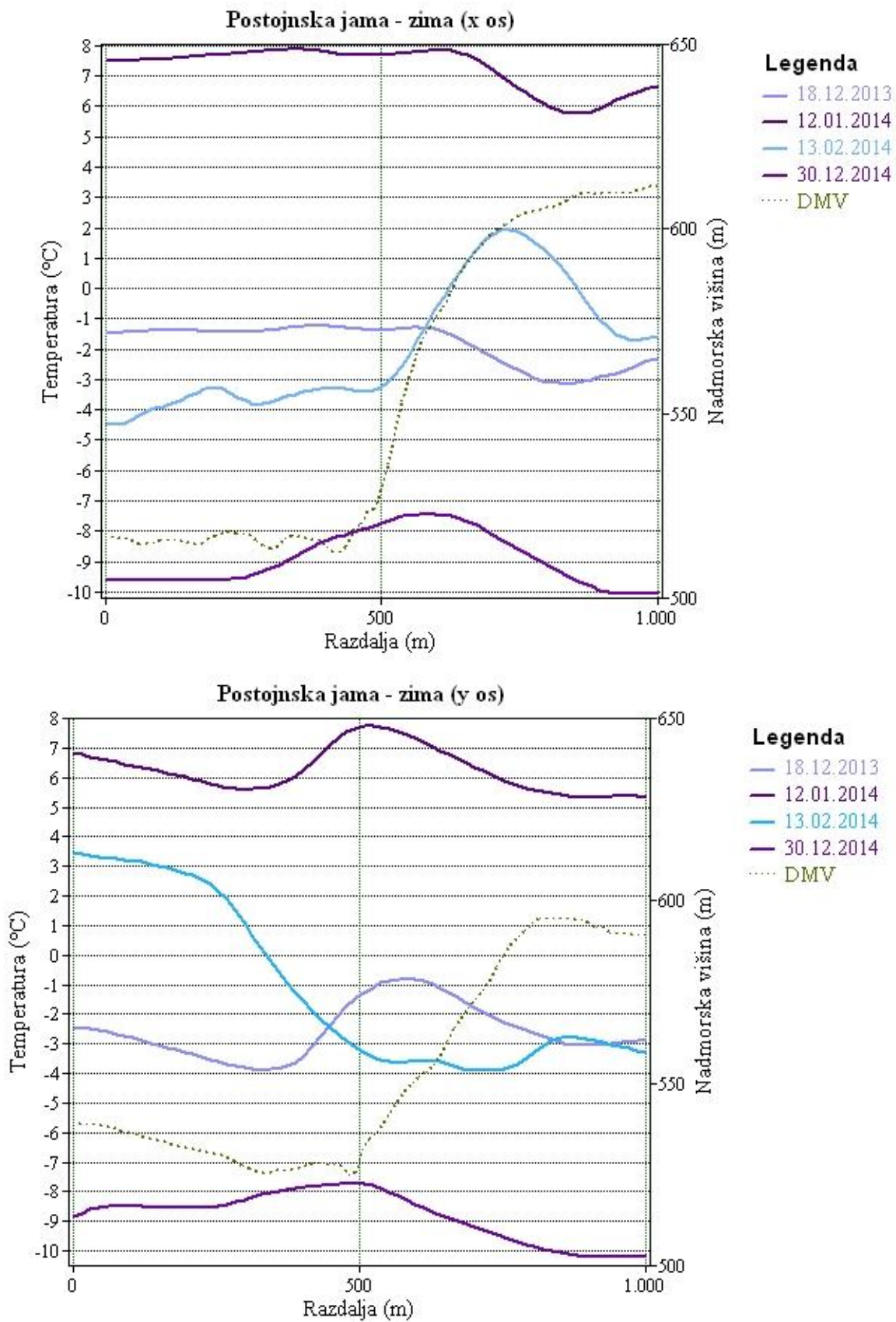
37) pa so postavili večje območje za potrebe turizma (Jamski dvorec, vivarij Proteus, parkirišča). V obeh primerih v zimskem času opazovanje jamskega vhoda motijo pozidana zemljišča v okolici, saj vplivajo na temperaturo okolice jame. Zaradi ogrevanja stavb in prometa tako ni mogoče opazovati izrazitega jamskega zraka, ki morebiti izhaja iz vhoda jame.



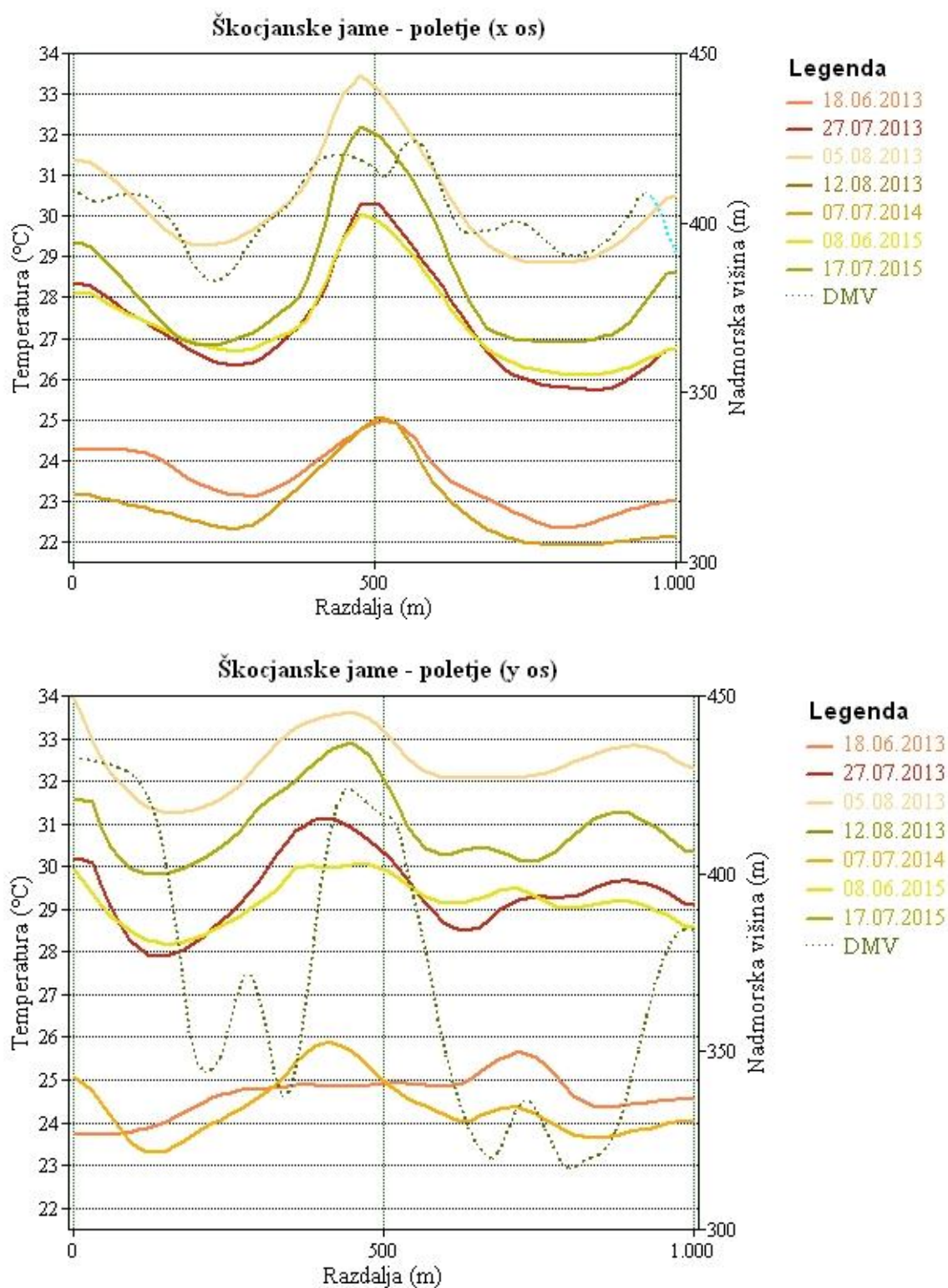
Slika 37: Vhod v Postojnsko jamo (levo) se nahaja na območju pozidane rabe tal (desno). [41, 42]



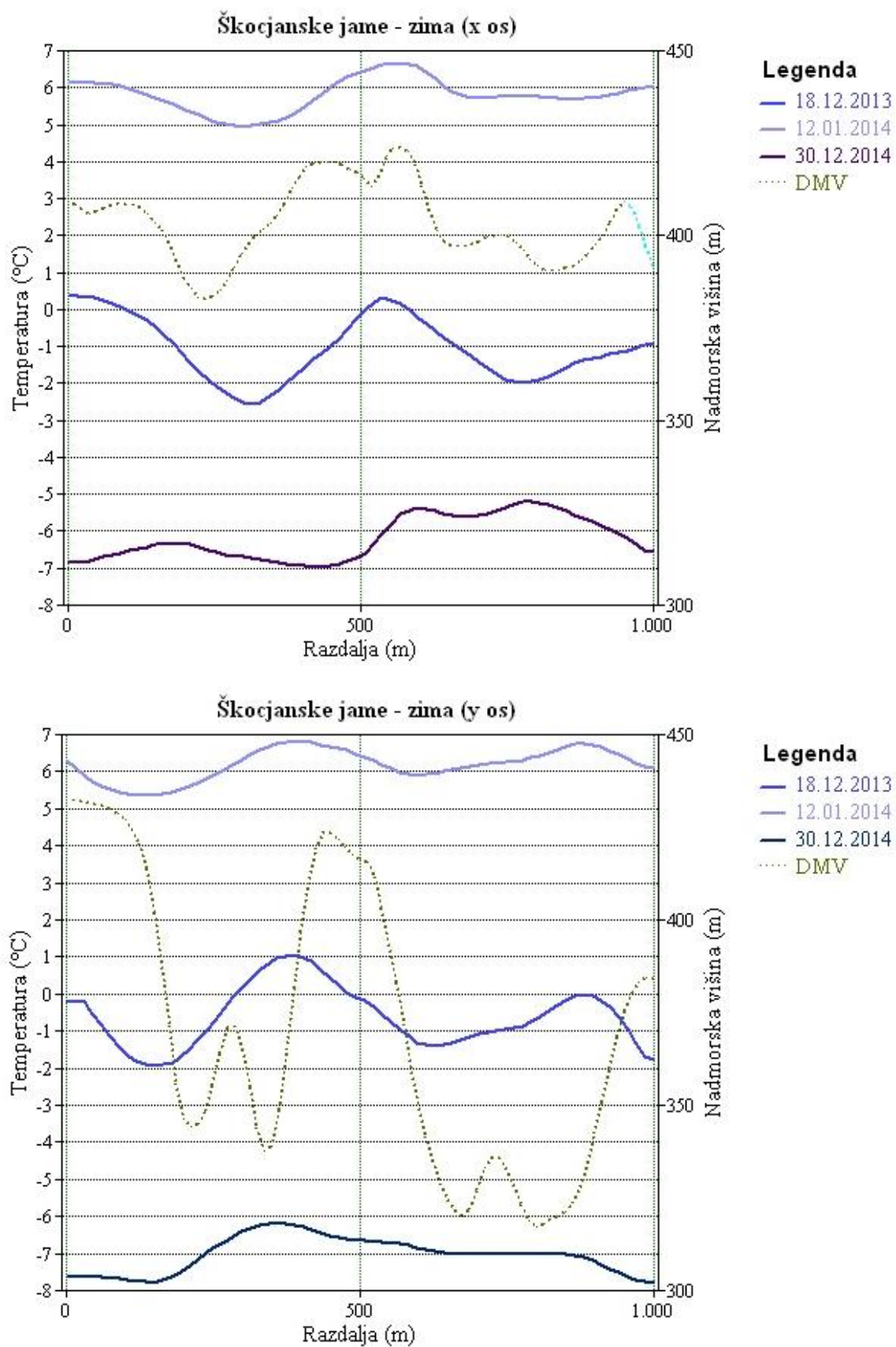
Slika 38: Postojnska jama - poletna prečna profila v smerih Z-V (zgoraj) in J-S (spodaj).



Slika 39: Postojnska jama - zimska prečna profila v smereh Z-V (zgoraj) in J-S (spodaj).



Slika 40: Škocjanske jame - poletna prečna profila v smereh Z-V (zgoraj) in J-S (spodaj).



Slika 41: Škocjanske jame - zimski prečna profila v smereh Z-V (zgoraj) in J-S (spodaj).

6.6 Ostale obravavane jame v Sloveniji

Pri ostalih izbranih jamah v Sloveniji posebnih temperaturnih anomalij na vhodu ni opaziti. V bližini vhoda se pojavljajo lokalni temperaturni minimumi ali maksimumi, vendar jih lahko prej pripišemo spremembi reliefa kot vplivu jamskega zraka na okolico.

6.7 Jame na Hrvaškem

Opazovali smo jame na severnem in južnem Velebitu, kjer se nahajajo vse večje jame na Hrvaškem. Rezultati analize so podobni kot pri jamah v Sloveniji. Pričakovali bi, da so jamski vhodi temperaturno opazni pozimi, vendar jih nekaj bolj izstopa poleti (Xantipa, Mamut, Paž, Lumbuška jama). Pri njih je razviden temperaturni minimum na območju jame. Pri jami Xantipa je enak temperaturni pojav prisoten tudi pozimi, zato lahko sklepamo, da se vhod nahaja v globeli, kjer se zadržuje hladen zrak.

7 UGOTOVITVE IN ZAKLJUČEK

Prvi termalni satelitski posnetki so se pojavili pred nekaj leti in od takrat vedno znova dokazujejo svojo uporabnost na zelo raznolikih področjih znanosti. V tej magistrski nalogi smo uporabili termalne satelitske posnetke satelita Landsat 8 za opazovanje jamskih vhodov v Sloveniji in na Hrvaškem.

Za jame je značilno, da imajo posebno klimo, ki je dinamičen sistem, odvisen od zunanje atmosfere, geotermičnega toka iz notranjosti, podzemne vode, itd. Jamski vhodi imajo značilno termalno sliko, ki pa je pri vsaki jami drugačna. Odvisna je od notranje oblike jame, njenega tipa kamnine, letnega časa in ure v dnevu. Za zaznavanje jamskih vhodov s termalnimi posnetki je pomembno, da skozi vhod izhaja topel ali hladen jamski zrak, ki se razlikuje od okolice. Vzrok za gibanje jamskega zraka je v prvi vrsti »efekt dimnika«. Jamski zrak je pozimi toplejši in lažji od zunanjega, zato teče od nižjih proti višjim vhomom v jamo. Poleti je obratno, zrak se giblje od višjih proti nižjim vhomom. Izbranim jamam smo dodali atribut rabe tal na območju njihovih vhodov in izločili tiste, ki se nahajajo v gozdu.

Da smo podatke lahko primerjali, jih je bilo potrebno najprej obdelati. S termalnimi satelitskimi posnetki lahko določimo temperaturo zemeljskega površja, ki je pomemben parameter za razumevanje izmenjave energije in vlage med površjem in atmosfero. Ker so tip tal, pokritost zemljišč in vlaga prostorsko hitro spremenljivi, je meteorološke pogoje težko določiti na območjih z manjšim številom vremenskih postaj. V takih primerih uporabimo termalne posnetke za opazovanje oddane radiance zemeljskega površja. Prav tako za primerjavo temperature vhoda z okolico ni potrebno poznati točnih temperatur, temveč le njihove razlike. Koordinate vhodov jam in termalne posnetke je bilo potrebno pretvoriti v enoten koordinatni sistem. Za slovenske jame smo izbrali D48/GK, medtem ko smo hrvaške jame opazovali v koordinatnem sistemu HTRS69/TM.

Kako se temperatura spreminja v okolici vhodov, smo opazovali s pomočjo prečnih profilov v smeri zahod–vzhod in jug–sever. Temperaturne spremembe so zelo odvisne tudi od reliefa, zato smo v analizo vključili tudi profile digitalnega modela višin – DMV 12,5. Grafe sprememb temperatur smo izrisali tako za zimo kot poletje.

Pri analizi grafov smo ugotovili, da je pri nekaterih jamah mogoče opaziti temperaturno anomalijo, ki je velikokrat povezana s terenom, na katerem se vhod nahaja. Oblike reliefa, kot so udornice, vrtače in globeli, imajo namreč podobne temperaturne lastnosti. Dokaz za obstoj jame naj bi bili predvsem lokalni toplotni maksimumi pozimi, ki pa na naših termalnih posnetkih niso nikjer očitni.

Ugotovili smo, da jame težko razvrstimo v le nekaj tipičnih skupin s skupnimi lastnosti, saj ima vsaka jama svoje značilnosti, ki jih je potrebno upoštevati pri analizi. Pri obdelavi podatkov iz Hrvaške se je pokazala težava s pridobitvijo podatkov o jamah, saj ne obstaja enoten kataster.

Za izboljšavo rezultatov raziskave obstaja veliko možnosti. Potrebovali bi večje število termalnih satelitskih posnetkov, ki bi imeli boljšo ločljivost. Na obravnavanih območjih je pogosta oblačnost, kar omejuje izbiro ustreznih satelitskih posnetkov. Za boljšo statistično obdelavo potrebujemo večje število podatkov. V letošnjem letu so postali v Sloveniji brezplačno dostopni podatki laserskega skeniranja – lidar. Ti podatki so že obdelani in velika odstopanja, ki se pojavljajo na vhomih brez eno eliminirana. Zato bi bila potrebna obdelava surovih podatkov in morebitna primerjava s termalnimi satelitskimi posnetki.

VIRI

- [1] Observing in Infrared.
<http://earthobservatory.nasa.gov/Features/FalseColor/page5.php>, (Pridobljeno 14. 07. 2015.)
- [2] Cavers Test Thermal Imaging Infrared Camera For Finding Caves
<http://cavingnews.com/20150128-watch-cavers-test-thermal-imaging-infrared-camera-finding-caves>,
(Pridobljeno 14. 07. 2015.)
- [3] Bortman, H. 2007. Exploring Caves From 30 Feet in the Air.
<http://www.astrobio.net/expedition/exploring-caves-from-30-feet-in-the-air/#sthash.HBf6sC3l.dpuf>,
(Pridobljeno 14. 07. 2015.)
- [4] Landsat: globalna misija snemanja površja. 2012.
<http://pubs.usgs.gov/fs/2012/3072/>, (Pridobljeno 14. 04. 2015.)
- [5] Pogosta vprašanja o Landsat misijah. 2015.
http://landsat.usgs.gov/band_designations_landsat_satellites.php, (Pridobljeno 14. 04. 2015.)
- [6] Howell, E. 2013. Landsat: Štiri desetletja posnetkov in podatkov
<http://www.space.com/19665-landsat.html>, (Pridobljeno 14. 04. 2015.)
- [7] Pogosta vprašanja o Landsat misijah. 2015.
http://landsat.usgs.gov/lbcm_vs_previous.php, (Pridobljeno 14. 04. 2015.)
- [8] Nprekinjena misija zbiranja podatkov Landsat. 2012.
<http://pubs.usgs.gov/fs/2012/3066/fs2012-3066.pdf>, (Pridobljeno 20. 04. 2015.)
- [9] Pogosta vprašanja o Landsat misijah. 2015.
http://landsat.usgs.gov/orbit_path.php, (Pridobljeno 14. 04. 2015.)
- [10] LDCM - Landsat Data Continuity Mission. 2013.
http://www.nasa.gov/pdf/723395main_LDCMpresskit2013-final.pdf, (Pridobljeno 20. 04. 2015.)
- [11] Landsat 8 - kanal za oceno kakovosti. 2015.
<http://landsat.usgs.gov/L8QualityAssessmentBand.php>, (Pridobljeno 20. 04. 2015.)
- [12] Vidni spekter. 2015.
http://science-edu.larc.nasa.gov/EDDOCS/Wavelengths_for_Colors.html, (Pridobljeno 28. 07. 2015.)
- [13] Fricker, H. A. Lecture 6: Thermal Radiation. 2013
<http://topex.ucsd.edu/rs/SIO-135-236-Thermal-2014.pdf>, (Pridobljeno 15. 04. 2015.)
- [14] Optična sevanja. 2015.
<http://www.inis.si/index.php?id=277#.VcDtI7WinxI>, (Pridobljeno 28. 07. 2015.)

- [15] Martinez, I., Heat transfer and thermal radiation. 2015.
<http://webserver.dmt.upm.es/~isidoro/tc3/Heat%20transfer%20and%20thermal%20radiation%20modeling.pdf>, (Pridobljeno 15. 04. 2015.)
- [16] Landsat 8 (L8) Science Data Users Handbook. 2015.
<http://landsat.usgs.gov/documents/Landsat8DataUsersHandbook.pdf>, (Pridobljeno 15. 04. 2015.)
- [17] Albedo. 2015.
<https://sl.wikipedia.org/wiki/Albedo>, (Pridobljeno 09. 06. 2015.)
- [18] Črno telo in emisivnost. 2015.
<http://www.infraredtraininginstitute.com/black-body-type-and-emissivity/>,
(Pridobljeno 09. 06. 2015.)
- [19] Brewster, M. Q. 1992. Thermal Radiative Transfer and Properties. John Wiley & Sons: 543 str.
- [20] Southworth, J. 2004. An assessment of Landsat TM band 6 thermal data for analysing land cover in tropical dry forest regions. *International Journal of Remote Sensing* 25, 4:689-706
- [21] Radiometric correction of satellite images: When and why radiometric correction is necessary. 2015. <http://www.ncl.ac.uk/tcmweb/bilko/module7/lesson3.pdf>, (Pridobljeno 15. 04. 2015.)
- [22] Cedilnik, R. 2015. Določanje temperature tal iz satelitskih posnetkov Landsat. Magistrska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. Samozaložba R. Cedilnik: 62 str.
- [23] Senanayake, I., Welivitiya, W. D. D. P., Paranamanage, N. 2013. Remote sensing based analysis of urban heat islands with vegetation cover in Colombo city, Sri Lanka using Landsat-7 ETM+ data. *Urban Climate Journal*. 10/2013, 5: 19-35
- [24] Boyd, D. S., Foody, G. M., Curran, P. J., Lucas, R. M., Honzak, M. 1996. An assessment of radiance in Landsat TM middle and thermal infrared wavebands for the detection of tropical forest regeneration. *International Journal of Remote Sensing* 17, 2: 249–261
- [25] Kang, J. M., Yun, H. C., Park, J. K. 2011. Analysis of temperatures distribution of forest type class using Landsat imagery. *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing. Annual Conference Milwaukee, Wisconsin*
- [26] Kwarteng, A. Y., Small, C. 2005. Comparative analysis of thermal environments in New York City and Kuwait City. *International Society for Photogrammetry and Remote Sensing. Volume XXXVI-8/W27. WG VIII/1. Joint Symposia URBAN - URS 2005*
- [27] Hrvatin, M. 2008. Kras : [trajnostni razvoj kraške pokrajine]. Ljubljana. ZRC: 337 str.
- [28] Stepišnik U. 2011. Tipi krasa.
<https://www.krasnadlani.si/o-krasu>, (Pridobljeno 15. 04. 2015.)

- [29] Jakofčič, J. J. 2006. Jame, jamarstvo in jamarska reševalna služba. UJMA številka 20: 250-266 str.
- [30] Jovičić, A. 2011. Onesnaženost rogov v Postojnski jami s prašnimi delci. Diplomski naloga. Nova Gorica. Univerza v Novi Gorici. Fakulteta za znanost o okolju: 80 str.
- [31] Monitoring fizikalnih in kemičnih parametrov. 2015.
<http://www.razvojkrasa.si/si/turizem/97/article.html>, (Pridobljeno 15. 04. 2015.)
- [32] Covington M. D., Perne M. 2015. Consider a cylindrical cave: A physicist's view of cave and karst science. Acta Carsologica 44/3. V tisku.
- [33] Wynne, J. J., Titus, T. N., Chapman, M. G., Chong, G., Drost, C. A., Kargel, J. S., Toomey III, R.S. 2007. Thermal Behavior of Earth Caves: A Proxy for Gaining Inference into Martian Cave Detection. 38th Lunar and Planetary Science Conference.
- [34] Jamarska zveza. 2015. <http://www.jamarska-zveza.si/>, (Pridobljeno 15. 04. 2015.)
- [35] E-kataster jam. 2015
<http://www.katasterjam.si/>, (Pridobljeno dne 29. 07. 2015.)
- [36] EarthExplorer. 2015
<http://earthexplorer.usgs.gov/>, (Pridobljeno dne 29. 07. 2015.)
- [37] Landsat Headlines. 2015
http://landsat.usgs.gov/mission_headlines2015.php, (Pridobljeno dne 20. 07. 2015.)
- [38] Velika ledena jama v Paradani. 2015
http://novagorica-turizem.com/destinacije_in_doizivetja/narava/2012051514244299/Velika%20ledena%20jama%20v%20Paradani%20/, (Pridobljeno dne 08. 09. 2015.)
- [39] Zasnežena Velika ledena jama v Paradani. 2015
<http://www.hribi.net/slika.asp?gora=4131>, (Pridobljeno dne 08. 09. 2015.)
- [40] Kataster jam. 2015. Inštitut za raziskovanje krasa. Znanstvenoraziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti (ZRC SAZU). JZS
- [41] Vrata, vhod v Postojnsko jamo. 2015
<https://gregorkrasnja1.wordpress.com/2014/03/10/postojnska-jama/>, (Pridobljeno dne 08. 09. 2015.)
- [42] Vhod v Postojnsko jamo. 2015
<http://www.pespoti.si/pkv-tocka.php?id=189>, (Pridobljeno dne 08. 09. 2015.)

SEZNAM PRILOG

PRILOGA A: Seznam jam, njihove koordinate, značilnosti in raba tal na vhodu jame.

A.1: Jame v Sloveniji

A.2: Jame na Hrvaškem

PRILOGA B: Izbor termalnih satelitskih posnetkov satelita Landsat 8.

B.1: Območje Slovenije, poletje (junij, julij, avgust).

B.2: Območje Slovenije, zima (december, januar, februar).

B.3: Območje Hrvaške, poletje (junij, julij, avgust).

B.4: Območje Hrvaške, zima (december, januar, februar).

PRILOGA C: Grafi prečnih prerezov

C.1: Jame v Sloveniji

C.2: Jame na Hrvaškem

PRILOGA A: Seznam jam, njihove koordinate, značilnosti in raba tal na vhodu jame.

A.1: Jame v Sloveniji

| Katastrska številka | Ime jame | Območje | D48/GK | | Značilnosti | Raba tal |
|---------------------|---------------------------------|---------------|---------|---------|----------------------|----------|
| | | | E | N | | |
| 472 | Pivka jama | Postojna | 5438540 | 5073680 | Velik vhod | 2000 |
| 9994 | Brezno v Lepem dolu | Snežnik | 5459243 | 5052309 | | 2000 |
| 747 | Postojnska jama | Postojna | 5438450 | 5071250 | | 3000 |
| 736 | Dimnice | Kozina | 5425450 | 5047040 | Pozimi izhaja para | 2000 |
| 735 | Škocjanske jame | Divača | 5421980 | 5058350 | | 1500 |
| 576 | Zelške jame | Cerknica | 5446220 | 5072060 | | 2000 |
| 820 | Magdalena jama | Postojna | 5438280 | 5073010 | | 2000 |
| 6200 | Čehi 2 | Kanin | 5385735 | 5136950 | | 6000 |
| 955 | Kačna jama | Divača | 5419085 | 5060275 | | 2000 |
| 10011 | Žalčevo brezno | Snežnik | 5457800 | 5051366 | Prepih na vhodu | 2000 |
| 5999 | Cifre | Snežnik | 5460370 | 5046470 | | 2000 |
| 7299 | Brezno Bogumila Brinška | Snežnik | 5459730 | 5043880 | | 2000 |
| 3197 | Brezno pri Oglenicah | Cerknica | 5448185 | 5066925 | | 2000 |
| 1223 | Lunkova jama | Cerknica | 5457225 | 5067040 | | 2000 |
| 9834 | Brezno treh src | Snežnik | 5460733 | 5046077 | Prepih na vhodu | 2000 |
| 742 | Velika ledena jama v Paradani | Trnovski gozd | 5410830 | 5094490 | Ledenica, velik vhod | 2000 |
| 7937 | Bela griža 1 | Trnovski gozd | 5416608 | 5090402 | Prepih na vhodu | 2000 |
| 6926 | Vrtiglavica | Kanin | 5382380 | 5133650 | | 5000 |
| 2767 | Brezno nad Koriti | Kanin | 5387420 | 5135460 | Prepih na vhodu | 2000 |
| 6049 | Brezno pod velbom | Kanin | 5381455 | 5134005 | | 6000 |
| 807 | Snežnica vrh Snežnika | Snežnik | 5457294 | 5049485 | Ledenica | 6000 |
| 10354 | Podrto brezno | Postojna | 5437994 | 5078093 | Prepih na vhodu | 2000 |
| 6587 | Brezno Mrzli dol 1 | Snežnik | 5448000 | 5048075 | Prepih na vhodu | 2000 |
| / | Pološka jama - zgornji vhod (1) | Tolmin | 5400886 | 5124532 | | 6000 |
| / | Pološka jama - sp. gl. vhod (2) | Tolmin | 5401740 | 5124083 | | |

| | | | | | | |
|-------|--------------------------------------|---------|---------|---------|--|------|
| 3000 | Pološka jama - sp. stranski vhod (3) | Tolmin | 5401716 | 5124054 | | |
| 86 | Gradišnica | Logatec | 5441087 | 5083690 | | 2000 |
| 259 | Najdena jama | Logatec | 5441800 | 5081619 | | 2000 |
| 28 | Logarček | Logatec | 5443553 | 5080340 | | 2000 |
| 9823 | L 61 | Kanin | 382240 | 133070 | | 5000 |
| 6941 | Brezno Suni | Kanin | 382120 | 132900 | | 5000 |
| 10378 | L 92 | Kanin | 382331 | 133028 | | 6000 |

| | |
|--|--------------------------|
| | Izbrane jame za obdelavo |
|--|--------------------------|

| Raba tal |
|---|
| 1500 - Drevesa in grmičevje |
| 2000 – Gozd |
| 3000 - Pozidano zemljišče |
| 5000 - Odprto zemlj. z rastl. pokrovom |
| 6000 - Odprto zemljišče brez rastl. pokrova |

A.2: Jame na Hrvaškem

| Ime jame | Vhod | Območje | HTRS96/TM | | |
|-------------------------------------|------------------|-----------------|-----------|---------|------|
| | | | x | y | z |
| Jamski sistem Lukina jama-Trojama 1 | Vhod Lukina jama | Hajdučki kukovi | 383409 | 4959483 | 1475 |
| Jamski sistem Lukina jama-Trojama 2 | Vhod Trojama | Hajdučki kukovi | 383367 | 4959606 | 1438 |
| Slovačka jama | | Mali kuk | 381478 | 4957641 | 1520 |
| Jamski sistem Velebita 1 | Vhod Velebita | Premužičeva st. | 380160 | 4958623 | 1557 |
| Jamski sistem Velebita 2 | Vhod Dva javora | Premužičeva st. | 380161 | 4958664 | 1550 |
| Meduza | | Rožanski kukovi | 380205 | 4959145 | 1595 |
| Patkov gušt | | Gornji kuk | 383675 | 4988520 | 1450 |
| Ledena hana u Lomskoj dolini | | / | 383427 | 4960275 | 1235 |
| Olimp | | Begovački kuk | 384392 | 4958082 | 1370 |
| Lubuška jama | | Hajdučki kukovi | 383499 | 4959169 | 1495 |
| Paž | | Kita Gavranuša | 388250 | 4956608 | 1175 |
| Xantipa | | Vratarski kuk | 381120 | 4959623 | 1650 |
| Mamut | | Južni Velebit | 438698 | 4900766 | / |
| Kita Gaćešina | | Južni Velebit | 448305 | 4903385 | / |
| Varnjača | | Rožanski kukovi | 380601 | 4959197 | / |

PRILOGA B: Izbor termalnih satelitskih posnetkov satelita Landsat 8.

B.1: Območje Slovenije, poletje (junij, julij, avgust).

| Datum posnetka | Oblačnost | Ljubljana | | | Bovec |
|----------------|-----------|-------------------------------------|---------------|---------|-------|
| | | Postojna, Cerknica, Logatec, Kozina | Trnovski gozd | Snežnik | Kanin |
| 18.6.2013 | Brez | X | | | |
| 20.7.2013 | Delna | X* | | X | |
| 27.7.2013 | Delna | X | | X | X* |
| 5.8.2013 | Brez | X | | X | |
| 12.8.2013 | Brez | X | X | X | X |
| 7.7.2014 | Brez | X | | X | |
| 8.6.2015 | Delna | X* | | X | |
| 17.7.2015 | Brez | X | X | X | X |

*Ni primeren za vse jame na območju.

B.2: Območje Slovenije, zima (december, januar, februar).

| Datum posnetka | Oblačnost | Ljubljana | | | Bovec |
|----------------|-----------|-------------------------------------|---------------|---------|-------|
| | | Postojna, Cerknica, Logatec, Kozina | Trnovski gozd | Snežnik | Kanin |
| 2.12.2013 | Delna | | X | | X |
| 18.12.2013 | Delna | X | X | X | X |
| 12.1.2014 | Brez | X | | X | |
| 13.2.2014 | Delna | X* | | X | |
| 30.12.2014 | Delna | X | | X | |

*Ni primeren za vse jame na območju.

B.3: Območje Hrvaške, poletje (junij, julij, avgust).

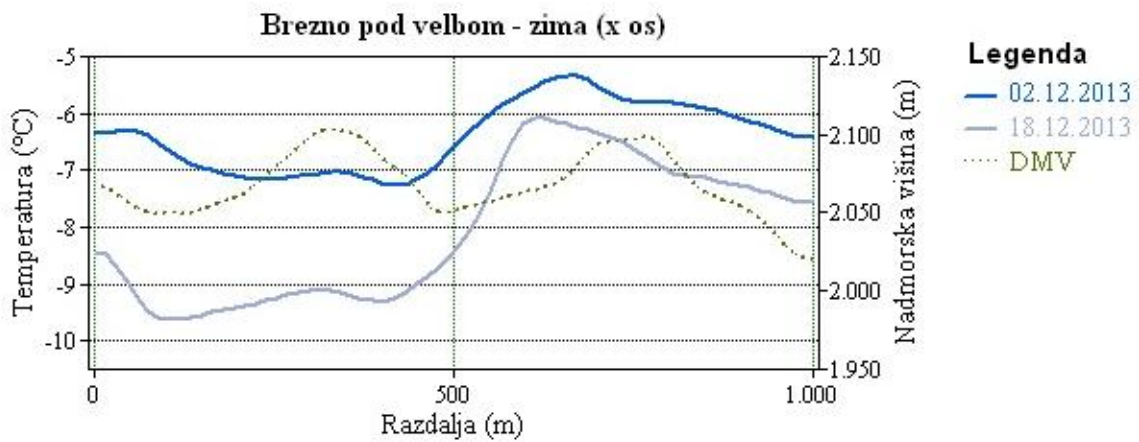
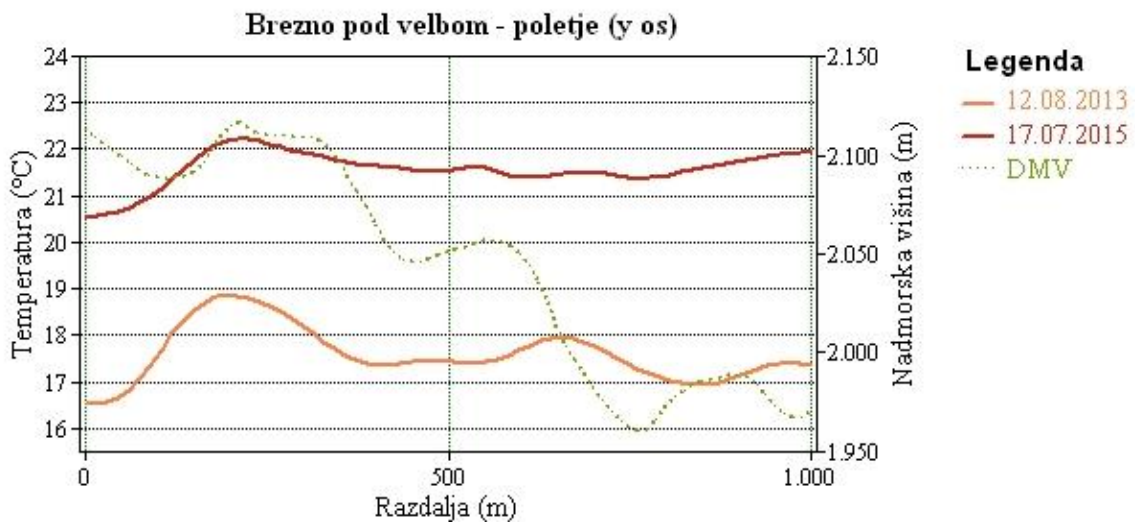
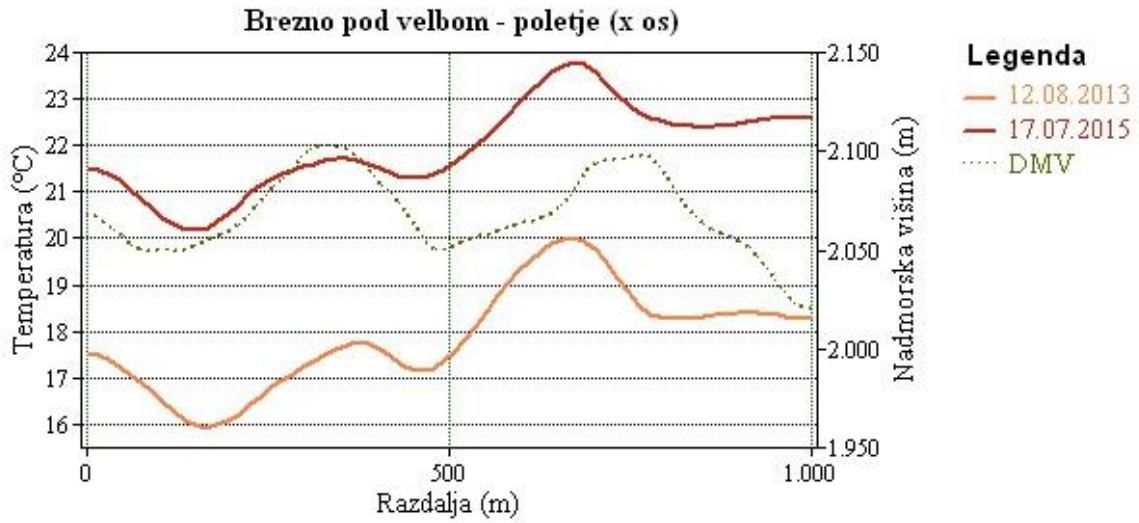
| Datum posnetka | Oblačnost | Severni Velebit | Južni Velebit |
|----------------|-----------|-----------------|---------------|
| 27.6.2013 | Delna | | X |
| 4.7.2013 | Delna | X | |
| 20.7.2013 | Delna | | |
| 5.8.2013 | Brez | X | |
| 14.8.2013 | Brez | | X |
| 30.8.2013 | Delna | | X |
| 8.8.2014 | Delna | X | |
| 8.6.2015 | Brez | X | |
| 10.7.2015 | Brez | X | |
| 27.8.2015 | Brez | X | |

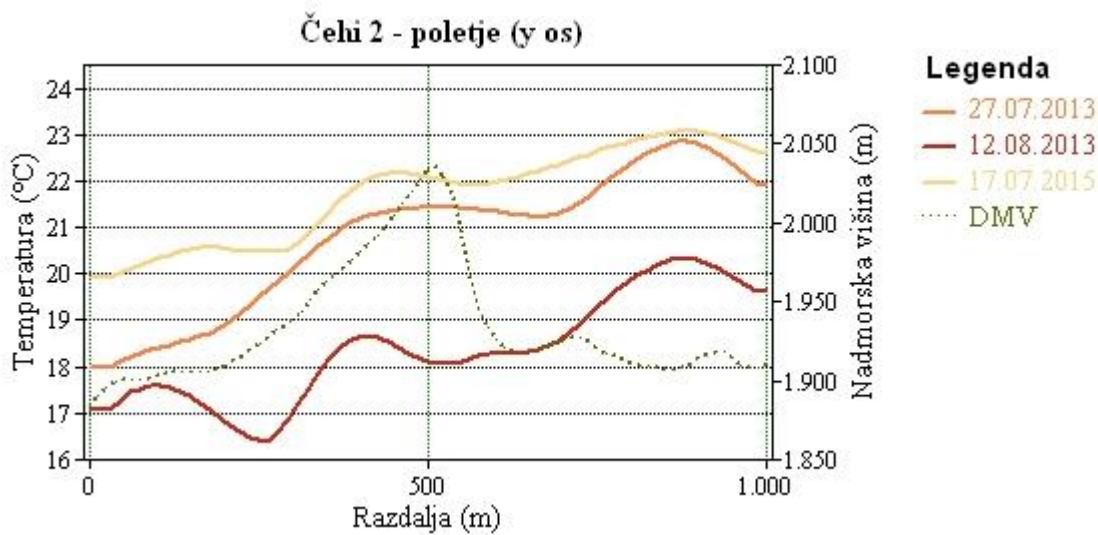
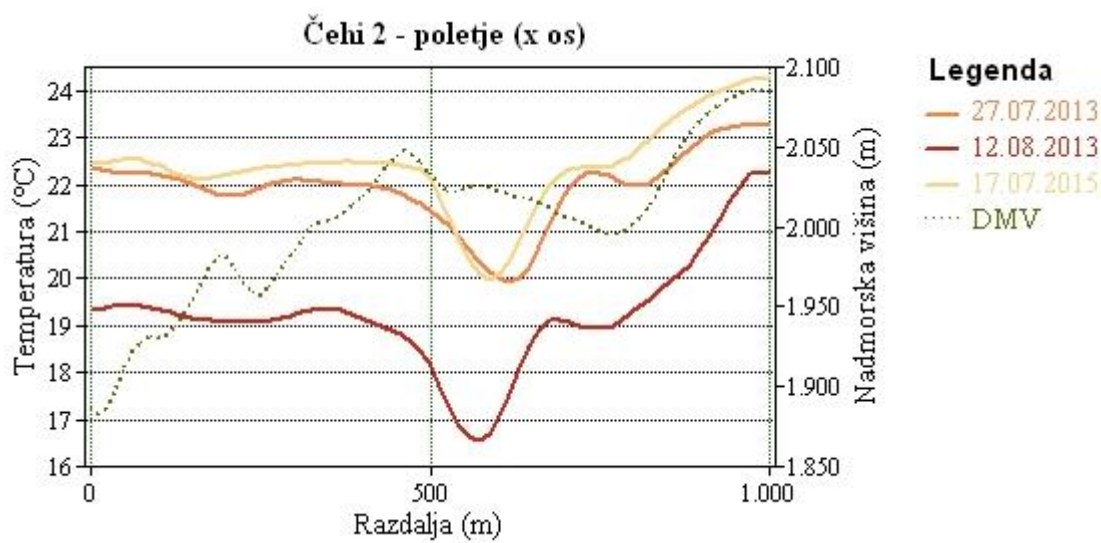
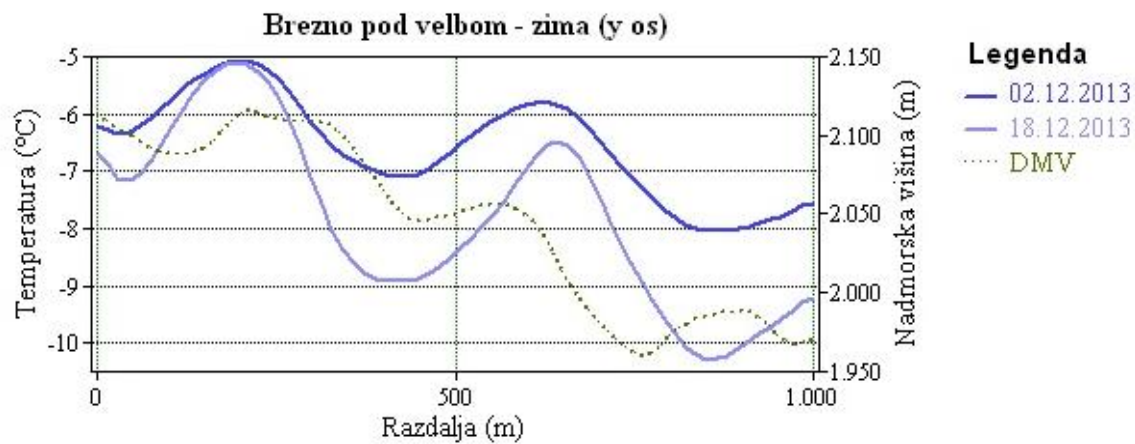
B.4: Območje Hrvaške, zima (december, januar, februar).

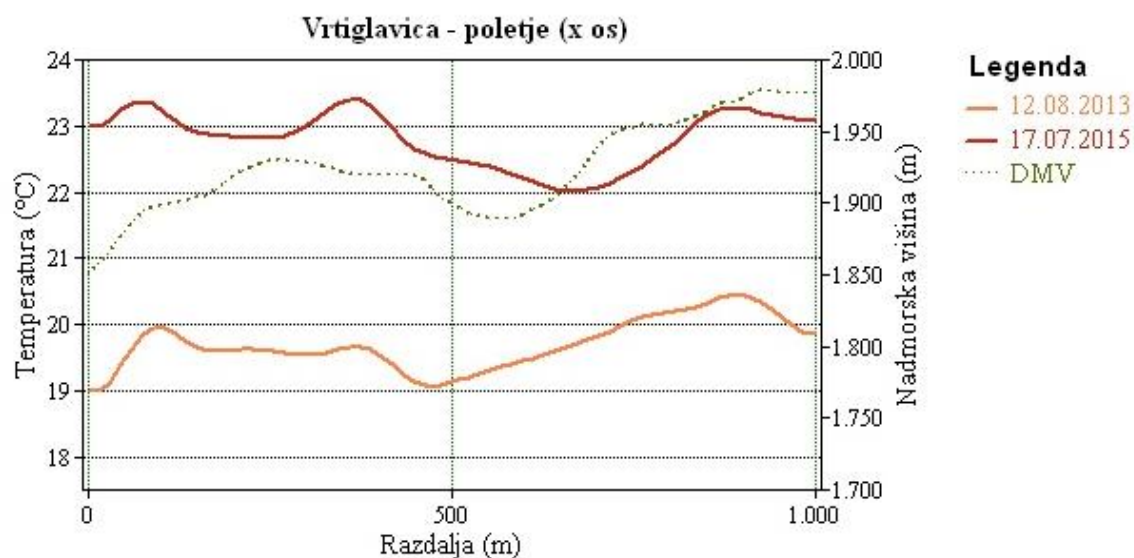
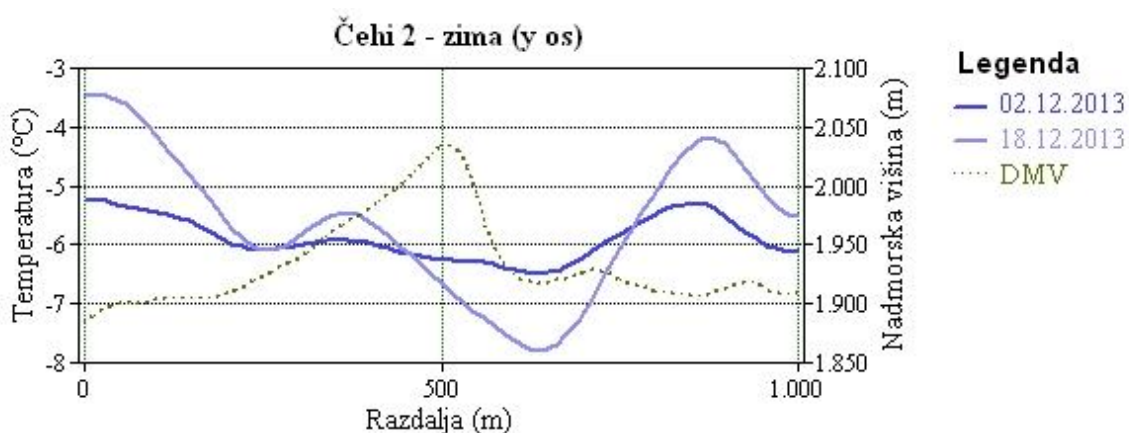
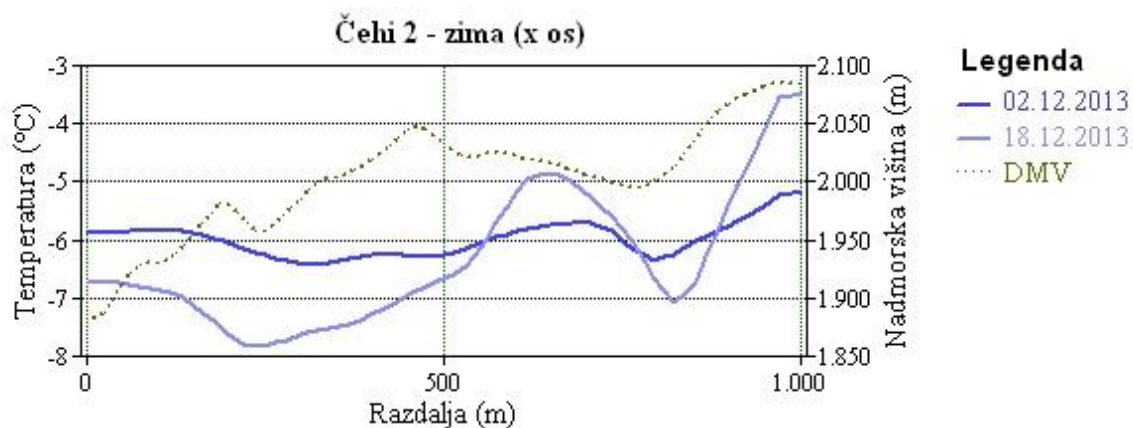
| Datum posnetka | Oblačnost | Severni Velebit |
|-----------------------|------------------|------------------------|
| 11.12.2013 | Brez | X |
| 13.2.2014 | Delna | X |
| 16.2.2015 | Brez | X |

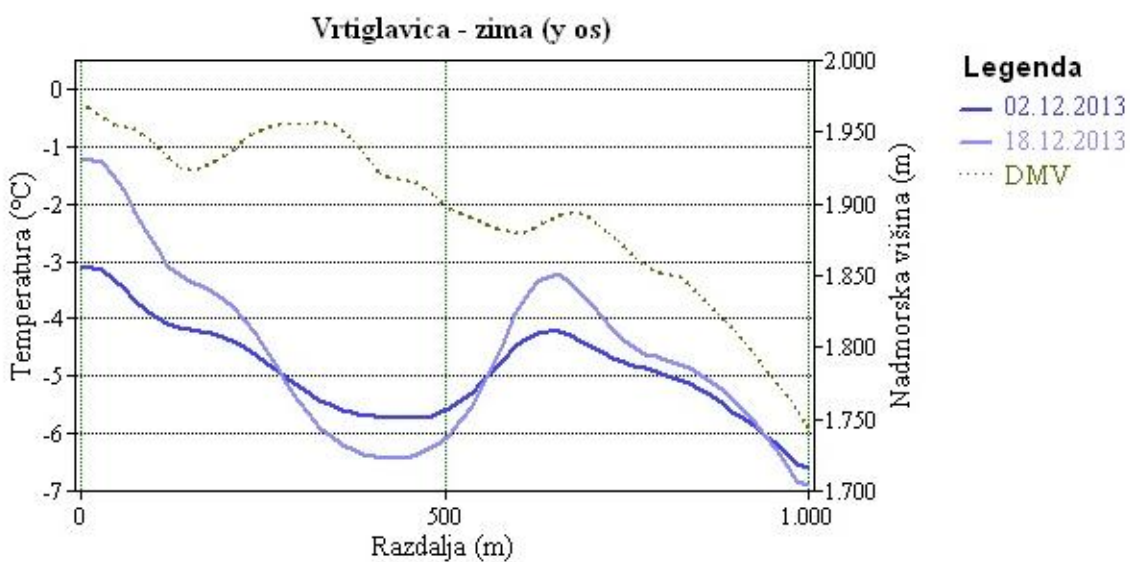
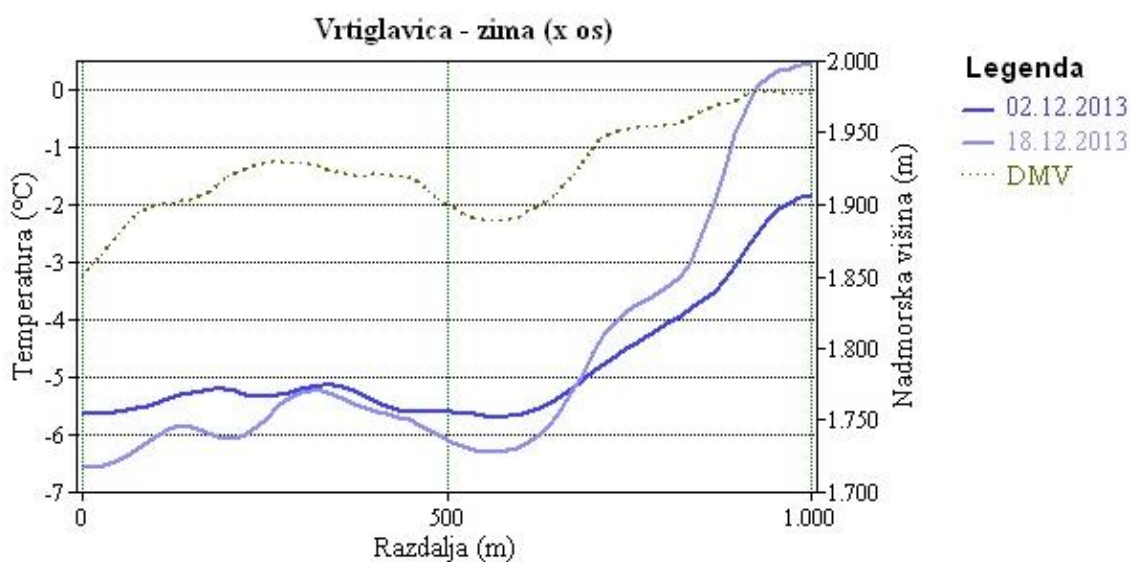
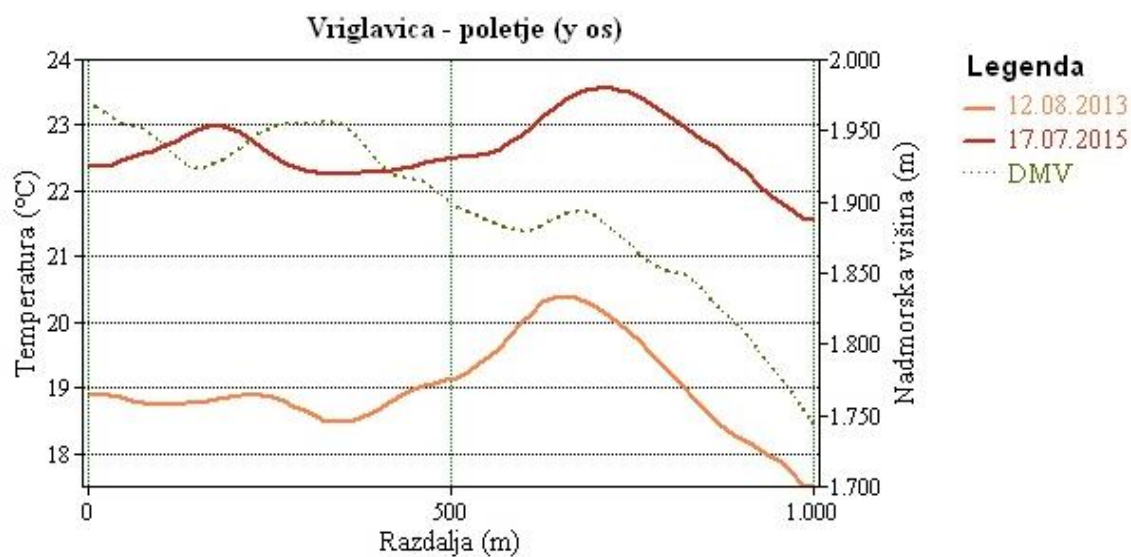
PRILOGA C: Grafi prečnih prerezov

C.1: Jame v Sloveniji

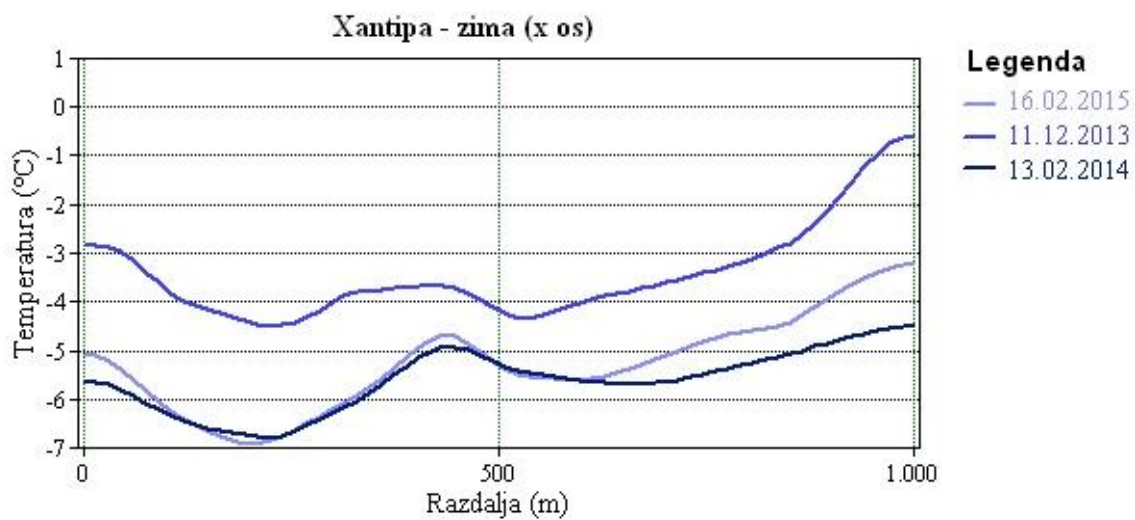
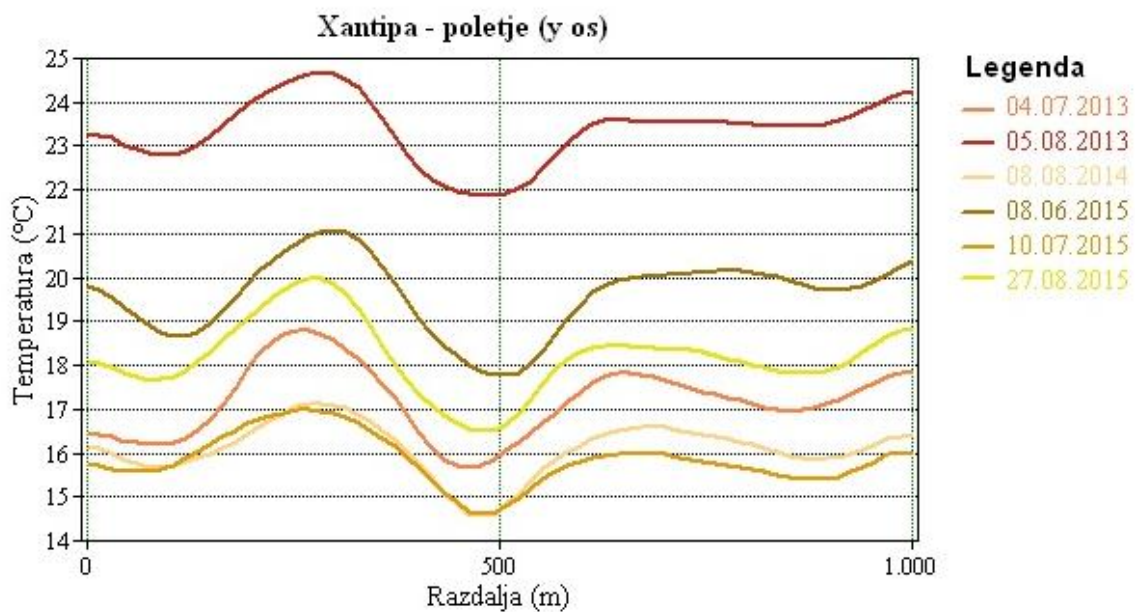
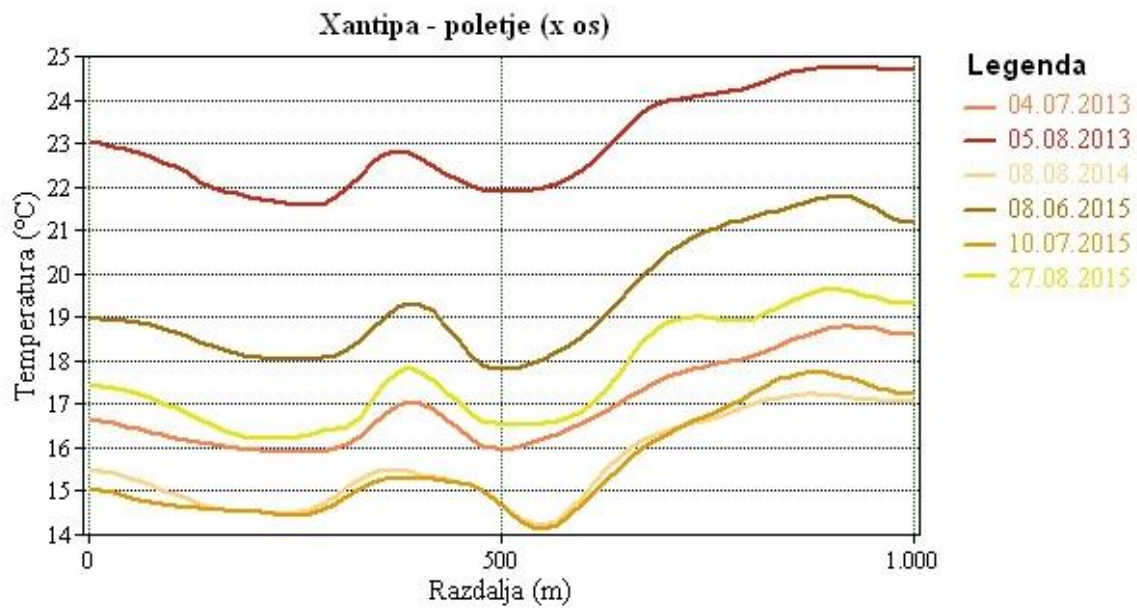


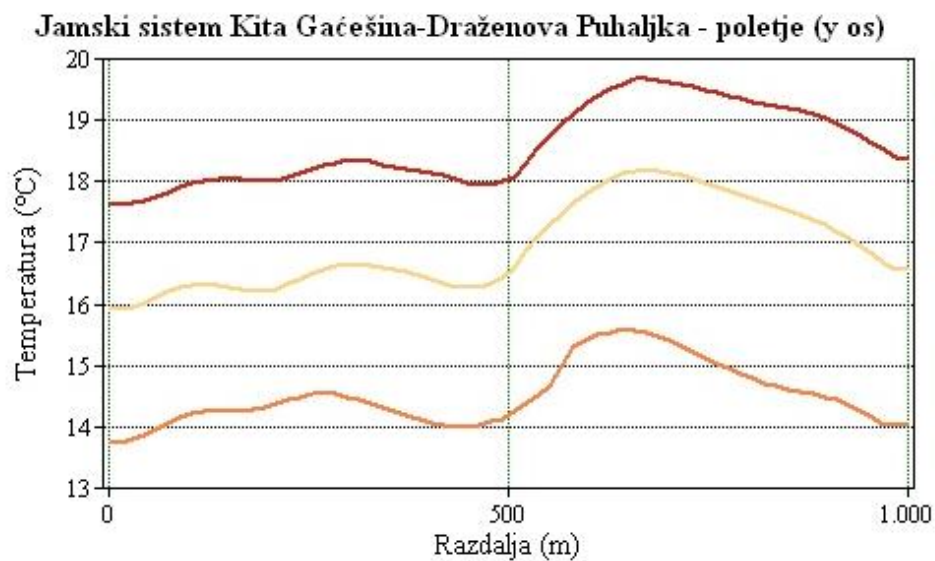
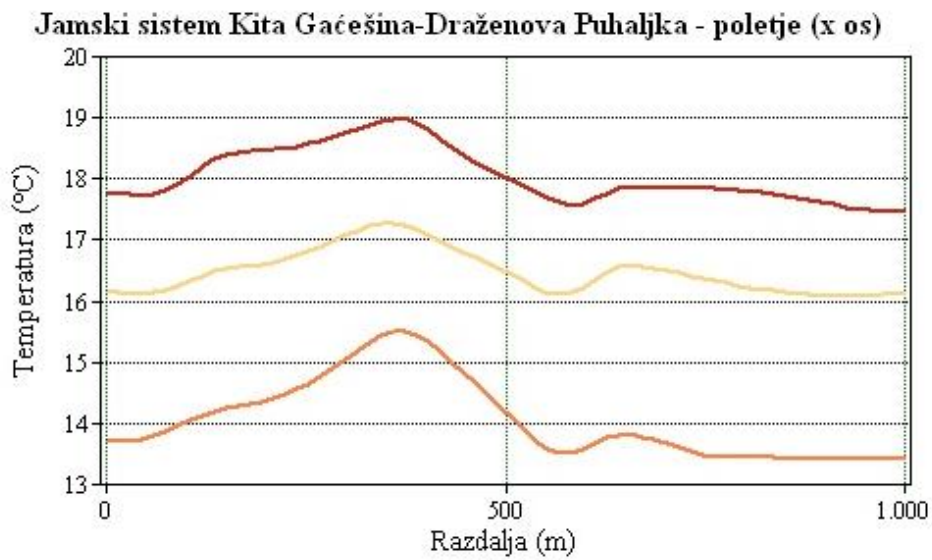
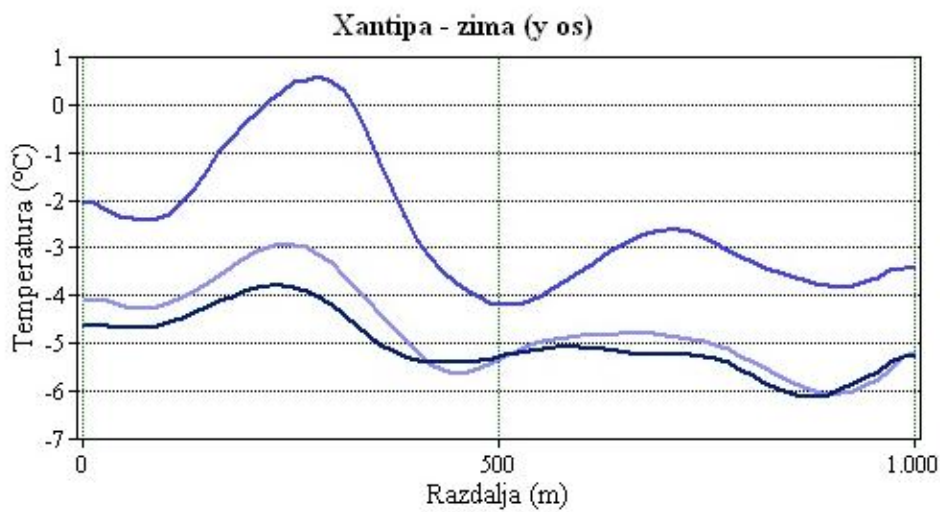




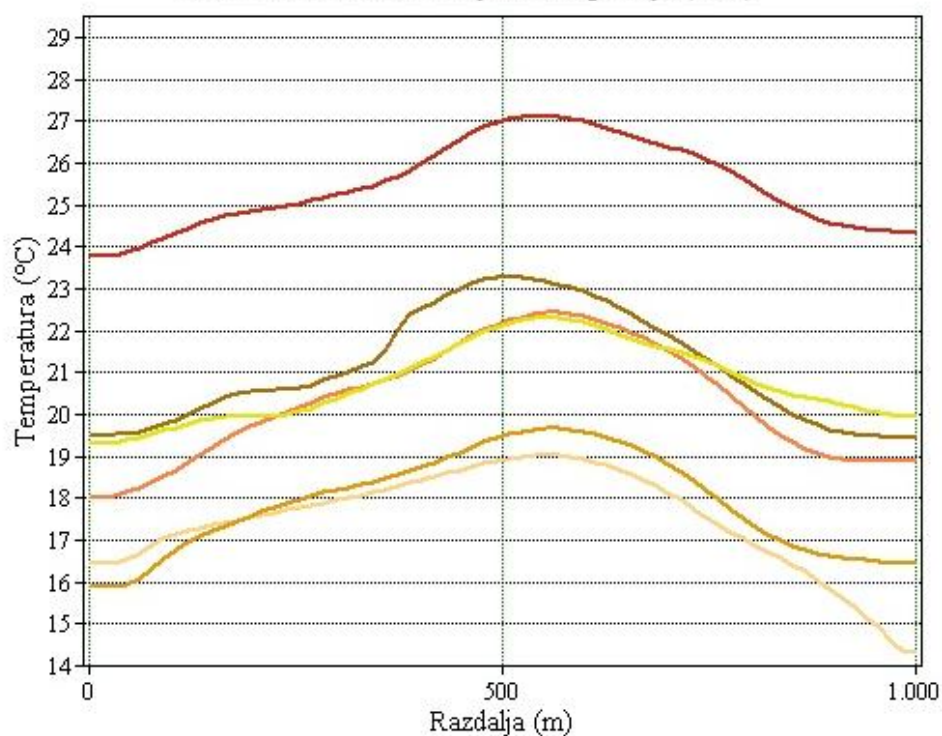


C.2: Jame na Hrvaškem





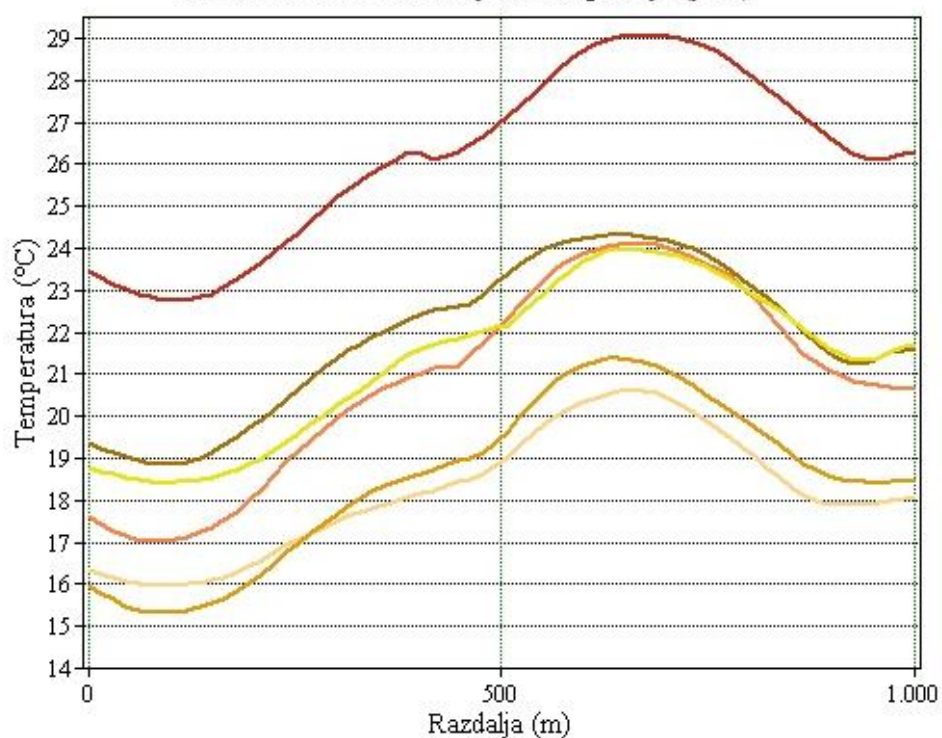
Ledena hana u Lomskoj dolini - poletje (x os)



Legenda

- 04.07.2013
- 05.08.2013
- 08.08.2014
- 08.06.2015
- 10.07.2015
- 27.08.2015

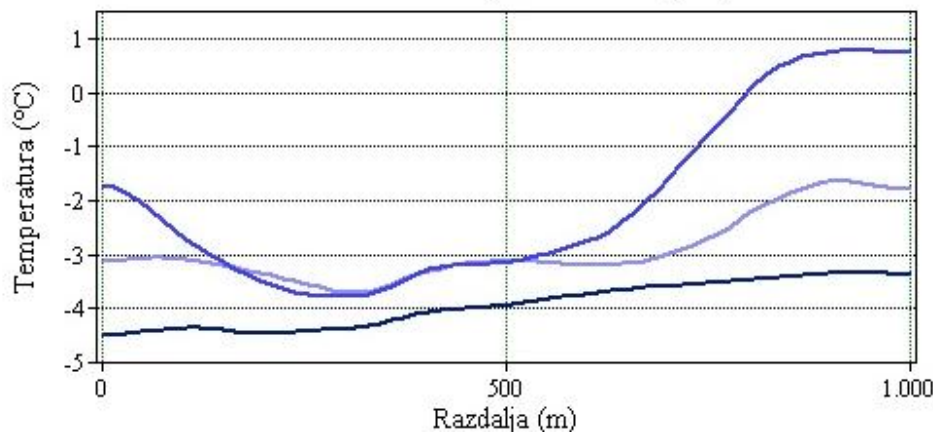
Ledena hana u Lomskoj dolini - poletje (y os)



Legenda

- 04.07.2013
- 05.08.2013
- 08.08.2014
- 08.06.2015
- 10.07.2015
- 27.08.2015

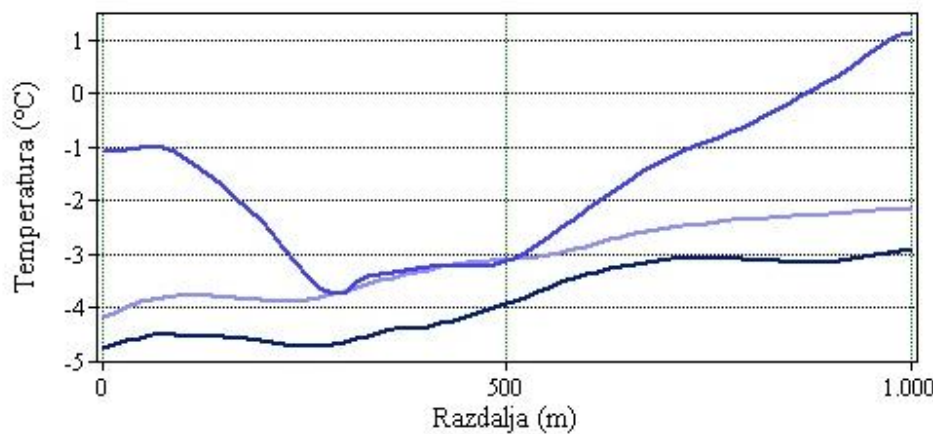
Ledena hana u Lomskoj dolini - zima (x os)



Legenda

- 16.02.2015
- 11.12.2013
- 13.02.2014

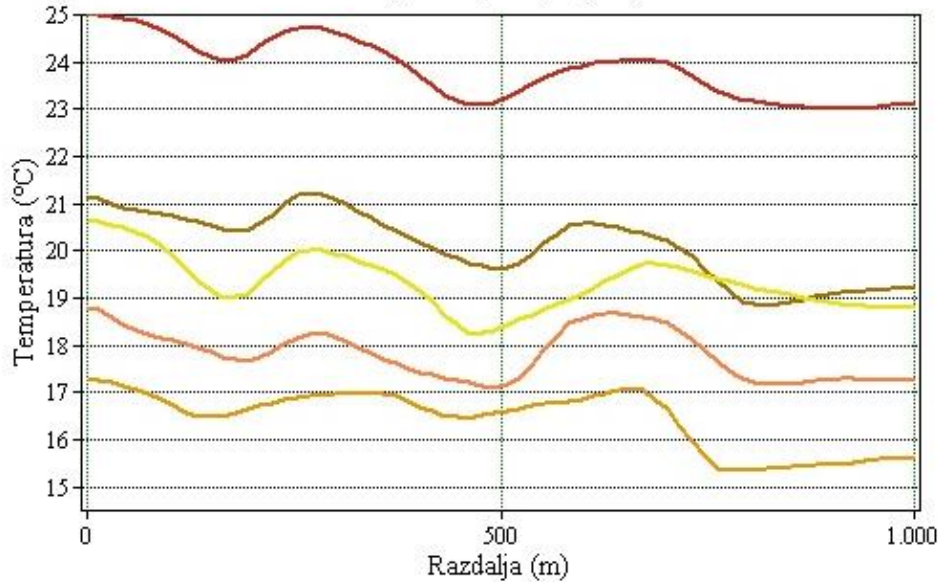
Ledena hana u Lomskoj dolini - zima (y os)



Legenda

- 16.02.2015
- 11.12.2013
- 13.02.2014

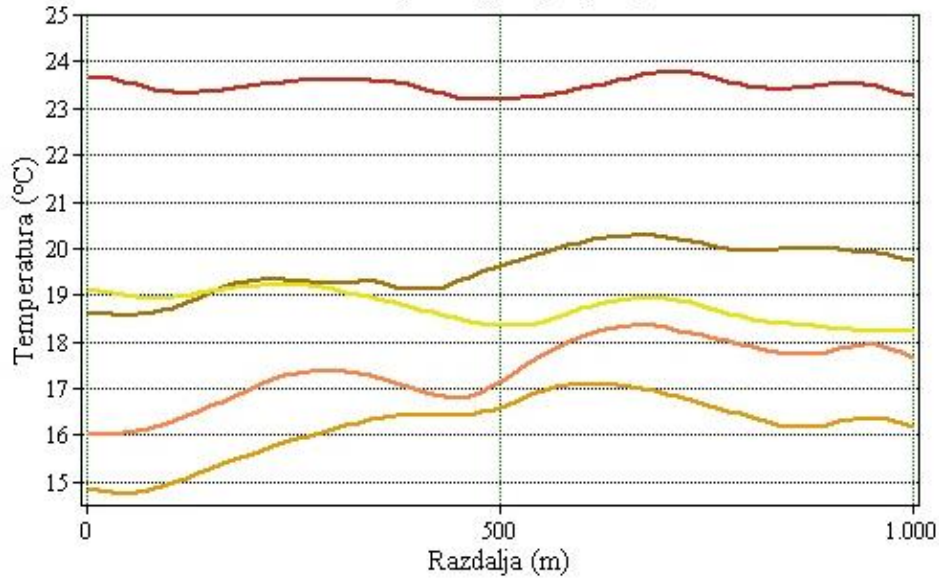
Lubuška jama - poletje (x os)



Legenda

- 04.07.2013
- 05.08.2013
- 08.06.2015
- 10.07.2015
- 27.08.2015

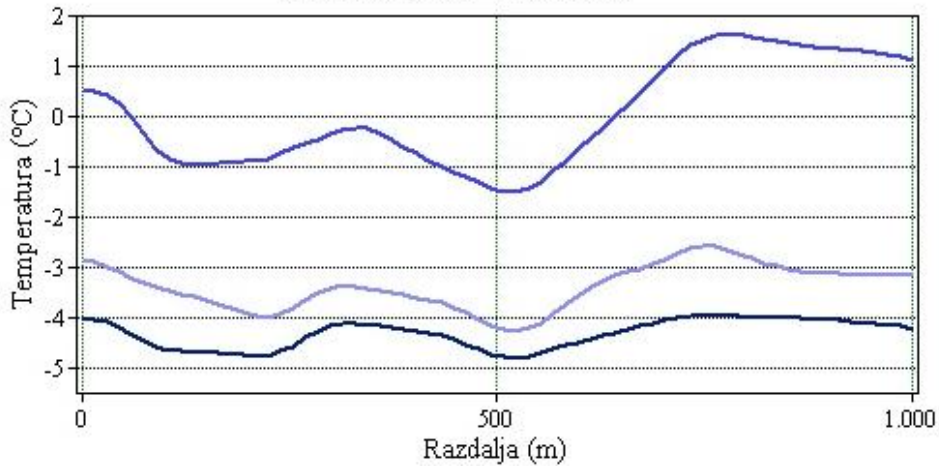
Lubuška jama - poletje (y os)



Legenda

- 04.07.2013
- 05.08.2013
- 08.06.2015
- 10.07.2015
- 27.08.2015

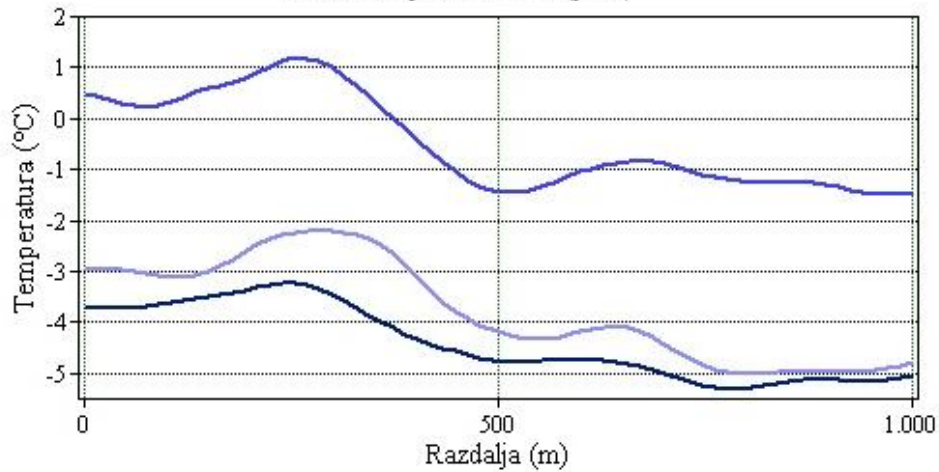
Lubuška jama - zima (x os)



Legenda

- 16.02.2015
- 11.12.2013
- 13.02.2014

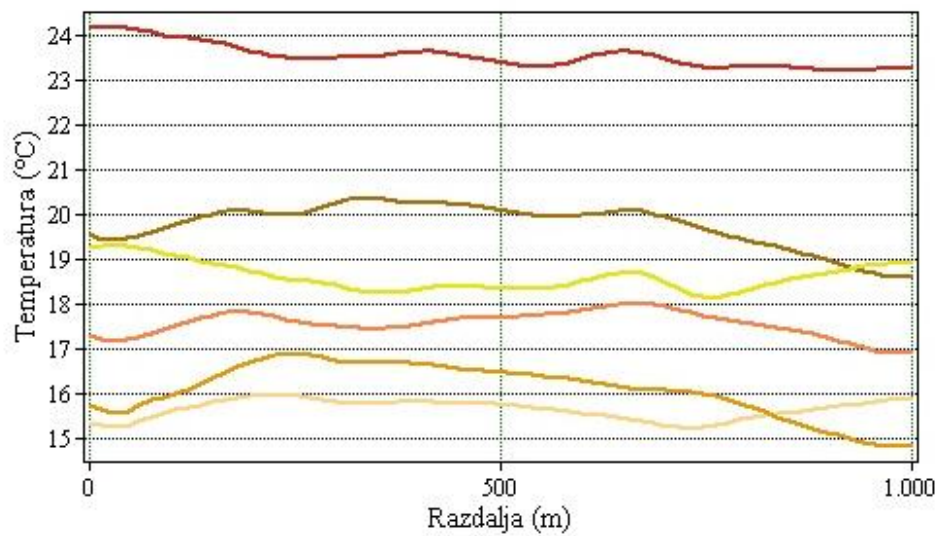
Lubuška jama - zima (y os)



Legenda

- 16.02.2015
- 11.12.2013
- 13.02.2014

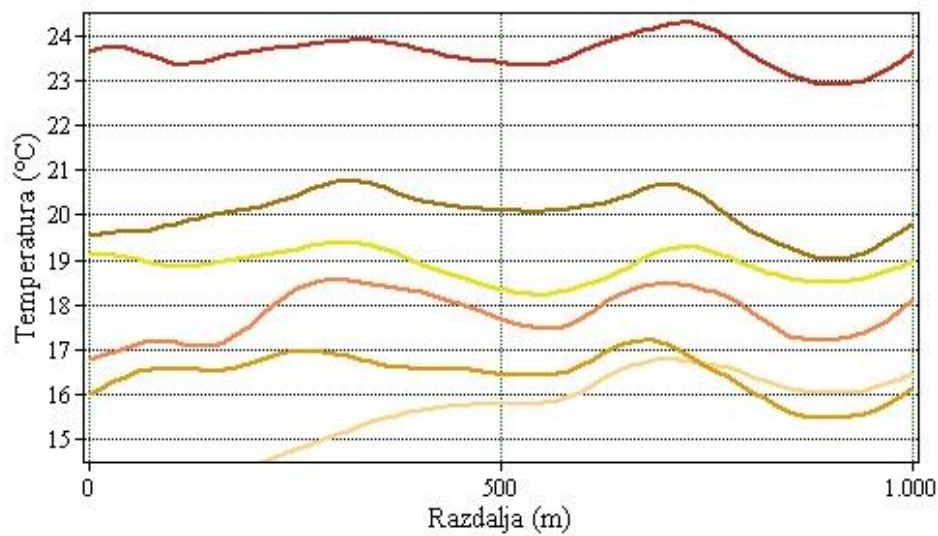
Jamski sistem Lukina jama-Trojama 1 - poletje (x os)



Legenda

- 04.07.2013
- 05.08.2013
- 08.08.2014
- 08.06.2015
- 10.07.2015
- 27.08.2015

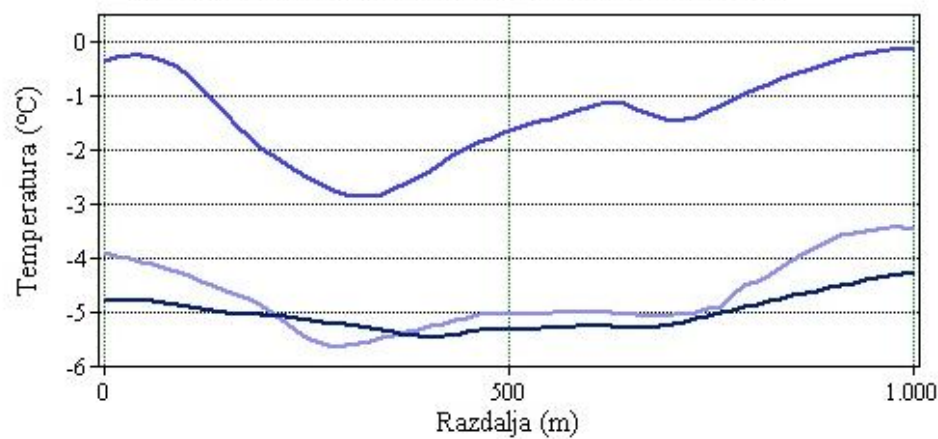
Jamski sistem Lukina jama-Trojama 1 - poletje (y os)



Legenda

- 04.07.2013
- 05.08.2013
- 08.08.2014
- 08.06.2015
- 10.07.2015
- 27.08.2015

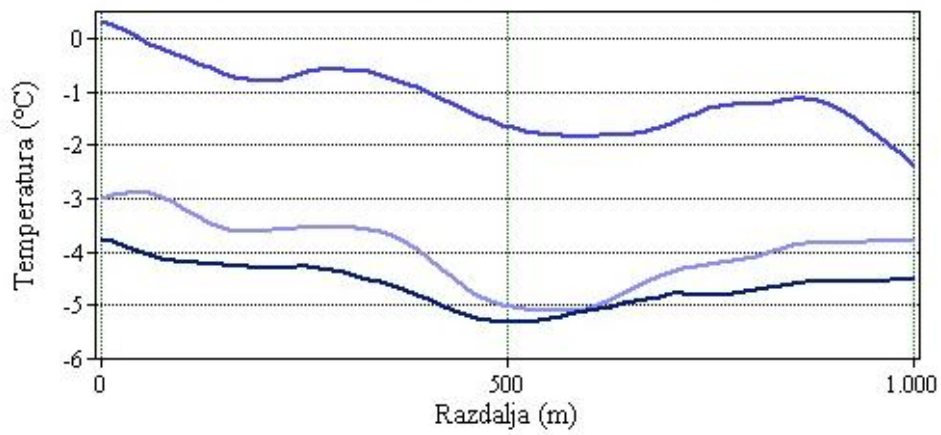
Jamski sistem Lukina jama-Trojama 1 - zima (x os)



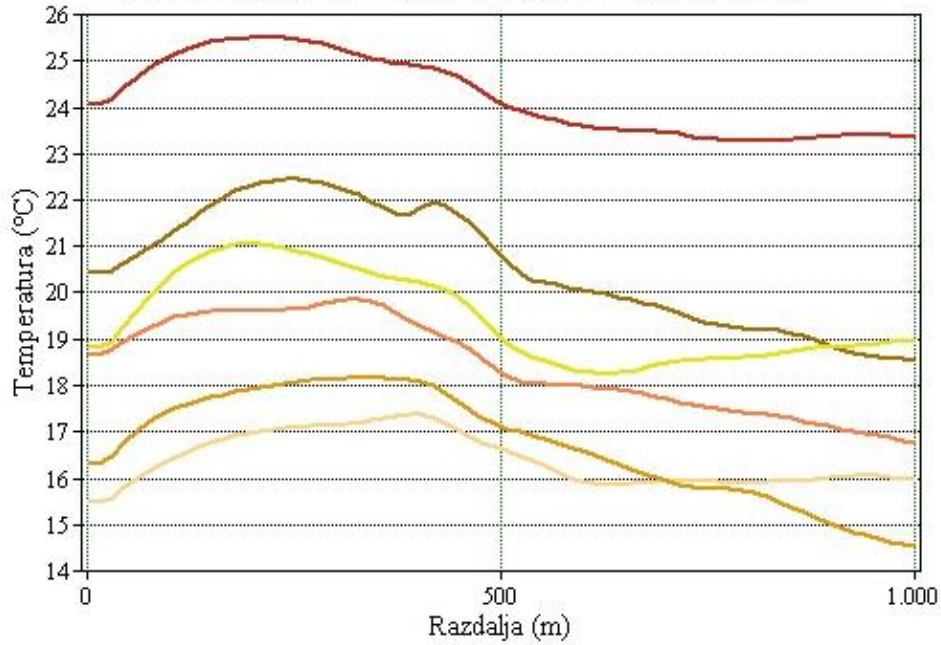
Legenda

- 16.02.2015
- 11.12.2013
- 13.02.2014

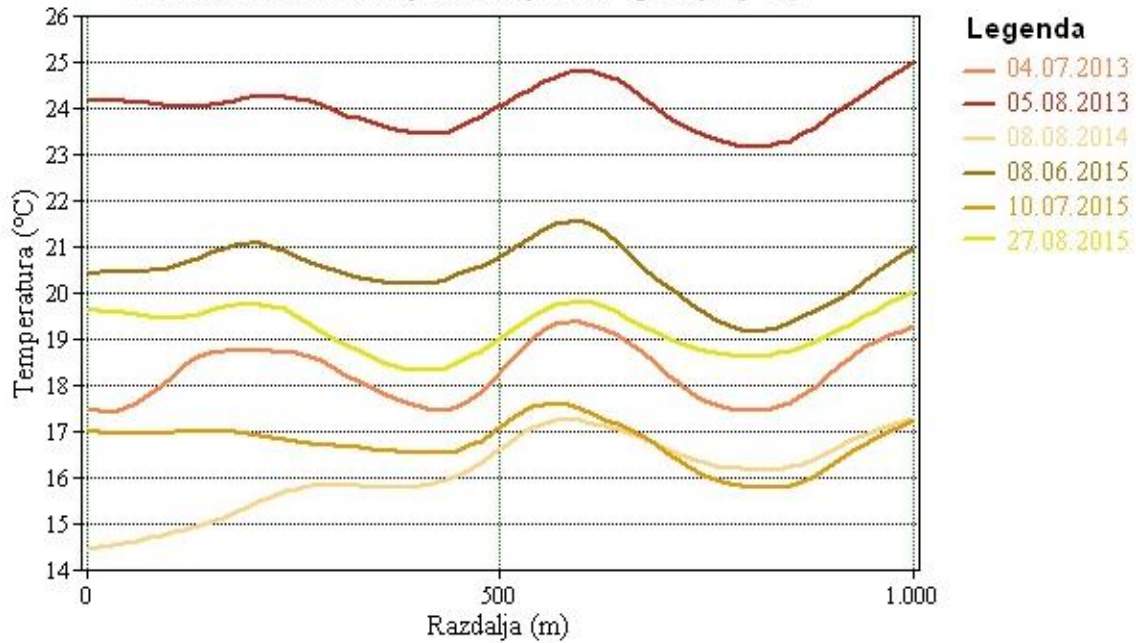
Jamski sistem Lukina jama-Trojama 1 - zima (y os)



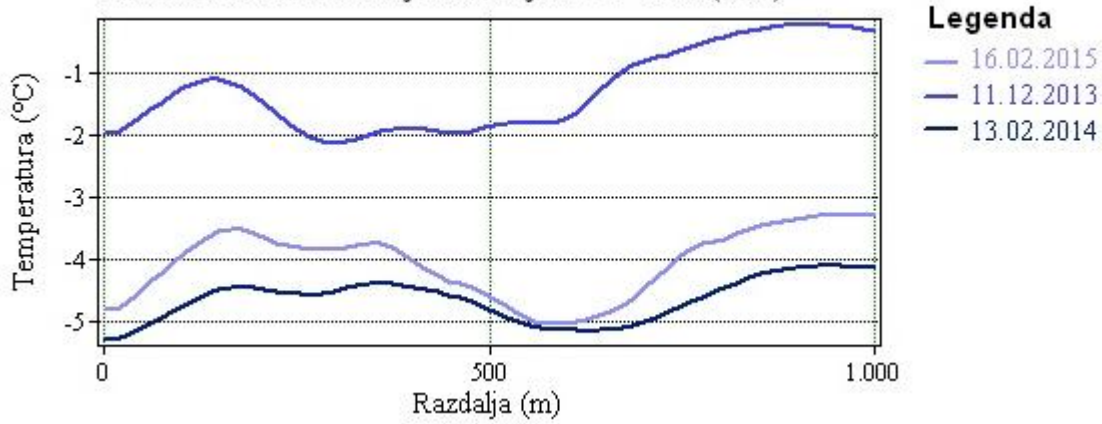
Jamski sistem Lukina jama-Trojama 2 - poletje (x os)



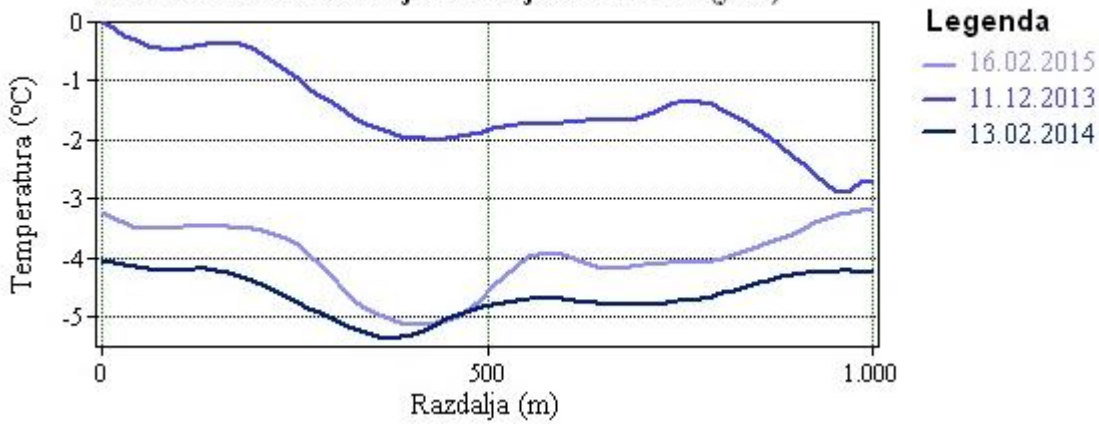
Jamski sistem Lukina jama-Trojama 2 - poletje (y os)



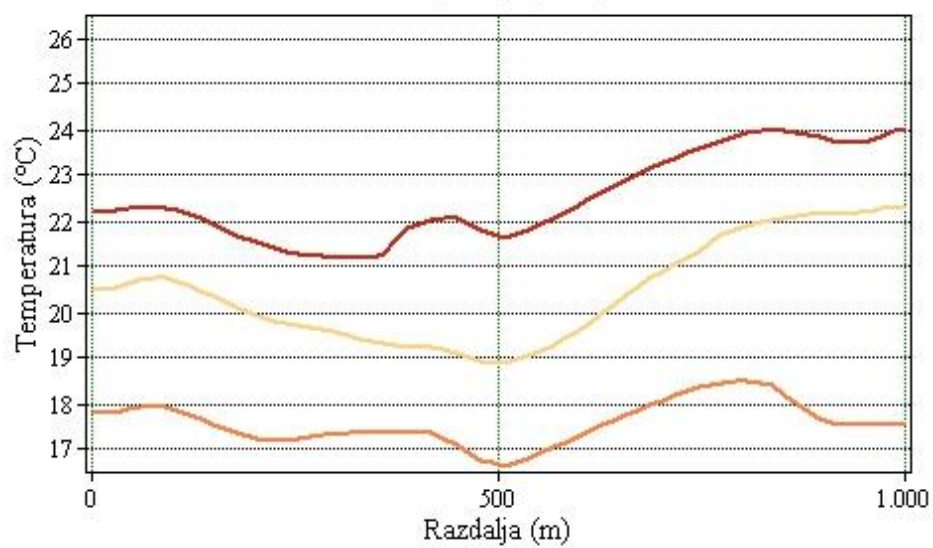
Jamski sistem Lukina jama-Trojama 2 - zima (x os)



Jamski sistem Lukina jama-Trojama 2 - zima (y os)



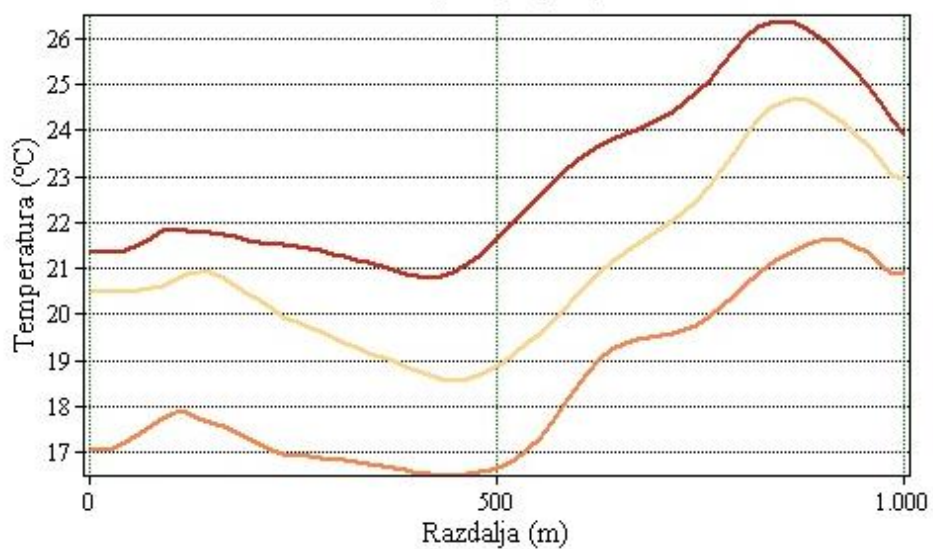
Mamut - poletje (x os)



Legenda

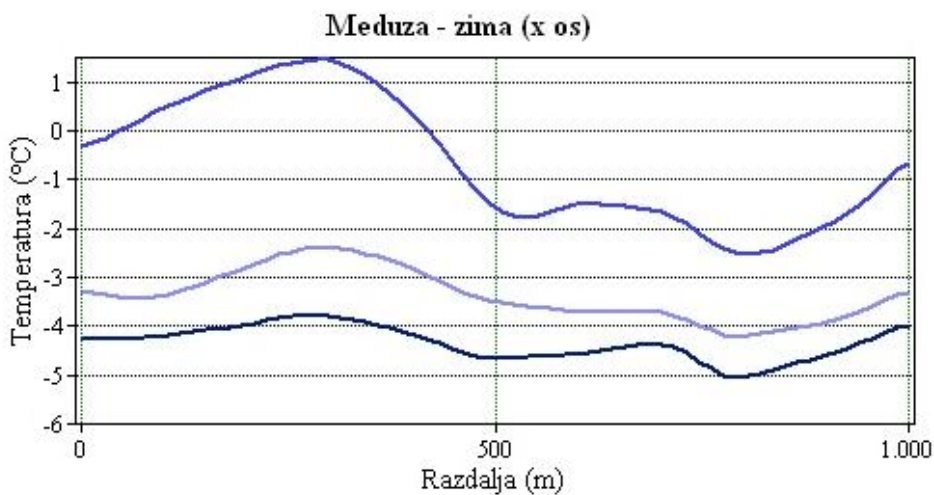
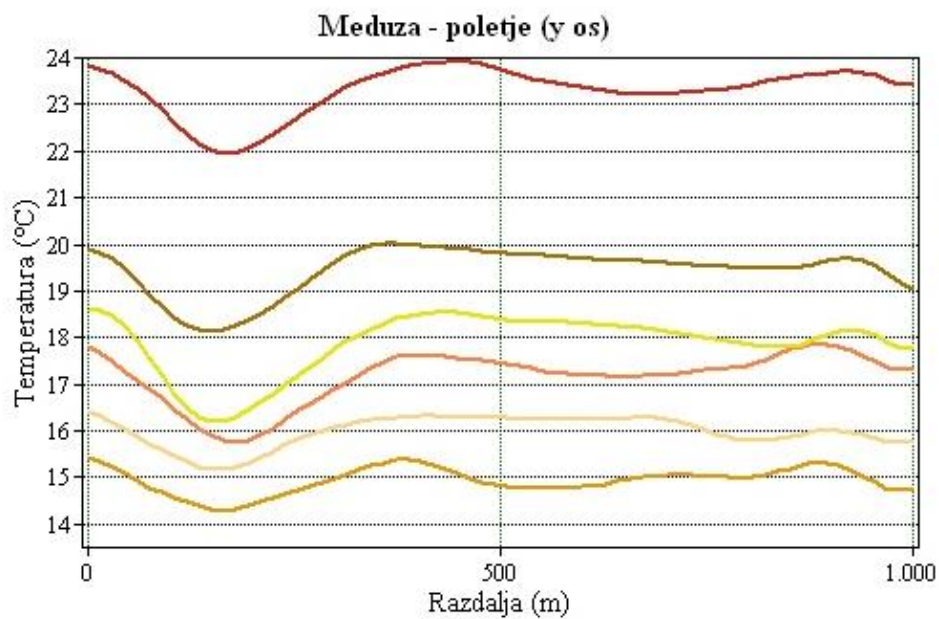
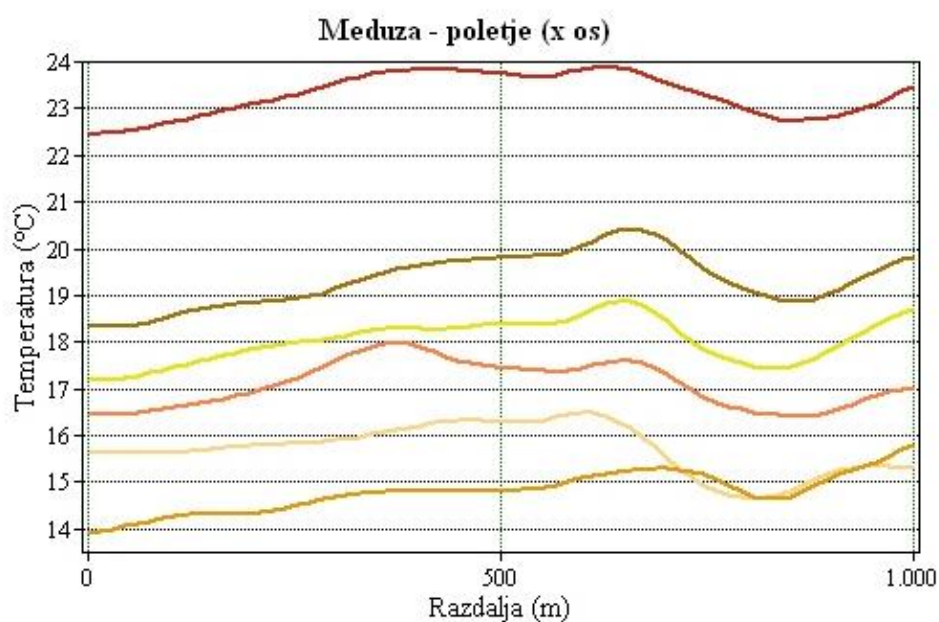
- 27.06.2013
- 14.08.2013
- 30.08.2013

Mamut - poletje (y os)

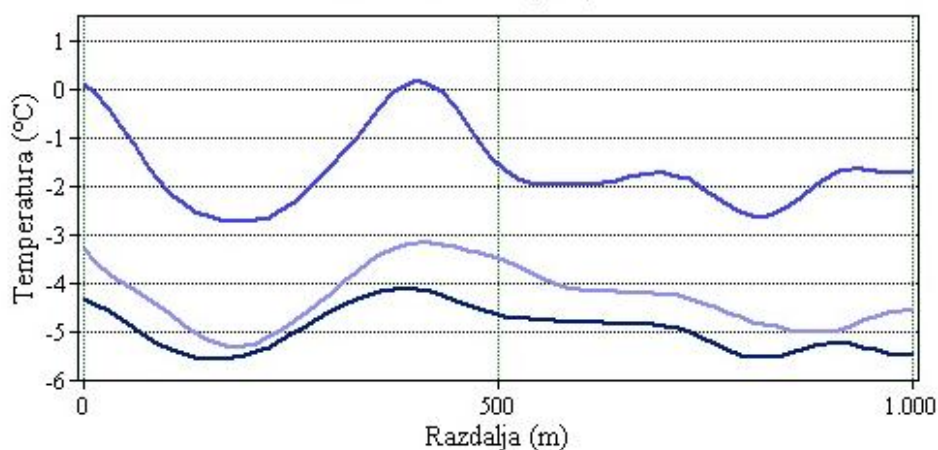


Legenda

- 27.06.2013
- 14.08.2013
- 30.08.2013



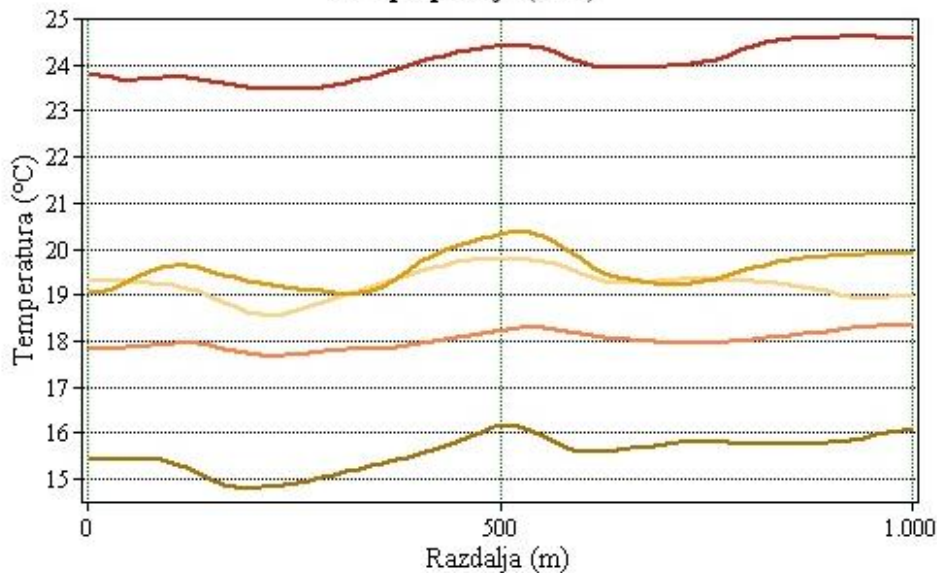
Meduza - zima (y os)



Legenda

- 16.02.2015
- 11.12.2013
- 13.02.2014

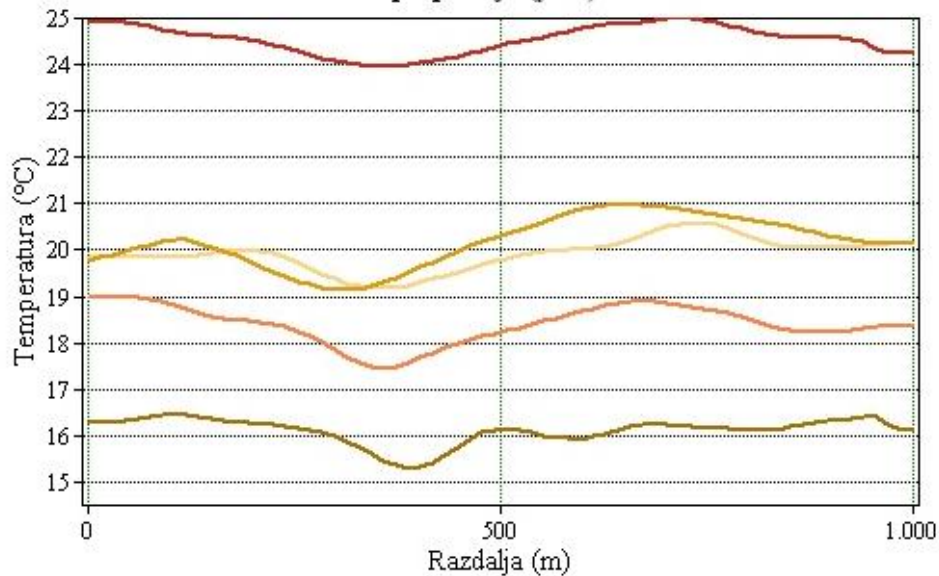
Olimp - poletje (x os)



Legenda

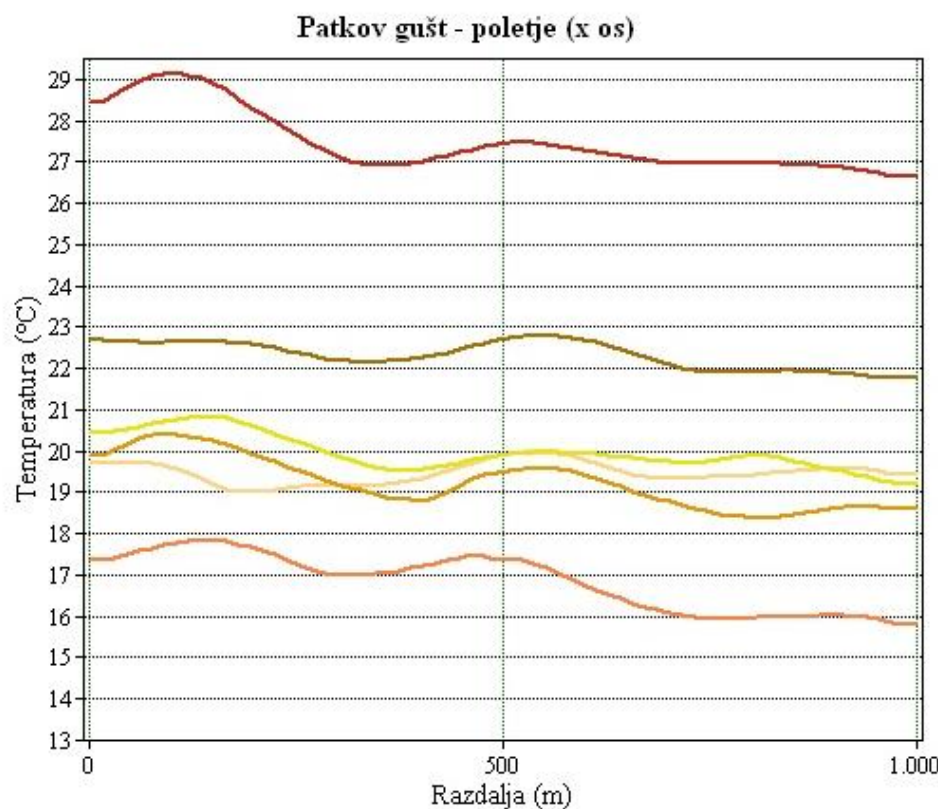
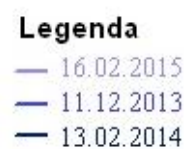
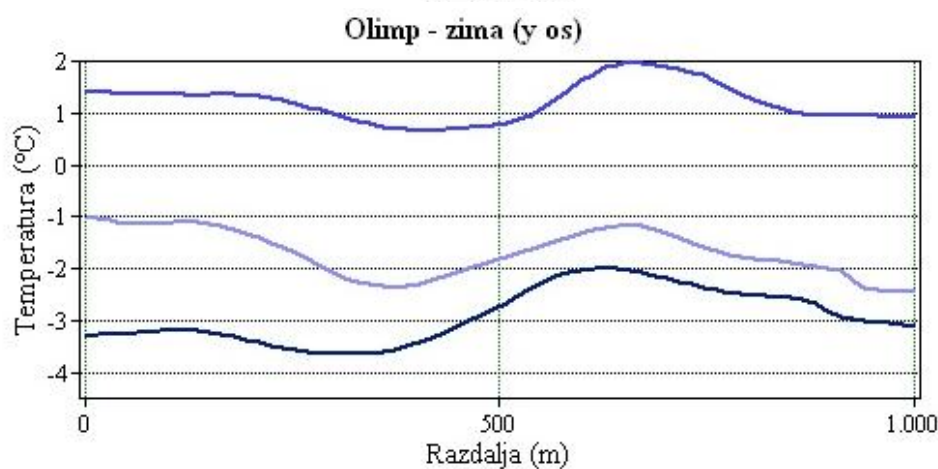
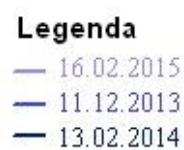
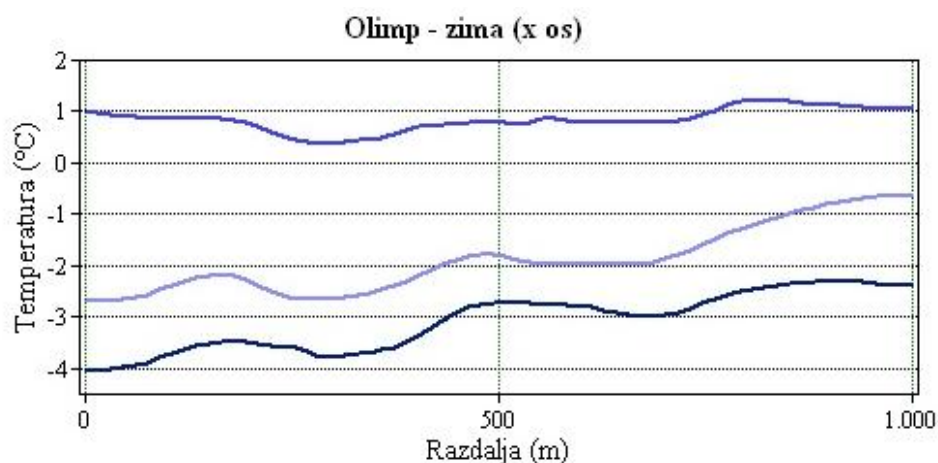
- 04.07.2013
- 05.08.2013
- 08.06.2015
- 10.07.2015
- 27.08.2015

Olimp - poletje (y os)

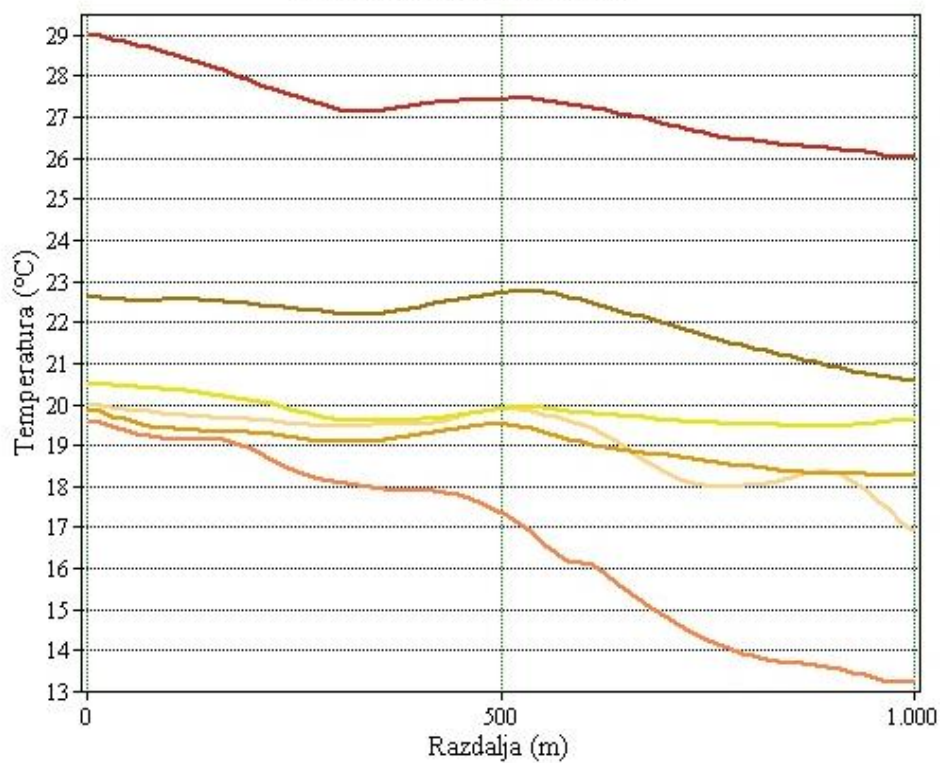


Legenda

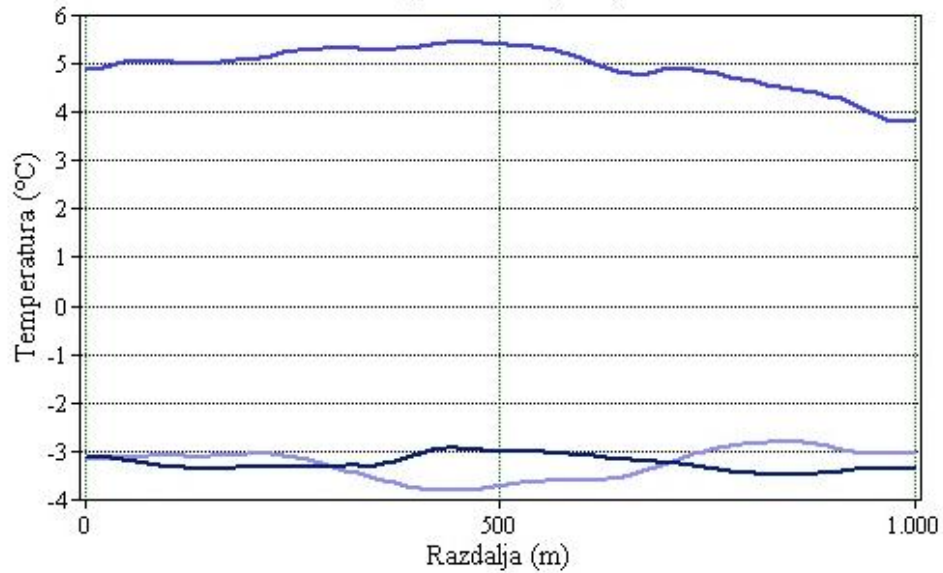
- 04.07.2013
- 05.08.2013
- 08.06.2015
- 10.07.2015
- 27.08.2015



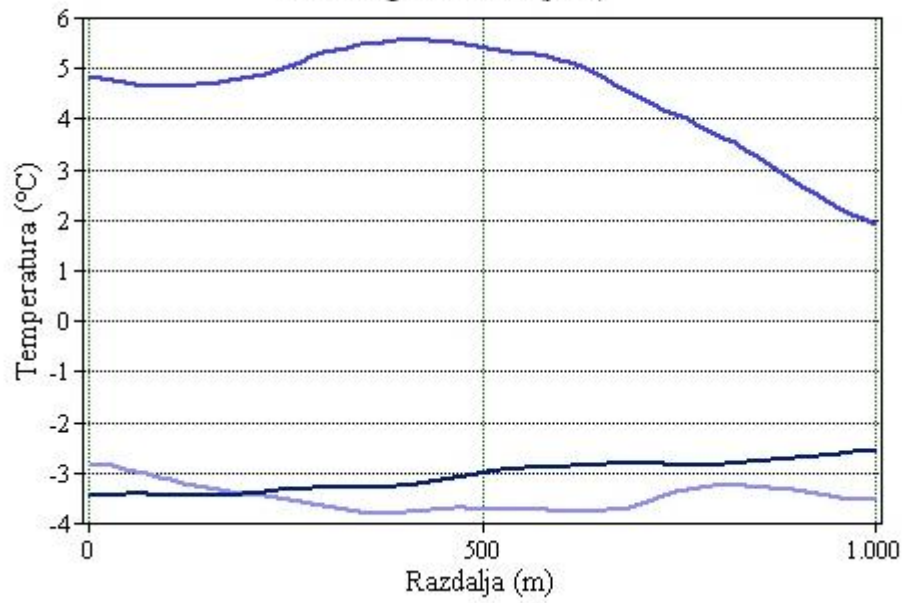
Patkov gušt - poletje (y os)



Patkov gušt - zima (x os)



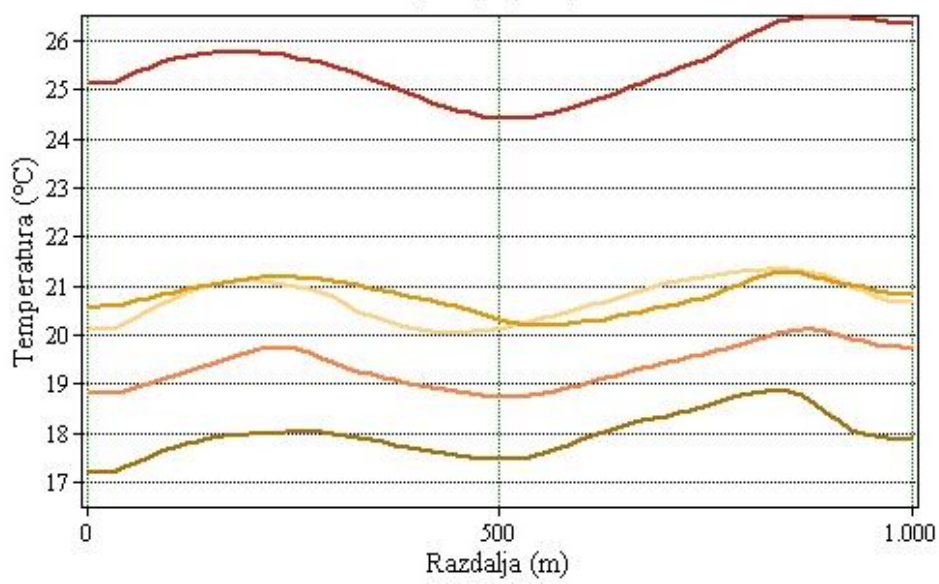
Patkov gušt - zima (y os)



Legenda

- 16.02.2015
- 11.12.2013
- 13.02.2014

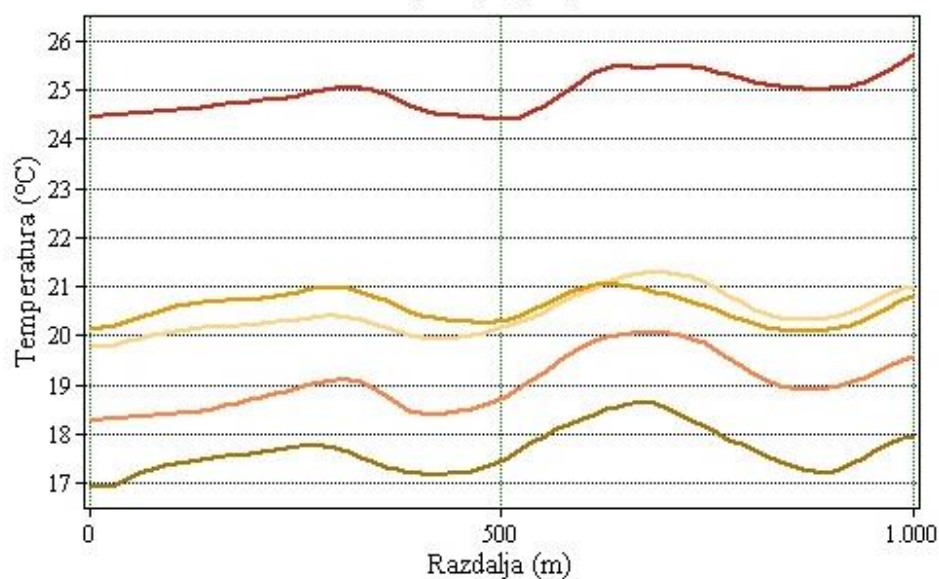
Paž - poletje (x os)



Legenda

- 04.07.2013
- 05.08.2013
- 08.06.2015
- 10.07.2015
- 27.08.2015

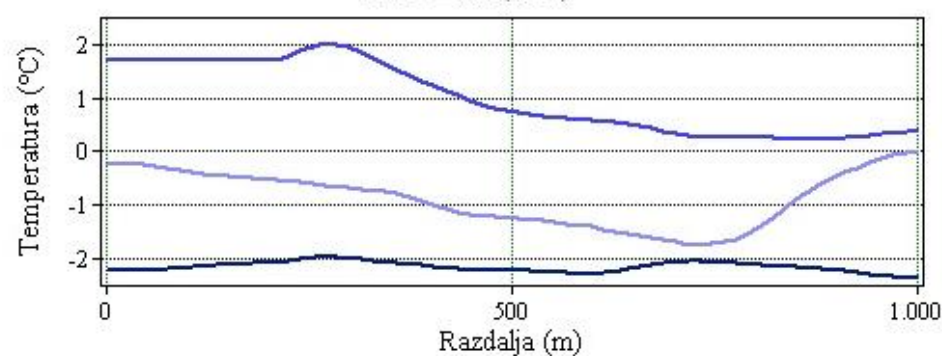
Paž - poletje (y os)



Legenda

- 04.07.2013
- 05.08.2013
- 08.06.2015
- 10.07.2015
- 27.08.2015

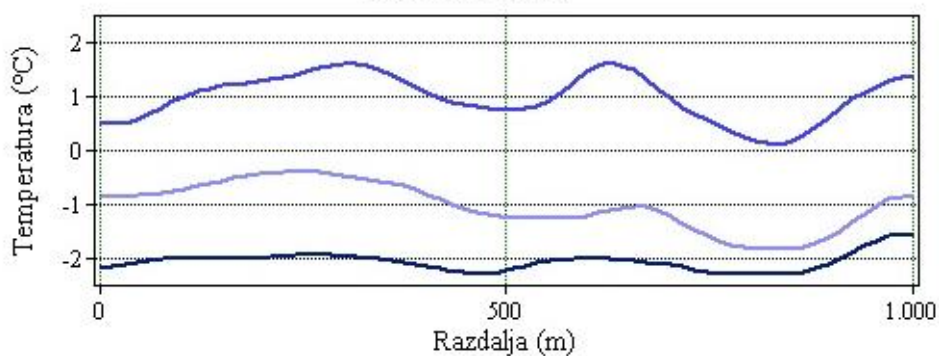
Paž - zima (x os)



Legenda

- 16.02.2015
- 11.12.2013
- 13.02.2014

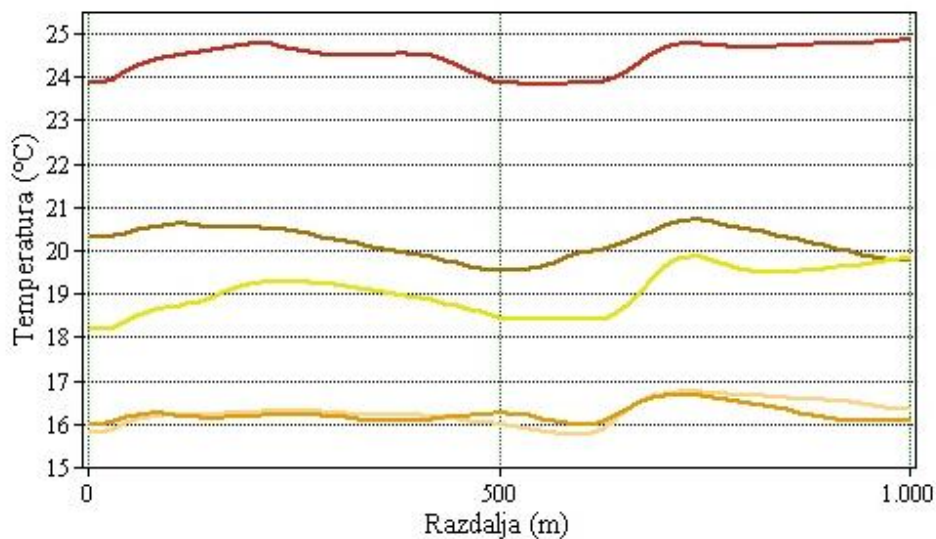
Paž - zima (y os)



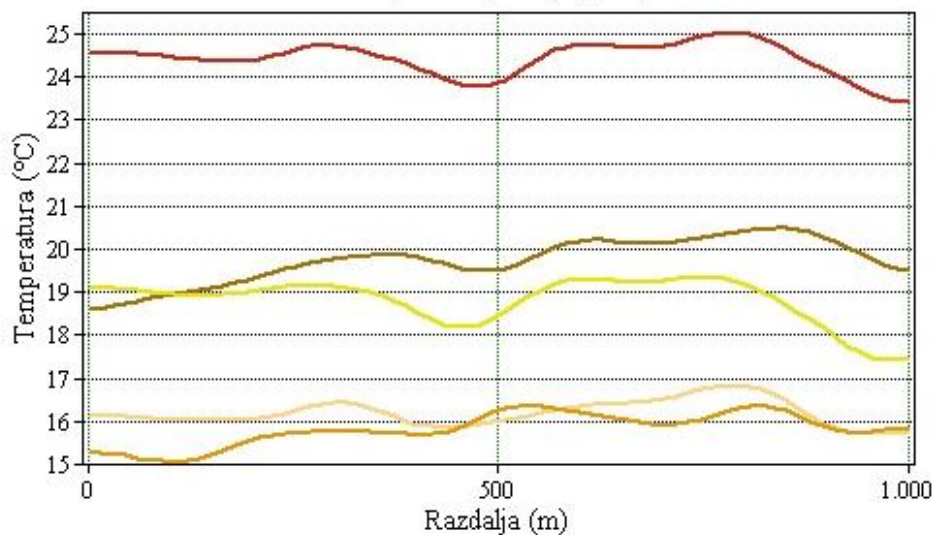
Legenda

- 16.02.2015
- 11.12.2013
- 13.02.2014

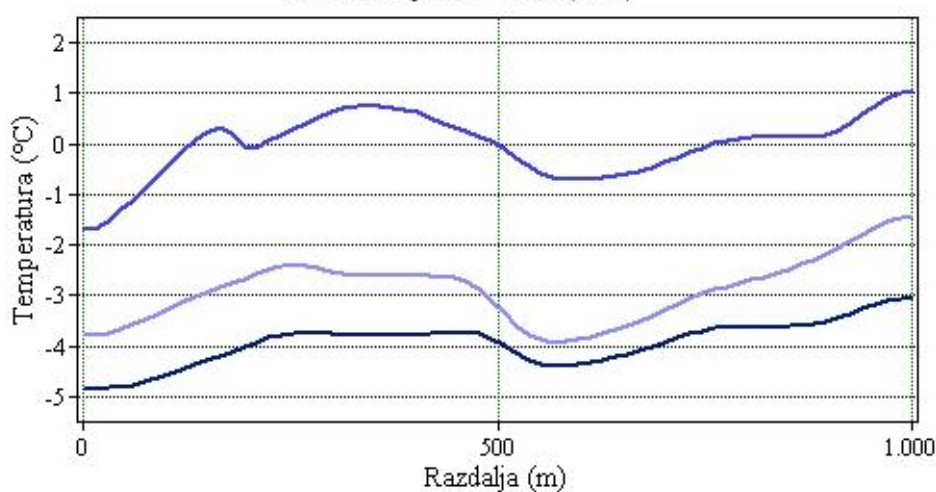
Slovačka jama - poletje (x os)



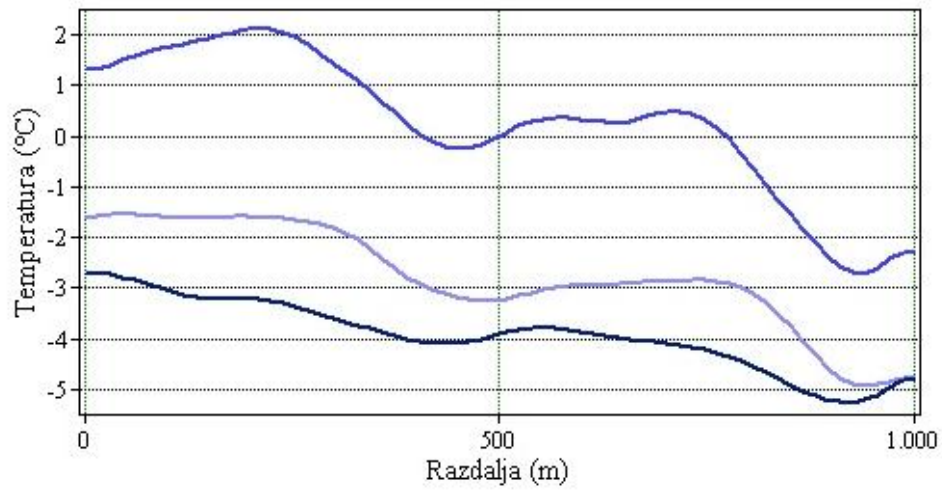
Slovačka jama - poletje (y os)



Slovačka jama - zima (x os)



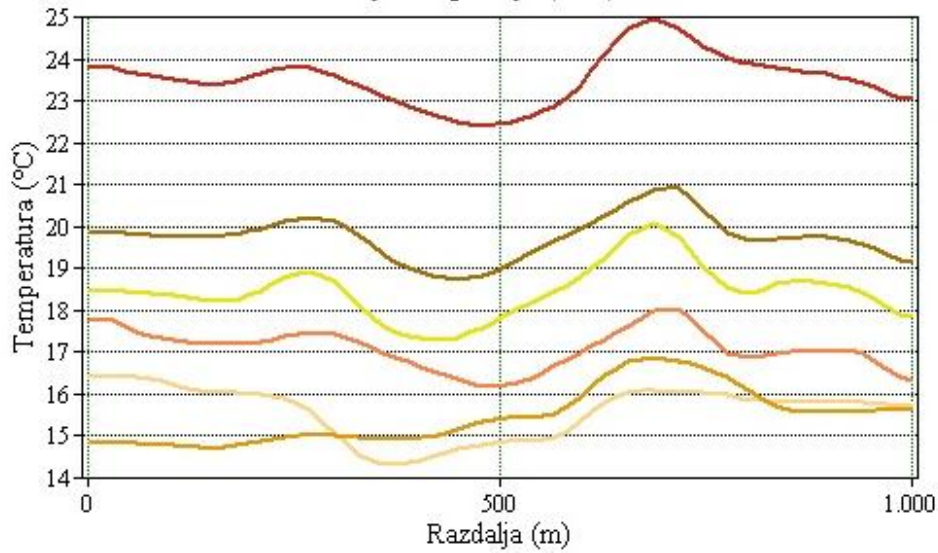
Slovačka jama - zima (y os)



Legenda

- 16.02.2015
- 11.12.2013
- 13.02.2014

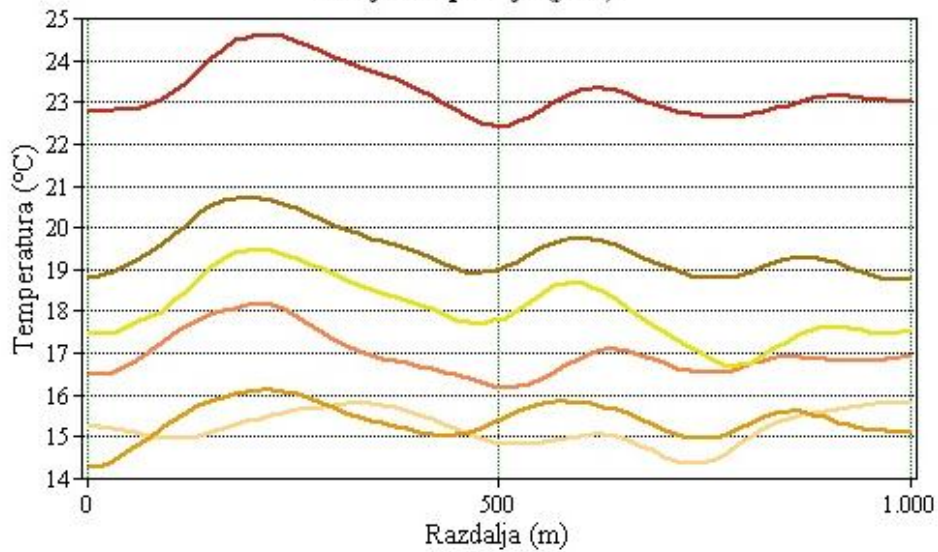
Vanjača - poletje (x os)



Legenda

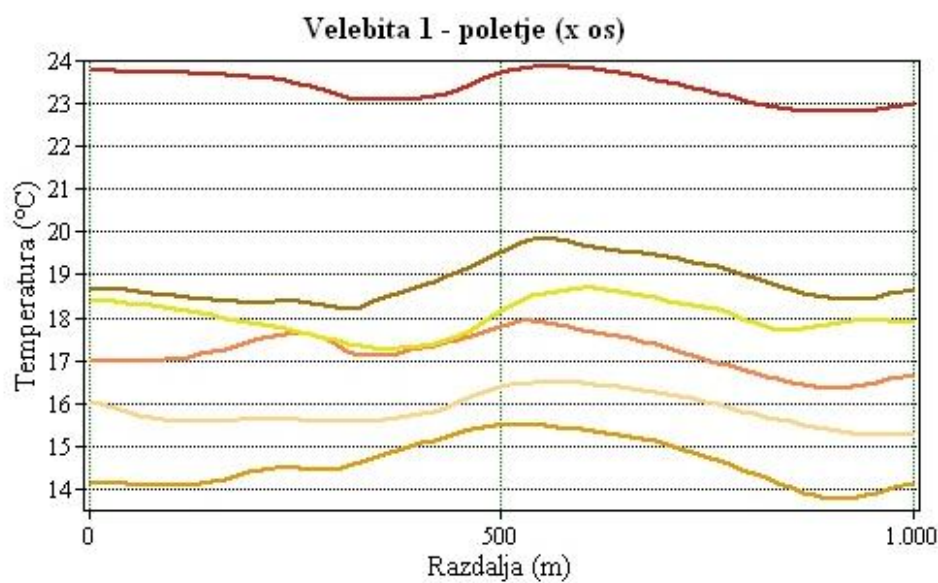
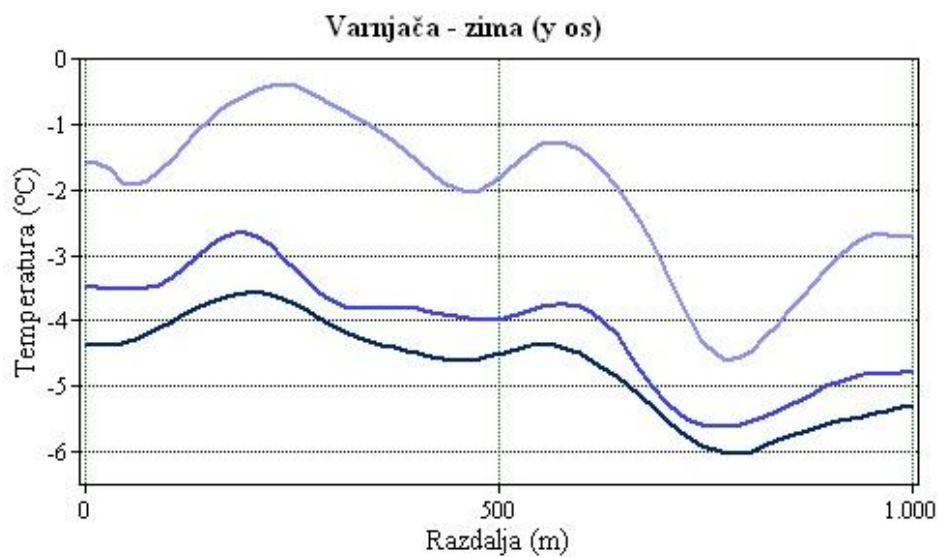
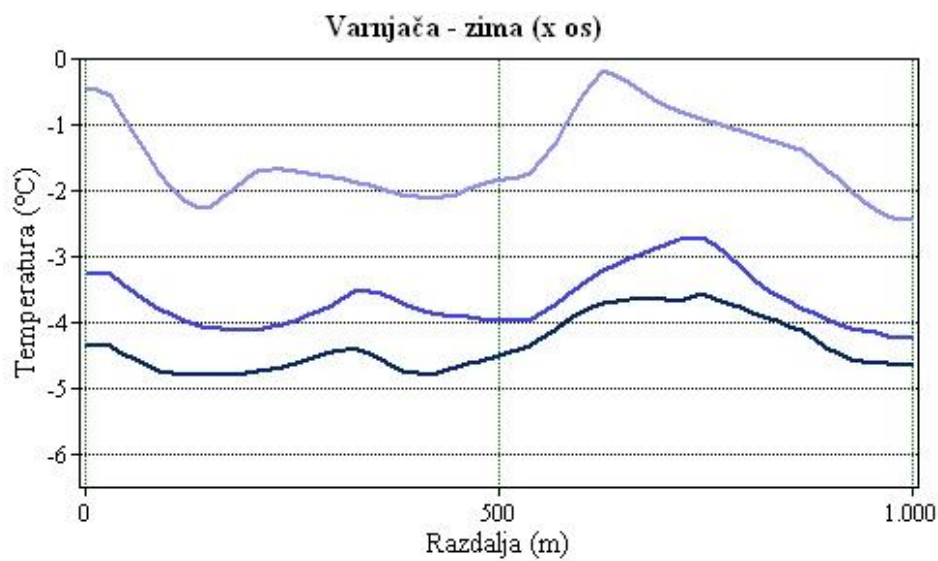
- 04.07.2013
- 05.08.2013
- 08.08.2014
- 08.06.2015
- 10.07.2015
- 27.08.2015

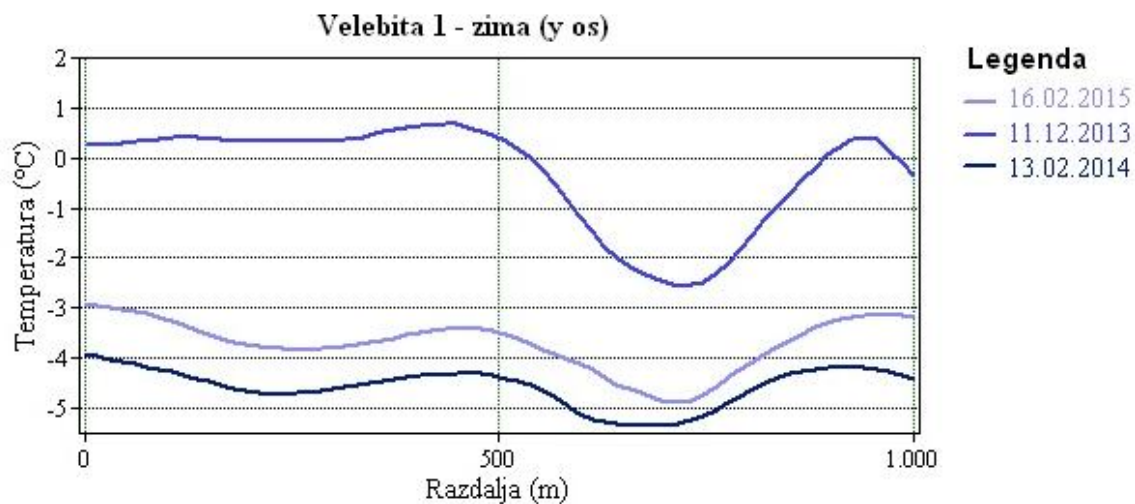
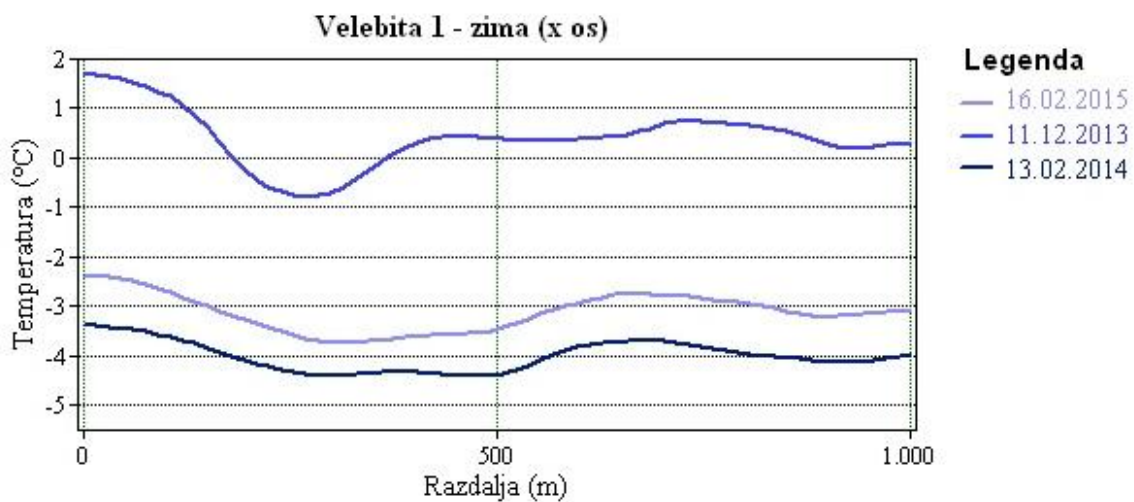
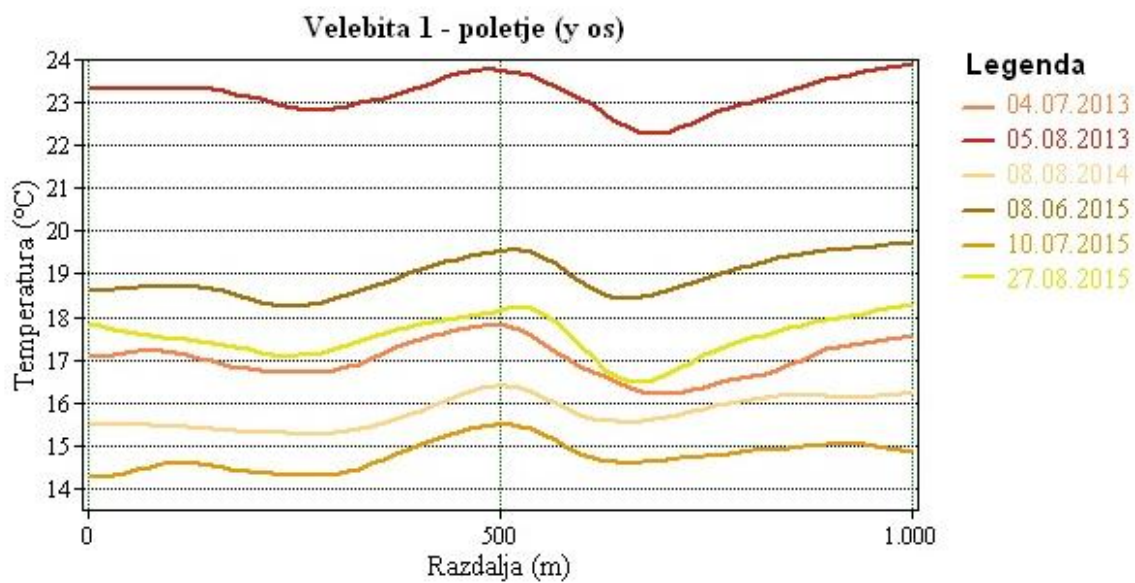
Vanjača - poletje (y os)

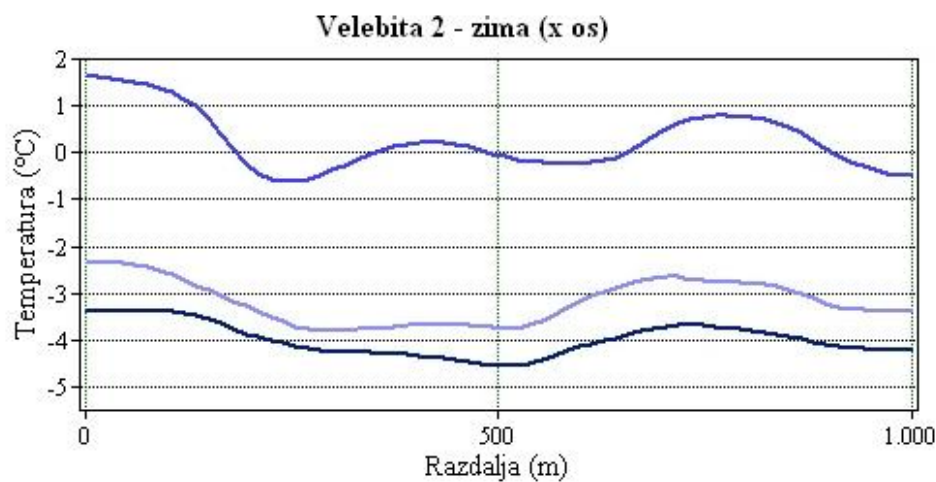
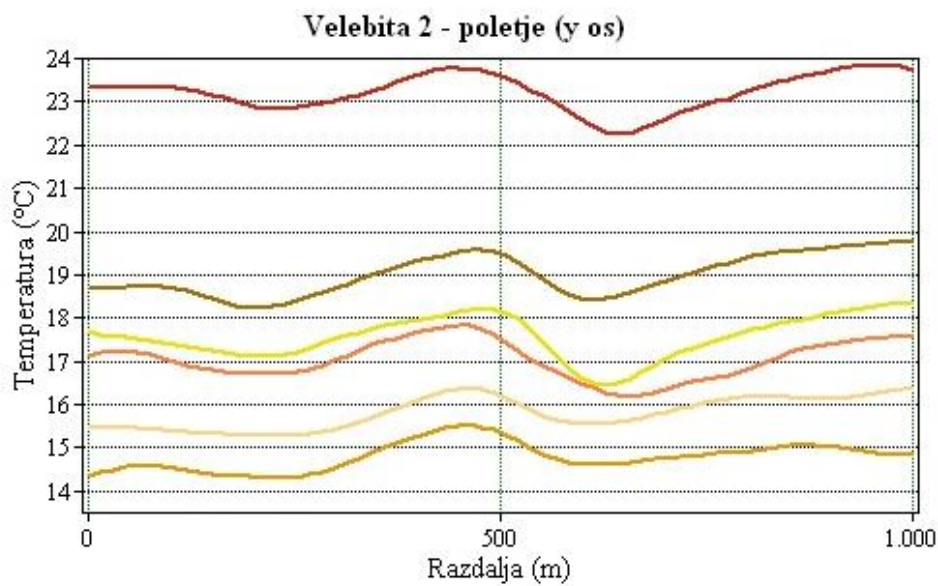
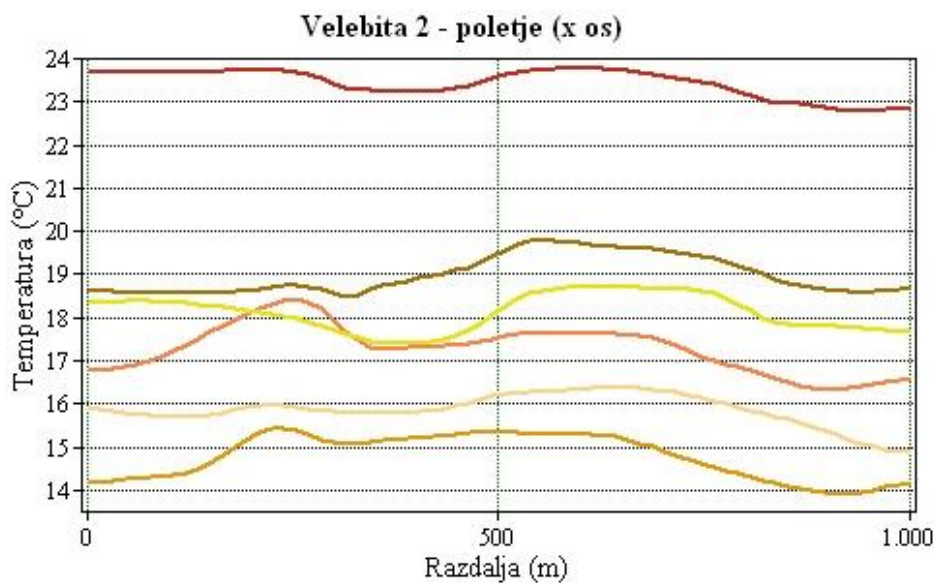


Legenda

- 04.07.2013
- 05.08.2013
- 08.08.2014
- 08.06.2015
- 10.07.2015
- 27.08.2015







Velebita 2 - zina (y os)

