

Zmanjšanje ledenikov Vzhodnih Alp od leta 1807 do danes

Mihaela Triglav Čekada*, Tomaž Gnidovec**

Povzetek

Sodobni geoinformacijski portali s prostodostopnimi podatki, ki prikazujejo tudi satelitske posnetke (npr. Google Earth Pro) in portali s historičnimi kartami (npr. Mapire) omogočajo enostavno preučevanje različnih dolgotrajnih sprememb v prostoru. Tako so lahko historične karte druge in tretje vojaške izmere nekdanjega Avstrijskega cesarstva zelo dober vir za preučevanje zmanjševanja ledenikov med letom 1807 in danes, saj pokrivajo slabo polovico Alp, v geografskem smislu imenovano tudi Vzhodne Alpe. Na kartah druge vojaške izmere, ki so bile izdelane med leti 1807 in 1835 smo identificirali 55 ledeniških skupin, ki so pokrivalo skupno 1685 km². Na kartah tretje vojaške izmere, ki so bile izdelane med 1869 in 1887, so iste ledeniške skupine pokrivalo 1293 km². Na satelitskih posnetkih prikazanih v Google Earth Pro, ki so bili posneti večinoma med 2013 in 2017, so iste ledeniške skupine pokrivalo le še 361 km². Skupno se je površina teh ledenikov v 200 letnem obdobju zmanjšala za 79 %, oziroma se je v povprečju stalilo za 6,6 km² ledeniške površine na leto.

Ključne besede: karte druge in tretje vojaške izmere Avstrijskega cesarstva, ledeniki, Mapire, Google Earth Pro

Key words: maps of the second and third Habsburg military survey, glaciers, Mapire, Google Earth Pro

Uvod

Danes so novinarske objave o posledicah podnebnih sprememb zelo pogoste. Vendar pa si povprečni bralec ne zna razložiti podatka o tem, kaj naj bi v resnici pomenil dvig povprečne temperature za 1,5 stopinje Celzija, ki se je zgodil od konca male ledene dobe okoli leta 1850 pa do danes (Triglav Čekada, 2018b). Najbolj otipljiv oz. najhitreje viden in slikovit prikaz dolgoročnih klimatskih sprememb je zmanjševanje ledenikov. Dandanes, ko so vsebolj prisotni raznovrstni prostodostopni in odprti podatki, od satelitskih posnetkov do historičnih kart, pa lahko analizo zmanjševanja ledenikov opravi vsak sam. V tem sestavku predstavljamo analizo zmanjševanja ledenikov med letom 1807 in danes za celotno območje Vzhodnih Alp, ki so nam jo omogočile historične karte druge in tretje vojaške izmere nekdanjega Avstrijskega cesarstva prostodostopne na spletnem portalu Mapire ter sodobni prostodostopni satelitski posnetki iz Google Earth Pro. Historične karte druge in tretje vojaške izmere smo sicer že uporabili za izmero površine Triglavskega ledenika in Kaninskih ledenikov (Triglav Čekada, 2018a), vendar spadajo ti ledeniki med zelo majhne ledenike, ki se odzivajo na klimatske spremembe hitreje kot večji ledeniki (Brown et al. 2010; Colucci in Guglielmin, 2014; Huges 2018), zato nam prikazujejo še bolj pesimistično sliko posledic oziroma vpliva klimatskih sprememb. Za realnejšo sliko smo analizirali zmanjševanje različno velikih ledenikov na območju Vzhodnih Alp.

Že nekatere starejše raziskave (Haeberli in Beniston, 1998; Barry, 2006; Haeberli, 2003; Haeberli in sod., 2007) govorijo o tem, da se je površina alpskih ledenikov med leti 1850 in 1975 zmanjšala za dobro tretjino, prostornina pa še več – kar za polovico. Tako naj bi ledeniki v Alpah okoli leta 1870 pokrivali okoli 4400 km², leta 1975 pa le še

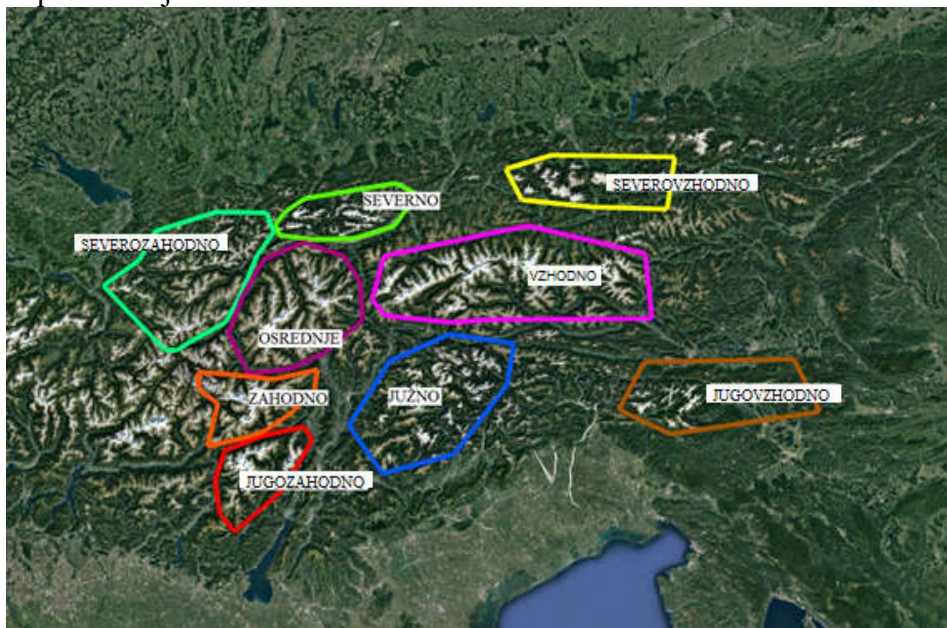
*Geodetski inštitut Slovenije, Jamova 2, 1000 Ljubljana in Univerza v Ljubljani in Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova 2, 1000 Ljubljana.

**Prapreče 6, 8360 Žužemberk

2909 km². Na prelomu tisočletja naj bi alpski ledeniki pokrivali le še 2060 km² (Huss in Farinotti, 2012; Bach in sod., 2018).

Metodologija

Na spletnem portalu Mapire najdemo digitalizirane in georeferencirane (v koordinatni sistem WGS84) karte od prve do tretje vojaške topografske izmere (Mapire, 2019). To so karte, ki so jih izdelali za območje nekdanje Habsburške monarhije oz. njenega kasnejšega naslednika Avstrijskega cesarstva oz. še kasnejše Avstro-Ogrske. Na kartah prve vojaške izmere, ki so jih izdelali med letoma 1763–1787, ledeniki niso bili izrisani (Triglav Čekada, 2018a). Na kartah druge vojaške izmere, izdelanih med 1807–1869, in tretje vojaške izmere, izdelanih med 1869–1887, pa so ledeniki izrisani. Obstajajo še karte četrte deželne izmere, izdelane med 1896–1915, ki pa jih na spletnem portalu Mapire ne najdemo.



Slika 1: Obravnavana območja Alp.
(vir podlage: Google Earth Pro).

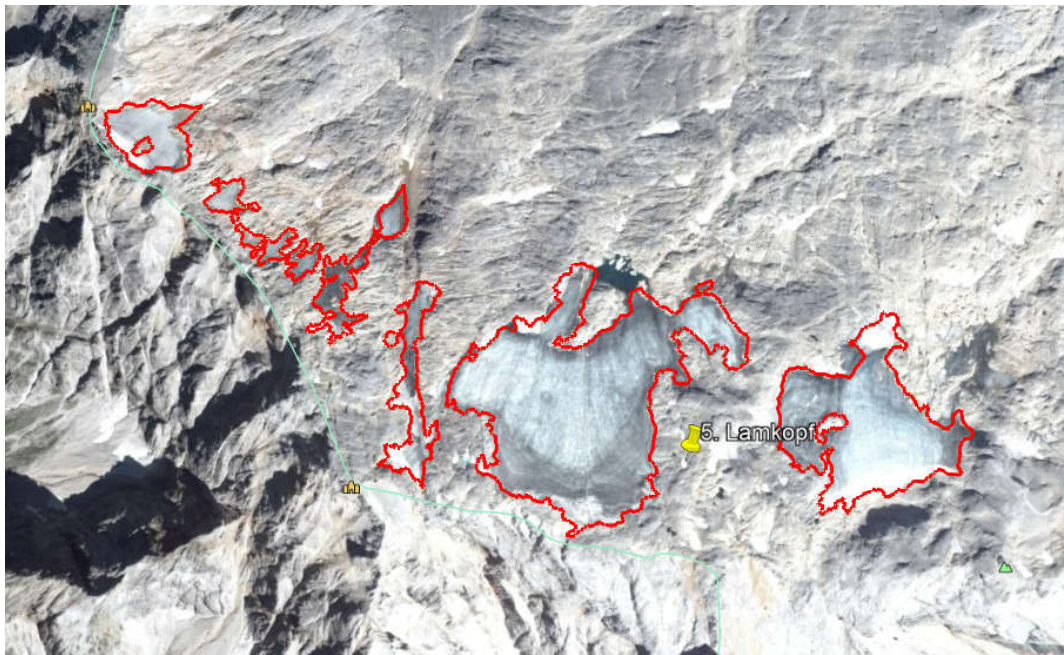
S pomočjo kart druge in tretje vojaške izmere Avstrijskega cesarstva lahko preučujemo približno polovico Alp, t. i. Vzhodne Alpe. Da bo območje lažje obvladljivo, smo ga razdelili na devet delov oz. območij (slika 1), razmejenih z večjimi naravnimi reliefnimi oblikami, kot so rečne doline. Ker so posamezni ledeniki na kartah druge in tretje vojaške izmere ter v različnih spletnih virih različno poimenovani, smo se odločili, da jih bomo združili v 51 ledeniških skupin, ki smo jih večinoma poimenovali po lokaciji območja in ne po samih ledenikih v njej. Le nekatere, kjer je bila identifikacija ledeniškega imena enostavna, smo poimenovali kar po ledeniku (npr. Pastirica, Hallstätter Gletscher ...). Teh 51 ledeniških skupin zajema 263 današnjih ledenikov in tri ledenike, ki so medtem že izginili. V posamezni ledeniški skupini je najmanj en ledenik oz. del ledenika in največ 22 ledenikov oz. njegovih delov. Med ledeniki so tako zelo majhni ledeniki, kot sta Triglavski ledenik ali Kaninski ledeniki, kot tudi klasični veliki dolinski ledeniki kot je Pastirica. Med deli ledenikov so poleg ledenikov tudi okoliška snežišča, ki jih na satelitskih posnetkih ne moremo ločiti od ledenikov. Prav tako so ledeniki in snežišča na kartah druge in tretje izmere prikazani z enakim kartografskim znakom.

Za preučevanje površine ledenikov smo uporabili:

1. Druga vojaška izmera kartirana v merilu 1 : 28800:
 - Salzburg (1807–1808)
 - Tirolska (1816–1821)
 - Ilirija (1829–1835)
2. Tretja vojaška izmera kartirana v merilu 1 : 25000:
 - Avstrijski del Avstro-Ogrske (1869–1887)
3. Satelitski posnetki v Google Earth Pro (2012–2019)

Najprej smo v Google Earth Pro identificirali ledeniške skupine ter njihove posamezne ledenike in digitalizirali njihov današnji obseg v koordinatnem sistemu WGS84. Za različna območja so bili na voljo različni satelitski posnetki narejeni med letoma 2012–2019, v glavnem med 2013–2017. Večinoma so imeli satelitski posnetki ločljivost $0,5 \text{ m} \times 0,5 \text{ m}$. Na nekaterih delih, kot je severozahodna Italija, ki v našem primeru pokriva jugozahodno ledeniško območje, pa je bila ločljivost satelitskih posnetkov $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$. Iz digitaliziranega obsega ledenikov (na sliki 2 je primer zajema za ledeniško skupino Lamkopf) smo izračunali današnjo površino ledenikov.

Današnji obseg ledenikov smo uporabili za identifikacijo starega stanja ledenikov na kartah druge in tretje vojaške izmere. Površino ledenikov smo izmerili kar na spletnem portalu Mapire, ki omogoča izmero površine (slika 3). Rezultate smo prepisali v evidenco in si izdelali posnetek zaslona zajetih površin, da smo lahko kasneje preverjali podrobnosti.



Slika 2: Posnetek zaslona ledeniške skupine Lamkopf v programu Google Earth Pro za satelitski posnetek iz leta 2015 (predstavlja manjše območje kot je prikazano na sliki 3) (vir: Google Earth Pro).



Slika 3: Posnetek zaslon ledeniške skupine Lamkopf v programu Mapire na karti tretje vojaške izmere (vir: Mapire in Avstrijski državni arhiv).

Na primeru treh različno velikih ledenikov smo preverili še ponovljivost zajema površin. Ugotovili smo, da je ponovljivost zajema površin s kart druge in tretje vojaške izmere v Mapire okoli 2 ha, v Google Earth Pro pa 0,3 ha (Gnidovec, 2019). Sama ponovljivost zajema površine je odvisna od merila karte oz. ločljivosti satelitskega posnetka ter od točnosti georeferenciranja vseh podlag v skupni koordinatni sistem. Ker so bile karte druge in tretje vojaške izmere v Mapire transformirane v koordinatni sistem WGS84, je točnost zajema odvisna od točnosti transformacije, ki je okoli 150–200 m ter omogoča točnost zajema površin okoli 1 ha (Timar in sod., 2006; Timár in Székely, 2010).

Zmanjšanje površine ledenikov na območju Vzhodnih Alp

V preglednici 1 so podane površine ledenikov kot so bili prikazani na drugi in tretji vojaški izmeri in današnje stanje iz satelitskih posnetkov. V posameznem izbranem območju (slika 1) je različno število ledeniških skupin (preglednica 2). Med drugo (1807–1835) in tretjo (1869–1887) vojaško izmero so se ledeniki zmanjšali za 23 %, kar je presenetljivo veliko, če vemo, da se je druga izmera izvajala še globoko v zadnjem sunku male ledene dobe, ki je povzročila, da so ledeniki napredovali še vse do leta 1850. Verjetno se je največji delež tega zmanjšanja ledenikov zgodil med leti 1850 in 1869–1887. Del zmanjšanja gre pripisati pravemu krčenju ledenikov, saj naj bi bilo v zadnji polovici devetnajstega stoletja tudi opazovalcem nam bližjih ledenikov pod Kaninom že poznano splošno krčenje vseh alpskih ledenikov (Marinelli, 1910). Kasnejša analiza dolgoročnih opazovanj kolebanja 35 alpskih ledenikov od leta 1700 dalje je pokazala, da so med 1860 in 1900 vsi obravnavani ledeniki nazadovali (Oerlemans, 2005). Drug del zmanjšanja moramo pripisati še napačni interpretaciji originalnih kartografov druge in tretje vojaške izmere, kaj so eni in drugi obravnavali kot ledenik in kaj ne.

Med drugo vojaško izmero in današnjim dnem, torej v zadnjih 200 letih, so se ledeniki Vzhodnih Alp skupno skrčili za 79 % iz 1685 km² na 361 km² (Preglednica 1). V približno 140 letnem obdobju med tretjo izmero in danes, pa so se ledeniki na območju Vzhodnih Alp skrčili za 72 %.

Podrobnejša predstavitev je v preglednici 1, kjer lahko opazimo osrednje in vzhodno območje kot območji z največjo površino ledenikov, skladno s tem, da se nahajata znotraj centralnega alpskega območja, v katerem je tudi največ ledenikov (slika 1). V vzhodnem območju so ledeniki med letoma 1816–1835 pokrivali površino 731 km², v osrednjem delu pa površino 517 km² (Preglednica 1). V prvem območju se je površina ledenikov do obdobja 2013–2017 skrčila na 138 km², v drugem pa na 124 km². Skupno se je na obeh območjih površina ledenikov zmanjšala za 79 % v približno 200 letnem obdobju. V približno 140 letnem obdobju med tretjo izmero in danes pa se je njuna površina zmanjšala za 73 %.

Preglednica 1: Zmanjšanje oz. krčenje površin ledenikov glede na devet obravnavanih območij.

Območje	Mapire: druga vojaška izmera	Mapire: tretja vojaška izmera	Google Earth Pro: satelitski posnetki	Skupno Zmanjšanje [%]
	Površina [km ²]	Površina [km ²]	Površina [km ²]	
Jugozahodno območje	119,47	92,6	17,54	85
Zahodno območje	198,05	147,23	52,31	74
Osrednje območje	516,89	395,32	123,67	76
Južno območje	8,85	5,83	1,20	86
Severozahodno območje	83,7	67,92	23,06	72
Severno območje	10,62	6,72	0,37	96
Jugovzhodno območje	0,81	0,68	0,08	82
Severovzhodno območje	16,53	12,74	5,04	69
Vzhodno območje	730,58	564,65	138,36	81
Skupaj	1685,5	1293,7	361,6	

V preglednici 1 vidimo, da je prišlo do največjega zmanjšanja površine – za kar 96 % – med drugo izmero in današnjim stanjem, na severnem območju, saj se je iz prvotnih skoraj 11 km² površina ledenikov skrčila na slabih 0,4 km². Če severno območje primerjamo z vzhodnim in osrednjim delom, severno že v osnovi zajema veliko manjšo površino in tudi manjšo ledeniško površino. Odstotkovno velik delež površine sta izgubili tudi jugovzhodno (tu so le Triglavski ledenik in Kaninski ledeniki) in južno območje (tu je le ledenik Marmolada) z zmanjšanjem za 86 % in 82 %. Tudi ti dve območji sta imeli prvenstveno sorazmerno majhno površino ledenikov glede na celotno površino, kar je enako kot smo opazili na severnem območju. Iz tega lahko sklepamo, da območja, ki so imela manj ledenikov že pred 200 leti, hitreje izgubljajo ledenike.

Zato smo ledeniške skupine razdelili na prve, ki danes pokrivajo ledenike skupne površine manjše od 5 km², imenujemo jih ledeniške skupine z majhnimi ledeniki, ter druge kjer ledeniki v njih pokrivajo skupno površino večjo od 5 km², imenujemo jih ledeniške skupine z velikimi ledeniki (preglednica 2). Ugotovili smo, da so ledeniki iz ledeniških skupin z majhnimi ledeniki v zadnjih 200 letih izgubili povprečno 87 % ledeniške površine, ledeniške skupine z velikimi ledeniki pa povprečno 77 %. To predstavlja povprečno izgubo ledeniške površine 0,07 km²/leto za majhne ledenike ter 0,52 km²/leto za velike ledenike. V zadnjih 140 letih so ledeniške skupine z majhnimi ledeniki izgubile v povprečju 73 % ledeniške površine, ledeniške skupine z velikimi ledeniki pa povprečno 70 %. To predstavlja povprečno izgubo ledeniške površine 0,07 km²/leto za majhne ter 0,82 km²/leto za velike ledenike.

Preglednica 2: Podrobno zmanjšanje oz. krčenje površin posamezne ledeniške skupine.

Lokacija območja	Druga vojaška izmera [km ²]	Tretja vojaška izmera [km ²]	Satelitski posnetki [km ²]	Skupno zmanjšanje [%]
Jugozahodno območje				
Adamello, Vedretta di Folgorida	94,75	73,96	13,26	86
Presanella	24,72	18,64	4,28	83
Zahodno območje				
Pico san Matteo, Monte Vioz, Monte Cevedale, Cima Venezia, Ortles, Cima Tuckett	176,24	131,54	47,26	73
Cima Vertana	18,72	13,54	4,80	74
Gioveretto	3,09	2,15	0,26	92
Osrednje območje				
Runderhofspitze, Lisenser Spitze, Hörndle	51,71	37,89	15,07	71
Wilder Pfaff, Hinterer Daunkopf	78,85	64,27	18,04	77
Watzespitze, Bliggspitze	40,36	28,62	3,82	91
Hohe Geige	22,90	14,87	1,22	95
Karlesspitze, Marzellspitze, Fineilspitze, Weißkugel, Ehrichspitze, Petersenspitze, Hochvernagtspitze, Wildspitze, Innere Schwarze Schneid	300,00	234,64	84,80	72
Roteck	9,16	6,35	0,72	92
Riffkarspitze	2,17	1,04	0,00	100
Platßer	3,28	1,86	0,00	100
Glockthurm	8,46	5,78	0,00	100
Južno območje				
Marmolada	8,85	5,83	1,20	86
Severozahodno območje				
Silvrettahorn	83,70	67,92	22,68	73
Severno območje				
Zugspitze	10,62	6,72	0,37	96
Jugovzhodno območje				
Triglav	0,32	0,3	0,06	82
Kanin	0,49	0,38	0,06	88
Severovzhodno območje				
Hallstätter Gletscher	9,36	6,87	4,56	51
Lamkopf	7,17	5,87	0,48	93
Vzhodno območje				
Olperer	167,72	128,76	6,28	96
Hochfeiler, Turnerkamp, Schwarzenstein, Wollbachspitze	132,40	102,61	24,50	81
Reiserferner - Ahrn	31,28	24,11	3,44	89
Roskopf	51,87	38,46	5,52	89
Rotspitze	2,29	1,76	2,28	0
Dreiherrnspitze, Großvenediger	170,73	135,84	50,94	70
Großglockner (lednik Pastirica)	111,24	85,47	34,25	69
Ankogel	16,95	11,94	2,87	83
Hocharn	29,88	22,76	3,50	88
Säuleck	16,22	12,94	4,79	70

Razprava

Za jugovzhodno območje, kjer so Triglavski ledenik in Kaninski ledeniki, ki jih lahko preučujemo tudi na kartah druge vojaške izmere, smo za stanje med leti 1829–1835 izmerili površino $0,82 \text{ km}^2$, ki se je do 2013–2017 zmanjšala na $0,12 \text{ km}^2$. Colucci in Žebre (2016) sta našela ob koncu male ledene dobe iz geomorfoloških ostalin (npr. čelne morene) na širšem območju Julijskih Alp (Slovenija in Italija) 19 malih ledenikov, ki naj bi takrat pokrivali $2,35 \text{ km}^2$, danes pa $0,36 \text{ km}^2$. Njunsko skupno ugotovljeno zmanjšanje za 84 % je malenkost večje od našega 82 % oz. poda povprečno letno zmanjšanje površine za $0,01 \text{ km}^2/\text{leto}$, ki je primerljivo z našim letnim zmanjšanjem $0,003 \text{ km}^2/\text{leto}$.

Hagg in sod. (2012) omenjajo na našem severnem območju, ki prikazuje območje okoli najvišjega vrha Nemčije Zugspitze, tri ledenike: Nördlicher- in Südlicher Schneeferner ter Höllentalferner. Prva dva naj bi leta 1892, to je okoli dve desetletji po tretji vojaški izmeri, obsegala $1,89 \text{ km}^2$, leta 2009 le še $0,33 \text{ km}^2$. Razliko med našo izmero površine iz tretje vojaške izmere 1869–1887 ter letom 1892 gre pripisati pospešenemu taljenju ledenikov po koncu male ledene dobe ter uporabi kart, ki prikazujejo samo dva ledenika (Hagg in sod., 2012). Z našimi meritvami je neposredno primerljiva samo površina vseh treh ledenikov iz leta 2009, ki naj bi znašala $0,55 \text{ km}^2$ (Hagg in sod., 2012), mi pa smo na temelju satelitskih posnetkov iz 2015 izmerili površino $0,37 \text{ km}^2$. Ledenika sta se glede na podatke v Hagg in sod. (2012) v 117 letnem obdobju povprečno zmanjševala za $0,01 \text{ km}^2/\text{leto}$. Iz naših podatkov, ki prikazuje obdobje med 1807 in 2015, dobimo hitrost zmanjševanja površine vseh treh ledenikov $0,05 \text{ km}^2/\text{leto}$.

V jugozahodnem območju, ki pokriva gorsko skupino Adamello-Presanella v Italiji, je bilo leta 2003 za $17,24 \text{ km}^2$ ledenikov. Največji med njimi, imenovan ledenik Madrone, je pokrival $13,38 \text{ km}^2$ (Grossi in sod., 2013). Ta vrednost se sklada z našo izmerjeno vrednostjo ($13,26 \text{ km}^2$) za ledenik pod vrhom gore Adamello, ki smo jo izmerili iz satelitskih posnetkov 2017. Grossi in sod. (2013) za ledenik Madrone omenjajo, da se je čelo ledenika med leti 1820 in 2002 umaknilo za 2 km in je zdaj 880 m višje.

V zahodnem območju, ki pokriva gorsko skupino Ortles-Cevedale v Italiji, je še posebej dobro dokumentirano umikanje ledenika Caresèr. Za ta ledenik obstaja zelo dolga časovna vrsta opazovanj umikanja čela ledenika od leta 1897 naprej, od leta 1933, ko so izdelali njegovo prvo podrobno topografsko karto, lahko sledimo njegovemu tanjšanju, od leta 1967 naprej pa obstajajo glaciološke meritve njegove masne bilance (Carturan in sod., 2013). Ledenik je leta 1933 meril $5,45 \text{ km}^2$, leta 2012 pa $1,63 \text{ km}^2$. Od leta 1933 do 2012 se je njegova površina povprečno zmanjševala za $0,1 \text{ km}^2/\text{leto}$ (Carturan in sod., 2013), kar je povsem primerljivo z našo hitrostjo zmanjševanja površin $0,07 \text{ km}^2/\text{leto}$, ki smo jo dobili za vse ledeniške skupine z majhnimi ledeniki, kamor danes sodi tudi ledenik Caresèr.

V južnem območju, ki pokriva ledenik Marmolada v Italiji, smo na temelju druge izmere izmerili njegovo površino na $8,85 \text{ km}^2$, v dvestoletnem obdobju do satelitskega posnetka iz leta 2017, pa se je zmanjšal na $1,20 \text{ km}^2$, povprečno naj bi tako v tem obdobju izgubil $0,04 \text{ km}^2/\text{leto}$. Nistor (2014), ki je za leta 1986, 1999 in 2013 izmeril njegovo površino iz satelitskih posnetkov Landsat omenja, da naj bi Marmolada leta 1888 merila $4,95 \text{ km}^2$, 1910 $3,92 \text{ km}^2$, leta 1986 $2,70 \text{ km}^2$ ter 2013 $1,67 \text{ km}^2$. Med leti 1888 in 2013 naj bi ledenik izgubil povprečno $0,03 \text{ km}^2/\text{leto}$, kar je primerljivo z našimi rezultati.

Sedaj pa pogledjmo še dve malo večji območji v našem vzhodnem in osrednjem območju, ki pokrivata največ ledenikov. Najprej si v vzhodnem območju pogledjmo ledenike v Visokih Turah, kamor sodijo naše ledeniške skupine pod vrhovi Dreiherrnspitze, Großvenediger, Großglockner (Pastirica), Ankogel in Hocharn, ki so v času druge izmere skupno pokrivalo 328,8 km², danes le še 91,56 km². Povprečno so izgubili v 200 letnem obdobju 1,19 km²/leto. Fischer in sod. (2014) pišejo, da naj bi ti ledeniki konec male ledene dobe pokrivali približno dvakrat toliko površine kot so jo leta 1998, ko so pokrivali 185,56 km², kar je okoli 370 km² za leto 1850 in je povsem primerljivo z našim rezultatom, poda pa tudi podobno letno zmanjšanje za 1,22 km²/leto.

Naše osrednje območje se v splošnem pokriva z Ötztalskimi Alpami v Avstriji, delno pa pokriva še Stubajske Alpe na severovzhodu. V našem primeru so se ledeniki na tem območju v 200 letnem obdobju zmanjšali iz 516,89 km² na 123,67 km² v letu 2015, kar pomeni, da so se zmanjšali povprečno 1,08 km²/leto. Abermann in sod. (2009) so ugotovil, da naj bi ledeniki Ötztalskih Alp leta 2006 pokrivali 139,6 km², leta 1967 pa 168,6 km², kar pomeni, da se je njihova površina povprečno zmanjšala za 0,74 km²/leto. Tudi razlika med površinami 2006 (Abermann in sod., 2009) in našo iz 2015 je pričakovana za skoraj desetletno razliko.

Sklep

Zgornja primerjava naše izmere na temelju satelitskih posnetkov iz obdobja 2013–2017 ter povprečnih hitrosti zmanjševanja ledenikov in bolj podrobno izmerjenih površin različnih ledenikov iz literature nam je pokazala, da smo dobili sorazmerno primerljive vrednosti in to navkljub temu, da ne poznamo podrobnosti obravnavanih ledenikov in smo se zanašali le na našo sposobnost pravilne fotointerpretacije oz. na razločevanje snega in ledu na satelitskih posnetkih. Zavedati se moramo tudi, da večine satelitskih posnetkov niso posneli konec ledeniške talilne sezone (začetek oktobra), zaradi česar prihaja do razlik v današnjih izmerjenih površinah ledenikov. Ob hitrem pregledu literature nismo našli avtorjev, ki bi uporabili drugo vojaško izmero za določitev površin ledenikov, zato direktne primerjave nismo mogli izvesti. Redki omenjajo uporabo tretje vojaške izmere, ki naj bi jo za izmero ledenikov leta 1888 v Ötztalskih Alpah uporabljal Richter (Abermann, 2011). Različne kasnejše topografske karte posameznih večjih ledenikov, ki so jih izdelali na koncu devetnajstega ali na začetku dvajsetega stoletja so vendarle omogočile, da smo lahko primerjali povprečno letno hitrost zmanjševanja oz. krčenja ledeniških površin na različnih območjih. Ugotovili smo, da so vrednosti primerljive z našimi. S tem potrjujemo hipotezo, da novodobni prostodostopni satelitski posnetki in prostodostopne historične karte druge in tretje vojaške izmere omogočajo realno dolgoročno oceno zmanjševanja ledenikov za polovico Alp, t.i. Vzhodne Alpe.

Zahvala

Delo je bilo delno financirano v okviru temeljnega raziskovalnega projekta J2–8176 Javne agencije za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije.

Literatura

- Abermann, J., Lambrecht, A., Fischer, A., Kuhn, M. (2009). Quantifying changes and trends in glacier area and volume in the Austrian Ötztal Alps (1969-1997-2006). *The Cryosphere*, 3, 205-215.
- Abermann, J. (2011). Die Gletscher in Österreich Vergangenheit und Gegenwart. Doktorat. Innsbruck.
- Bach, E., Radić, V., Schoof, C. (2018). How sensitive are mountain glaciers to climate change? Insights from a block model. *Journal of Glaciology*.
- Barry, R. G. (2006). The status of research on glaciers and global glacier recession: a review. *Progress in Physical Geography*, 30(3), 285-306.
- Brown, J., Harper, J., Humphrey, N. (2010). Cirque glacier sensitivity to 21st century warming: Sperry Glacier, Rocky Mountains, USA. *Global and Planetary Change* 74 (2), 91-98.
- Carturan, L., Baroni, C., Becker, M., Bellin, A., Cainelli, O., Carton, A., Casarotto, C., Dalla Fontana, D., Godio, G., Martinelli, T., Salvatore, M. C., Seppi, R. (2013). Decay of long-term monitored glacier: Careser Glacier (Ortles-Cevedale, European Alps). *The Cryosphere*, 7, 1819-1838.
- Colucci, R.R., Guglielmin, M. (2014). Participation-temperature changes and evolution of a small glacier in the southeastern European Alps during the last 90 years. *International journal of climatology*, 35, 2783-2797.
- Colucci, R.R., Žebre, M. (2016). Late Holocene evolution of glaciers in the southeastern Alps. *Journal of Maps*, 12 (S1), 289-299.
- Fischer, A., Stocker-Waldhuber, M., Seiser, B., Hynek, B., Slupetzky, H. (2014). Glaciological monitoring in Hohe Tauern National Park. *Management & Policy Issues*, 6 (1).
- Gnidovec, T. (2019). Določitev obsega ledenikov iz kart 2. in 3. Avstrijske vojaške izmere. Diplomska naloga, UL FGG.
- Grossi, G., Caronna, P., Ranzi, R. (2013). Hydrologic vulnerability to climate change of the Mandrone glacier (Adamello-Presanella group, Italian Alps). *Advances in Water Resources*, 55, 190-203.
- Haerberli, W., Beniston, M. (1998). Climate change and its impacts on glaciers and permafrost in the Alps. *Ambio*, 27 (4), 258-265.
- Haerberli, W. (2003). Glaciers and ice caps: historical background and strategies of world-wide monitoring. *Mass balance of the Cryosphere: Observations and Modelling of Contemporary and Future Changes*. Cambridge University Press, 559-577
- Haerberli, W., Hoelzle, M., Paul, F., Zemp, M. (2007). Integrated monitoring of mountain glaciers as key indicators of global climate change: the European Alps. *Annals of Glaciology*, 46 (1), 150-160.
- Hagg, W., Mayer, C., Mayr, E., Heilig, A. (2012). Climate and glacier fluctuations in the Bavarian Alps in the past 120 years. *Erdkunde*, 66 (2), 121-142.
- Hughes, P.D. (2018). Little Ice Age glaciers and climate in the Mediterranean mountains: a new analysis. *Geographical research letters*, 44 (1), 15-45.
- Huss, M., Farinotti, D. (2012). Distributed ice thickness and volume of all glaciers around the globe. *Journal of geophysical research*, 117.
- Nistor, M.M. (2014). Using Landsat images and GIS to assess the changes of Mer de Glace and Marmolada glaciers in the last three decades. *Studia UBB Geographia*, LIX, 1, 65-76.
- Mapire (2019). Spletni portal historičnih kart, <http://mapire.eu/en/>, Österreichisches Staatsarchiv in Arcanum Adatbázis Kft (dostopano 2. 12. 2019).
- Marinelli, O. (1910). I ghiacciai delle Alpi Venete. *Memorie geografiche*, 4 (11).
- Oerlemans, J. (2005). Extracting a Climate Signal from 169 Glacier Records. *Science*, 308 (5722), 675-677.
- Timár, G., Molnár, G., Székely, B., Biszak, S., Varga, J., Jankó, A. (2006). Digitized maps of the Habsburg Empire – The map sheets of the second military survey and their georeferenced version. Arcanum, Budimpešta, 59 p.
- Timár, G. in Székely, B. (2010). Digitizing and georeferencing of the historical cadastral maps (1856-60) of Hungary. *Proceedings of the 5th International Workshop on Digital Approaches in Cartographic Heritage*. 22–24 Februar 2010, 559-564.
- Triglav Čekada, M. (2018a). Ledeniki na kartah vojaške izmere avstro-ogrske monarhije. *Raziskave s področja geodezije in geofizike 2017: zbornik del*, Ljubljana, 25. januar 2018, Ljubljana, 153-165.
- Triglav Čekada, M. (2018b). Konec male ledene dobe v očeh Triglavskih prvopristopnikov in geodezije. *Geodetski vestnik*, 62 (4), 690-701.