

**ANALIZA GEOMETRIJE NAČRTOV IZ KATASTRA JAM S PODATKI
TERESTRIČNEGA LASERSKEGA SKENIRANJA**

GRADBENIŠTVO

RAZISKOVALNA NALOGA

Raziskovalca iz G3B

Ljubljana, 31. 3. 2021

KAZALO VSEBINE

1. UVOD	1
2. UPORABLJENE METODE IN PODATKI.....	2
2.1. Busolni poligon	2
2.2. Terestrično lasersko skeniranje.....	5
2.3. Opis obravnavanih jam.....	6
2.3.1. Rudnik mangana pod Šmarjetno goro	6
2.3.2. Mačkovica	7
2.3.3. Skednena jama.....	9
3. TERENSKE IZMERE IN OBDELAVE PODATKOV	10
3.1. Izmera v rudniku mangana pod Šmarjetno goro	10
3.2. Podatki in izmera v jami Mačkovica	12
4. ANALIZA OBDELAVE PODATKOV IN REZULTATOV.....	18
5. ZAKLJUČEK	24
VIRI	25

»Ta stran je namenoma prazna«

KAZALO SLIK

Slika 1: Busolni teodolit (http://www.geodetski-vestnik.com/53/1/gv53-1_136-139.pdf)	2
Slika 2: Laserski razdaljemer (https://www.limundo.com/kupovina/Masine-i-alati/Merni-i-regulacioni-instrumenti/Bosch-PLR-40-C-laserski-daljinomer-NOVO/74144641)	3
Slika 3: Geološki kompas (https://www.tehnomodeli.hr/product/co4074-geoloski-kompas/)	3
Slika 4: Kompas s plavajočo številčnico (https://kattr.ru/sl/turisticheskie-pohody/compass-and-its-designations-what-is-a-compass-how-to-use-a-compass-compass-orientation.html)	4
Slika 5: Klinometer (https://sl.wikipedia.org/wiki/Klinometer)	4
Slika 6: Registracija oblakov točk terestričnega laserskega skeniranja (Kogoj, 2015).	5
Slika 7: Slikovni laserski skener Leica BLK360.	6
Slika 8: Rovi v rudniku mangana pod Šmarjetno goro.	7
Slika 9: Mesto vhoda v rudnik mangana pod Šmarjetno goro (https://www.katasterjam.si/)	7
Slika 10: Pogled iz vhoda jame Mačkovica.	8
Slika 11: Lokacija Mačkovice (https://www.katasterjam.si/)	8
Slika 12: Skednena jama	9
Slika 13: Lokacija Skednene jame (https://www.katasterjam.si/)	9
Slika 14: Merjenje razdalj v busolnem poligonu.	10
Slika 15: Jamarski načrt rudnika mangana pod Šmarjetno goro.	11
Slika 16: Razporeditev stojišč pri skeniranju rudnika mangana pod Šmarjetno goro.	11
Slika 17: Načrt rudnika mangana pod Šmarjetno goro iz podatkov terestričnega laserskega skeniranja	12
Slika 18: Jamarski načrt 1 – Mačkovica (https://www.katasterjam.si/).	13
Slika 19: Jamarski načrt 2 – Mačkovica (https://www.katasterjam.si/).	13
Slika 20: Odseki registriranih oblakov točk v jami Mačkovica (kartografska podlaga https://www.katasterjam.si/)	14
Slika 21: Mačkovica – oblak točk odsek I.	14
Slika 22: Mačkovica – oblak točk odsek II.	14
Slika 23: Mačkovica – oblak točk odsek III.	15
Slika 24: Mačkovica – oblak točk odsek IV.	15
Slika 25: Mačkovica – oblak točk odsek V.	15
Slika 26: Mačkovica – načrt jame Mačkovica iz oblaka točk za odsek III.	15
Slika 27: Mačkovica – načrt jame Mačkovica iz oblaka točk za odsek V.	16
Slika 28: Jamarski načrt Skednene jame (https://www.katasterjam.si/).	16
Slika 29: Razporeditev stojišč pri skeniranju Skednene jame.	17
Slika 30: Načrt rudnika mangana pod Šmarjetno goro iz podatkov terestričnega laserskega skeniranja	17
Slika 31: Primerjava načrtov rudnika mangana pod Šmarjetno goro.	18
Slika 32: Prikaz odstopanj načrtov rudnika mangana pod Šmarjetno goro – 1. del.	19
Slika 33: Prikaz odstopanj načrtov rudnika mangana pod Šmarjetno goro – 2. del.	19
Slika 34: Prikaz odstopanj načrtov rudnika mangana pod Šmarjetno goro – 3. del.	20
Slika 35: Prikaz odstopanj načrtov jame Mačkovica: načrt 1 in odsek III.	20
Slika 36: Prikaz odstopanj načrtov jame Mačkovica: načrt 1 in odsek V.	21
Slika 37: Prikaz odstopanj načrtov jame Mačkovica: načrt 2 in odsek III.	21
Slika 38: Prikaz odstopanj načrtov jame Mačkovica: načrt 2 in odsek V.	22
Slika 39: Vklon načrta iz oblakov točk na jamarski načrt Skednene jame.	22
Slika 40: Prikaz odstopanj načrtov Skednene jame – del 1.	23
Slika 40: Prikaz odstopanj načrtov Skednene jame – del 2.	23

»Ta stran je namenoma prazna«

POVZETEK

V raziskovalni nalogi smo obravnavali geometrijo načrtov tlorisov kraških jam. Primerjali smo tlorise načrtov jamomerske metode izmere s pomočjo busolnega poligona in tlorise, ki smo jih izrisali iz oblakov točk terestričnega laserskega skeniranja. V nalogi predstavimo oba načina izmere in postopka izrisa tlorisa jame. Praktični del raziskovalne naloge vključuje izmero in obdelavo podatkov rudnika Mangana pod Šmarjetno goro ter kraških jam Mačkovica in Skednena jama. Glavni rezultat naloge je primerjalna analiza načrtov izbranih jam ter ugotavljanje razlik med metodama. Ugotovili smo, da na natančnost načrtov najbolj vplivata oblika in dolžina jame.

Ključne besede: busolni poligon, terestrično lasersko skeniranje, kraška jama, načrt

ABSTRACT

The research project examines the geometry of the karst caves plans. The floor plans based on the cavernous measurement method using a compass polygon and the floor plans drawn from the clouds of terrestrial laser scanning points are compared. Both measurement methods and the process of drawing the floor plan of the cave are explained. The practical part of the research includes the measurement and the processing of the data from the Mangana mine below Šmarjetna gora and the Mačkovica and Skednena jama karst caves. The main goal is to compare the cave plans of both measurement methods and to analyze the differences. We have established that the accuracy of the plans is primarily affected by the shape and the length of the cave.

Key words: compass polygon, terrestrial laser scanning, karst cave, plan

»Ta stran je namenoma prazna«

1. UVOD

Že od nekdaj je človek povezan z naravo in je od nje odvisen. Preden so ljudje začeli graditi hiše, so si svoja zatočišča uredili v jamah. Tudi kasneje, ko so se naselili v hiše, so se še vedno zatekali v jame in jih raziskovali. Tako se je začelo razvijati jamarstvo in s tem merjenje ter risanje načrtov jam. Pri merjenju jam se uporabljajo tudi geodetske metode izmere in enostavnejši instrumentarij ter pribor.

Jamarji danes za izmero in izris uporabljajo busolni poligon, pri katerem izmerimo dolžine in azimut med točkami poligona. Na tak način lahko izrišemo horizontalni potek oz. obliko jame. Kartografski prikazi jam vključujejo tudi vertikalni potek, kjer pri izmeri dodatno uporabljajo naklonomere.

Z merjenjem jam pa se ne ukvarjajo samo jamarji, temveč tudi geodeti in drugi strokovnjaki. Ena izmed možnosti, ki jo za izmero jame uporabljajo geodeti, je izmera z uporabo terestričnega laserskega skenerja. Ta metoda nam omogoča, da s pomočjo oblakov točk več stojišč, ki jih kasneje združimo v skupni oblak točk, izmerimo celotno jamo. Z obdelavo oblaka točk lahko s prerezi dobimo podobne prikaze, kot jih dobimo po tradicionalni jamarski metodi izmere.

Uporaba terestričnega laserskega skeniranja je v podzemnem svetu že kar pogosta. Pri iskanju literature sva zasledila, da kot začetek skeniranja v jamah velja projekt skeniranja jame Altamira, ki se nahaja v Španiji. Izmero in obdelavo so izvajali več let. Tehnologija je primerna predvsem zato, ker pridobimo številne informacije, npr. velikosti dvoran, prostornine, 3D-modele, različne prelete, podrobne strukturne in hidrogeološke analize kamnin, arheološke in geomorfološke analize ... (Oludare Idrees in Pradhan, 2016). Med drugim so bile v Sloveniji skenirane že Skednena jama (Mihevc in Urbančič, 2019), Ulica pečina (Blaznik, 2019), Županova jama (Podržaj, 2020), Kamniška jama (Holcar, 2019) itd.

Odločila sva se, da v raziskovalni nalogi spoznava obe omenjeni metodi izmere in na osnovi praktičnih primerov izmere ugotoviva, kakšna je razlika med končnimi rezultati. Osredotočila sva se le na horizontalni prikaz oblike jame oz. tloris. Glavni raziskovalni cilj naloge je ugotoviti, kako natančni so kartografski prikazi jamarske metode izmere oz. načrti iz arhiva Katastra jam.

Osredotočila sva se na nekaj parametrov, ki gotovo vplivajo na kakovost izrisa načrta. Ti so: dolžina, globina, velikost dvoran in premer rovov. Na osnovi teh kriterijev sva izbrala tri jame: opuščeni rudnik mangana pod Šmarjetno goro ter kraški jami Mačkova in Skednena jama. Pri raziskovanju jam so nama poleg mentorja in somentorja s svojimi izkušnjami, opremo in premstvom pomagali jamarji iz Jamarskega društva Carnium iz Kranja.

Raziskovalna naloga je sestavljena iz petih poglavij. Uvodno poglavje predstavi idejo za raziskovalno nalogo in cilje raziskovanja. V drugem poglavju so predstavljene teoretične osnove obeh uporabljenih metod izmere in podatki o raziskanih jamah. V tretjem poglavju so prikazani postopki obdelave podatkov. Rezultati in primerjava so predstavljeni v četrtem poglavju, v petem poglavju pa so zbrane ugotovitve in komentarji.

2. UPORABLJENE METODE IN PODATKI

V tem poglavju najprej podrobneje predstaviva obe uporabljeni metodi izmere jam, torej busolni poligon in terestrično lasersko skeniranje. V nadaljevanju predstaviva še vse tri obravnavane jame. Izbrala sva rudnik mangana pod Šmarjetno goro in kraški jami Mačkovica in Skednena jama.

2.1. Busolni poligon

Busolni poligon je metoda izmere, ki se med drugim uporablja tudi za izmere kraških jam. S to metodo ne izmerimo same jame, temveč določamo lego posameznih točk v prostoru. Povezavo med dvema točkama imenujemo vizura, več vizur skupaj pa imenujemo mnogokotnik oziroma poligon (Urankar, 2001). Uporabljamo ga tam, kjer ne moremo razviti normalnega poligona. Namesto horizontalnih kotov merimo magnetne azimute, zato uporabljamo poseben busolni teodolit (slika 1) ali navaden teodolit z nataknjeno busolo. Pri preprostejši izvedbi izmere pa busolo oz. kompas držimo v roki.



Slika 1: Busolni teodolit (http://www.geodetski-vestnik.com/53/1/qv53-1_136-139.pdf).

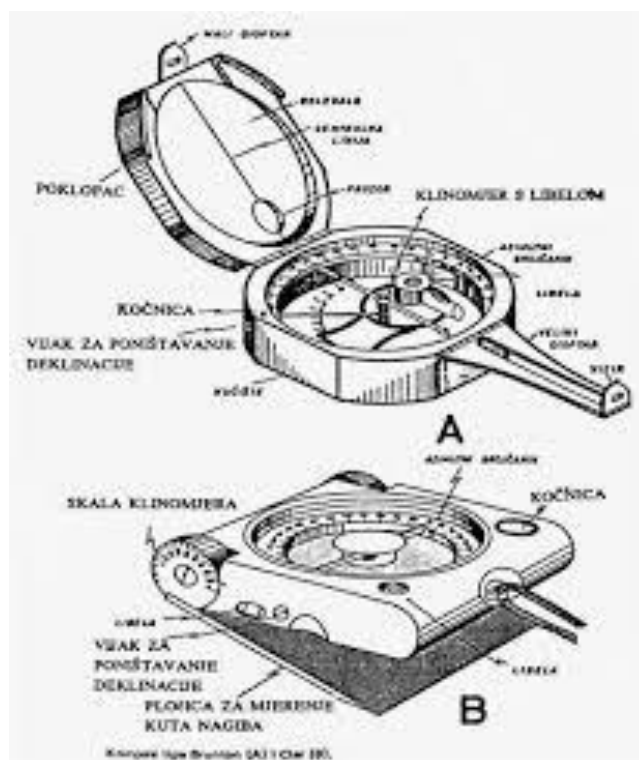
Busolni poligon je lahko v obliki slepega, zaključenega, obojestransko navezanega, prostega poligona, lahko ga izračunamo v lokalnem ali absolutnem koordinatnem sistemu, odvisno od oblike. Magnetna deklinacija je kot med magnetnim in geografskim severom, ki se spreminja glede na lego stojišča. Magnetna inklinacija je kot, ki ga magnetna igla tvori s horizontalo.

V preteklosti so za merjenje uporabljali samo merske trakove. Metrski trak dolžine 30 m so uporabljali za izmero krajših jam. Za izmero daljših jam so uporabljali 50 m dolge merske trakove. Namesto merskega traku je v zadnjih letih pogostejša uporaba laserskih razdaljemerov (slika 2), ki nam izmeri razdaljo med razdaljemerom in točko, na podlagi časa, ki ga laserski žarek porabi za pot do točke in nazaj.



Slika 2: Laserski razdaljemer (<https://www.limundo.com/kupovina/Masine-i-alati/Merni-i-regulacioni-instrumenti/Bosch-PLR-40-C-laserski-daljinomer-NOVO/74144641>).

Jamarji za merjenje azimuta uporabljajo magnetne kompase dveh osnovnih tipov: geološke kompase ali kompase s plavajočo številčnico. Geološki kompasi (slika 3) imajo pritrjeno številčnico, na kateri so koti označeni v nasprotni smeri urinega kazalca. Prednost teh kompasov je v tem, da imajo vgrajen naklonomer, pomanjkljivost pa je nenatančno izdelan tovarniški vizir. Običajno imajo vgrajeno tudi krožno libelo.



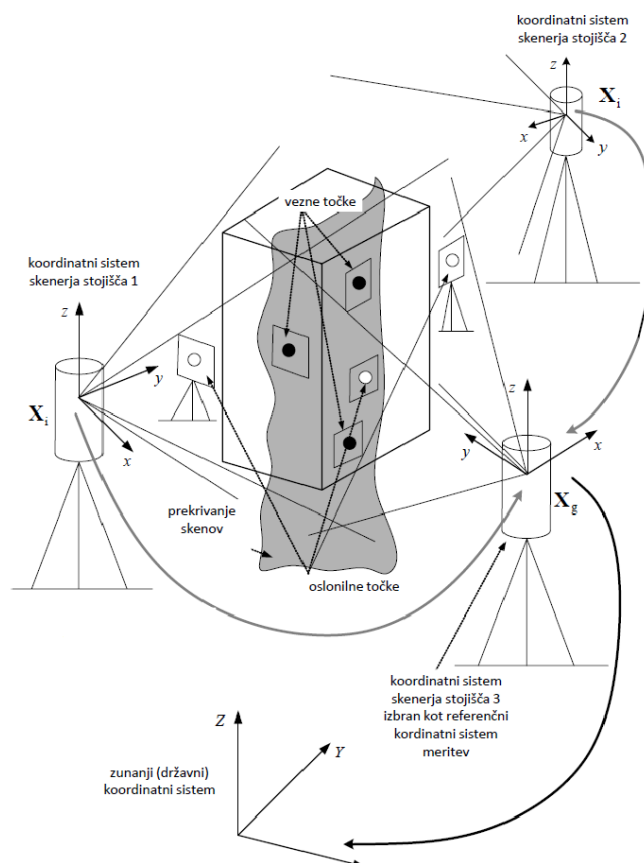
Slika 3: Geološki kompas (<https://www.tehnomodeli.hr/product/co4074-geoloski-kompas/>).

Danes so pogostejše v uporabi kompasi s plavajočo številčnico (slika 4). Od geoloških se razlikujejo po tem, da nimajo igle, temveč številčnica plava v olju. Z enim očesom viziramo, z drugim pa odčitamo smer.

2.2. Terestrično lasersko skeniranje

Princip delovanja terestričnega laserskega skenerja je zelo podoben klasičnemu geodetskemu instrumentu, t. j. tahimetru. Metodo terestričnega laserskega skeniranja pogosto poimenujemo lidar, ker je za merjenje razdalje med objektom in laserskim skenerjem uporabljena laserska svetloba. Izraz lidar izhaja iz angleške besedne zveze »light detection and ranging«. Pri tej metodi na osnovi merjenih vrednosti v polarnem koordinatnem sistemu instrumenta (merimo horizontalno smer, vertikalni kot in poševno dolžino) vsaki izmerjeni točki za lažje delo izračunamo pravokotne koordinate.

Z vsakega stojišča dobimo po en oblak točk, ki jih z obdelavo združimo v skupni oblak. To obdelavo imenujemo registracija (slika 6). Skupni oblak lahko uporabimo za dokumentacijo trenutnega stanja, merjenje sprememb objekta, prostornin, naklonov, površin in razdalj, hitro in natančno izdelavo načrtov realnega stanja, izdelavo 3D-modela in sprehod skozi oblak točk s pomočjo navidezne resničnosti ipd.



Slika 6: Registracija oblakov točk terestričnega laserskega skeniranja (Kogoj, 2015).

Prednosti laserskega skeniranja so: kratek čas zajema podatkov, delovanje v temi, koordinate merjenih točk določimo v skoraj realnem času, brezkontaktno merjenje, večkratna uporaba podatkov in enostavno upravljanje instrumenta. Kot slabosti pa lahko navedemo, da pri laserskem skeniranju porabimo veliko časa za obdelavo, potrebna je kakovostna strojna in namenska programska oprema, na rezultate znatno vpliva kakovost odbojnih površin, pri obdelavi nam pogosto težave predstavljajo neželene točke.

Način delovanja laserskih skenerjev je zelo podoben delovanju tahimetrov, ki uporabljajo lasersko svetlobo za merjenje razdalj. Poslani laserski žarek se odbije od objekta in nam s podatkom o izmerjenih kotih omogoča določitev prostorskih koordinat.

V raziskovalni nalogi sva uporabila slikovni skener Leica BLK360 (slika 7), ki je statičen, impulzen in srednjega dosega.

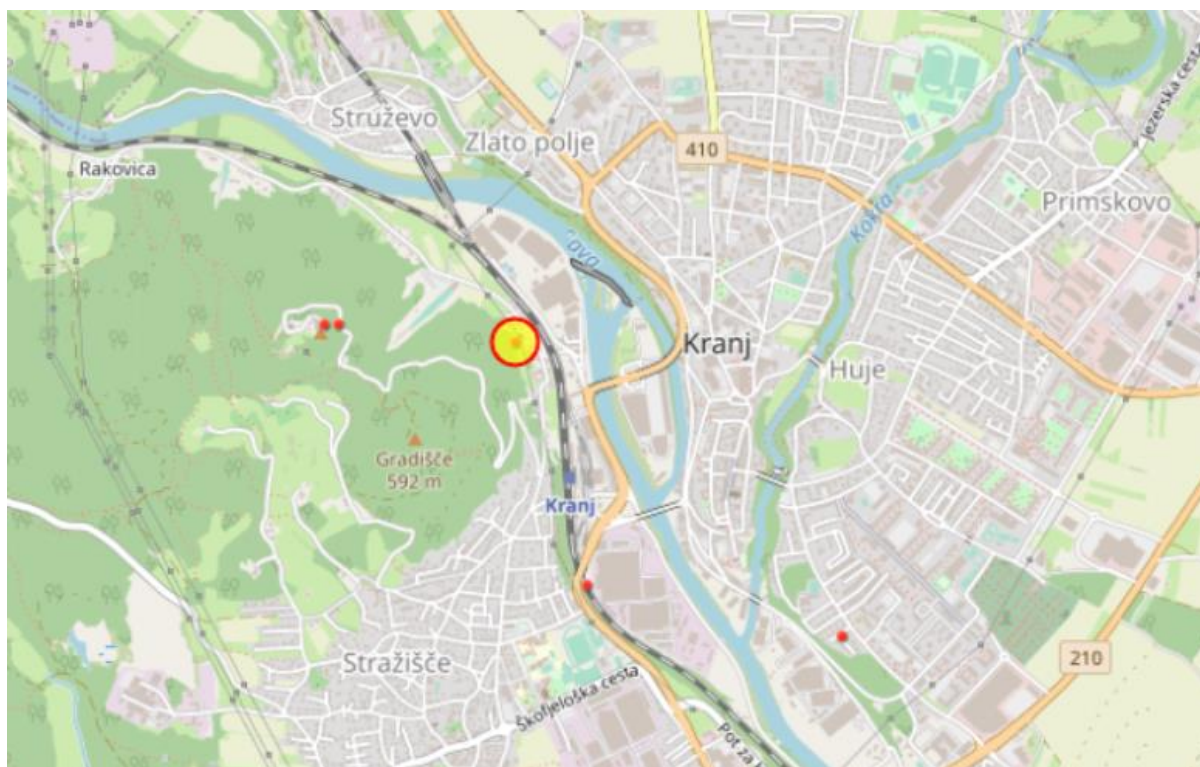


Slika 7: Slikovni laserski skener Leica BLK360.

2.3. Opis obravnavanih jam

2.3.1. Rudnik mangana pod Šmarjetno goro

Rudnik mangana skupaj z jamo spada v občino Kranj (slika 8). Ob vznožju Šmarjetne gore je na prelomu 19. in 20. stoletja deloval manjši rudnik. Z manganom je oskrboval takratno jeseniško železarno. Rudnik je bil pomemben del gorenjskega železarstva, predvsem ko so leta 1872 z iznajdbo postopka dodajanja mangana popolnoma spremenili izdelovanje jekla po vsem svetu. Rovi so prostorni, veliki 5 m krat 5 m in so samonosilni (slika 9). Po njih so bili speljani tiri za rudniške vozičke. Te so po tirih premikali ročno ali pa so jih vleкли s konji. Med kopanjem so rudarji presekali več manjših brezen oziroma naravnih jam, ki so nastale v apnencu Šmarjetne gore. Iz njih so se nekatere jamske živali preselile v rudnik. Tako v rudniku lahko srečamo jamsko kobilico, jamske pajke, netopirje in sove. Rudnik so našli člani jamarskega društva Carnium, ko so raziskovali neznane objekte v okolici Kranja. Pri raziskovanju velike cisterne za požarno vodo in zaklonišč pod mestom so odkrili skoraj 400 metrov dolg rudnik mangana pod Šmarjetno goro. Rovi so dobro ohranjeni, čeprav so zaprti že več kot 100 let. V rudniku so 11. septembra 2006 odkrili tudi jamo, ki je v Katastru jam zavedena pod katastrsko število 11683. Tip jame je 5.3, kar pomeni, da je jama poševna, etažna z brezni. V dolžino meri 29 m, v globino pa 24 m. Kota vhoda v opuščeni rudnik je na 370 m nadmorske višine.



Slika 8: Mesto vhoda v rudnik mangana pod Šmarjetno goro (<https://www.katasterjam.si/>).

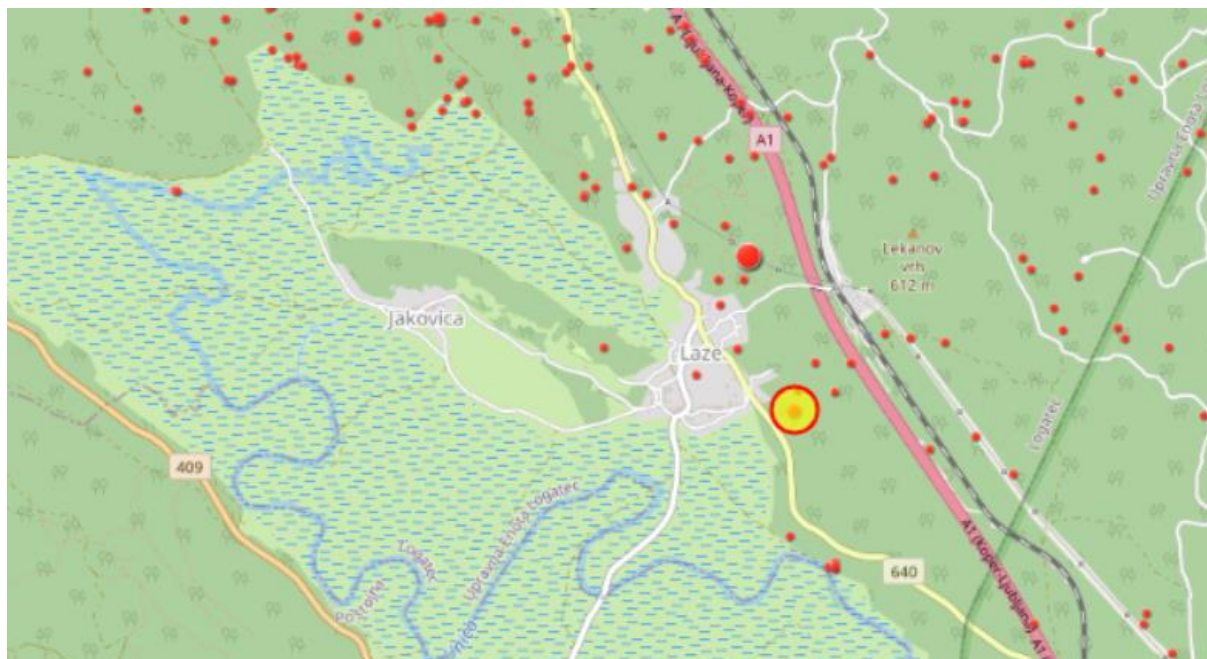


Slika 9: Rovi v rudniku mangana pod Šmarjetno goro.

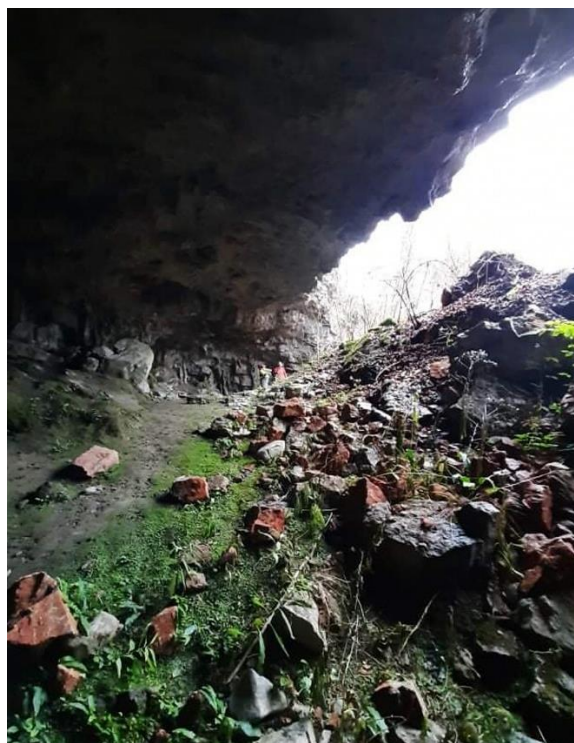
2.3.2. Mačkovica

Mačkovica je kraška jama s katastrsko številko 52 in se nahaja v občini Logatec, v naselju Laze (slika 10). Je vodoravna jama, tipa 5.2. Raziskani del jame je dolg 807 m in globok 45 m. Jamo so 8. 12. 1926 odkrili Valter Bohinc, Roman Kenk in Albin Seliškar. V Kataster jam je bila vpisana 18. 9. 1990. Skalnatí vhodni rov (slika 11) se počasi spušča, nato pa se razširi v Malo

dvorano. Ta je znana po ponvica, preko katerih se preliva voda in ustvarja miniaturne kaskade ob večjih poplavih na Planinskem polju. Jama se nadaljuje s kratkim vzponom skozi rov, preko katerega pridemo v Veliko dvorano. Po ocenah jamarjev znaša njena prostornina okoli 30 000 m³. Proti severu se dno Velike dvorane spušča in preide v severozahodni rov, ta pa se konča s pasažo, ki ji sledi Blatni rov s sifonom. Ob visoki vodi je sifon poplavljen. Mačkovica je znana predvsem po podzemnem živalstvu, v jami je bil odkrit tudi slepi jamski hrošč drobnovratnik.



Slika 10: Lokacija Mačkovice (<https://www.katasterjam.si/>).



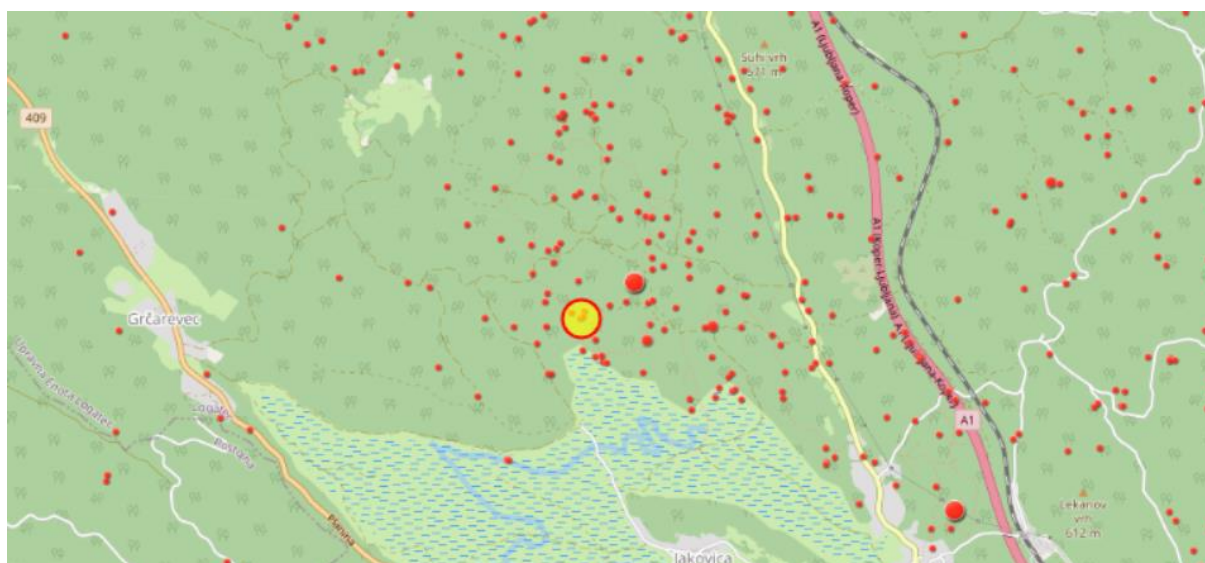
Slika 11: Pogled iz vhoda jame Mačkovica.

2.3.3. Skednena jama

Skednena jama je vodoravna jama, tipa 5.2. V Katastru jam jo najdemo pod katastrsko številko 224. Jamo so 23. 4. 1933 odkrili Lojze Leskovec, Ivan Michler in Zoran Michler. Njen južni vhod je prikazan na sliki 12. Po podatkih iz Katastra jam, v katerega je bila vpisana 18. 9. 1990, meri 209 m in je globoka 30 m. Včasih je bila del ponornega sistema reke Unice. Nahaja se severno od Planinskega polja in vzhodno od Lanskega vrha (slika 13). V jamo lahko pridemo skozi tri vhode, od katerih sta dva vodoravna, eden pa vodi skozi strop jame, ki je ostanek kamina. Ime jame izhaja iz oblike tal, ki so podobna skednju. Jama se razteza v smeri sever-jug in po obliki spominja na tunel, zato pravimo, da je tunelskega tipa, kar nakazuje na nekdanji višji pretok reke s Planinskega polja. Zaradi vhodov v vrtačah in gozda nad jamo, ki zmanjšuje vetrovnost, se pozimi nabira hladen zrak, zaradi česar po celotni jami nastanejo ledeni kapniki in strukturna tla (Spletni vir 1).



Slika 12: Južni vhod v Skedneno jamo.



Slika 13: Lokacija Skednene jame (<https://www.katasterjam.si/>).

3. TERENSKE IZMERE IN OBDELAVE PODATKOV

Za praktični del raziskovalne naloge sva izbrala tri jame. Glede na to, da sva želela preveriti podobnost geometrije obstoječih načrtov jam z načrti, ki jih lahko narišemo iz oblakov točk terestričnega laserskega skeniranja, sva izbrala jame z različnimi geometrijskimi lastnostmi. Rudnik mangana pod Šmarjetno goro sva izbrala zaradi njegove velikosti, števila vhodov in oblike, saj nima ožin, spustov, dvigov in brezen. Jamo Mačkovico sva izbrala zaradi njene dolžine, velike dvorane, ožin, spustov in dvigov. Skedeno jamo sva izbrala zaradi krajše dolžine in lege vhodov.

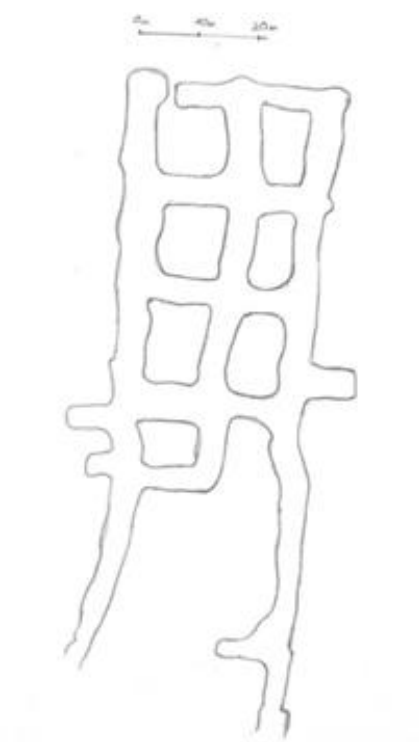
3.1. Izmera v rudniku mangana pod Šmarjetno goro

Za rudnik mangana pod Šmarjetno goro obstoječih načrtov ni bilo. Ugotovila sva, da je za samo raziskovalno nalogo to celo prednost, saj sva lahko sama preizkusila jamarsko metodo izmere in izdelala načrt jame oz. njen tloris. Izmero sva opravila 19. 1. 2021, in sicer z busolnim poligonom (slika 14). Pri izmeri za merjenje azimutov nisva uporabila običajne busole, ampak aplikacijo Compass 360 Pro. Za merjenje razdalj sva uporabila laserski razdaljemer Bosch PLR 40 C. Izmero sva začela in končala na ločenih vhodih v rudnik. Oblika horizontalnega poteka rovov, ki spominja na mrežo, nama je omogočala, da sva lahko izmerila tudi nekaj prečnih razdalj in azimutov ter s tem izboljšala kakovost izmere ter izrisa.



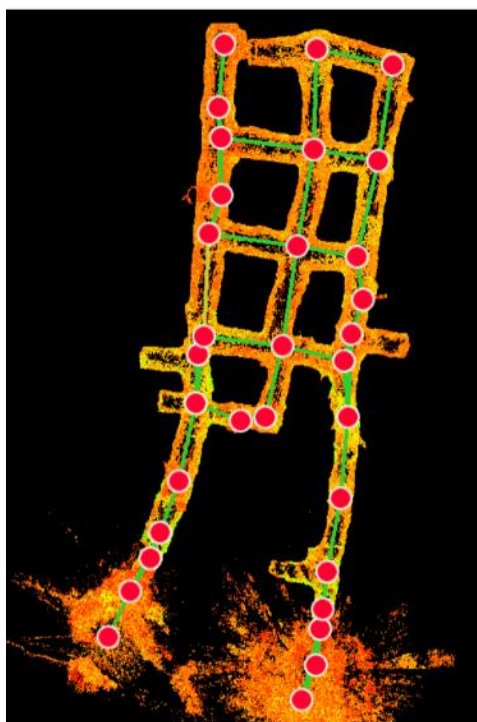
Slika 14: Merjenje razdalj v busolnem poligonu.

Celoten rudnik sva izmerila z vzpostavitvijo 29 stojišč, med katerimi sva izmerila 31 azimutov in 31 razdalj. Izmerjene azimute sva zapisovala na stopinjo natančno, merjene razdalje pa na centimeter natančno. Izbirala sva stojišča na lomih poteka rovov in drugih značilnih točkah. Izmerjene količine, torej azimute in horizontalne dolžine, sva lahko neposredno uporabila za izris načrta (slika 15). Za nadaljnjo analizo in primerjavo s tlorisom, izrisanim iz oblaka točk terestričnega laserskega skeniranja, sva načrt tudi skenirala.



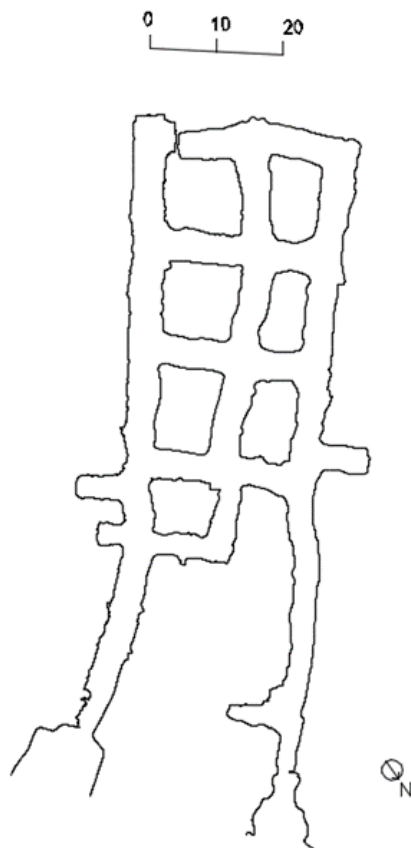
Slika 15: Jamarski načrt rudnika mangana pod Šmarjetno goro.

Izdelati sva morala tudi načrt rudnika iz oblaka točk terestričnega laserskega skeniranja. Terensko izmero sva opravila 16. 10. 2020. Pri izmeri smo uporabili laserski skener Leica BLK360. V izmero sva vključila celotno območje rudnika z bližnjo okolico obeh vhodov. Rudnik sva skenirala z 32 stojišč (slika 16). Oblake točk sva združili s programom Leica REGISTER360. Natančnost registracije vseh stojišč je bila 9 mm, povprečni preklop med stojišči pa 45 %.



Slika 16: Razporeditev stojišč pri skeniranju rudnika mangana pod Šmarjetno goro.

Iz združenega oblaka točk sva v programu Cyclone 3DR naredila tlorisne prereze na različnih višinah s korakom 1 m. Izreze sva naredila zaradi lažjega dela pri risanju (manjša količina podatkov, ki manj obremenjuje računalnik) in ker se rovi po vstopu v rudnik vseskozi rahlo dvigajo. Na ta način nisva skoraj nič izgubila na kakovosti podatkov, ker je podrobnost prerezov še vedno velika. Prereze oblaka točk sva uvozila v program Civil 3D, kjer sva z interpretacijo lahko izrisala tloris (slika 17).



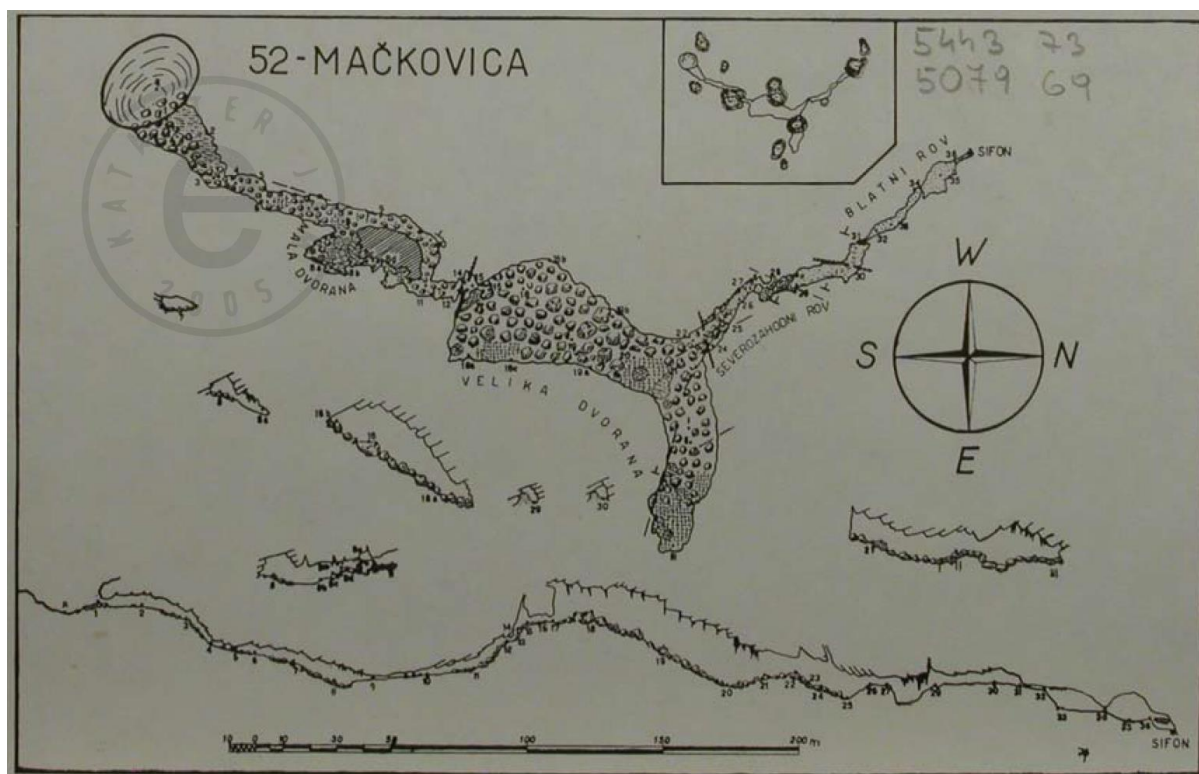
Slika 17: Načrt rudnika mangana pod Šmarjetno goro iz podatkov laserskega skeniranja.

Oba načrta sta predstavljala osnovo za primerjavo geometrijske podobnosti, kar pa podrobneje predstavlja v poglavju 4.

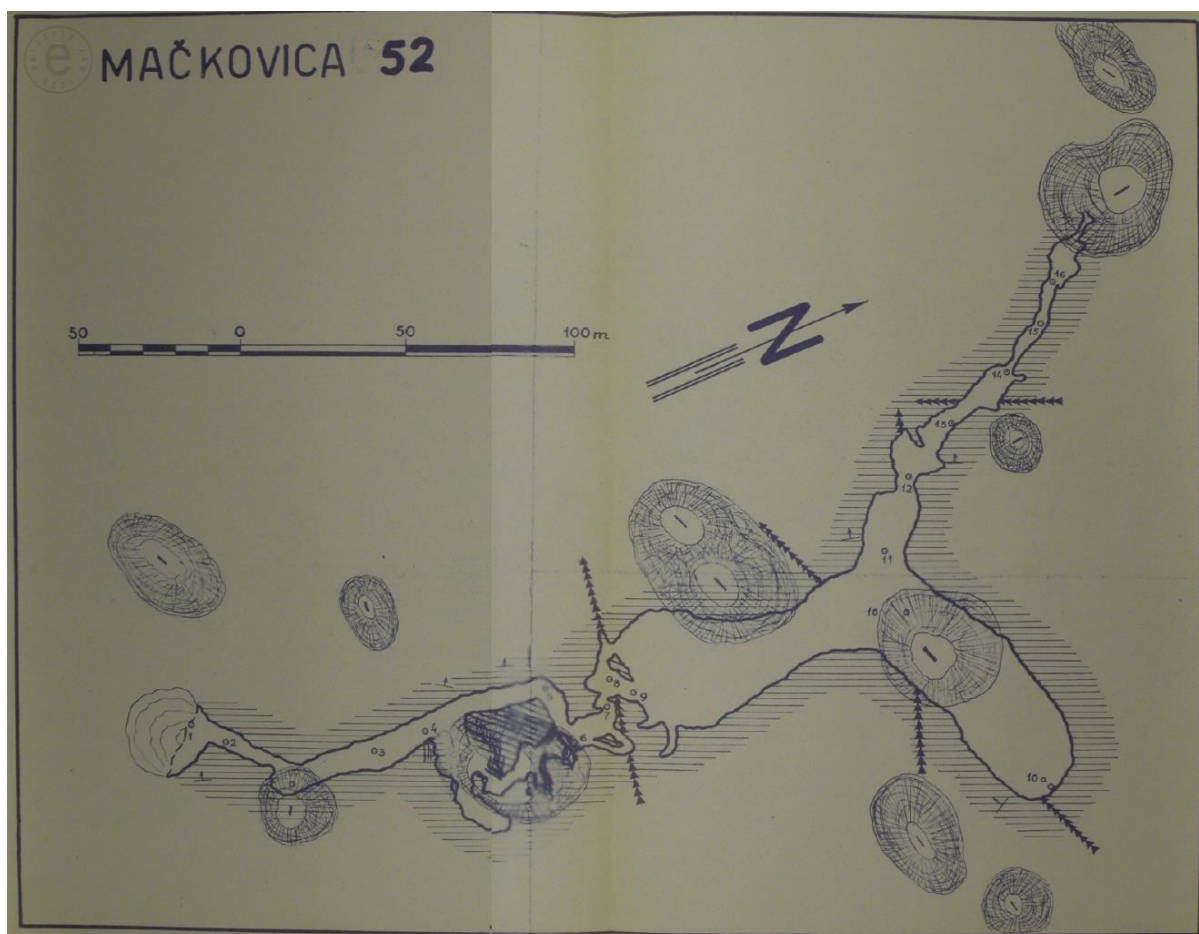
3.2. Podatki in izmera v jami Mačkovica

Za jamo Mačkovica na spletni strani Katastra jam najdemo dva načrta jame (sliki 18 in 19) in kar nekaj zapisnikov (<https://www.katasterjam.si/>). Načrta sta v različnih merilih in sta rezultat jamarske izmere. Vidimo, da se na nekaterih delih v geometrijskem smislu razlikujeta, vendar imata oba načrta vse potrebne informacije za obisk jame (grafično merilo, vetrovnico smeri neba, prikaz ožin, mokrišč, opozorilo, kje sta Blatni rov in sifon ...).

Načrt 1 (slika 18) ima izrisane tudi prečne in vzdolžne prereze, ki nam omogočajo predstavo o višini jame. Na vseh grafičnih prikazih so izrisana tudi merska mesta busolnega poligona. Na načrtu 2 (slika 19) vidimo izrisan le tlorisni prikaz geometrije jame in vsa merska mesta. Za razliko od rudnika mangana sva lahko privzela obstoječa načrta jame in nama je ni bilo potrebno izmeriti.



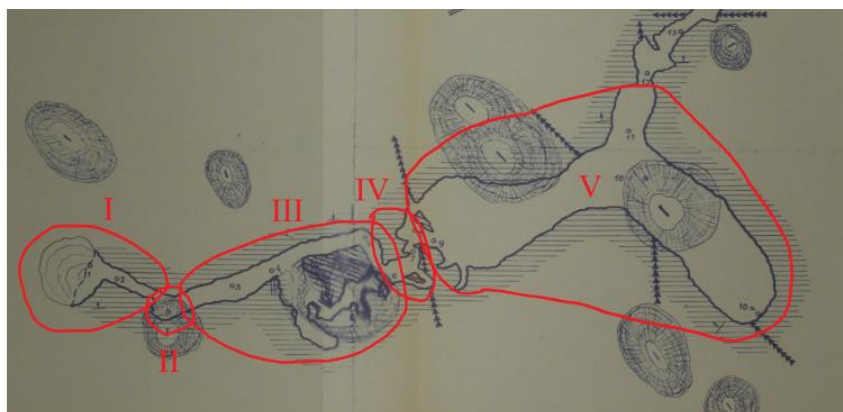
Slika 18: Jamarski načrt 1 – Mačkovica (<https://www.katasterjam.si/>).



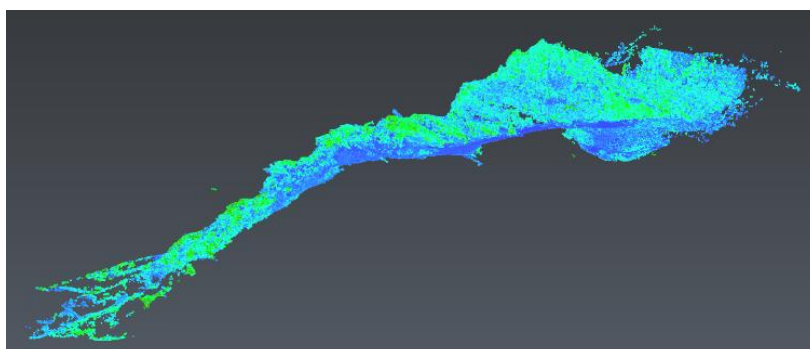
Slika 19: Jamarski načrt 2 – Mačkovica (<https://www.katasterjam.si/>).

Opraviti sva morala tudi terestrično lasersko skeniranje jame. Ker ne gre za turistično jamo, je priporočeno, da obisk jame poteka v spremstvu jamarjev. Pri skeniranju sta se nam pridružila člana Jamarskega društva Carnium iz Kranja. Terensko izmero sva opravila 8. 1. 2021. Ker je jama na določenih odsekih zelo ozka, sva zelo pazila na izbiro stojišč laserskega skenerja in zadostne preklope med zaporednimi stojišči. Celotno jamo sva brez odseka iz Velike dvorane proti Blatnemu rovu oz. sifonu skenirala s 56 stojišč.

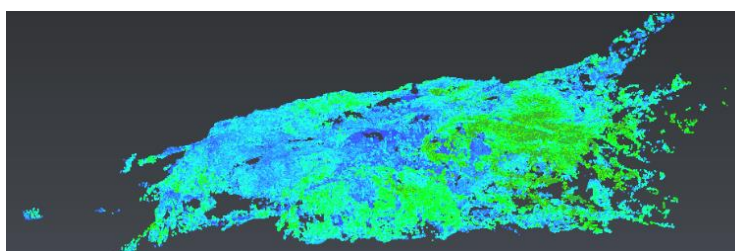
Kljub velikemu trudu nama celotne jame ni uspelo združiti v enoten oblak točk. Registracijo sva uspešno naredila za 5 ločenih odsekov (slika 20). Povprečna natančnost registracije vseh petih odsekov znaša 6 mm, povprečni preklap med oblaki točk zaporednih stojišč pa 48 %. Največjo težavo za registracijo celotnega območja skeniranja so predstavljali ozki prehodi, kjer pri skeniranju z dveh zaporednih stojišč žal nisva uspela dobiti zadostnega števila točk na identičnih površinah. Poskušali sva tudi z ročno registracijo oblakov točk, vendar rezultati niso bili zanesljivi. Oblake točk posameznih odsekov prikazujemo na slikah 21, 22, 23, 24 in 25.



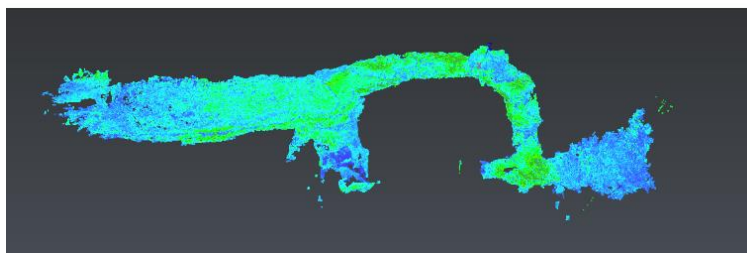
Slika 20: Odseki registriranih oblakov točk v jami Mačkovica (kartografska podlaga <https://www.katasterjam.si/>).



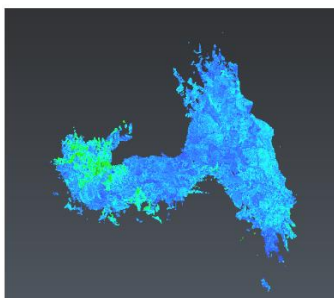
Slika 21: Mačkovica – oblak točk odsek I.



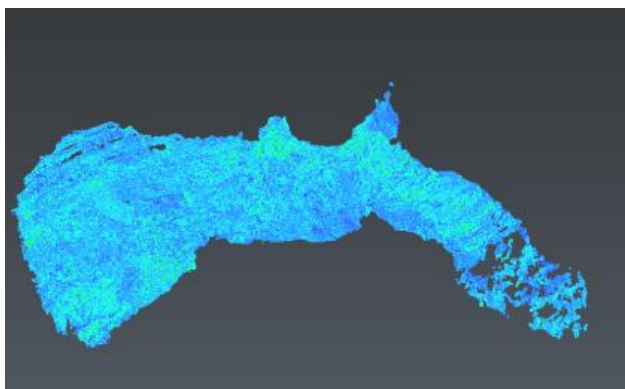
Slika 22: Mačkovica – oblak točk odsek II.



Slika 23: Mačkovica – oblak točk odsek III.

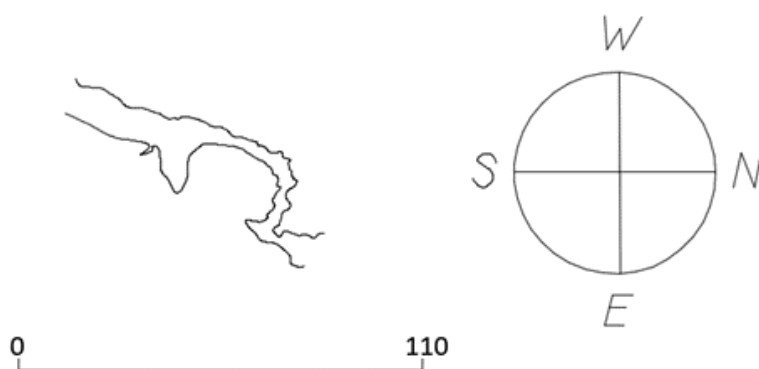


Slika 24: Mačkovica – oblak točk odsek IV.

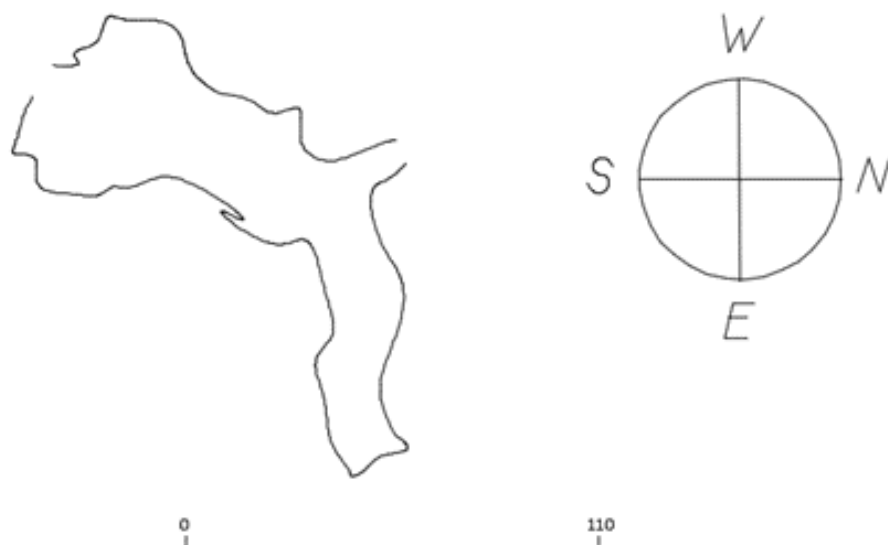


Slika 25: Mačkovica – oblak točk odsek V.

Glede na rezultate obdelave oblakov točk sva se odločila, da iz oblakov točk nariševa tlorise za vse odseke, za analizo podobnosti z načrti jamarske izmere pa uporabiva le podatke za območji III in V. Načrta jame iz oblakov točk za odseka III in V prikazujemo na slikah 26 in 27.



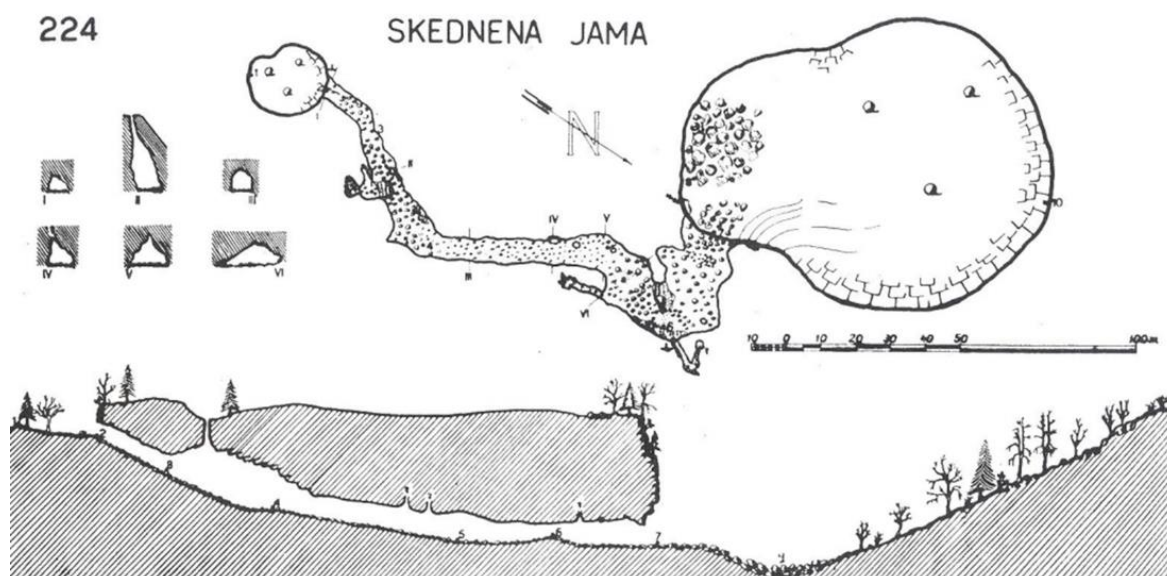
Slika 26: Mačkovica – načrt jame Mačkovica iz oblaka točk za odsek III.



Slika 27: Mačkovica – načrt jame Mačkovica iz oblaka točk za odsek V.

3.3. Podatki in izmera v Skednjeni jami

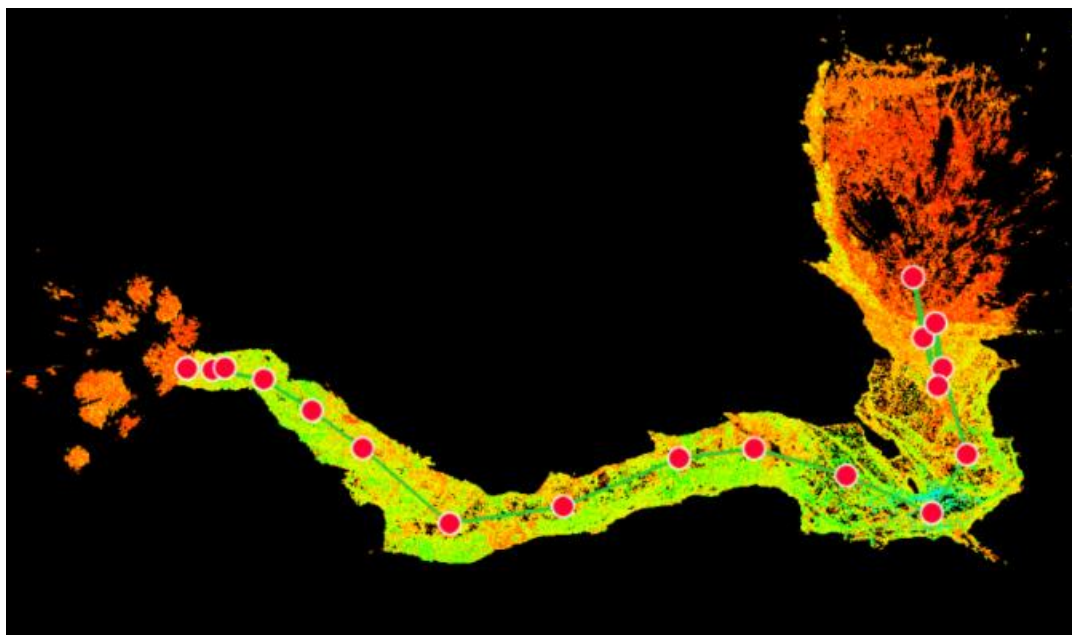
Do podatkov za Skedneno jamo sva prišla na enak način kot pri Mačkovici. Obstoječi jamarski načrt, narisani na osnovi busolnega poligona, sva našla v Katastru jam (slika 26). Na načrtu je jasno označena smer severa in izrisano grafično merilo. Poleg tlorisnega pogleda je narisani tudi vzdolžni prerez in šest karakterističnih prečnih profilov.



Slika 28: Jamarski načrt Skednene jame (<https://www.katasterjam.si/>).

Terestrično lasersko skeniranje Skednene jame sva izvedla 8. 1. 2021. Celotno jamo z bližnjo okolici obeh večjih vhodov sva zajela z 19 stojišči (slika 29). Tudi v tem primeru sva osnovno obdelavo podatkov naredila s programom Leica REGISTER360. Natančnost registracije je v tem primeru znašala 4 mm, povprečni preklop med stojišči pa je bil 52 %. Podobno kot pri Mačkovici sva tudi tu v programu Cyclone 3DR naredila horizontalne prereze oblaka točk s

korakom 1 m. Tako pripravljene podatke sva uvozila v program Civil 3D. S pomočjo teh točk sva izrisala tloris jame (slika 30).



Slika 29: Razporeditev stojišč pri skeniranju Skednene jame.



Slika 30: Načrt rudnika mangana pod Šmarjetno goro iz podatkov terestričnega laserskega skeniranja.

Tako pripravljen načrt je omogočal analizo podobnosti načrtov jame, ki jo predstavljamo v naslednjem poglavju.

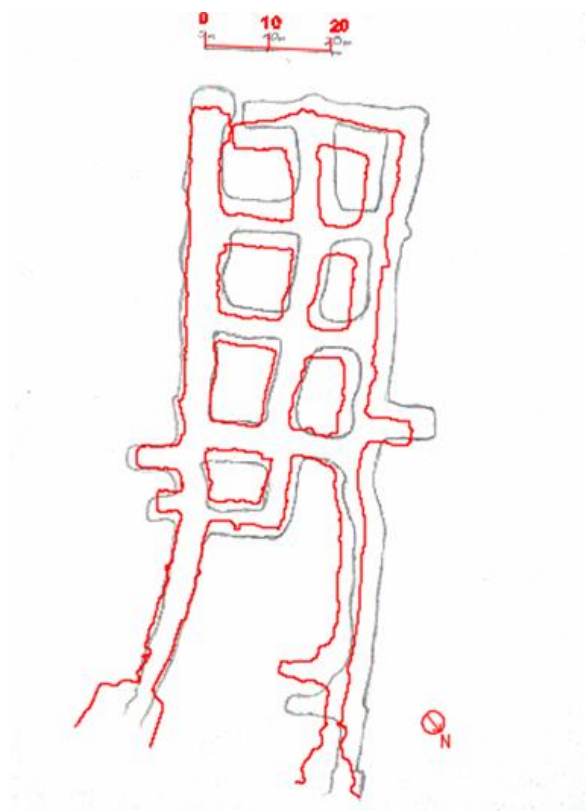
4. ANALIZA OBDELAVE PODATKOV IN REZULTATOV

V tem poglavju predstavljava glavne rezultate svoje raziskovalne naloge. Na osnovi vseh podatkov, ki sva jih predstavila v poglavju 3, sva za posamezno jamo naredila analizo podobnosti geometrije izrisanih načrtov. Odstopanja podajamo s kotiranimi horizontalnimi razdaljami med obema tlorisoma.

Razlike med načrtom jame, pridobljenim iz jamarskih izmer, in načrtom, izrisanim iz oblaka točk terestričnega laserskega skeniranja (TLS), sva lahko določala šele, ko sva oba izrisa v pravem merilu transformirala enega čez drugega. Celoten postopek smo naredili v programu Civil 3D. V izrisani tloris iz oblakov točk smo kot podlago dodali jamarski načrt posamezne jame. Uvoženi načrt smo v prvem koraku povečali v pravo merilo. Pri tem smo si pomagali z izrisanim grafičnim merilom. Sledila sta premik izrisanega jamarskega načrta na pravo mesto in rotacija. Ta dva koraka smo včasih tudi večkrat ponovili, da smo ugotovili najboljše vizualno ujemanje.

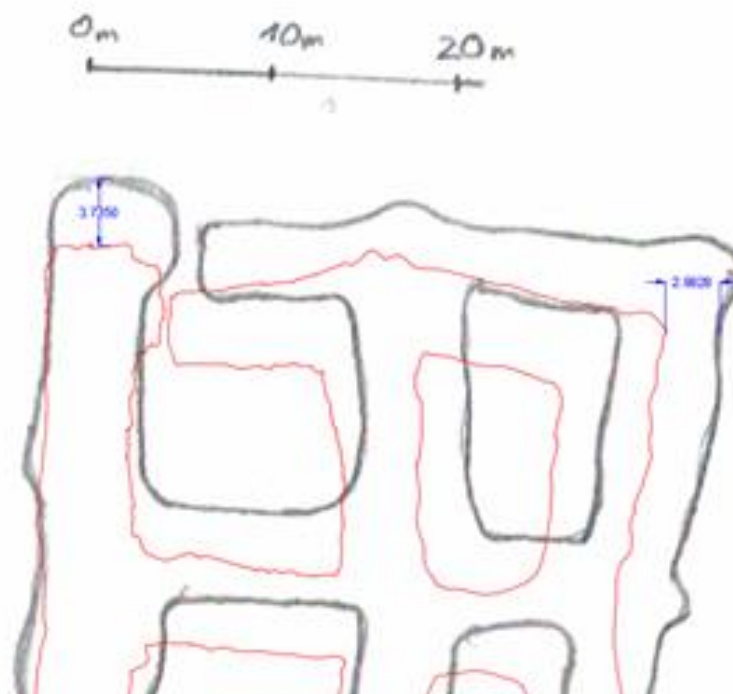
4.1. Analiza načrtov rudnika mangana pod Šmarjetno goro

Načrta rudnika mangana pod Šmarjetno goro smo v pravem merilu po lokaciji in orientaciji poravnali glede na točki 1 in 29 (slika 31). Vidimo, da sta tlorisa jame v splošnem podobne oblike, je pa prisotnih nekaj odstopanj. V prečni smeri glede na vhoda so odstopanja manjša, saj se obliki daljših zunanjih črt lepo prekrivata. Večja odstopanja vidimo v vzdolžni smeri oz. pri izrisanih otokih med rovi.

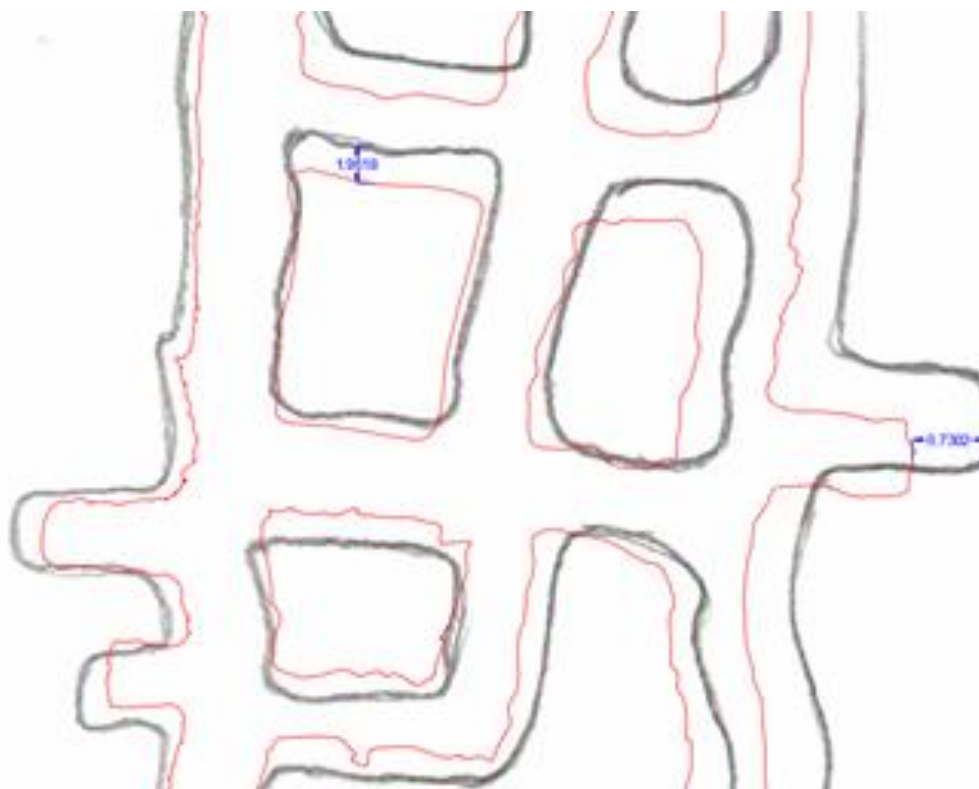


Slika 31: Primerjava načrtov rudnika mangana pod Šmarjetno goro.

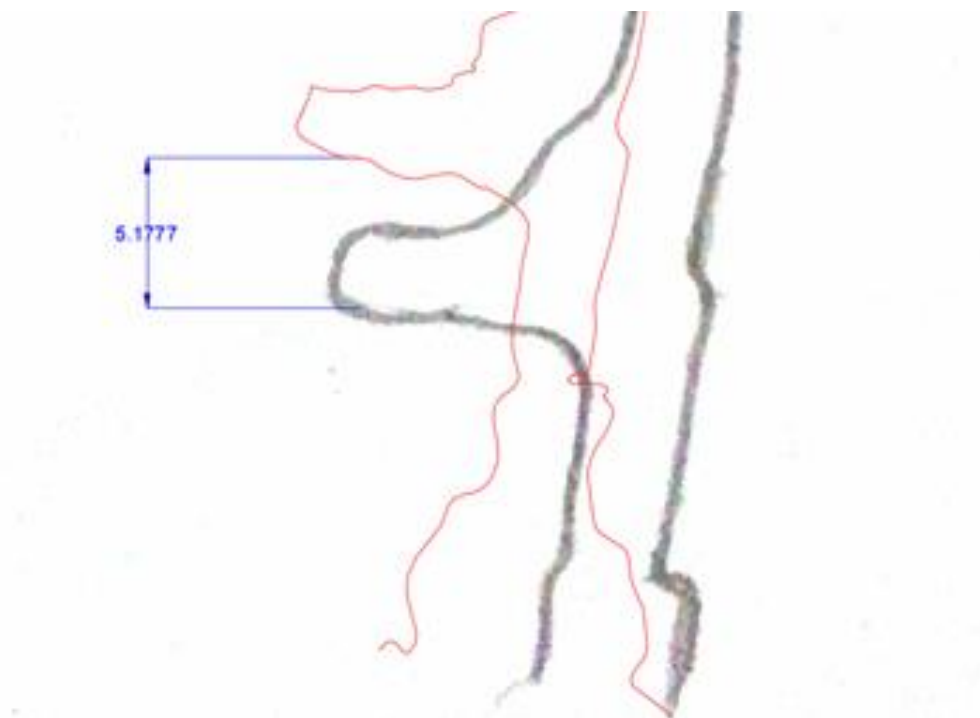
Zaradi boljše berljivosti rezultatov kotirane vrednosti odstopanj prikazujemo na treh ločenih slikah 32, 33 in 34. Vse kotirane vrednosti na načrtih so izražene v metrih. Velikosti odstopanj so od nekaj decimetrov pa vse do slabih 5 m. Največje odstopanje, ki ga nisva pričakovala, so zamiki otokov med mrežno razporejenimi rovi ter pri slepih rovih.



Slika 32: Prikaz odstopanj načrtov rudnika mangana pod Šmarjetno goro – 1. del.



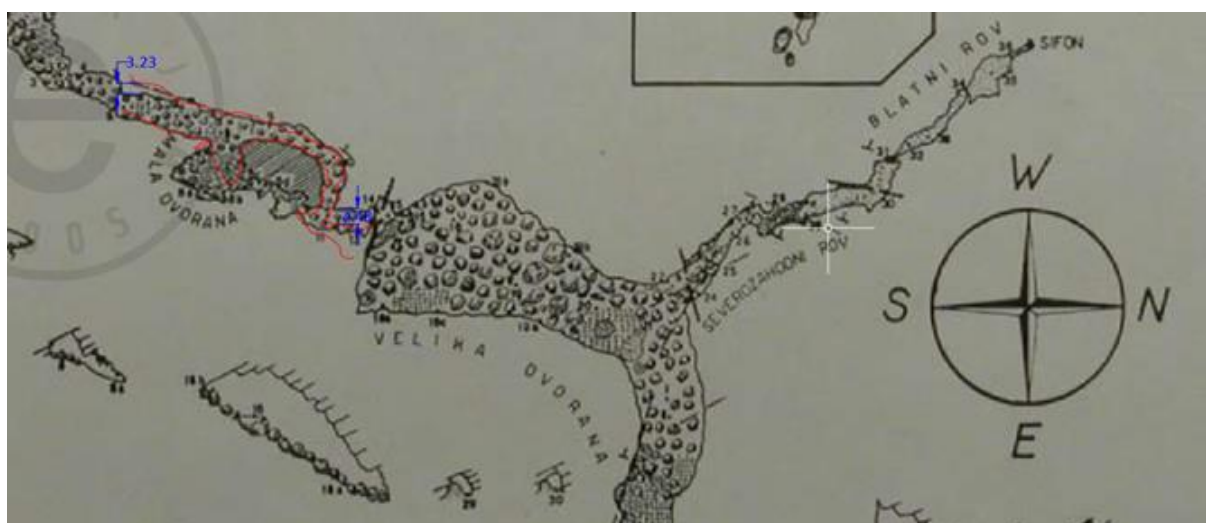
Slika 33: Prikaz odstopanj načrtov rudnika mangana pod Šmarjetno goro – 2. del.



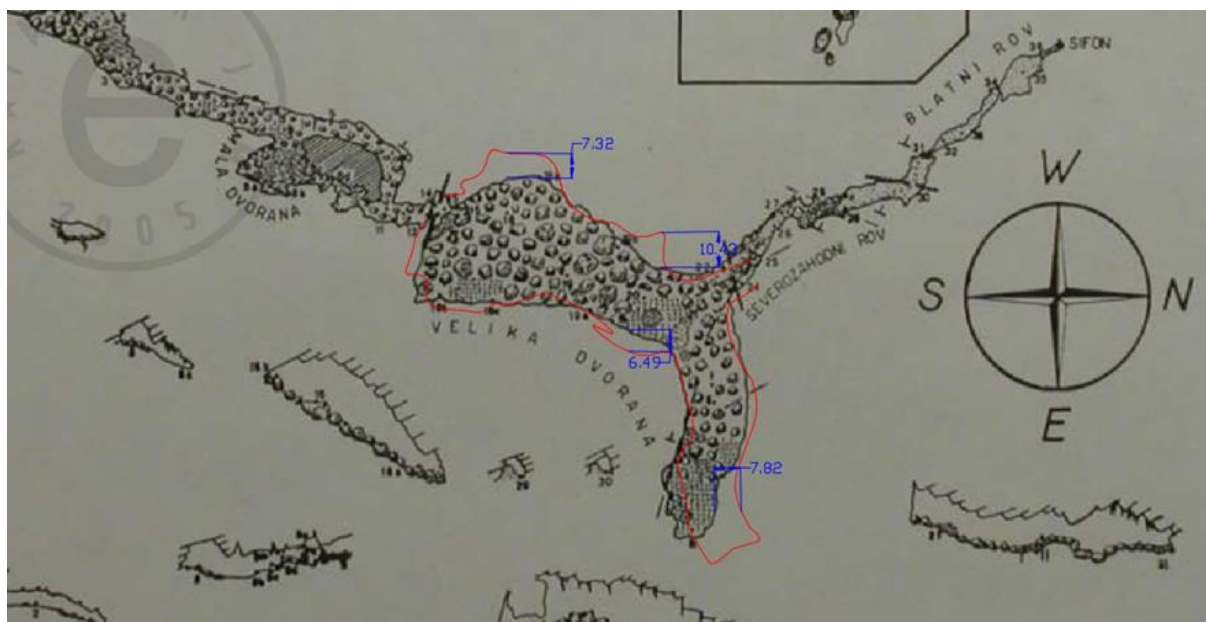
Slika 34: Prikaz odstopanj načrtov rudnika mangana pod Šmarjetno goro – 3. del.

4.2. Analiza načrtov jame Mačkovica

Podatke, ki smo jih uporabili pri analizi podobnosti načrtov jame Mačkovica, smo predstavili v poglavju 3.2. Glede na zaplet pri registraciji oblakov točk terestričnega laserskega skeniranja smo primerjavo geometrije načrtov izvedli za odseka III in V tako, da smo oba načrta iz Katastra jam ločeno primerjali z našim iz oblaka točk. Za vsak odsek posebej smo vizualno s premikanjem in rotiranjem poskusili zagotoviti najboljše ujemanje prikazov. Nekaj kotiranih odstopanj v metrih za načrt 1 prikazujemo na slikah 35 in 36. Za načrt 2 na enak način odstopanja prikazujemo na slikah 37 in 38.

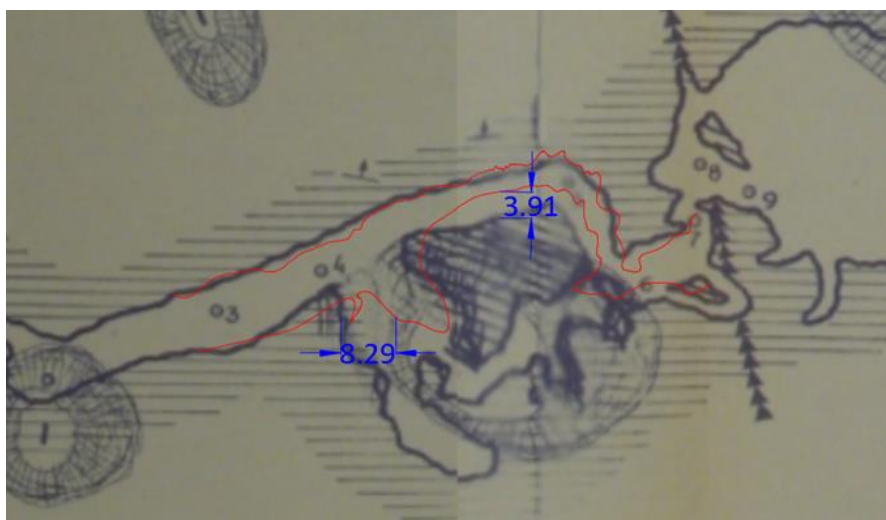


Slika 35: Prikaz odstopanj načrtov jame Mačkovica: načrt 1 in odsek III.



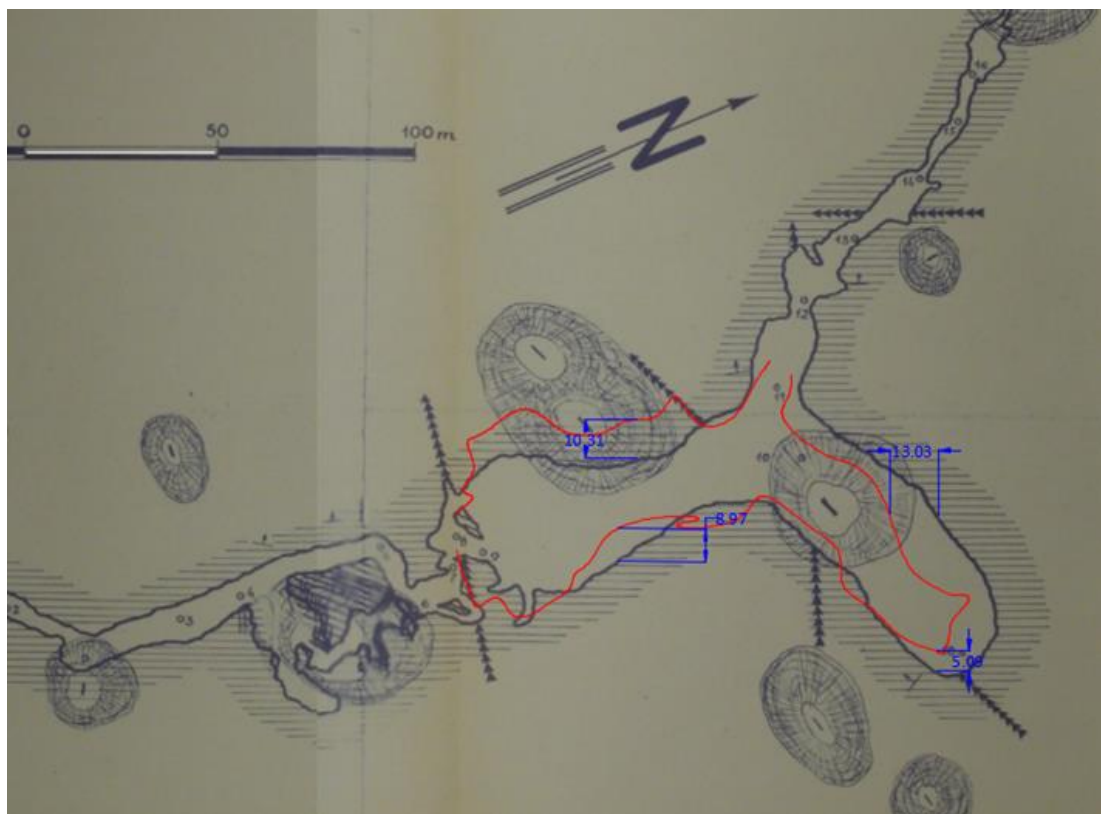
Slika 36: Prikaz odstopanj načrtov jame Mačkovica: načrt 1 in odsek V.

Pri načrtu 1 sva za odseka III in V ugotovila dobro ujemanje izrisane oblike jame. Še vedno pa se na nekaterih delih jame pojavljajo odstopanja, ki znašajo tudi do več metrov. Na odseku III so glede na velikost in obliko tega dela jame pričakovano manjša odstopanja, pri Veliki dvorani pa večja.



Slika 37: Prikaz odstopanj načrtov jame Mačkovica: načrt 2 in odsek III.

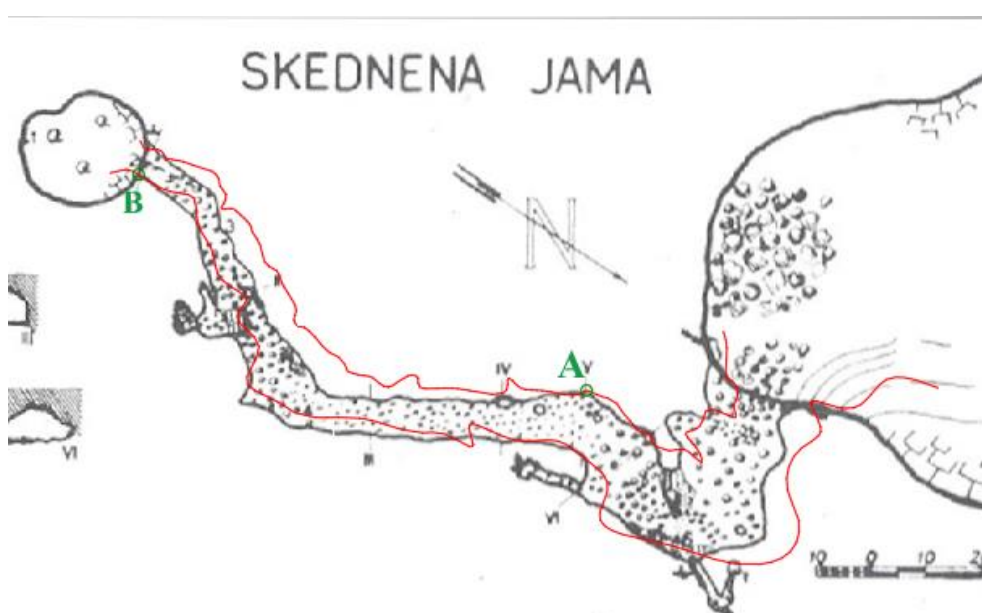
Po primerjavi tlorisov načrtov 1 in 2 hitro ugotovimo, da je načrt 2 narisana bolj posplošeno in ne vključuje toliko detajlov kot načrt 1. S primerjavo načrta 2 in izrisanim tlorisom iz naše izmere smo ugotovili odstopanja reda velikosti nekaj metrov. Manjša odstopanja ugotovimo pri odseku III, večja pa pri odseku V.



Slika 38: Prikaz odstopanj načrtov jame Mačkovica: načrt 2 in odsek V.

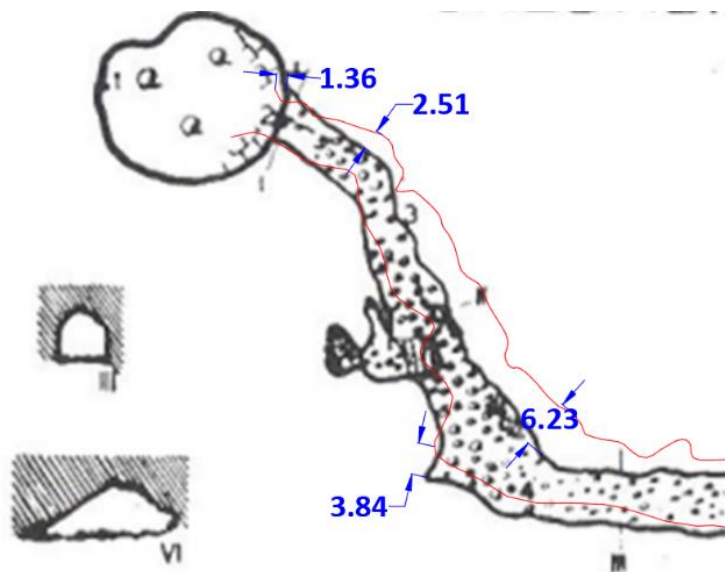
4.3. Analiza načrtov Skednene jame

Pri načrtih Skednene jame smo se odločili, da vklop tlorisa iz oblaka točk TLS naredimo z izbiro dveh točk. Načrt jame iz oblaka točk smo najprej premaknili v točko A in ga nato rotirali glede na lego točke B (slika 39). Odstopanja se torej nanašajo na tako poravnana načrta.

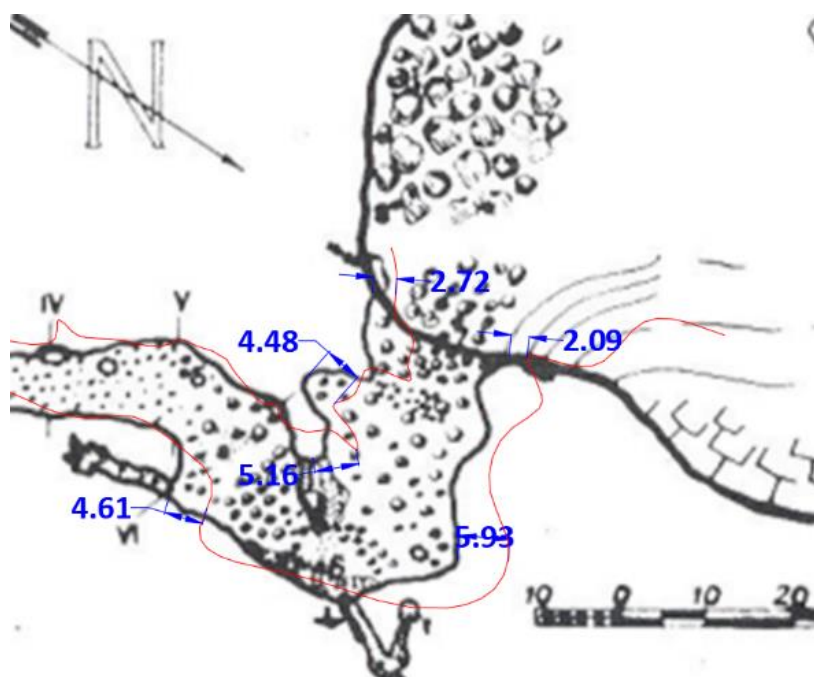


Slika 39: Vklap načrta iz oblakov točk na jamarski načrt Skednene jame.

Vidimo, da sta tlorisa jame v splošnem podobne oblike, je pa prisotnih nekaj odstopanj. Izmerjena odstopanja na nekaterih mestih tlorisa prikazujemo na slikah 40 in 41. Vrednosti odstopanj so od nekaj decimetrov pa vse do dobrih 6 m. Glede na način vklopa tlorisov na južnem vhodu odstopanj v prečni smeri skoraj ni. Takoj v nadaljevanju v severni smeri pa že opazimo razhajanje po položaju. Odstopanje po širini deloma pripisujemo tudi načinu izrisa tlorisa iz oblakov točk TLS, saj smo tloris izrisali kot najbolj izstopajoči del jame na določenem delu, in ne povsem na terenu, kot je narisano na načrtu jamomercev. Če primerjamo dolžino jame v smeri sever-jug, vidimo, da je jama iz naših podatkov za dobra 2 m daljša kot v primeru načrta iz Katastra jam.



Slika 40: Prikaz odstopanj načrtov Skednene jame – del 1.



Slika 41: Prikaz odstopanj načrtov Skednene jame – del 2.

5. ZAKLJUČEK

V raziskovalni nalogi sva se ukvarjala z načrti jam. Z geometrijsko primerjavo sva želela ugotoviti odstopanja med načrti jam, pridobljenih iz podatkov dveh metod izmere. Iz oblakov točk terestričnega laserskega skeniranja smo izdelali nove načrte jam in jih primerjali z obstoječimi načrti, izrisanimi s pomočjo busolnega poligona. Za jami Mačkovica in Skednena jama smo načrte jam našli v Katastru jam. Za rudnik mangana pod Šmarjetno goro sva načrt jame izrisala na osnovi samostojne jamarske izmere, kjer sva uporabila busolni poligon.

Z obdelavo oblakov točk in izrisom posameznih tlorisov smo lahko naredili primerjave načrtov. Obstoječim načrtom smo za delo v programu Civil 3D pravo merilo določili preko izrisanih grafičnih meril. Pri poravnavanju izrisov smo si pomagali s premikanjem in rotiranjem izrisom, da so se v vizualnem smislu kar najboljše ujemali.

S primerjavo načrtov smo si odgovorili tudi na raziskovalno vprašanje, ki se nanaša na geometrijsko podobnost načrtov. Za načrte iz oblakov točk laserskega skeniranja upamo trditi, da so v metričnem smislu veliko bolj natančni od jamarskih načrtov. Torej lahko naše načrte obravnavamo kot referenčne. Ugotovili smo, da so odstopanja pri večjih in bolj razgibanih jamah veliko večja kot pri manjših in manj razgibanih. Za izrisovanje načrtov iz terestričnega laserskega skeniranja nam lahko težave povzročajo ozki rovi, kjer je skoraj nemogoče zagotoviti ustrezne podatke za kasnejše obdelave. To se nam je zgodilo v primeru Mačkovice, kjer kar na štirih odsekih nismo uspeli povezati oblakov. Težavno je tudi to, da skener točk, ki so bližje od 60 cm, ne zajame in posledično imamo lahko v ozkih prehodih velika območja brez točk.

Z raziskovanjem jam in oblakov točk sva pridobila številna nova znanja. Naučila sva se tudi osnovne uporabe nekaterih programov, ki so uporabni tudi pri drugih nalogah geodetov. Vse pridobljeno znanje bi bilo zanimivo preizkusiti na primeru zelo dolgih jam oz. na primeru jame z velikimi dvoranami.

VIRI

Blaznik, A. 2019. Geodetski monitoring v kraški jami Ulica pečina. Magistrsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.

Čeferin, R. 2006. Kataster jam. <https://www.katasterjam.si/Caves/Details/11683> (Pridobljeno 18. 11. 2020.)

Holcar, D. 2019. Kamniška jama: 40 let po odkritju. Kamnik, Jamarski klub, 88 str.

Kenda, I. 1979. Izmera kraške jame Najdena jama. Diplomsko naloga. <https://plus.si.cobiss.net/opac7/bib/31787053#full> (Pridobljeno 18. 11. 2020.)

Kogoj, D. 2015. Prosojnice predavanj pri predmetu Geodetski merski sistemi, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.

Michler, I. 1990. Kataster jam, Skednena jama. <https://www.katasterjam.si/Caves/Details/52> (Pridobljeno 18. 11. 2020.)

Mihevc, A., Urbančič, T. 2019. Spremljanje premikov in oblikovanja poligonalnih tal v Skedneni jami s terestričnim laserskim skeniranjem. Slovensko združenje za geodezije in geofiziko, Ljubljana, januar 2019.

Mozetič, B. 2004. Terestrično 3D (trirazsežno) lasersko skeniranje. Geodetski vestnik, 48, 3: 351-462.

Navodila, 2014. Navodila za izpolnjevanje zapisnikov Katastra jam. https://www.jamarska-zveza.si/images/Documents/Kataster/zapisniki/si/Navodila_2014.pdf (Pridobljeno 1. 12. 2020.)

Občina Logatec. Podatki o Mačkovici. <https://www.logatec.si/index.php/za-obiskovalce/naravne-vrednote/334-mackovica> (Pridobljeno 13. 12. 2020.)

Oludare Idrees, M., Pradhan, B. 2016. A decade of modern cave surveying with terrestrial laser scanning: a review of sensors, method and application development. International Journal of Speleology, 45 (1), 71–88. <https://doi.org/10.5038/1827-806X.45.1.1923> (Pridobljeno 03. 01. 2021.)

Podržaj, P. 2020. 3D lasersko skeniranje Županove jame. Diplomsko naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.

Spletni vir 1, <https://www.logatec.si/index.php/za-obiskovalce/narave-vrednote/1276-skednena> (Pridobljeno 03. 01. 2021.)

Urankar, R. 2001. Ne hodi v jame brez glave. Društvo za raziskovanje jam, Ljubljana.

Urbančič, T., Grigillo T. 2015. Lidar in uporaba laserskega skeniranja v geodeziji I. Prosojnice predavanja na Inženirski zbornici Slovenije.

Vosselman, G., Maas, H.-G. 2010. Airbone and terrestrial laser scanning. Whittles Publishing. CRC Press

Zelenbaba, D. 2016. Modeliranje podatkov terestričnega laserskega skeniranja za uporabo v navidezni resničnosti. Magistrsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.