

KRČENJE TRIGLAVSKEGA LEDENIKA V LUČI OSONČENOSTI

Matej Gabrovec*, Klemen Zakšek**

* Geografski inštitut Antona Melika, ZRC SAZU, Gosposka 13,
SI-1000 Ljubljana, Slovenija
e-mail: matej@zrc-sazu.si

** Inštitut za antropološke in prostorske študije, ZRC SAZU, Novi trg 2,
SI-1000 Ljubljana, Slovenija
e-mail: klemen.zaksek@zrc-sazu.si

*Izvirni znanstveni članek
COBISS 1.01*

Izvleček

V razpravah o podnebnih spremembah se krčenje ledenikov predstavlja kot pokazatelj temperaturnih sprememb. Vendar pa je za taljenje ledenikov bolj kot temperatura zraka pomemben sončni obsev. V tem članku nas zanimajo razlike med posameznimi leti na isti lokaciji, to je na Triglavskem ledeniku. Podatke o sončnem obsevu v talilni dobi ledenika smo primerjali s sočasnim krčenjem ledenika in tako ocenili pomen sončnega obsevanja v primerjavi z drugimi meteorološkimi dejavniki.

Ključne besede: fizična geografija, osončenost, Triglavski ledenik.

THE SHRINKING OF THE TRIGLAV GLACIER IN THE LIGHT OF SOLAR IRRADIANCE

Abstract

In the discussions about climate change, the shrinking of glaciers was often presented as an indicator of temperature changes. Yet, for the melting of glaciers the solar radiance exposure is more important than the air temperature. Our interest in the present article is focused on the differences between individual years at the same location, i.e. on the Triglav glacier. The data on radiance exposure in the glacier melting season were compared with the concurrent shrinking of the glacier and, accordingly, an assessment was made about the significance of radiance exposure as to the other meteorological factors.

Key words: physical geography, solar irradiance, Triglav glacier.

I. UVOD

Prvi model izračunavanja kvaziglobalnega sončnega obseva v Sloveniji, ki je omogočal računanje na poljubno nagnjenih ploskvah oziroma pobočjih in je upošteval tudi osenčenost, sta pripravila Matej Gabrovec in Marko Krevs (Gabrovec 1989, 1990). Za meteorološki del modela sta uporabila formule, ki sta jih razvila Hočevnar in Rakovec (Hočevnar, Rakovec 1977; Hočevnar 1980). Takratna računalniška tehnologija še ni omogočala izračunov na večjem ozemlju, zato so bili prvi izračuni omejeni na del Polhograjskega hribovja (Gabrovec 1990a). Šele nekaj let kasneje je bilo mogoče izdelati zemljevid sončnega obseva za ozemlje celotne Slovenije (Gabrovec 1996; Gabrovec, Kastelec 1998). Prvi izračuni so bili narejeni z namenom ugotavljanja razmer za kmetijstvo (Gabrovec, Cunder 1987) in možnosti izkoriščanja sončne energije (Gabrovec, Pavlin, Skobir 1998). Narejen je bil tudi poskus povezave sončnega obseva z lokacijo snežišč (Gabrovec 1990b).

Pri modelu izračunavanja sončnega obseva je bil v vseh navedenih študijah uporabljen stometrski digitalni model višin. Uporabnost tega modela pa je najmanjša v reliefno najbolj razgibanem svetu. V Sloveniji so reliefno najbolj razgibane Julijske Alpe, Karavanke in Kamniško-Savinjske Alpe (Perko 2001), tu pa so tudi vsa stalna snežišča in oba ledenika. Največje razlike pri uporabi stometrskega digitalnega modela višin v primerjavi s petindvajsetmeterskim se pokažejo pri izračunavanju naklonov in ekspozicij (Hrvatina, Perko 2005). Prav naklon in ekspozicija pa sta najpomembnejša reliefna elementa pri izračunavanju sončnega obseva. Pri izračunavanju sončnega obseva snežišč in ledenikov, ki ležijo na reliefno najbolj razgibanih območjih, se je tako kot ena ključnih pomanjkljivosti pokazal preveč grob digitalni model višin. To pomanjkljivost so odpravili Zakšek, Oštir in Podobnikar (2003, 2004), ko so zgoraj omenjen model nadgradili z uporabo petindvajsetmeterskega digitalnega modela višin. V tem prispevku je za izračun sončnega obseva ledenika uporabljen še natančnejši 12,5 m digitalni model višin. Terminologijo smo prilagodili slovenskemu prevodu standarda ISO 31-6 iz leta 2002 (Kastelec, Rakovec, Zakšek 2007), zato se razlikuje od uporabljenih v zgoraj omenjenih delih. Pri taljenju ledenikov predstavlja sončna energija približno dve tretjini potrebne energije (Munro 1990). Cilj tega članka je preveriti, ali je izračunan kvaziglobalni sončni obsev ledenika po posameznih letih povezan z izmerjeno spremembo obsega ledenika.

2. IZPOPOLNjen MODEL OSONČENOSTI

Glede na uvodoma omenjene modele je v tem prispevku uporabljen model izpopolnjen v izračunavanju reliefnih parametrov, medtem ko je meteorološki del ostal nespremenjen. Najpomembnejša posodobitev je uporaba trenutno najboljšega digitalnega modela višin na območju Slovenije (DMR 12,5), ki smo ga uporabili namesto starega DMR 100. Novi model višin ima poleg osemkrat boljše ločljivosti tudi mnogo boljše višinsko točnost, ki znaša na območju cele Slovenije približno 3,2 m, v gorah pa nekako 10 m, vendar vsebuje le malo geomorfoloških napak. Poleg tega je bilo nekaj posodobitev tudi pri upoštevanju vpliva reliefa na osenčenost. Vpadni kot Sonca na relief α , ki ima velik vpliv na direktno osenčenost reliefa, je bil določen iz vektorjev (Zakšek, Oštir, Podobnikar 2004).

Po določitvi vpadnega kota Sončevih žarkov na relief in zenitnega kota Sonca lahko pride do treh primerov. Ali je neka površina v danem trenutku v senci, določimo na osnovi poznane vpadnega kota Sončevih žarkov na relief – ko je vpadni kot manjši od 90° , je ob jasnem vremenu površina obsijana, če med Soncem in njo ni nobene ovire, sicer nastane vržena senca. Površina je v lastni senci, če je vpadni kot večji od 90° .

Vržena senca je mogoča le takrat, ko že obstaja lastna senca. Zato vržene sence iščemo le, kadar že obstaja območje z vpadnim kotom večjim od 90° . Ko je znano, da obstaja za lastno senco tudi vržena senca, moramo določiti še, do kje ta sega. Če skozi najvišjo točko potegnemo premico in z njo presekamo relief, dobimo mejno točko, ki loči območje v senci od obsijanega območja. Po končanem maskiranju območij v senci določimo direktno komponento kvaziglobalne osončenosti reliefa K_{dir} iz direktne komponente globalne osončenosti G_{dir} in kvocienta med kosinusoma vpadnega in zenitnega kota Sonca Ω .

$$K_{dir} = G_{dir} \cdot \frac{\cos \alpha}{\cos \vartheta}$$

Oblika reliefa vpliva tudi na difuzno komponento osončenosti. Na ravnini je zato poljubna ploskev bolj izpostavljena difuzni osončenosti kot v ozki dolini s temnimi pobočji, saj je prihaja večina iz neba, tega pa je na odprtem prostoru neprimerno več. Osončenost, ki se difuzno odbije od tal, zanemarimo, saj je v primerjavi z difuzno osončenostjo neba neprimerljivo manjša. Ob predpostavki, da je difuzna osončenost izotropna – neodvisna od smeri, se kaže vpliv oblike reliefa v deležu vidnega neba, ki pove, koliko celotne nebesne poloble je vidno nad reliefom (Zakšek, 2006). Difuzni del globalne osončenosti G_{dif} in difuzni del kvaziglobalne osončenosti reliefa K_{dif} sta na mestu, ki ni omejeno zgolj z idealnim horizontom, povezana z deležem vidnega neba Ω .

$$K_{dif} = G_{dif} \cdot \Omega$$

Delež vidnega neba je bil v preteklih študijah določen kar iz naklona reliefa, v našem primeru pa smo izvedli podrobnejšo analizo na osnovi prostorskega kota, ki je najprimernejša mera za izražanje deleža vidnega neba. Prostorski kot poljubnega predmeta z izbranega opazovališča je količnik med površino S tega predmeta s krogelno površino, ki ima polmer R enak oddaljenosti opazovališča do predmeta.

$$\Omega = k \cdot \frac{S}{R^2}$$

V gornji enačbi je k poljuben koeficient – če je enak 1, potem na ta način izražamo prostorski kot v enotah SI – steradianih. Za naše potrebe je primernejše upoštevati, da je celotna nebesna polobla »celo nebo«, kar pomeni 2π steradianov. Če uporabimo za koeficient vrednost $1 / 2\pi$, pripišemo nebesni polobli vrednost ena – zaloga vrednosti tako definirane mere leži na intervalu $[0, 1]$. Najbolj preprosto izračunamo prostorski kot za del neba, ki ga omejuje stožec, katerega plašč oklepa z vodoravno ravnino kot γ , potem znaša delež vidnega neba $\Omega = 1 - \sin \gamma$.

Ker so geometrijsko pravilni horizonti v naravi prej izjema kot pravilo, poskušamo relief poenostaviti s plaščem stožca – potrebujemo tak stožec, kjer povprečen višinski kot obzorja površja ustreza kotu med stožcem in horizontalno ravnino. To pomeni, da moramo za izbrano stojišče poiskati tiste predmete na reliefu, ki v izbranih smereh omejujejo pogled. Potem definiramo delež vidnega neba z enačbo $\Omega = 1 - \sin \gamma_p$, kjer povprečen višinski kot obzorja γ_p izračunamo v n poljubnih smereh.

$$\gamma_p = \frac{\sum \gamma_i}{n}$$

3. SONČNI OBSEV LEDENIKA PO POSAMEZNIH LETIH

Za potrebe ugotavljanja povezav med podnebnimi prvinami in taljenjem ledenika smo se računanja sončnega obsevanja lotili drugače kot v uvodoma omenjenih študijah. V tem primeru nas niso zanimale povprečne vrednosti za dvajset- ali tridesetletno razdobje, ampak so nas zanimale vrednosti po posameznih letih, oziroma predvsem razlike med posameznimi leti. Prav tako nas ni zanimal sončni obsev v celotnem letu, ampak le v talilni dobi. Zategadelj smo upoštevali le sončni obsev v poletnih mesecih, to je junija, julija in avgusta.

Talilna doba se sicer med posameznimi leti razlikuje. Taljenje ledu se lahko začne, ko se stali sneg preteklih zim. V polstoletnem obdobju obratovanja meteorološke postaje na Kredarici, ko imamo na voljo podatke o višini snežne odeje, je bila v začetku junija vedno še prisotna snežna odeja (ARSO 2007). Izjema je bilo le leto 1958. Bolj problematičen je konec talilne dobe. Le-ta se konča s prvimi večjimi snežnimi padavinami v septembru, izjemoma že ob koncu avgusta. Delež staljenega ledu v septembru je praviloma majhen, čeprav se pojavljajo tudi posamezna izjemna leta, kot na primer leta 1997, ko se je še v septembru in prvi polovici oktobra stalilo okoli pol metra ledu (Gabrovec 2003), zato smo se odločili, da tu obravnavamo le tri poletne mesece.

Kvaziglobalni sončni obsev smo izračunali za celotno obdobje, ko so na voljo podatki o trajanju sončnega obsevanja za meteorološko postajo na Kredarici, to je od leta 1960 do leta 2006 (ARSO 2007). Sončni obsev ni enak na vsej ledenikovi površini, kajti različni deli ledenika niso enako obsijani s soncem, oziroma niso enako dolgo v senci ali vsaj niso v senci v istem času. Izračun je bil narejen za vsako izmed celic digitalnega modela višin (DMR 12,5), na podlagi tega pa je bil izračunan kvaziglobalni sončni obsev ledenika.

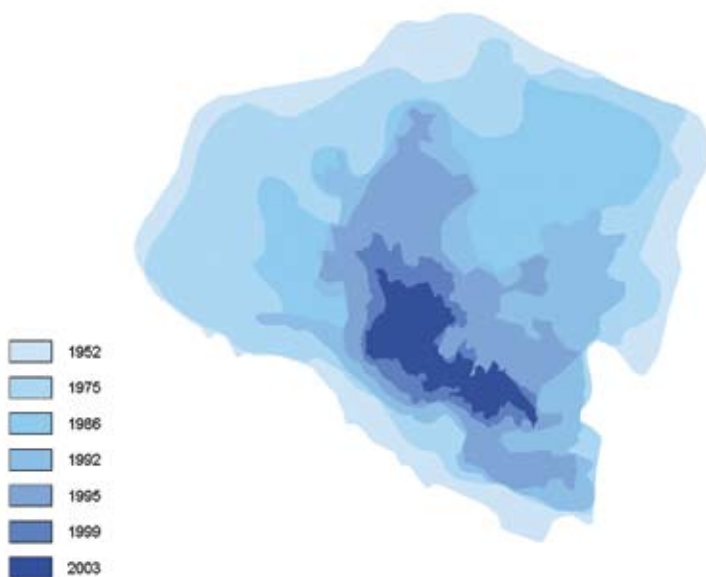
V obravnavanem obdobju se je obseg ledenika bistveno spremenil, skrčil se je s prvotnih 12 ha na današnjih 0,6 ha (Gabrovec in sod. 2007). Vsakoletno območje ledenika smo določili na podlagi skic, ki so jih objavili sodelavci Geografskega inštituta Antona Melika (Meze 1955; Šifrer 1963, 1987; Šifrer, Košir 1976; Gabrovec 1998), in na podlagi zemljevidov, ki so bili narejeni na podlagi fotogrametrične analize letalskih posnetkov ali geodetskih meritev (Gabrovec in sod. 2006). Območje ledenika ni bilo natančno izmerjeno in/ali kartirano vsako leto, ampak le v posameznih letih, ko je prišlo do večjih sprememb obsega ledenika, oziroma so bile izvedene natančnejše meritve.

Sončno obsevanje je bilo v prvi fazi izračunano po posameznih letih in mesecih za širše območje Triglava. V drugi fazi pa je bilo izračunano povprečno obsevanje le za območje, ki ga je v obravnavanem letu pokrival ledenik. Ker nimamo točnih podatkov o obsegu ledenika

za vsako leto, smo za »izrez« uporabili podatek o obsegu in lokaciji ledenika iz leta, ki je bilo obravnavanemu letu najbližje. Podrobnejši zemljevid obsega ledenika smo pripravili za leta 1952, 1975, 1986, 1992, 1995, 1999 in 2003 (Slika 1). Tako smo pri izračunu kvaziglobalnega sončnega obseva za obdobje do leta 1985 upoštevali območje ledenika iz leta 1975, za obdobje 1986 do 1989 območje leta 1986, za obdobje 1990 do 1992 obseg iz leta 1992 in tako naprej.

Slika 1: Obseg Triglavskega ledenika v obdobju 1952–2003.

Figure 1: The change in the area of the Triglav glacier between 1952–2003.



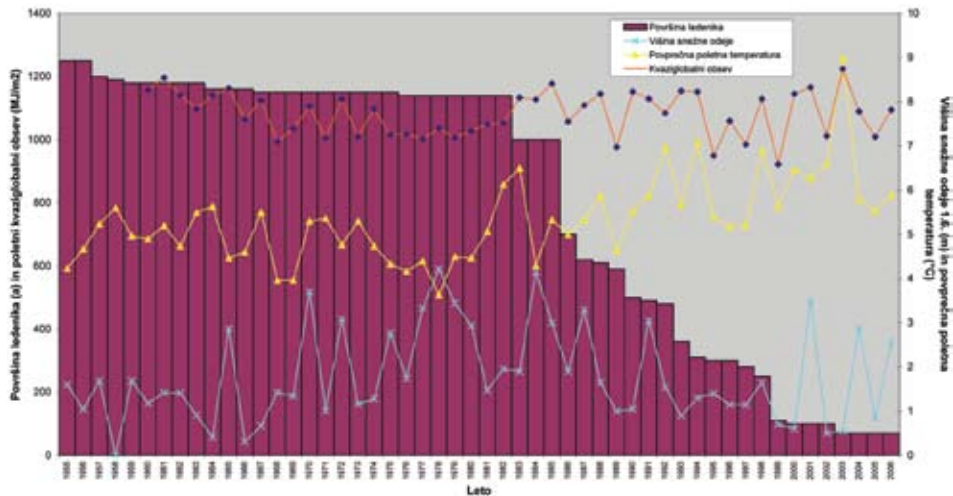
4. POVEZAVA MED PODNEBNIMI DEJAVNIKI IN OBSEGOM LEDENIKA

Na sliki 2 so za obdobje po letu 1955 skupaj prikazane vrednosti izbranih podnebnih dejavnikov (višina snežne odeje 1. junija, povprečna poletna temperatura in poletni kvaziglobalni obsev na ledeniku) ter površina ledenika. Podatki o površini ledenika se tu deloma razlikujejo od tistih, ki so objavljeni v rednih poročilih o opazovanju ledenika (Meze 1955; Šifrer 1963, 1987; Šifrer, Košir 1976; Gabrovec 1998). V času rednih opazovanj namreč v posameznih letih obsega ledenika oziroma razdalje od merilnih točk do ledenika ni bilo mogoče izmeriti, ker je bil ledenik pokrit s snegom pretekle zime. V takih primerih je bila izmerjena razdalja do snega, ne do ledu. Na podlagi teh meritev je bila izračunana večja površina ledenika od preteklega leta. Vendar pa se dejansko sam obseg ledu ni povečal, v letu ali dveh se sneg še ne preobrazí v led. V tem prispevku smo zato pri sestavi grafa (Slika 2) predpostavili, da je površina ledenika v letih, ko je bil le-ta ob koncu talilne sezona prekrit s

snegom, enaka kot v preteklem letu. Zato je pogosto pri več zaporednih letih označena enaka površina.

Slika 2: Sprememba obsega ledenika v povezavi z izbranimi meteorološkimi dejavniki.

Figure 2: The change of the area of the Triglav glacier in correlation with meteorological factors.



Vsakoletna sprememba površine in prostornine ledenika je odvisna od akumulacije snega v redilni dobi in ablacije v talilni dobi. Analiza grafa (Slika 2) jasno pokaže, da se obseg ledenika ni zmanjšal v letih, ko je bilo na začetku talilne sezone v juniju tri ali več metrov snega. V takih letih se je sneg obdržal na večjem delu ledenika do jeseni. V preostalih letih, ko je bila višina snega v začetku junija manjša, je prišlo do taljenja ledu, njegova intenzivnost pa je bila seveda odvisna od vremenskih razmer. Iz grafa je razvidno, da sta si krivulji povprečnih poletnih temperatur in kvaziglobalnega obseva precej podobni, med temperaturo in sončnim obsevom je pozitivna korelacijska povezava, Pearsonov koeficient korelacije je 0,42.

Dosedanji raziskovalci, ki niso imeli na razpolago podatkov o osončenosti, so se pri razlagi kolebanja Triglavskega ledenika navadno omejili na analizo temperaturnih podatkov in ugotavljali nedvomno zvezo med višanjem povprečnih temperatur in taljenjem ledenika (Gams 1994; Nadbath 1999). V posameznih letih, kot na primer leta 2003, je povezava med nadpovprečno temperaturo in sončnim obsevom s krčenjem ledenika očitna. V posameznih letih, kot na primer leta 1999, pa je prišlo do močnega zmanjšanja ledenika kljub razmeroma nizkim temperaturam in sončnemu obsevu. Tak rezultat nam kaže na veliko kompleksnost dejavnikov taljenja ledenika, v modeliranje bi bilo potrebno poleg osončenosti vključiti še druge meteorološke dejavnike. Pri različnih vremenskih tipih je delež sončnega obseva v energetski bilanci taljenja ledu različen, meritve v Pirenejih so na primer pokazale razpon

med 50 in 68 % (Hannah in McGregor 1996). Seveda pa je za taljenje ledu ključen tudi albedo, ki je odvisen od umazanosti ledu oziroma snega.

Povezava med temperaturnimi razmerami in sončnim obsevanjem na eni strani ter spremembo površine ledenika na drugi ni vedno tako jasna, kot bi pričakovali. Poleg zgoraj omenjenih razlogov so lahko zavajajoči tudi podatki o spremembi površine ledenika. V posameznih letih je namreč lahko ob razmeroma skromnem stanjšanju ledenika le-ta razpadel na dva dela, površina se je zato naenkrat bistveno zmanjšala (vsi podatki zajemajo le osrednji del ledenika, brez ledu, ki so ga skalne grbine ločile od njega). Boljši rezultat bi dobili, če bi računali razlike prostornine, vendar pa za prostornino nimamo vsakoletnih podatkov.

5. SKLEP

Opisana metoda izračunavanja kvaziglobalnega obseva nam omogoča boljšo interpretacijo kolebanja ledenika. Na podlagi izračuna prejete sončne energije lahko teoretično izračunamo količino staljenega ledu po posameznih letih. S primerjavo teh podatkov z izračunanimi spremembami prostornin z geodetskimi metodami lahko preverjamo kakovost enih in drugih izračunov. S tem bomo izpopolnili znanje o zakonitostih taljenja majhnih ledenikov v jugovzhodnem delu Alp, hkrati pa bomo lahko povečali znanje o prostorninskih spremembah Triglavskega ledenika. S prikazanim izračunom osončenosti smo naredili prvi korak k interpretaciji vpliva podnebnih sprememb na krčenje Triglavskega ledenika.

Viri in literatura

- ARSO 2007. Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje. Podatki o višini snežne odeje, trajanju sončnega obsevanja in temperaturi za obdobje 1955–2006.
- Gabrovec, M. 1989. Vloga reliefa za geografsko podobo Polhograjskega hribovja. Magistrska naloga. Oddelek za geografijo Filozofske fakultete. Ljubljana.
- Gabrovec, M. 1990a. Pomen reliefa za geografsko podobo Polhograjskega hribovja. Geografski zbornik, 30, 1990, 5–69. Ljubljana.
- Gabrovec, M. 1990b. Snežišča v Julijskih Alpah. Četrti skup geomorfologa Jugoslavije, Piro, 20. – 23. juna 1989, 61–63. Beograd
- Gabrovec, M. 1996. Solar Radiation and the Diverse Relief of Slovenia (Sončno obsevanje v reliefno razgibani Sloveniji). Geografski zbornik, 36, 1996, 47–68. Ljubljana.
- Gabrovec, M. 1998. The Triglav glacier between 1986 and 1998 (Triglavski ledenik med letoma 1986 in 1998). Geografski zbornik, 38, 89–110. Ljubljana.
- Gabrovec, M. 2003. Triglavski ledenik. Slovenija: ekskurzije ljubljanskega geografskega društva, (Vodniki Ljubljanskega geografskega društva, Evropa, 3), 5–18. Ljubljana.
- Gabrovec s sod. 2006. Triglavski ledenik kot pokazatelj podnebnih sprememb. Drugo vmesno poročilo. Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU. Ljubljana.

- Gabrovec s sod. 2007. Triglavski ledenik kot pokazatelj podnebnih sprememb. Tretje vmesno poročilo. Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU. Ljubljana.
- Gabrovec, M., Cunder, T. 1987. Razvojne možnosti kmetijske pridelave glede na naravne danosti. Notranjska, Zbornik 14. zborovanja slovenskih geografov. Postojna, Zveza geografskih društev Slovenije, 377–384. Ljubljana.
- Gabrovec, M., Kastelec, D. 1998. Sončno obsevanje. V: Geografski atlas Slovenije. Država v prostoru in času, 104–105. Ljubljana.
- Gabrovec, M., Pavlin, B., Skobir, M. 1998. Optimale Lokationen zur Nutzung der Sonnenenergie in Slowenien. Angewandte Geographische Informationsverarbeitung, Beiträge zum AGIT-Symposium Salzburg '98, 94–98. Heidelberg.
- Gams, I., 1994. Changes of the Triglav Glacier in the 1955–94 Period in the Light of Climatic Indicators. Geografski zbornik, 34, 81–117. Ljubljana.
- Hannah, D. M., McGregor, G. R. 1996. Synoptic climatology, glacier melt dynamics and streamflow in the Taillon basin, French Pyrénées. Proceedings of the 24th International Conference on Alpine Meteorology 1996 – ICAM 96, 374–381. Ljubljana.
- Hock, R. 2005. Glacier melt: a review of processes and their modelling. Progress in Physical Geography 29, 3, 362–391.
- Hočevar, A., Rakovec J. 1977. General models of circum-global and quasi-global radiation on hills of simple geometrical shapes. Archives of meteorology, geophysics and bioclimatology, Series B, 25, 151–176.
- Hočevar, A. 1980. Razporeditev potenciala sončne energije v Sloveniji. Biotehniška fakulteta. Ljubljana
- Hrvatini, M., Perko, D. 2005. Differences between 100-meter and 25-meter digital elevation models according to types of relief in Slovenia (Razlike med stometrskim in petindvajsetmetrskim digitalnim modelom višin glede na tipe reliefa v Sloveniji). Acta geographica Slovenica, 45, 1, 7–31. Ljubljana.
- Kastelec, D., Rakovec, J., Zakšek, K. 2007. Sončna energija v Sloveniji. Ljubljana.
- Meze, D. 1955. Ledenik na Triglavu in na Skuti. Geografski zbornik, 3, 10–70. Ljubljana.
- Munro, D. S. 1990. Comparison of Melt Energy Computations and Ablatometer Measurements on Melting Ice and Snow. Arctic and Alpine Research, 22, 2, 153–162.
- Nadbath, M. 1999. Triglavski ledenik in spremembe podnebnja. Ujma, 13, 24–29. Ljubljana.
- Perko, D. 2001. Analiza površja Slovenije s stometrskim digitalnim modelom Slovenije. Ljubljana.
- Šifrer, M. 1963. Nova geomorfološka dognanja na Triglavu: Triglavski ledenik v letih 1954–1962. Geografski zbornik, 8, 157–210. Ljubljana.
- Šifrer, M., Košir, D. 1976. Nova dognanja na Triglavskem ledeniku in ledeniku pod Skuto. Geografski zbornik, 15, 211–271. Ljubljana.
- Šifrer, M. 1987. Triglavski ledenik v letih 1974–1985. Geografski zbornik, 26 (1986), 97–137. Ljubljana.
- Zakšek, K. 2006. Analiza vidnosti s prostorskim kotom odprtega neba. Geografski vestnik, 78, 2, 97–109. Ljubljana.
- Zakšek, K., Oštir, K., Podobnikar, T. 2003. Osončenost površja Slovenije (Solar illumination radiation of Slovenia). Geodetski vestnik, 47, 1/2, 55–63. Ljubljana

Zakšek, K., Oštir, K., Podobnikar, T. 2004. Osončenost površja Slovenije. *Geografski vestnik*, 76, 1, 79–90. Ljubljana.

THE SHRINKING OF THE TRIGLAV GLACIER IN THE LIGHT OF SOLAR IRRADIANCE

Summary

In the discussions about climate change, the shrinking of glaciers was often presented as an indicator of temperature changes. However, the solar radiance exposure is more important for the melting of glaciers than the air temperature. The maps of mean annual solar radiance exposure which were made in the past years were based on the 30-year averages, and the main interest was focused on the differences between individual locations, while the central point of interest in the present article are the differences between individual years at a single location, i.e. on the Triglav glacier.

Used in the current article, as to the previous models, is a model with improved calculation of relief parameters, while its meteorological part remains unchanged. The most significant updating is represented by the use of, so far, the best digital elevation model in the area of Slovenia (DEM 12.5), which replaced the old DEM 100. Beside its resolution being eight times better, the new elevation model also offers a much better precision of height, which amounts to about 3.2 metres for the whole of Slovenia, and to about 10 metres for the mountains, and it contains just a few geomorphological errors.

In addition, there was also some upgrading as to the role of the landforms in solar irradiance. To interpret the shrinking of the glacier we were interested in the solar radiance exposure not throughout the year, but only in the melting season. Accordingly, we only took account of the solar radiance exposure in the summer months, i.e. June, July and August. The quasiglobal solar radiance exposure was calculated for the entire period of which the data on the duration of solar radiance exposure at the meteorological station on Kredarica are available, i.e. for the 1960–2006 period. The solar radiance exposure is not equal for the whole of the glacier's surface, since its different sections are not evenly insolated or they are not in the shadow for equally long spans of time or, at least, not all the glacier is in the shadow at the same time. The calculation was done for each cell of the digital elevation model (DEM 12.5), and calculated on this basis was the quasiglobal solar radiance exposure of the glacier. During the discussed period the extent of the glacier radically declined, since from the former 12 hectares it shrank to the present mere 0.6 hectare. The extent of the glacier in individual years was determined on the basis of the sketches published by the associates of the Anton Melik Geographical Institute and on the basis of the maps made with photogrammetric analysis of aerial photos or surveying measurements. In the first phase, solar radiance exposure was calculated by individual years and months for the broader area of Mt. Triglav, and in the second phase, the average solar radiance exposure only for the area occupied by the glacier in the respective year was calculated.

The annual change in the area and volume of the glacier depends on the accumulation of snow in the accumulation period and its ablation in the ablation period. Shown together

on the graph (Fig. 2) for the post-1955 period are the values of the selected climate factors (depth of snow cover on 1 June; average summer temperature; and summer quasiglobal solar radiance exposure of the glacier) and the glacier's area. The analysis of the graph clearly shows that the extent of the glacier did not decline in the years when three or more metres of snow were there at the beginning of the melting season in June; in those years the snow remained on the greater portion of the glacier until the autumn. In other years, when the depth of snow was lesser at the beginning of June, the ice did melt, but the intensity of melting naturally depended on weather conditions. It is evident from the graph that the curve of the average summer temperatures and that of the quasiglobal solar radiance exposure are rather similar, the correlation between the temperature and the solar radiance exposure is positive, and Pearson's correlation coefficient amounts to 0.42.

Previous investigators, lacking the data on solar irradiance, usually limited their interpretation of the fluctuation of the Triglav glacier to the analysis of temperature data and thus established that a doubtless relation existed between the increase in the average temperatures and the melting of the glacier. In individual years, like in 2003, the relation between the above-average temperature and the solar radiance exposure on one hand and the shrinking of the glacier on the other hand is indeed evident. However, in 1999, for example, an intensive shrinking of the glacier took place despite the relatively low temperatures and solar radiance exposure. Such a result points to a great complexity of the factors in the melting of the glacier; in addition to solar irradiance, other meteorological factors should also be included in the model. Of course, also the albedo, which depends on the dirtiness of ice or snow, plays one of the key roles in the melting of ice.

The relation between temperature conditions and solar radiance exposure on one hand and the change in the glacier's area on the other is not always so clear as one could expect. Beside the above-mentioned causes, the data on the changes in the glacier's area can likewise be misleading. Namely, in individual years, though the ablation was rather modest, it could happen that the glacier divided in two parts and consequently its area significantly diminished (all the data refer only to the central part of the glacier, without the ice which got separated from the main ice-field by rock tops). A better result could be obtained if differences in the volume were calculated, but, regrettably, the data on the volume are not available for each year.

The described method of the calculation of the quasiglobal solar radiance exposure renders possible a better interpretation of the glacier's fluctuation. On the basis of the calculation of received solar energy we can theoretically calculate the amount of melted ice by individual years. By comparing these data with the changes in the volume calculated by the surveying methods we will be able to test the quality of the one and the other calculation. This will improve the knowledge about the laws of the melting of small glaciers in the southeastern part of the Alps and, at the same time, the knowledge about the changes in the volume of the Triglav glacier. The presented calculation of solar irradiance is the first step towards an interpretation of the impact of climate changes on the shrinking of the Triglav glacier.