

Triglavski ledenik izginja

IZVLEČEK

V članku je predstavljeno več kot polstoletno raziskovanje Triglavskega ledenika, ki se je v tem času skorajda v celoti stalil. Opisane so metode merenj, razloženi rezultati dolgoletnih raziskovanj in dejavniki, ki so vplivali na taljenje ledenika.

Ključne besede:

Triglavski ledenik, podnebne spremembe, Julijske Alpe, Slovenija.

ABSTRACT

The Triglav Glacier is disappearing

The paper presents the research of the Triglav glacier which has almost melted away. The methods of measurements are comprehensively described and the results of long-term surveys are explained together with the factors which have influenced the melting of the glacier.

Key words:

Triglav glacier, climatic changes, Julian Alps, Slovenia.

Avtorja:

MATEJ GABROVEC, dr. geog.,
BORUT PERŠOLJA, univ. dipl. geog.,
Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU,
Slovenija
E-pošta: Matej@zrc-sazu.si,
Borut.Persolja@zrc-sazu.si

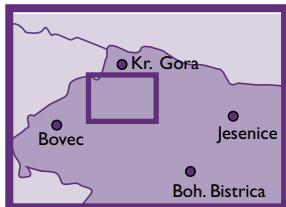
Avtorji fotografij:

R. CONVIZCKA, MATEJ GABROVEC,
DUŠAN KOŠIR, MARKO ZAPLATIL

Triglavski ledenik leži v Julijskih Alpah na nadmorski višini 2450 m. Zadnjih sto let njegove poltisočletne "zgodovine" zaznamuje težnja umikanja.

Stanje v zadnjih štiristo letih lahko obnovimo s preučevanjem starejših morenskih nasipov (slika 5). Šifrer (13) po legi moren, poraščenosti z modrozelenimi algami *Chroococcus lithophilus* Erceg in razmerah drugod v Alpah sklepa, da so najstarejše morene iz 17. ali 18. stoletja, naslednje iz sredine 19. stoletja, tretji morenski nasip pa naj bi nastal okrog leta 1920, ko je zaradi močno sneženih zim prišlo do prekinitve umikanja ledenikov.

Od sredine 19. stoletja so nam na voljo številni slikovni viri. Leta 1849 se je na Triglav povzpел slikar M. Pernhart. Na zelo natančno izrisani Triglavski panorami (na ogled v knjižnici Narodnega muzeja v Ljubljani - slika 1) vidimo Triglavski ledenik, ki sega do roba Triglavske severne stene. Boljšo primerjavo z novejšimi fotografijami daje slika L. Benescha iz let 1875-1880, ki Triglav prikazuje s severne strani. Že bežen pogled nakazuje mnogo večji obseg ledenika od današnjega (3, 9).



Raziskovanje ledenika po 2. svetovni vojni

Zadnjih petdeset let (od leta 1946) je Triglavski ledenik deležen stalnega opazovanja in raziskovanja, kar ga uvršča med pojave, ki so deležni najstarejših neprekinjenih znanstvenih raziskav v Sloveniji. Podatke o površini Triglavskega ledenika (ti so tudi najstarejši v nizu več kot petdesetletnega neprekinjenega opazovanja in merjenja) smo dobivali na različne načine. Sprva so vsakoletne meritve obsegale merjenje razdalje od ledu do merilnih točk, ki so jih raziskovalci ročno označevali na obodu ledenika. Poleg tega smo v nekaterih letih označili tedanji rob ledenika (navadno z vodoravno črto, ki smo ji pripisali letnico), v posameznih letih pa tudi z drugačnimi znaki (6). Občasno so bile opravljene klasične geodetske meritve s teodolitom, prve že leta 1952, kasneje pa še leta 1995 in 1999.

Življenje ledenika po 2. svetovni vojni lahko v grobem razdelimo v tri obdobja. V prvih petnajstih letih je značilno hitro umikanje in tanjšanje ledenika; iz tega časa so tudi že prvi zapisi o njegovem skorajšnjem izginotju (8). Po letu 1960 se je umikanje upočasnilo, površina ledenika je stagnirala, opazovalci so zabeležili le njegovo počasno tanjšanje. V drugi polovici sedemdesetih let se je umikanje ledenika še bolj upočasnilo oziroma skoraj povsem ustavilo. Spodnji del ledenika je bil ob koncu talilne dobe večinoma pokrit s snegom, razkrit pa je bil le manjši

O obsegu ledenika v preteklih dveh stoletjih lahko marsikaj zvedemo s preučevanjem starih fotografij ter na podlagi posameznih omemb, zlasti v gorniški literaturi. Tako je na primer v zanimivem potopisu o odpravi tržaških planincev na Triglav leta 1897 objavljena lepa fotografija Triglavskega ledenika (1). Tovrstno gradivo je za njegove raziskovalce izjemno zanimivo, zato bomo veseli, če nas boste bralci obvestili o (doslej neobjavljenih) slikah in fotografijah ledenika iz 19. ali iz prve polovice preteklega stoletja.

osrednji del ledenika. V tem času je povprečna debelina snežne odeje ob koncu redilne dobe ledenika (v mesecu aprilu) znašala več kot 4,5 m, medtem ko je bilo v razdobju 1955-1962 povprečje le 297 cm (14). Do preobrata je prišlo v letu 1983. Takratne raziskave so pokazale močno skrčenje in stanjšanje ledenika, ki ju je povzročilo izjemno toplo poletje. V naslednjih letih je bilo krčenje ledenika še posebej močno. Leta 1986 je izpod ledenika na spodnjem vzhodnem koncu pogledal širok živoskalni prag, ki je ločil spodnji jezik ledenika od njegovega osrednjega dela. Od takrat ne govorimo več le o umikanju ledenika, ampak tudi o njegovem razpadanju (4, 5). V letu 2003 so bili robni deli ledenika prekriti z gruščem, v osrednjem delu pa je v vpadnici žleba v steni Triglava voda izdolbila plitev rov. Levi zgornji stenski del ledenika, ki je leta 1999 prvič izgubil stik z osrednjim pobočnim delom, je skoraj v celoti izginil (11).



Slika 1: Pernhartova Panorama s Triglava. Slika hrani Narodni muzej v Ljubljani (foto: Marko Zaplatil).



Slika 2: Triglavski ledenik leta 1897. Fotografija je bila objavljena v tržaški reviji *Il Tourista* (foto: R. Convizcka).

Kako spremljamo ledenik v zadnjih letih?

Leta 1999 smo Triglavski ledenik prvič posneli iz zraka s fotogrametrično kamero v običajni stereo tehniki. Snemanje je bilo uspešno, podatki so omogočili kakovostno obdelavo in prikaz tridimenzionalnega modela ledenika.

Zato smo snemanje iz zraka ponovili še v letih 2001 in 2003, na podlagi helikopterskih posnetkov pa so bili za vsa snemanja izdelani digitalni topografski načrti Triglavskega ledenika v merilu 1 : 1000 in digitalni model višin (2).

Leta 1999 smo na Triglavskem ledeniku prvič uporabili tudi georadar, oddajno signalno napravo za raziskovanje prekritih gradiv. Na dveh prerezih smo dobili podatke o izoblikovanosti pobočja oziroma kotanje, v kateri leži ledenik. V letu 2000 smo georadarske meritve ponovili na 14 prerezih in s tem dopolnili podatke o podledeniškem površju. Največja izmerjena debelina ledu je bila 9,5 m, povprečna debelina pa je bila ocenjena na 3 m (16).

Tridimenzionalni podatki o površini ledenika so nam skupaj s podatki o njegovi debelini omogočili izračun prostornine v posameznih letih. Če se je površina ledenika v pol stoletja skrčila na približno dvajsetino prvotne, se je prostornina na manj kot stotino. Sredi 20. stoletja je bila prostornina ledenika namreč med 1,5 in 2 milijona m³, največja debelina ledu pa je bila okoli 40 m. Po prvih ocenah danes prostornina ne presega 20.000 m³.



Slika 3: Vhod v brezno na sliki je do konca 20. stoletja prekrival ledenik. Oznake levo od brezna označujejo spodnji rob ledenika v navedenih letih (foto: Matej Gabrovec).

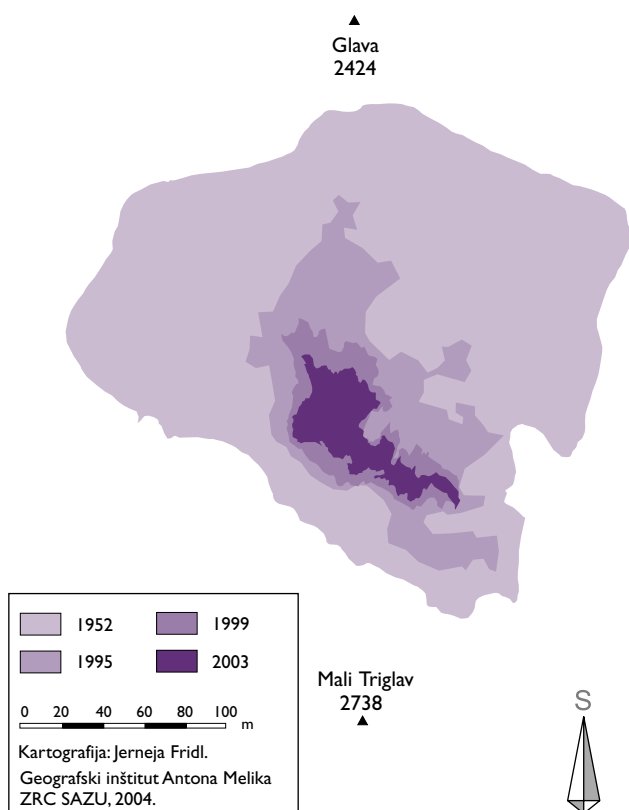
Preglednica 1: Pregled spreminjanja površine Triglavskega ledenika.

leto	površina (ha)	nadmorska višina zgornjega roba (m)	nadmorska višina spodnjega roba (m)
1900	32	2600	2280
1952	12,5	2565	2390
1995	3,0	2545	2415
1999	1,1	2510	2440
2003	0,7	2495	2445

Leta 1976 smo začeli ledenik redno, približno enkrat mesečno, fotografirati z dveh stalnih mest v okolici Triglavskega doma na Kredarici (2515 m). Več kot 4000 posnetkov nam omogoča spremljanje stanja ledenika med letom in primerjavo med posameznimi leti. Konec devetdesetih let prejšnjega stoletja je bila izdelana metodologija fotogrametrične obdelave teh fotografij in izdelave ploskovnega modela površine ledenika v različnih časovnih obdobjih (15).

Podnebne spremembe in prihodnost ledenika

Vidni dokaz gibanja ledenika so ledeniške razpoke, ki nastajajo zaradi razlik v hitrosti premikanja posameznih delov ledenika. Lepo so vidne na starih fotografijah z začetka 20. stoletja, pa tudi na posnetkih prvega slovenskega celovečernega filma z naslovom *V kraljestvu Zlatoroga* (iz leta 1931). Očitno se ledenik v zadnjih letih nič več ne premika, saj smo zadnjo ledeniško razpoko opazili oktobra leta 2001. Hitrost premikanja ledu je namreč rezultat nagnjenosti in izoblikovanosti površja oziroma podlage, debeline oziroma mase ter temperature oziroma plastičnosti ledu. Največji del premikanja ledenika lahko pripišemo gravitacijskemu gibanju zaradi nagnjene podlage in mase ledenika, ki sili navzdol.



Slika 4: Spremljanje obsega Triglavskega ledenika v letih 1952, 1995, 1999 in 2003.

Triglavski ledenik v sedanjem stanju si svojega imena ne zasluži več. Vse tipične lastnosti ledenika se spreminjajo ali celo izginjajo. Tako se je s krčenjem debeline in površine ledenika spremenila tudi sestava ledu. Za nastanek ledeniškega ledu s prostorninsko gostoto 870-910 kg/m³ so odločilni dejavniki dovolj velika količina snežnih padavin, trajanje in način preobrazbe ter vrhnja obtežitev nižje ležečih slojev. Modrikasto-zelenega ledeniškega ledu praktično ni več, zamenjal ga je gostejši in temnejši vodni led, ki mu do konca preobrazbe manjka predvsem dolgotrajnejša obtežitev.



Slika 5: Triglavski ledenik leta 1971. Lepo je viden morenski nasip na robu severne stene Triglava (foto: Dušan Košir).



Slika 6: Triglavski ledenik leta 1990 (foto: Matej Gabrovec).



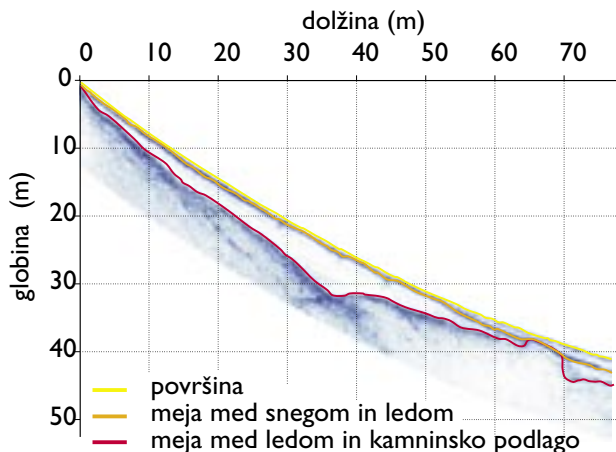
Slika 7: Triglavski ledenik leta 2003 (foto: Matej Gabrovec).

Kadar je led pod pritiskom, se tali tudi pri temperaturi pod 0 °C. Zato se ledenik na stiku s podlago lahko tali tudi pozimi, kar nam dokazujejo ledeniški potoki izpod ledenikov. Ko se pritisk zmanjša, pride do ponovnega zmrzovanja. Takšno ponavljajoče se zmrzovanje in taljenje ledu imenujemo regelacija, ki pomembno vpliva na gibanje ledenikov.

Manjši del k hitrosti prispeva regelacijsko gibanje ledenika, ki je rezultat ponavljajočega taljenja in zmrzovanja zaradi tlaka ledenika na podlago (12), ki je ponekod zglajena, ponekod pa zagruščena (16). Gravitacijsko gibanje (posledično pa tudi regelacijsko gibanje) je prenehalo zaradi fizične ujetosti ledenika v plitvo kotanjo, ki smo jo v podledeniškem površju razbrali z georadarskimi meritvami.

Vsakoletno spreminjanje ledenika je posledica zapletenega součinkovanja različnih podnebnih dejavnikov v topli in hladni polovici leta oziroma v njegovi talilni in redilni dobi. Prvo celovito analizo podnebnih dejavnikov v povezavi s kolebanjem ledenika je naredil Gams (7). Izračunaval je korelacijske koeficiente med izbranimi podnebnimi prvimi in letnim gibanjem spodnjega roba ledenika. Največja povezava je bila s poletno temperaturo zraka (izračunan korelacijski koeficient je bil 0,4362). Gamsa je presenetila slaba korelacija med poletnim številom ur sončnega obsevanja in spremembami v obsegu ledenika. To lahko pojasnimo s teoretičnim izračunom sončnega obsevanja. Moč sončnega obsevanja na Kredarici namreč poleti pogosto zmanjšuje popoldanska oblačnost. Kadar je popoldne Triglavski ledenik v senci, takratna oblačnost ne zmanjša moči sončnega obsevanja na ledeniku. Zaradi povečanega difuznega obsevanja je učinek prej nasproten. Po izračunih je tako na primer v zadnji tretjini julija ob treh popoldne ob jasnem vremenu moč sončnega obsevanja na Kredarici 663 W/m², na ledeniku (ki je takrat v senci) pa le 45 W/m². V primeru, da je nebo povsem prekrito z oblaki, pa je na Kredarici moč sončnega obsevanja 171 W/m², na Triglavskem ledeniku pa 159 W/m² (5).

Upoštevati pa je treba tudi posebnosti Triglavskega ledenika, na katere so v svojih poročilih opozarjali že dosednji opazovalci.



Slika 8: Izsek iz georadarskih prerezov (georadarske meritve in njihovo interpretacijo je izdelal Tomaž Verbič).

Izpostavili so na primer pomen erozijskega delovanja vode na ledeniku. Tako so v nekaterih letih že na začetku talilne dobe nastali številni žlebovi, globoki tudi do dva metra. Voda v veliki meri prenaša grušč in tako se njena erozijska moč še poveča (13). Seveda je količina staljenega ledu v talilni dobi odvisna tudi od količine snega ob koncu redilne dobe. Taljenje ledenika se pač lahko začne šele potem, ko se na njem stali ves sneg predhodnih zim. V devetdesetih letih 20. stoletja se je led pokazal izpod snega

navadno v drugi polovici julija (4), meteorološki opazovalci na Kredarici pa so v prvem desetletju delovanja te postaje (ustanovljena je bila leta 1954) poročali, da se je led navadno pokazal v avgustu (13). V letu 2001, ko je bila na Kredarici izmerjena rekordna debelina snežne odeje (17), je ledenik preko celega poletja ostal prekrit s snegom in krčenje ledenika se je začasno ustavilo; podobno se je zgodilo v sedemdesetih letih preteklega stoletja (14). Tudi v letu 2004 je bila snežna odeja na ledeniku na začetku talilne dobe podobna oni iz leta 2001.

Spreminjanje ledenikov v daljšem časovnem obdobju je tudi rezultat planetarnih podnebnih sprememb. Ohladitev na prehodu iz srednjega v novi vek (mala ledena doba) je povzročila nastanek Triglavskega ledenika. Hitro krčenje ledenika v zadnjem desetletju je nedvomno povezano z dvigom temperatur v tem obdobju. To jasno dokazujejo podatki z meteorološke postaje na Kredarici (2514 m) v njegovi neposredni bližini (10). V drugi polovici osemdesetih let 20. stoletja je zato prišlo do razpadanja ledenika na več manjših delov. Razkroju ledenika je sledilo tudi zasipavanje posameznih delov z gruščem. To pa pomeni, da se Triglavski ledenik najverjetneje ne bo stalil v celoti, ampak ga bo gruščnati nanos zaščitil in spremenil v fosilni ali ujeti led.



Literatura

- Chiodina, E. 1897: Salita del Tricorno (2846 metri). Il Tourista 4. Trieste (Trst).
- Elaborat izdelave topografskih načrtov Triglavskega ledenika v letih 1999 in 2001. Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU. Ljubljana.
- Gabrovec, M. 1996: Triglavski ledenik - kako dolgo še? Proteus 59. Ljubljana.
- Gabrovec, M. 1998: The Triglav Glacier between 1986 and 1998 (Triglavski ledenik med letoma 1986 in 1998). Geografski zbornik 38. Ljubljana.
- Gabrovec, M. 2002: Triglavski ledenik. Visokogorska jezera v vzhodnem delu Julijskih Alp. Ljubljana.
- Gabrovec, M. 2003: Triglavski ledenik. Slovenija, Ekskurzije Ljubljanskega geografskega društva. Ljubljana.
- Gams, I. 1994: Changes of the Triglav Glacier in the 1955-1994 Period in the Light of Climatic Indicators. Geografski zbornik 34. Ljubljana.
- Kunaver, P. 1950: Triglavski ledenik v agoniji? Planinski vestnik 50. Ljubljana.
- Meze, D. 1955: Ledenik na Triglavu in na Skuti. Geografski zbornik 3. Ljubljana.
- Nadbath, M. 1999: Triglavski ledenik in spremembe podnebja. Ujma 13. Ljubljana.
- Peršolja, B. 2003a: Poročilo o rednem letnem merjenju Triglavskega ledenika 25. 8. - 27. 8. 2003. Elaborat, Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU. Ljubljana.
- Peršolja, B. 2003b: Prvenstvo prevzema ledenik pod Skuto. Znanost, 13. 10. 2003. Ljubljana.
- Šifrer, M. 1963: Nova geomorfološka dognanja na Triglavu. Triglavski ledenik v letih 1954-1962. Geografski zbornik 8. Ljubljana.
- Šifrer, M. 1987: Triglavski ledenik v letih 1974-1985. Geografski zbornik 26. Ljubljana.
- Triglav, T., Kosmatin Fras, M., Gvozdanovič, T. 2000: Monitoring of Glaciers Surface with Photogrammetry, Case Study on Triglav Glacier (Spremljanje površja ledenikov s fotogrametrijo, študija na primeru Triglavskega ledenika). Geografski zbornik 40. Ljubljana.
- Verbič, T., Gabrovec, M. 2002: Georadarske meritve na Triglavskem ledeniku. Geografski vestnik 74-1. Ljubljana.
- Vrhovec, T., Velkavrh, A. 2001: Največja debelina snežne odeje na Kredarici. Geografski vestnik 73-2. Ljubljana.