

Spremembe prostornine Triglavskega ledenika

Matej Gabrovec

Dr., Geografski inštitut Antona Melika, Znanstvenoraziskovalni center SAZU,
Gosposka 13, 1000 Ljubljana, Slovenija
e-mail: matej@zrc-sazu.si

Izvleček

Primerjali smo geodetski načrt Triglavskega ledenika iz leta 1952 s topografskim načrtom iz leta 2001, ki je bil narejen s fotogrametrično izmero helikopterskih posnetkov. Tako smo izračunali spremembo debeline in prostornine. Ledenik se je v petdesetih letih ponekod stanjšal za več kot 35 metrov, njegova prostornina pa se je zmanjšala na petdesetino prvotne.

Ključne besede: glaciologija, Triglavski ledenik

Changes in the Volume of the Triglav Glacier

Abstract

We compared a geodetic map of the Triglav glacier from 1952 to a topographical map from 2001 made using photogrammetric calculations from helicopter photographs to calculate changes in thickness and volume. Over fifty years, the glacier thinned in some places by more than thirty-five meters, and its volume decreased to one fiftieth of its size in 1952.

Key words: Glaciology, Triglav Glacier

1. UVOD

Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU vse od leta 1946 redno opazuje in meri Triglavski ledenik (Meze 1955; Šifrer 1963, 1976, 1987; Gabrovec 1998). S klasično metodo merjenja smo dobili podatke o spremembah v eni dimenziji – spremembi dolžine ali debeline ledenika na posameznih točkah. S pomočjo teh podatkov so bile izrisane preproste skice in na njihovi podlagi je bila izračunana tudi površina ledenika v posameznih letih. V prvih letih merjenja se je površina ledenika gibala okoli 15 ha (Meze 1955). V letih 1995 in 1999 je bil obod ledenika natančno izmerjen s teodolitom z optičnim razdaljemerom. Površina ledenika se je v petdesetih letih zmanjšala na desetino prvotne, to je na 1,375 ha (Peršolja 2000). Še mnogo večji pa je bil upad prostornine. Ledenik je imel na začetku opazovanja izrazito konveksno obliko, v zadnjih letih pa postaja vedno bolj konkaven. Ledenik se je tako na sredini bistveno bolj stanjšal kot na robovih.

Za proučevanje prostorninskih sprememb si s klasičnimi meritvami oboda ledenika ne moremo pomagati. Potrebne so natančne tridimenzionalne meritve celotne površine ledenika, te lahko izvedemo s klasičnimi geodetskimi meritvami ali pa z fotogrametričnimi metodami. Za preteklo petdesetletno razdobje imamo na voljo tri vire: posnetke cikličnega aerosnemanja, fotografije ledenika iz dveh stojišč na Kredarici od leta 1976 dalje in geodetsko izmero iz leta 1952. Za primerjavo s starejšimi razdobji pa je bila seveda potrebna tudi meritev trenutnega stanja. V letu 1999 in 2001 smo organizirali helikoptersko snemanje ledenika. Na podlagi teh posnetkov sta bila izdelana topografska načrta Triglavskega ledenika (Elaborat... 2001). Leta 2000 so bile izvedene georadarske meritve, na njihovi podlagi je bila izračunana topografija ledenikove podlage (Gabrovec, Verbič 2002).

2. GEODETSKE MERITVE LEDENIKA MED LETOMA 1999 IN 2001

V letu 1999 so bile meritve izvedene med 13. in 15. 9. Za potrebe fotogrametrične izmere so bile signalizirane in izmerjene poligonske in oslonilne točke, izdelani so bil terestrični in zračni posnetki ledenika s profesionalno metrično kamero Rolleiflex 6006. Geodetska mreža je bila takrat izmerjana v lokalnem koordinatnem sistemu (Kosmatin Fras, M et al. 1999). S temi meritvami je bilo evidentirano najmanjše stanje ledenika dotlej. Opazovanja v letu 2000 niso pokazala bistvenih sprememb v obsegu ledenika. V sledeči zimi so bile nadpovprečne snežne padavine, tako da se v poletju leta 2001 sneg na ledeniku

sploh ni stalil (Gabrovec 2002). Tega leta smo 17. 10. ponovno izvedli helikoptersko snemanje, pred tem pa je ekipa, sestavljena iz sodelavcev Geografskega inštituta Antona Melika, Planinske zveze Slovenije, 2B d.o.o. in Geodetskega inštituta Slovenije stabilizirala in izmerila 9 oslonilnih točk z GPS meritvami. Fotogrametrično izvrednotenje posnetkov iz obeh let je bilo izvedeno na analitičnem fotogrametričnem instrumentu Adam Promap resolucije 1 μm na Geodetskem inštitutu Slovenije. Zajem se je glede natančnosti in podrobnosti

izvajal v skladu s topografskim ključem za merilo načrta 1 : 1000. Absolutna orientacija helikopterskih posnetkov iz leta 2001 je bila izvedena s pomočjo majhnega števila oslonilnih točk, ker se štiri oslonilne točke nad ledenikom, ki so bile v senci, niso videli. Tako je absolutna natančnost orientacije modela 1,5 m. Lahko pa pričakujemo večja odstopanja v strmehjših delih modela, kjer oslonilne točke niso bile vidne, in na robovih modela, kjer oslonilnih točk sploh ni. Model ledenika iz leta 1999 je bil orientiran s pomočjo oslonilnih točk iz tega leta, ki so bile izmerjene v lokalnem koordinatnem sistemu. Ti podatki so bili potem transformirani s sedemparametrično prostorsko transformacijo preko devetih točk v globalni koordinatni sistem, v katerem je že bil model iz leta 2001 (Elaborat...2001)

Topografski načrt za leto 2001 v nasprotju z načrtom za leto 1999, ki obsega le takratni ledenik z bližnjo okolico, zajema širše ozemlje. Načrt tako zajema celotno skalno ozemlje, ki ga je pred petdesetimi leti še prekrival ledenik. Ta načrt smo zato uporabili za osnovo primerjav s starejšimi razdobji. Načrt iz leta 2001 bo sicer treba v prihodnosti s pomočjo dodatnih kontrolnih točk dopolniti in izboljšati njegovo natančnost. Zato tudi rezultati primerjav v tem članku še niso dokončni, predstavljajo pa vendar dobro oceno velikostnega reda sprememb.

3. GEORADARSKE MERITVE

Georadar je nedestruktivna elektromagnetna geofizikalna metoda za raziskovanje, pregledovanje in opazovanje (prekritih) materialov. Raziskovalno orodje so elektromagnetni valovi, ki jih oddajna antena pošilja v preiskovan material (Gabrovec, Verbič 2002). Prve meritve je leta 1999 opravil D. Najdovski s sodelovanjem T. Verbiča. Na dveh prerezih smo tako dobili podatke o izoblikovanosti pobočja oziroma kotanje, v kateri leži ledenik. Največja debelina ledu v teh dveh prerezih je bila med sedmimi in osmimi metri (Peršolja 2000). Drugič smo na Triglavskem ledeniku opravili georadarske meritve 5. in 6. julija 2000. Sneg je tedaj prekrival skoraj celoten ledenik. Georadarske profile smo snemali z 500 MHz zaščiteni anteno. Razdalje med profili so bile

različne, glede na naravne danosti, oziroma glede na možnost varovanja. Vsi profili so potekali vzdolžno, od vrha proti dnu ledenika. Uspešno smo posneli 12 profilov, ki si sledijo od vzhoda proti zahodu. Na vseh profilih sta meji med podlago in ledom ter ledom in snegom izraziti. Konstrukcija oz. interpretacija na radargramih je večinoma enoznačna. Na redkih mestih lahko izločimo dve ali več variant interpretacije, vendar se tudi te variante med seboj bistveno ne razlikujejo. Debelina ledu znaša do 9,5 m, povprečna debelina pa je približno štiri metre. Topografijo profila oziroma njegovo geodetsko postavitve smo zagotavljali s klasičnimi geodetskimi meritvami, ki jih je s teodolitom z optičnim razdaljemerom opravil Franjo Drole z Inštituta za raziskovanje krasa ZRC SAZU. Izmerjen je bil začetek in konec vsakega profila, vmesne točke pa na vsakih 5 do 10 metrov. Na posameznih profilih smo tako izmerili 9 do 24 točk. Skupaj je bilo tako na 12 profilih geodetsko izmerjenih 195 točk. Za te točke imamo podatke o geografski širini in dolžini ter nadmorski višini, iz obdelanih radargramov pa smo na teh točkah izmerili debelino snega in ledu. Za izračun same prostornine ledenika pa je pomemben le podatek o debelini ledu. Ker so georadarske meritve potekale v času, ko je bil ledenik pod snegom in njegova meja ni bila povsod vidna, smo posamezne meritve začeli nad zgornjim robom ledu in končali pod spodnjim robom. Prvi, najbolj vzhodni profil, pa celo v celoti poteka po snegu ob ledeniku. Severovzhodni del ledenika je bil v letu 1999 popolnoma prekrit z gruščem, georadarske meritve pa so lepo pokazale tamkajšnji led, vse točke v tem delu smo zato vključili v obdelavo. V obdelavo smo tako vključili 146 točk s prisotnostjo ledu z enajstih profilov. Točkovne podatke o debelini ledenika smo interpolirali s pomočjo računalniškega programa IDRISI z modulom TINSURF. Točnost interpolacije je v podrobnostih v primeru drobno razčlenjenega kraškega reliefa v podlagi ledenika vprašljiva, kljub temu pa lahko na podlagi teh rezultatov dobimo solidno oceno prostornine ledu. Ta je bila v času meritev približno 35.000 m³.

4. POSNETKI CIKLIČNEGA AEROSNEMANJA

Ogled posnetkov cikličnega aerosnemanja na Geodetskem zavodu je pokazal, da za območje Triglava z dobro vidnostjo ledenika obstajajo posnetki iz let 1975, 1992, 1994 in 1998 (Kosmatin Fras, M et al. 1999). Testno je bilo narejeno fotogrametrično izvedenjenje posnetka iz leta 1992 (potrebni bodo še nekateri popravki), v načrtu pa je še obdelava posnetka iz leta 1975. Prvi izračuni kažejo, da se je samo na območju, kjer se je ohranil ledenik do leta 1999, v predhodnih sedmih letih stalilo okoli 100.000 m³ ledu. Tu gre za predhodne podatke, ki jih je potrebno še dodatno preveriti in morda posnetke ponovno orientirati (Gabrovec 2002).

5. FOTOGRAFIRANJE LEDENIKA S KREDARICE

Geografski inštitut Antona Melika je na pobudo M. Orožna Adamiča v sodelovanju z meteorologi na Kredarici organiziral redno fotografiranje Triglavskega ledenika z dveh stalnih stojišč v bližini planinskega doma na Kredarici. Redno fotografiranje, približno enkrat mesečno, poteka vse od leta 1976. Posnetki so narejeni z ruskim panoramskim fotoaparatom Horizont s snemalnim kotom 180° . Fotoaparat ima posebno konstrukcijo vrtečega se objektiva. Rekonstrukcija tridimenzionalne površine ledenika iz teh posnetkov predstavlja poseben strokovni izziv za fotogrametrično stroko. V prvi fazi je bilo potrebno kalibrirati fotoaparat Horizont in ugotoviti geometrične lastnosti fotografij. Arhivski posnetki so bili preko izbranih oslonilnih točk povezani z novimi helikopterskimi metričnimi fotografijami iz let 1999 in 2001. Za rešitev naloge niso zadoščale standardne fotogrametrične metode, ampak je bilo potrebno obstoječe fotogrametrične programe dopolniti (Triglav, Kosmatin Fras, Gvozdanovič 2000). Do konca leta 2001 so bili rešeni osnovni teoretični problemi, niso pa še končane analize posameznih posnetkov izbranih obdobj.

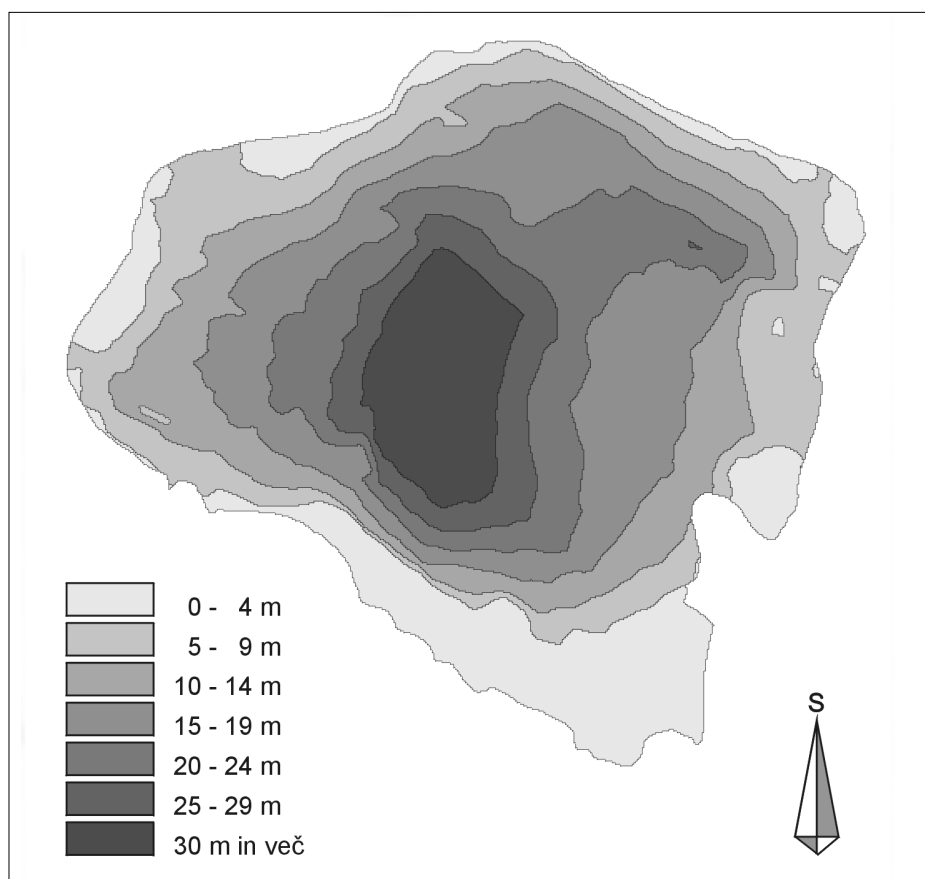
6. GEODETSKA IZMERA LETA 1952

Geodetsko snemanje je 3. in 4. oktobra opravil M. Jenko v sodelovanju z I. Gamsom in D. Koširjem. Pred meritvami je 1. oktobra zvečer oziroma ponoči zapadlo 10 do 15 cm snega, ki se je obdržal na ledeniku. Teodolit-tahimeter je bil tedaj moderni Wild T1 s centezimalno razdelbo in direktnim odčitavanjem 0,01 grada. Imeli so zložljivo trimetrsko tahimetrično lato in par zložljivih trasirk. Merjenje dolžin je bilo optično z natančnostjo približno 20 do 30 cm na 100 m. Obenem so se določali višinske razlike z natančnostjo približno 5 do 20 cm na 100 m razdalje. Smeri, dolžine in višinske razlike med stojiščnimi točkami so se merile obojestransko. M. Jenko je zvečer s stojišča v bližini planinskega doma na Kredarici opazoval orientacijski priklep na zvezdo Severnico in s tem omogočil orientacijo načrta glede na krajevni meridian z natančnostjo, ki jo ceni na približno 0,005 grada (= 16"). Na podlagi meritev je bil izdelan načrt v merilu 1:2500, na katerem so izrisane plastnice z ekvidistanco 5 m. (Jenko 2001).

7. SPREMEMBA PROSTORNINE LEDENIKA MED LETI 1952 IN 2001

Uporabili smo topografska načrta ledenika iz let 1952 in 2001. Z računalniškim programom IDRISI z modulom TINSURF smo z interpolacijo izohips naredili digitalni model višin za obe leti. S prekrivanjem obeh slojev smo izračunali spremembo debeline ledenika na posameznih točkah in spremembo prostornine. Na posameznih mestih se je ledenik stanjšal za več kot 35 m, njegova prostornina pa se je zmanjšala za več kot poldrugi milijon m³. To pomeni, da se je v pol stoletja površina ledenika skrčila na desetino prvotne, prostornina pa kar na petdesetino prvotne.

Slika 1: Zmanjšanje debeline Triglavskega ledenika med letoma 1952 in 2001.



8. SKLEP

V drugi polovici 20. stoletja se je prostornina Triglavskega ledenika skrčila na 35.000 m³. Samo v zadnjem desetletju se je samo na območju, kjer se je ohranil ledenik do leta 1999, stalilo več kot 100.000 m³ ledu. To pomeni, da se je v desetih letih stalilo trikrat več ledu od celotne današnje količine. Glede na to je povsem jasno, da se bo ob nadaljevanju podobnih podnebnih razmer, kot so bile v devetdesetih letih 20. stoletja, ledenik povsem stalil v nekaj letih. Opazovanja nam tudi jasno kažejo, da ni nič izjemnega, če se ledenik v enem letu stanjša za en ali dva metra. Danes izmerjena debelina nikjer ne presega desetih metrov, povprečna debelina pa je približno štiri metre. Izginotje ledenika bo pomenilo izgubo spomenika naše naravne dediščine, planinski dom na Kredarici pa bo ob tem izgubil svoj vodni vir.

Literatura:

- Elaborat izdelave topografskih načrtov Triglavskega ledenika v letih 1999 in 2001, 2001. Ljubljana, Geodetski inštitut Slovenije, 19.
- Gabrovec, M., 1998. The Triglav Glacier between 1986 and 1998 (Triglavski ledenik med letoma 1986 in 1998). Geografski zbornik, 38, 89-110.
- Gabrovec, M., 2002. Triglavski ledenik = The Triglav glacier. V: Brancelj, A (urednik), Visokogorska jezera v vzhodnem delu Julijskih Alp. Ljubljana, ZRC SAZU, Nacionalni inštitut za biologijo, 37-48.
- Gabrovec, M., Verbič, T., 2002. Georadarske meritve na Triglavskem ledeniku. Geografski vestnik, 74, v tisku.
- Jenko, M., 2001. O geodetski izmeri Triglavskega ledenika leta 1952 (tipkopis). Ljubljana, Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU, 2.
- Kosmatin Fras, M. et al., 1999. Fotogrametrična izmera površine Triglavskega ledenika v različnih časovnih presekih. Ljubljana, Inštitut za geodezijo in fotogrametrijo, 61.
- Meze, D., 1955. Ledenik na Triglavu in na Skuti. Geografski zbornik, 3, 10-114.
- Peršolja, B., 2000. Stanje Triglavskega ledenika v letu 1999. Geografski zbornik, 47-1, 20-22.
- Šifrer, M., 1963. Nova geomorfološka dognanja na Triglavu. Triglavski ledenik v letih 1954 - 1962. Geografski zbornik, 8, 157-210.
- Šifrer, M., 1976. Poglavitna dognanja na Triglavskem ledeniku v letih 1963 do 1973. Geografski zbornik, 15, 213-240.
- Šifrer, M., 1987. Triglavski ledenik v letih 1974-1985. Geografski zbornik, 26 (1986), 97-137.

Triglav, T., Kosmatin Fras, M., Gvozdanovič, T., 2000. Monitoring of Glaciers Surface with Photogrammetry, Case Study on Triglav Glacier. *Geografski zbornik*, 40, 7-30.

CHANGES IN THE VOLUME OF THE TRIGLAV GLACIER

Summary

We compared a geodetic map of the Triglav glacier from 1952 to a topographical map from 2001 made using photogrammetric calculations from helicopter photographs to calculate changes in thickness and volume. Over fifty years, the glacier thinned in some places by more than thirty-five meters, and its volume decreased to one fiftieth of its size in 1952.

The Anton Melik Geographical Institute of Scientific Research Centre of the Slovenian Academy of Sciences and Arts has regularly observed and measured the Triglav glacier since 1946. Using classical measuring methods, we acquired data about changes in one dimension: the change in the length or thickness of the glacier at individual points. With the help of this data, basic sketches were drawn, and on their basis the surface of the glacier was calculated for individual years. In 1995 and 1999, the circumference of the glacier was precisely measured using a theodolite with an optical distance meter. In fifty years the glacier surface decreased to 1,375 hectares, a tenth of its original size. The decrease in volume, however, was much greater. At the beginning of observations, the glacier had a distinctly convex shape, but it has become increasingly concave in recent years. The glacier has therefore thinned substantially more at the center than on its edges.

One possibility for studying changes in volume is the use of the photogrammetric method, which involves acquiring metrical data with the help of photographs. In cooperation with the meteorologists stationed on Mount Kredarica, the Anton Melik Geographical Institute organized regular photography of the Triglav glacier from two permanent stands near the Kredarica mountain lodge. Photographs have been taken regularly, approximately once a month, since 1976. By the end of 2001, the basic theoretical problems had been solved, but the analysis of individual photographs from selected periods is not yet complete. In addition to these photographs, individual shots from cyclic aerial photography are also available for calculating changes in the glacier's volume in past decades.

A valuable source for comparing volumes is the topographical map made by M. Jenko on the basis of geodetic measurements of the glacier made in

October 1952. Isopleths with an equidistance of five meters are drawn on his 1:2,500 scale map. This map was compared with the topographical maps of the Triglav glacier from 1999 and 2001 made by the Geodetic Institute of Slovenia on the basis of helicopter photographs. A digital model of altitudes was made for the years 1952 and 2001, and the changes in the thickness and volume of the glacier in this half-century period were calculated. During this period the glacier thinned by more than 35 meters in some places. Its volume therefore decreased from a million and a half cubic meters in the middle of the 20th century to 35,000 m³ today, one fiftieth of its size in 1952.