

ZGODOVINA GEODETSKIH MERITEV NA TRIGLAVSKEM LEDENIKU

THE HISTORY OF GEODETIC SURVEYS ON TRIGLAV GLACIER

Mihaela Triglav Čekada, Matej Gabrovec

UDK: 528.3/.7(091)(234.323.6 Triglav)

POVZETEK

Od leta 1946 potekajo vsakoletne meritve obsega in površine Triglavskega ledenika. Sprva so redne jesenske meritve ob koncu talilne dobe obsegale merjenje odmika ledenika od merilnih točk, zarisanih na skalah ob robu ledenika, z merskim trakom. V letu 1952 so bile izvedene prve geodetske tahimetrične meritve, ki so se uporabile za izdelavo načrta ledenika ter izmero nekaterih točk, od katerih se je merilo z merskim trakom. Naslednje tahimetrične meritve so sledile v letu 1995. Leta 1999 smo opravili prve geodetske meritve oslonilnih točk za potrebe fotogrametričnih snemanj Triglavskega ledenika, ki praviloma potekajo na vsaki dve leti. Članek popisuje, kako so bile izvedene različne izmere, in izpostavi probleme transformacije meritev iz lokalnih koordinatnih sistemov v državnega, ki nam omogoča primerjavo različnih časovnih presekov ledenika.

KLJUČNE BESEDE

geodetske metode izmere, fotogrametrična izmera, zgodovina, Triglavski ledenik

Klasifikacija prispevka po COBISS-u: 1.04

ABSTRACT

The regular measurements of Triglav glacier on yearly basis began in 1946. At first the measurements involved hand measurements of glacier retreat from permanently marked points on rocks around the glacier. First tahimetric measurements were performed in year 1952. These measurements were used for map drawing and measurement of before mentioned permanently marked points. The next tahimetric measurements followed in 1995. With the year 1999 regular photogrammetric measurements of Triglav glacier began on biannual basis, with different geodetic measurements of control points included. The article describes a history of geodetic field-work on Triglav glacier. Mainly geodetic measurements were performed in local coordinate system, which should be transformed in global coordinate system to enable a comparison of different time cross-section.

KEY WORDS

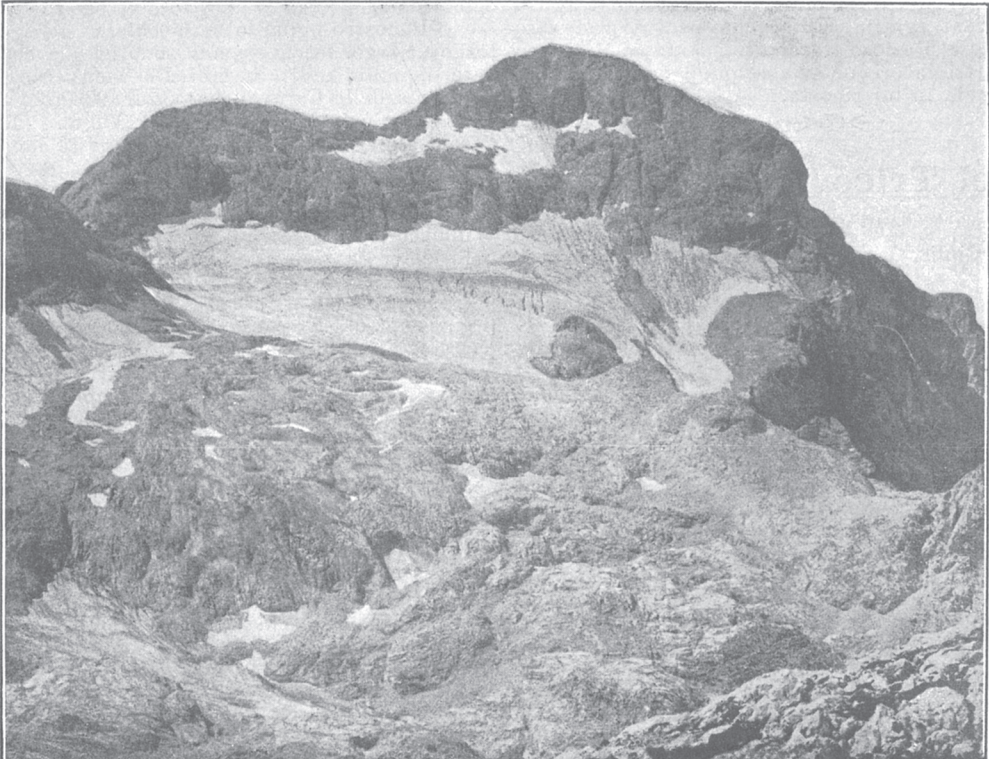
geodetic measurement methods, photogrammetry, history, Triglav glacier

1 UVOD

Triglavski ledenik leži na severni strani našega najvišjega vrha na nadmorski višini 2390 do 2560 m (Šifrer in Košir, 1976). Je bolj znan od dveh slovenskih še obstoječih ledenikov, drugi je ledenik pod Skuto. Oba sta nastala v tako imenovani mali ledeni dobi v krnicah ali okrešljih. Zadnji ledeniški sunek naj bi bil leta 1850 ali nekaj desetletij kasneje, ko naj bi bil ledenik tako debel, da je segal skoraj do vrha Glave (Meze, 1955).

Ker se ledenik nahaja na našem očaku, ki je že dolgo zelo oblegan, saj je pomemben domoljubni

simbol, je tudi različnih zgodovinskih virov, ki prikazujejo obseg Triglavskega ledenika, veliko. Tako so nam na voljo prvi slikovni viri že iz sredine 19. stoletja. V Narodnem muzeju v Ljubljani je na ogled slika M. Pernharta iz leta 1849, ki prikazuje panoramo s Triglava. Na njej ledenik sega vse do roba Triglavske severne stene. Boljšo primerjavo z novejšimi viri omogoča fotografija R. Convizcka, narejena leta 1897 ob odpravi tržaških planincev na Triglav (slika 1) (Gabrovec in Peršolja, 2004).



Slika 1: Triglavski ledenik leta 1897. Fotografija je bila objavljena v tržaški reviji *Il Touristica* (foto: R. Convizcka).

Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU vse od leta 1946 izvaja stalna opazovanja in raziskave Triglavskega ledenika. Sprva so vsakoletne jesenske meritve ob koncu talilne dobe obsegale merjenje odmika ledu oz. snega od merilnih točk, zarisanih po grbinah okoli ledenika. Točke so večinoma zarisali že leta 1946. Ta metoda je bila zelo uporabna samo v prvih nekaj letih, ko je bil ledenik še precej debel in se je sklenjeno umikal. Ko se je pričel hitreje tanjšati, je začel na spodnjem koncu razpadati na manjše kose. Takrat so prej navedeni metodi dodali zarisanje črt robu ledenika, torej so označili, do kam je segal v posameznem letu. Več črt so zarisali tam, kjer so grbine razkosale ledenik na manjše jezike. Tudi te črte so se v prihodnjih letih uporabljale za izmero odmika ledenika (Šifrer in Košir, 1976). Ledenik so tudi fotografirali, da bi krčenje čim bolj nazorno beležili. Najprej so določili stalne točke za fotografiranje: za celoten ledenik – Begunjski vrh nad Staničevo kočjo, za zgornji rob ledenika – stalna točka blizu nekdanjega totalizatorja¹ na

¹Meteorološka naprava za merjenje padavin

vzhodni strani ledenika, z Glave in izpod doma na Kredarici (Šifrer in Košir, 1976). Poleg prej navedenih enostavnih metod s kompasom in merskim trakom so na ledeniku izvedli tudi nekaj geodetskih meritev. Prva meritev s teodolitom je bila opravljena v letu 1952, naslednja v letu 1995. Z letom 1999 pa so se pričele geodetske meritve ledenika in oslonilnih točk okrog njega za potrebe rednih dvoletnih fotogrametričnih izmer.

Leta 1976 so pričeli ledenik redno, približno enkrat na mesec, fotografirati s panoramskim nemetričnim fotoaparatom Horizont, in sicer z dveh stalnih stojišč v okolici Triglavskega doma na Kredarici. Stojišči se nahajata v neposredni bližini poligonskih točk 100 in 101, ki ju vidimo na sliki 3, na vsakem stoji železna cev, visoka 1 m in s premerom 1 cm, s podstavkom, kamor naslonimo fotoaparatus.

Ledenik je bil izmerjen tudi z georadarskimi meritvami v letih 1999 in 2000, ko so izmerili njegovo debelino (Verbič in Gabrovec, 2002).

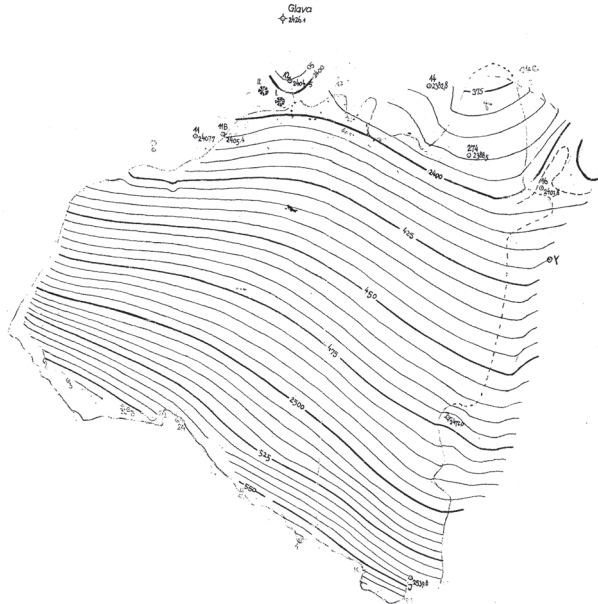
2 KLASIČNE GEODETSKE MERITVE

2.1 Izmera v letu 1952

Marjan Jenko je leta 1952, še med študijem, skupaj z Ivanom Gamsom in Dušanom Koširjem izvedel prve evidentirane geodetske tahimetrične meritve Triglavskega ledenika. Podatki o izmeri so povzeti po Jenko (2002).

Izmero ledenika in merilnih točk, zarisanih po grbinah okoli ledenika, so opravili med 1. in 4. oktobrom 1952. Pri izmeri so uporabili teodolit Wild T1 s centezimalno razdelbo in direktnim odčitavanjem 0,01 grada ter zložljivo trimetrsko tahimetrično lato in nekaj trasirk. Merili so smeri, dolžine in višinske razlike med petimi stojišči. Višinske razlike so merili obojestransko z natančnostjo $\pm 5\text{--}20$ cm na 100 m razdalje (odvisno od naklona). Dolžine so merili optično, z natančnostjo približno $\pm 20\text{--}30$ cm na 100 m (odvisno od naklona). Začetno stojišče se je nahajalo poleg stare kočice na Kredarici, tri stojišča ob robu ledenika in eno stojišče na samem ledeniku. Stojiščne točke niso bile stabilizirane. Izmera se je izvedla v lokalnem koordinatnem sistemu, saj takrat navezava na državni koordinatni sistem prek državne triangulacijske mreže ni bila mogoča, točke državne triangulacijske mreže so bile tedaj namreč stabilizirane le v nižinskih predelih Gorenjske. Višinsko se je izmera navezovala na vznožje južnega vogala takratnega Doma na Kredarici s koto 2515,0 m, ki je bila povzeta iz predvojne topografske karte VGI (1:25000). Izmera je bila orientirana tudi glede na krajevni meridian, saj je Jenko zvečer opazoval tudi orientacijski priklep na severnico (z ocenjeno natančnostjo $\pm 0,005$ gradov = $16''$).

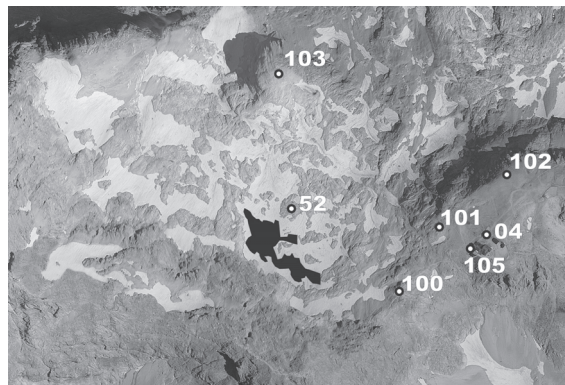
Izmera je služila za kartiranje ledenika in njegove bližnje okolice v merilu 1:2500 (slika 2). Načrtu so dodali še greben Triglava, ki pa ni bil izmerjen, ampak le prenesen iz predvojne topografske karte VGI (1:25000).



Slika 2: Načrt Triglavskega ledenika iz leta 1952 (izmera, preračuni in kartiranje: Marjan Jenko). Prikazan je samo ledenik, brez grebena Triglava.

2.2 Izmera v letu 1995

Naslednje geodetske tahimetrične meritve ledenika so sodelavci Geografskega inštituta Antona Melika ZRC SAZU in Inštituta za raziskovanje krasi ZRC SAZU opravili 27. septembra 1995. Tega leta smo ledenik izmerili z elektronskim tahimetrom Leica TCR 307. Določili smo koordinate 104 točk na obodu ledenika in na njihovi podlagi izračunali njegovo površino. Izmerili smo tudi koordinate vseh merilnih točk, zarisanih po skalah okoli ledenika, od leta 1946 naprej. Ob takratnem spodnjem robu ledenika smo določili štiri nove merilne točke za meritve z merskim trakom, oštevilčene z 51 do 54 in označene z obstojno barvo. Tahimetrične meritve so se izvajale v lokalnem koordinatnem sistemu s približno navezavo na državni koordinatni sistem prek grafičnih koordinat vogala novega Doma na Kredarici, odčitanih s karte merila 1:5000. Za potrebe izmere smo stabilizirali 5 merilnih točk, ki so bile leta 2001 še enkrat izmerjene v državnem koordinatnem sistemu v okviru merske kampanje 1999 (slika 3). Točke 100–104 so stabilizirane z geodetskim vijakom, na katerem piše »Izmera jame«: ena se nahaja na pobočju Glave, dve v bližini stabiliziranih stojišč fotoaparata Horizont, ena na vogalu Doma na Kredarici. Točka 102 se nahaja v središču znaka Zavarovalnice Triglav, sredi stabilnega granitnega kamna, na katerem so prikazane smeri proti hribom. Ta točka ni stabilizirana z geodetskim vijakom.



Slika 3: Razporeditev poligonskih točk 100–105, ki so bile stabilizirane že leta 1995, v okolici Triglavskega ledenika. Dodani sta še točki 04 in 52, uporabljeni v izmeri leta 2007. Na ortofoto načrtu je označen tudi obseg ledenika leta 2007.

3 FOTOGRAMETRIČNE MERITVE

Geodetska uprava Republike Slovenije že od začetka 70. let prejšnjega stoletja izvaja ciklično aerosnemanje celotnega območja Slovenije z metričnim aerofotoaparatom velikega formata v merilu 1:17500. Snemanje poteka v fotogrametričnih blokkih, s katerimi posnamejo celotno območje Slovenije v ciklu 3 do 4 leta (Oštir, 2006). Na posnetkih CAS tako najdemo tudi Triglavski ledenik, ker pa se snemanja opravljajo v različnih delih leta, redko naletimo na stereopar, posnet v obdobju od septembra do oktobra, ki bi prikazoval ledenik konec talilne dobe. Uporabni stereoposnetki za fotogrametrično obdelavo so prikazani v Preglednici 1. Poleg posnetkov CAS lahko ledenik lahko najdemo tudi na posnetkih posebnega snemanja Posočja v letu 1998, na posnetkih 589 in 590, ki pa so bili narejeni v juliju, torej še pred začetkom glavne talilne sezone (Triglav, 2001). Stereopara iz let 1975 in 1992 sta bila orientirana na podlagi identičnih točk, vidnih tudi na stereoparu CAS 2003, kar je omogočilo fotogrametrično stereorestitucijo obodov in površine ledenika iz let 1975 in 1992.

CAS	Datum snemanja	Snemalni pas / film	Številki posnetkov
CAS 75	25.–30. 10. 1975	654/56	176/177
CAS 92	9. 8. 1992	105/46	233(vrh), 234, 235
CAS 94	28. 8. 1994	1605/33	1484, 1485
CAS 98	9. 8. 1998	637/38	3496, 3497

Preglednica 1: Uporabni posnetki CAS, ki prikazujejo ledenik (Triglav, 2001).

Ker pa sta se obseg in prostornina ledenika do konca 20. stoletja zelo skrčila, smo leta 1999 uvedli posebna fotogrametrična snemanja, ki zajamejo veliko manjše območje kot stereopar CAS.

3.1 Izmera v letu 1999

Fotogrametrično snemanje Triglavskega ledenika se je prvič izvedlo med 13. in 15. septembrom leta 1999, ko je bil popolnoma razkrit. Za orientacijo fotogrametričnega snemanja so bile izmerjene

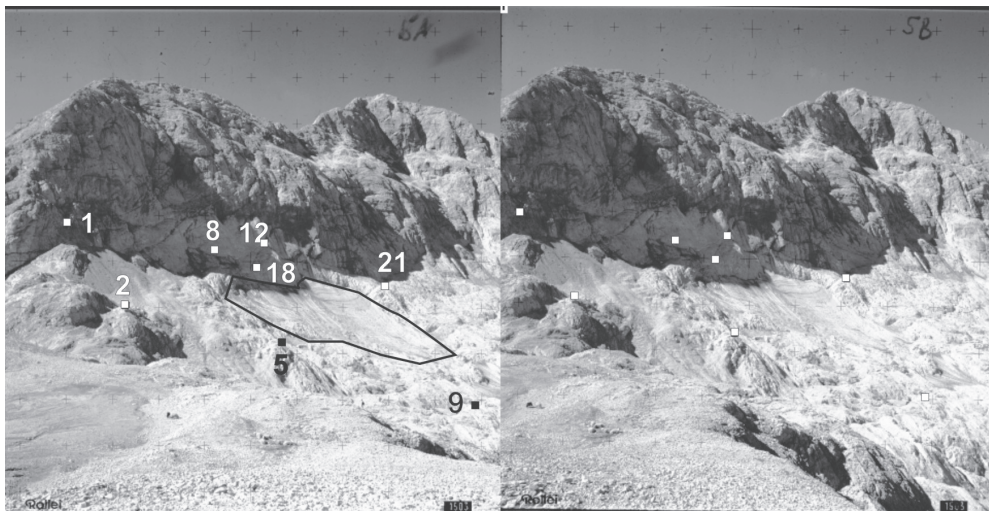
oslonilne točke s klasično tahimetrično izmero. Ta je bila izvedena z elektronskim tahimetrom Leica TC 403L ter pripadajočo merilno prizmo (slika 4). Poleg izmere oslonilnih in poligonskih točk se je tahimetrično izmeril tudi sam obseg ledenika in tri profili na njem. Geodetska izmera je bila opravljena in izravnana v lokalnem koordinatnem sistemu. Oslonilne točke so bile zarisane na kamen z vijoličasto barvo v obliki krogov premera približno 0,8 m z dodatnimi stranskimi označbami. Oslonilne točke niso bile stabilizirane. Poleg Geografskega inštituta Antona Melika ZRC SAZU in Geodetskega inštituta Slovenije so v izmeri leta 1999 sodelovali še sodelavci Inštituta za raziskovanje krasa ZRC SAZU in DFG Consultinga.

V jutranjih urah 15. septembra 1999, še preden je vrh Triglava začel metati senco na ledenik, smo s pomočjo helikopterske enote Slovenske vojske izvedli aerosnemanje ledenika. Uporabljen je bil metrični fotoaparats srednjega formata Rolleiflex 6006. Snemalec je snemal iz roke, in sicer tako, da je bil v helikopter pripet z varovalnimi pasovi in se je nagibal skozi odprta vrata. Posneti so bili trije pasovi na treh različnih oddaljenostih od ledenika. Fotogrametrično snemanje se je izvedlo tudi s tal (slika 5), in sicer približno od tam, kjer se nahaja stojišče nemetričnega panoramskega fotoaparata Horizont.

Stereozvrednotenje natančnosti 1 mm za potrebe izdelave topografskega načrta v merilu 1:1000 je bila izvedeno na analitičnem fotogrametričnem inštrumentu Adam Promap. Rezultat fotogrametrične izmere je bil načrt ledenika v merilu 1:1000.



Slika 4: Tahimetrična izmera oboda ledenika ter oslonilnih in poligonskih točk v letu 1999. Foto: Iz osebne arhiva Franja Droleta.



Slika 5: Terestrični stereopar, narejen približno s kraja, kjer stoji fotoaparat Horizont (bližina poligonske točke 101 – glej sliko 3), narejen v letu 1999. Na njem so označene uporabljene oslonilne točke za orientacijo. Obrobjen je tudi približni obseg ledenika v letu 1999. Foto: Stane Tršan, Miran Janežič.

3.2 Izmera v letu 2001

V letu 2001 smo v okolici Triglavskega ledenika prvič izvedli GPS-meritve oslonilnih točk. Ker so označbe oslonilnih točk iz leta 1999 medtem že izginile, smo stabilizirali 9 novih točk (slika 6). Stabilizirane so z vijakom, privitim v skalo in zaščitenim z matico. Točko signaliziramo tako, da na vijak privijemo 0,5 m dolg drog, nanj pa privijemo še okrogel signal premera 0,6 m rožnate barve. Signali so shranjeni v Triglavskem domu na Kredarici. Poleg sodelavcev Geografskega inštituta Antona Melika ZRC SAZU in Geodetskega inštituta Slovenije sta v izmeri leta 2001 sodelovala še 2B, d.o.o. in Planinska zveza Slovenije. Signale so izdelali in darovali sodelavci 2B, d.o.o.

Meritve oslonilnih točk s hitro statično GPS-izmero so bile izvedene 16. in 17. oktobra 2001. Na poligonski točki 04 (glej sliko 3) je bila postavljena referenčna postaja GPS. Statična izmera na vsaki oslonilni točki je trajala 20 minut. Oslonilne točke so izmerjene na stiku točke s terenom. Na točkah pod steno vrha Triglava se je ta interval raztegnil, saj med meritvami ni bilo stalno na voljo dovolj satelitov. Poligonska točka 04 je bila stabilizirana v 70. letih, zato jo je bila težko poiskati na podlagi takratne topografije, saj se je okolica medtem spremenila (na novo so postavili vetrnico v bližini točke, eno navezovalno poligonsko točko so prekrili s heliodromom) in sama točka je bila uničena (izginil je čep). Zato smo lego poligonske točke 04 – naše referenčne točke – še enkrat določili z vektorjem med njo in točko z znanimi koordinatami v dolini (Kosmatin-Fras s sodel., 2001).

Fotogrametrično snemanje je bilo ponovno izvedeno iz roke iz helikopterja Slovenske vojske z metričnim fotoaparatom Rolleiflex 6006 (slika 7). Absolutna orientacija posameznega para helikopterskih posnetkov za potrebe izdelave 3D-topografskega načrta v merilu 1:1000 je bila izvedena z majhnim številom oslonilnih točk (4), saj se tri točke pod pobočjem vrha Triglava niso videli, ker so bile med snemanjem v senci. Zaradi slabe razporeditve uporabljenih oslonilnih točk

in velikega območja zajema, ki sega tudi izven območja oslonilnih točk, lahko pričakujemo večja odstopanja v strmejših delih in na robovih modela. Ker pa nas je v tem letu prehitel že prvi sneg, smo lahko s stereoposnetki izmerili samo območja, prekrita s snegom, samega ledenika pa ne. Zato je obseg ledenika v tem letu večji.

Ker pa je bil stereomodel iz leta 2001 izmerjen in izračunan v globalnem koordinatnem sistemu WGS84 ter naknadno transformiran v Gauss-Krügerjev koordinatni sistem, se je nanj transformiral model iz leta 1999, ki je bil izmerjen v lokalnem koordinatnem sistemu. Nanj so se transformirale tudi stabilizirane točke iz leta 1995, ki so bile prav tako izmerjene v lokalnem koordinatnem sistemu. Transformacijo smo izvedli s sedemparametrično prostorsko transformacijo prek devetih veznih točk, vidnih na obeh modelih, zajetih na analitičnem fotogrametričnem inštrumentu Adam Promap. Rezultat fotogrametrične izmere je bil izdelan geodetski načrt v merilu 1:1000.



Slika 6: Stabilizirana oslonilna točka iz leta 2001, posneta ob fotogrametričnem snemanju leta 2003. Foto: Miha Pavšek.



Slika 7: Pogled na ledenik leta 2001 skozi vrata helikopterja med fotogrametričnim snemanjem. V desnem vogalu je koleno fotografa Staneta Tršana s fotoaparatom Rolleiflex v naročju (foto: Mihaela Triglav Čekada).

3.3 Izmera v letu 2003

Da bi se izognili jesenskemu snegu, ki bi prekril ledenik, smo se na fotogrametrično snemanje v letu 2003 odpravili že avgusta. S sabo smo odnesli tudi veliko barv in vijakov za označevanje in stabilizacijo novih oslonilnih točk, da ne bi tako kot v letu 20 morali orientirati fotogrametričnih stereoparov z le nekaj slabo razporejenimi oslonilnimi točkami. Meritve in helikoptersko snemanje smo opravili 26. in 28. avgusta 2003. Geodetske tahimetrične meritve so bile izvedene z elektronskim tahimetrom Leica TC 403L. Koordinate izmerjenih geodetskih točk so bile določene v globalnem koordinatnem sistemu, saj smo izmero navezali na oslonilne točke, izmerjene z meritvami GPS v letu 2001. Poleg novih oslonilnih točk (6 novih točk) so bile v izmero vključene tudi poligonske točke (9 točk), merjene v lokalnem koordinatnem sistemu leta 1999, in nekatere merilne točke (12 točk), od katerih so v preteklosti izvajali meritve odmika ledenika z merskim trakom sodelavci Geografskega inštituta Antona Melika.

Ponovno se je izvedlo helikoptersko fotogrametrično snemanje iz roke s fotoaparatom Rolleiflex 6006. S treh različnih višin nad ledenikom smo posneli tri snemalne pasove. Za stereorestitucijo

so se uporabili posnetki, narejeni na najmanjši višini nad ledenikom. Oslonilne točke iz leta 2001 so bile signalizirane s signali 0,5 m nad tlemi (sliki 6 in 8), nove so bile stabilizirane z vijakom in signalizirane z neobstojno barvo. Na podlagi opravljenih meritev in fotogrametričnega snemanja je bil ponovno izdelan 3D-načrt ledenika in okoliškega terena v merilu 1:1000.



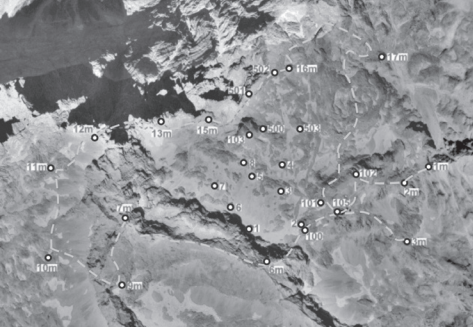
Slika 8: Stabilizirana oslonilna točka iz leta 2003. Foto: Miha Pavšek.

3.4 Izmera v letu 2005

Ker smo želeli pravilno umestiti v prostor tudi starejše podatke in posnetke ledenika, smo se odločili, da v letu 2005 posnamemo celotno območje med robom Triglavске severne stene in vrhom Triglava, medtem ko smo bili pri prejšnjih fotogrametričnih snemanjih usmerjeni na ožje območje ledenika. Ker je širše območje veliko približno 1,5 km², smo se odločili za klasično aerosnemanje s fotogrametrično kamero velikega formata Leica RC 30 v barvni tehniki. Aerosnemanje z dveh višin (različnih meril snemanja) so izvedli sodelavci Geodetskega zavoda Slovenije v jutranjih urah 25. avgusta 2005 (preglednica 2). Že dan prej smo stabilizirali in izmerili 13 novih stabiliziranih točk na širšem območju snemanja in stare oslonilne točke (slika 9).

Sama geodetska izmera oslonilnih točk je potekala na dva načina: opravili smo izmero novih in starih oslonilnih točk na ožjem območju ledenika s tahimetrično metodo ter izmero novih oslonilnih točk na širšem območju s hitro statično metodo (20–30 minut) ali metodo VRS RTK GPS, odvisno dosegljivosti signala GSM (Kozmus in Stopar, 2003). Izmera GPS se je izvajala v koordinatnem sistemu ETRS89, naknadno pa je bila transformirana v Gauss-Krügerjev koordinatni sistem na podlagi lokalnih transformacijskih parametrov. Pri tahimetrični izmeri je bil uporabljen elektronski tahimeter Leica TCR 403, pri izmeri GPS pa sprejemnik GPS Trimble R8. Nove oslonilne točke smo stabilizirali z vijakom in signalizirali z narisanimi kraki križa roza neobstojne barve. Kraki so bili široki 20 cm in dolgi 1,5 m (slika 10).

Med izvajanjem meritev se ves novozapadli sneg iz pretekle zime še ni stalil, zato je tudi izmerjeni obseg ledenika večji kot v letu 2003. Prav tako nekatera mesta širšega območja ledenika, prikazana na 3D-načrtu iz 2005 (merilo 1:1000), ne kažejo pravih tal.



Slika 9: Razporeditev oslonilnih točk, signaliziranih leta 2005, na izseku ortofota. Označena je tudi pot dostopa do novih oslonilnih točk. Izris: Matija Klanjšček.



Slika 10: Signalizacija oslonilne točke in njena GPS-izmera v letu 2005. Foto: Matija Klanjšček in Blaž Barborič.

Merilo snemanja	Datum snemanja	Snemalni pas, film	Številki posnetkov
1:4000	25. 8. 2005	405, 48/05	7503-7509
1:5000	25. 8. 2005	405, 48/05	7510-7516

Preglednica 2: Posebno aerosnemanje Triglavskega ledenika leta 2005.

3.5 Izmera v letu 2007

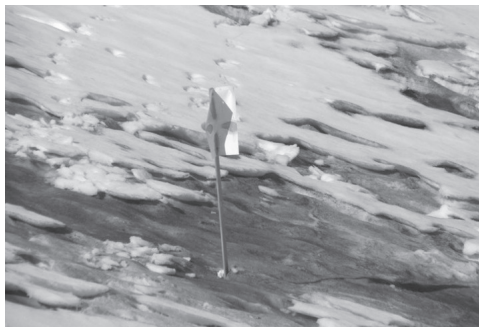
V letu 2007 nas je pred meritvami prehitel novozapadli sneg v avgustu in začetku septembra. Zato smo se na ledenik odpravili 13. in 14. septembra 2007, ko se je novi sneg že nekoliko stalil. Z geodetsko izmero in fotogrametričnim snemanjem naj bi dokumentirali ožje območje trenutnega stanja ledenika. Zaradi majhnega obsega ledenika in njegovega robu, ki je bil deloma prekrit s snegom, smo se odločili za detajlno tahimetrično izmero njegovega oboda in točk na sami površini ledenika. Sodelavci Geografskega inštituta Antona Melika so tako ob sami izmeri določili, kje je meja ledenika in kje je novozapadli sneg. To je tudi poenostavilo kasnejšo fotointerpretacijo posnetkov v pisarni.

Tahimetrična izmera se je izvajala s stojišča 52 – merilna točka geografov, ki je bila prvič izmerjena in zarisana s trajno barvo leta 1995. Točko smo navezali na poligonske točke okoli Triglavskega doma na Kredarici in na Glavi (slika 3). Detajlne točke oboda ledenika so bile izmerjene na vsakih 5 metrov. Izmerili smo tudi profile na samem ledeniku. Detajlne točke na profilih so bile med seboj oddaljene približno 5 metrov. Tako smo že na samem terenu izmerili digitalni model višin (DMV) ledenika, ki smo ga s pomočjo stereoizvrednotenja fotogrametričnih posnetkov v pisarni samo še zgostili. Skupno smo v dveh dneh tahimetrične izmere izmerili 531 detajlnih točk.

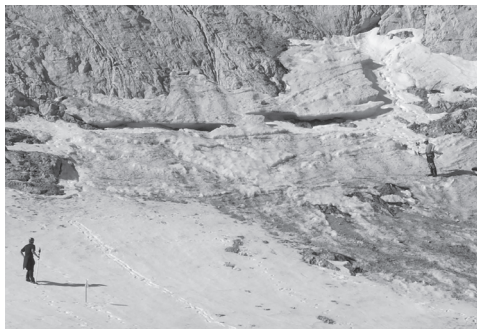
Pred terestričnim fotogrametričnim snemanjem so se na novo signalizirale in izmerile nove oslonilne točke, ki so se nahajale neposredno ob robu ledenika in tudi na samem ledeniku. Oslonilne točke na obodu ledenika so bile signalizirane z neobstojo barvo, točke na ledeniku pa z začasnimi signali (slika 11). Nobena nova oslonilna točka ni bila stabilizirana s trajno označbo. Terestrično fotogrametrično snemanje z metričnim fotoaparatom Rolleiflex 6006 smo izvedli iz neposredne

bližine ledenika (poleg merilne točke geografov 52) in s pobočja poleg Triglavskega doma na Kredarici (poleg poligonske točke 101).

Kot zanimivost naj omenimo še, da smo v letu 2007 z Geodetskim zavodom Celje nameravali opraviti terestrično lasersko skeniranje ledenika, ki pa je žal odpadlo zaradi logističnih problemov pri helikopterskem prevozu opreme.



Slika 11: Začasna signalizacija oslonilnih točk na ledeniku v letu 2007. Foto: Mihaela Triglav Čekada.



Slika 12: Detajlna tahimetrična izmera ledenika pod ledeniško razpoko v letu 2007. Foto: Mihaela Triglav Čekada.

4 SKLEP

V članku so opisane enostavne in geodetske metode izmere umikanja ledenika. Skozi dolgo zgodovino meritev Triglavskega ledenika, od leta 1946 naprej, se je zvrstilo kar nekaj različnih metod kontaktne izmere, od meritev z merskim trakom, klasičnih geodetskih tahimetričnih meritev do izmere GPS po dveh različnih metodah. Geodetske meritve so tudi podlaga za določitev oslonilnih točk, na katero se navezujejo brezkontaktna metode izmere, kot so fotogrametrične in georadarske meritve. Poleg različnih uporabljenih tehnik klasične geodetske izmere smo preizkusili različna fotogrametrična snemanja: od terestričnega, aerosnemanja iz helikopterja z metričnim fotoaparatom srednjega formata ter klasičnega aerosnemanja z letalom z metričnim fotoaparatom velikega formata. Povezljivost podatkov, izmerjenih v različnih časovnih obdobjih, pa je zelo odvisna od uporabljenega koordinatnega sistema, v katerem so določene koordinate točk: lokalni ali globalni koordinatni sistem. Uporabnost starejših meritev, izvedenih v lokalnem koordinatnem sistemu, pada z leti, saj se izgublajo podatki o uporabljenem inštrumentariju, številu navezovalnih točk (npr. navezovalne geodetske točke v okolici koč na Kredarici so bile v obdobjih obnove koč in dozidave vetrnice že uničene). Kljub temu take podatke še vedno lahko transformiramo v globalni koordinatni sistem (državni koordinatni sistem), če le najdemo točke takratne izmere, ki so razpoznavne tudi v današnjem stanju terena. Poudariti pa moramo, da zaradi majhnega števila točk, uporabljenih za transformacijo v globalni koordinatni sistem, ter slabi določljivosti teh točk v obeh koordinatnih sistemih, izgubljammo natančnost transformiranih podatkov. Različne metode izmere in postopki transformacije v enoten koordinatni sistem nam na koncu dajo dragocene podatke, s katerim lahko z zadovoljivo natančnostjo rekonstruiramo izginjanje ledenika skozi daljše časovno obdobje.

5 ZAHVALA

Za opis geodetske izmere in kartografske obdelave podatkov iz leta 1952 se zahvaljujemo g. Marjanu Jenku. Za detajle o geodetski izmeri iz leta 1995 se zahvaljujemo g. Franju Droletu. Zahvaljujemo se tudi oskrbnikom Doma na Kredarici, ki so bili v vseh letih pripravljeni sodelovati z merskimi ekipami, med drugim s prevozom in skladiščenjem opreme na Kredarici. Prav tako se zahvaljujemo vseh ustanovam, ki so omenjene že v tekstu in so pomagale pri izmerah. Izmere je finančno omogočil Geografski inštitut ZRC SAZU. V zadnjih letih je bilo delo financirano tudi v okviru projekta ARRS Triglavski ledenik kot pokazatelj podnebnih sprememb, Projekt ARRS L6-7136, ki ga je sofinancirala tudi Agencija RS za okolje.

LITERATURA IN VIRI

- Gabrovec, M. (1998). Triglavski ledenik v letih 1986–1998, *Geografski zbornik* 38, Ljubljana, str. 89-110.
- Gabrovec, M., Peršolja, B. (2004). Triglavski ledenik izginja, *Geografski obzornik* 51/3, str. 18–23.
- Gabrovec, M. s sodel. (2005). Triglavski ledenik kot pokazatelj podnebnih sprememb, *Projekt ARRS L6-7136, prvo vmesno poročilo, november 2005*, Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU in Geodetski inštitut Slovenije.
- Gabrovec, M. s sodel. (2006). Triglavski ledenik kot pokazatelj podnebnih sprememb, *Projekt ARRS L6-7136, drugo vmesno poročilo, maj 2006*, Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU in Geodetski inštitut Slovenije.
- Gabrovec, M. s sodel. (2007). Triglavski ledenik kot pokazatelj podnebnih sprememb, *Projekt ARRS L6-7136, tretje vmesno poročilo, november 2007*, Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU in Geodetski inštitut Slovenije.
- Jenko, M. (2002). O geodetski izmeri Triglavskega ledenika leta 1952, osebni zapiski, hrani jih arhiv Geografskega inštituta Antona Melika, ZRC SAZU.
- Kosmatin-Fras, M. s sodel. (2001). Elaborat izdelave topografskih načrtov Triglavskega ledenika v letih 1999 in 2001, *Geodetski inštitut Slovenije, Ljubljana*.
- Kozmus, K., Stopar, B. (2003). Način določanja položaja s satelitskimi tehnikami, *Geodetski vestnik* 47:4, str. 404–413.
- Meze, D. (1955). Ledenik na Triglavu in Skuti, *Geografski zbornik* 3, Ljubljana, str. 5-114.
- Oštir, K. (2006). Daljinsko zaznavanje, Založba ZRC SAZU, Ljubljana.
- Šifrer, M., Košir, D. (1976). Nova dognanja na Triglavskem ledeniku in ledeniku pod Skuto 1963–1973, *Geografski zbornik* 15/3, Ljubljana, str. 211-269.
- Šifrer, M. (1986). Triglavski ledenik v letih 1974–1985, *Geografski zbornik* 26/3, Ljubljana, str. 97-137.
- Verbič, T., Gabrovec, M. (2002). Georadarske meritve na Triglavskem ledeniku, *Geografski vestnik*, 74-1, str. 25–42.
- Triglav, M. (2001). Določitev sprememb površja Triglavskega ledenika s fotogrametrijo, *diplomsko delo, FGC, Ljubljana*.

Prispelo v objavo: 28. junij 2008

Sprejeto: 21. avgust 2008

Mihaela Triglav Čekada, univ. dipl. inž. geod.

Geodetski inštitut Slovenije, Jamova 2, SI-1000 Ljubljana

e-pošta: mihaela.triglav@geod-is.si

dr. Matej Gabrovec, univ. dipl. geog. in etn.

Geografski inštitut Antona Melika, ZRC SAZU, Gosposka 13, SI-1000 Ljubljana

e-pošta: matej.gabrovec@zrc-sazu.si