

# 5.

## Glaciokrš Šverde

Dino Grozić

Foto: Dalibor Reš

# Glaciokrš Šverde

Kombinacija krške morfologije i hidrologije terena nastalih na topljivoj karbonatnoj podlozi koja je naknadno značajno izmijenjena erozivnim i akumulacijskim glacijalnim procesima poznata je pod nazivom glaciokrš. Još nakon Prvog svjetskog rata, a slijedom geoloških istraživanja provedenih od strane F. Liopolda, N. Krebsa, G. Cumina i M. Pleničara vladalo je mišljenje da je opseg oledbe na području Slovenskog Snežnika bio ograničen samo na manje pojave (Šifrer, 1959). Detaljnija istraživanja koja je sredinom 20. st. proveo geomorfolog M. Šifrer (1959) pokazala su da je današnji reljef značajno oblikovan kako destruktivnim tako i akumulacijskim procesima indikativnim za periode oledbe te da je granica trajnog snijega i leda na ovim područjima bila znatno niža no što se do tada smatralo. Od svoga nastanka pa do danas ti su brojni tragovi djelovanja ledenjaka pod utjecajem destruktivnog rada vode i reaktivacije procesa okršavanja doživjeli velike promjene.

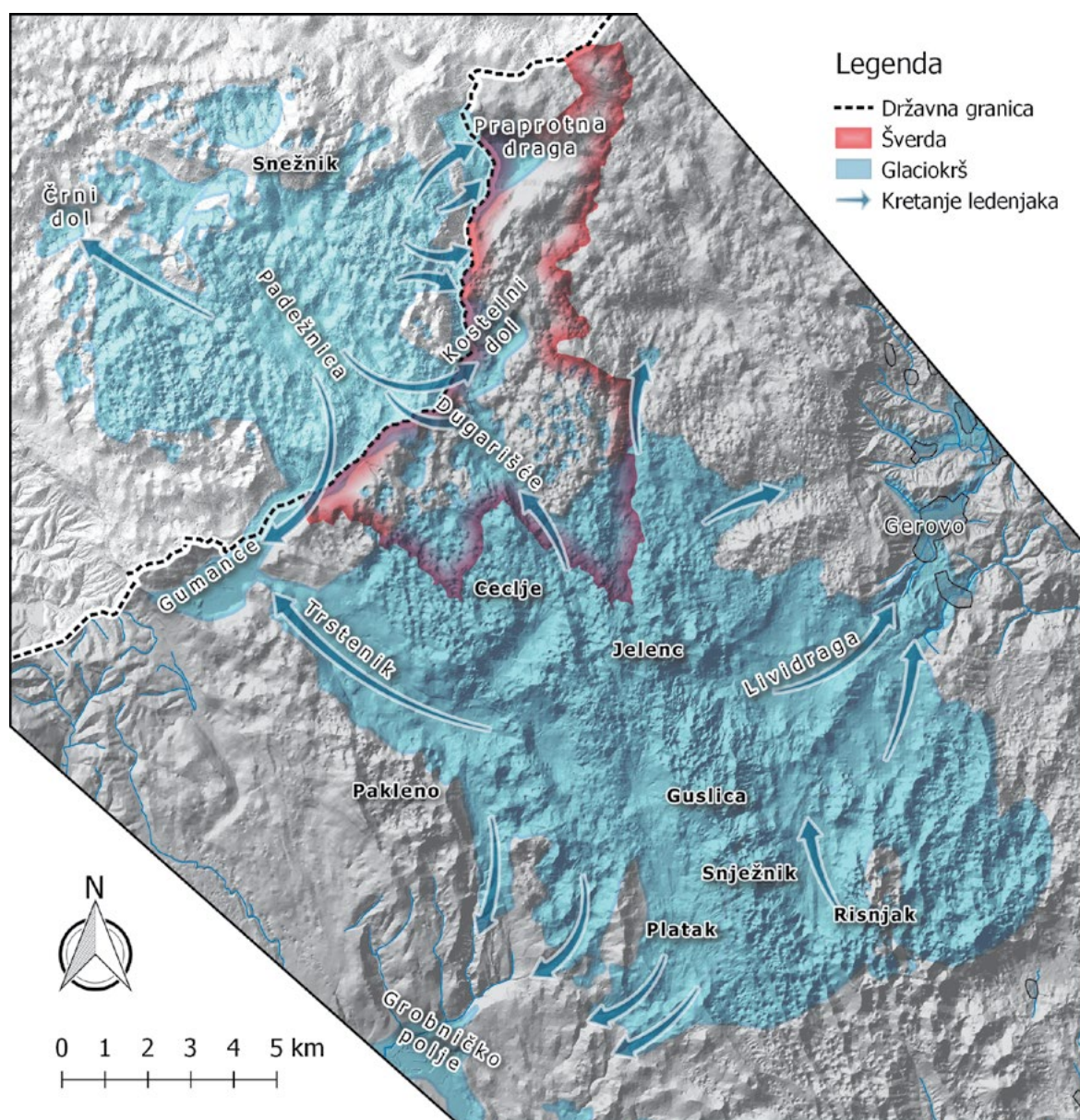
Na temelju dosadašnjih istraživanja (Šifrer, 1959, Bogнар i Prugovečki, 1997, Žebre, 2016, Žebre i Stepišnik, 2016) možemo reći da su dva glavna područja akumulacije leda na širem području Šverde bile visoravni južno od Slovenskog Snežnika s jedne, te visoravni grupirane oko Ceclja, Bačve, Bukove gore pa sve do Risnjaka s druge strane (slika 5.1). Procjenjuje se da je u vrijeme svog najvećeg opsega led na području visokih gorskih platoa od Slovenskog Snežnika do Risnjaka pokrивao površinu od barem 140 km<sup>2</sup> (Žebre

i Stepišnik, 2016), a prema nalazu lopatice izumrlog goveda *Bos primigenius* pronađene u šljunčari na polju Gumance, taj je najveći opseg glacijacije pridružen vremenu posljednjeg glacijalnog maksimuma prije  $17.1 \pm 0.4$  (Marjanac i sur., 2001), odnosno 19.7–17.7 tisuća godina (vrijeme korigirano prema Reimer, 2013). Prema izračunima Bogнар i Prugovečki (1997) u posljednjem je glacijalu (Würm) količina padalina na ovom području bila za oko 30% manja od današnje, a prosječna godišnja temperatura zraka na području Lividrage iznosila je  $-7.6^{\circ}\text{C}$ , odnosno  $13,4^{\circ}\text{C}$  niže nego danas, pri čemu su samo lipanj, srpanj i kolovoz imali prosječne temperature iznad  $0^{\circ}\text{C}$ . Snježna granica bila je na visini od 1250 – 1300 m na području Slovenskog Snežnika (Šifrer, 1959), odnosno 1150 – 1236 m na području Snježnika i Risnjaka (Bogнар i Prugovečki, 1997), a veličina pojedinog ledenjaka ovisila je o prostranosti i visini platoa u njegovom zaleđu. O dosegu oledbe svjedoče brojne morene koje ukazuju da su se ledeni jezici u vrijeme svog maksimuma spuštali čak do visina od 580 m na području Gerova, odnosno 910 m na Gumancu (Žebre i Stepišnik, 2016) te 998 m u Kostelnom dolu (Šifrer, 1959).

Velike količine leda koje su se skupljale na visoravnima južno od Snežnika kretale su se na sjeverozapad preko Črne drage prema Črnem dolu, sjeverozapadno u dva dijela prema Praprotnoj dragi te u najvećem obimu niz Padežnicu prema jugoistoku gdje se najveći ledenjak na ovom području granao u dva ledena jezika. Jedan



||| Pogled na Andrinovu dragu s Gumanca | Foto: Lovel Kukuljan



**Slika 5.1** Reljef Šverde i Snežnika s označenim područjem glaciokrša i kretanjima ledenjaka  
 Prilagođeno prema Šifrer (1959), Bognar i Prugovečki (1997) i Žebre i Stepišnik (2016)

koji je prelazio Klanjsku policu na jugozapadu i spuštao se tipičnom „U“ dolinom Andrinove drage prema polju Gumance te drugi koji se kretao prema Jelenjoj dragi i Kostelnom dolu na sjeverozapad te Dugarišću na jug. Ledene mase okupljene oko visokih platoa od Gumanca do Risnjaka spuštale su se prema Dugarišću i Gumanču na sjeveru i sjeverozapadu te na jugozapad kroz dolinu Gorničko te udolinama između Gornika, Jasenovice i Slemena prema Grobničkom polju (Šifrer, 1959). Na istok spuštali su se ledenjaci s platoa Radeševa (šire područje Snježnika) i Smrekovca prema uvalama Lazac, Gašparc, Šegin i Zelinski lug (Bognar i Prugovečki, 1997), a Ledenjak Padežnice u vrijeme svojeg maksimuma s područja Klanjske police prešao je preko prijevoja Čabarske police i u dolini Dugarišća se spojio s još dva ledenjaka na jugu koji su se spuštali

u Dugarišće s platoa Bačve i Bukove gore do Lepušja (Šifrer, 1959). Na temelju velikog udjela dolomita i tragova glacijacije pronađenih u Lividragi, Bognar i Prugovečki (1997) pretpostavljaju da se ovdje ledenjak sa Slovenskog Snežnika spuštao sve do Gerovskog kraja, a tragovi erozivnih procesa nastalih u periglacialnim uvjetima upućuju da su tijekom pleistocena sami vrhovi Velikog i malog Risnjaka stršali iznad okolnih ledenjaka kao kameni otoci (Bognar i Prugovečki, 1997).

U vrijeme oledbe formirana su i brojna manja jezera od kojih valja spomenuti ono na zapadnoj strani Grobničkog polja te svakako Trstenik čija je razina vode bila 15 m iznad današnje razine (Šifrer, 1959), a koji danas predstavlja relikv ledene doba i jedino stanište ostataka nadignutog (ombrotrofno) creta u Hrvat-

skoj s nekoliko ugroženih vrsta jedinstvenih u Hrvatskoj (Topić, 2010). Prema Šifreru (1959), manje jezero formirano je i na zapadnoj strani Gumanca no Žebre i sur. (2016) pri svom istraživanju nisu pronašli dokaze lakustričke faze. Na intenzivne promjene kroz koje je ovo šire područje prošlo kroz ne tako davnu geološku prošlost ukazuju i nalazi flišnog nanosa na Grobničkom polju koji ukazuju da je u nekom trenutku tijekom pleistocena Rječina utjecala izravno u Grobničko polje (Šifrer 1959, Biondić i sur., 1997).

Usprkos evidentnoj prisutnosti golemih količina leda koji je oblikovao ovaj reljef, Šifrer (1959) konstatira da su količine fluvioglacijskih taložina relativno malog opsega. Posljedice fluvioglacijskih procesa koji su djelovali tijekom oledbe i za vrijeme povlačenja ledenjaka najvidljiviji su na primjeru Gumanca i Grobničkog polja gdje su ledenjačke rijeke nanijele ogromne količine materijala. Zaključak o nesrazmjeru količine leda i fluvioglacijskih taložina posebno je zanimljiv iz speleološke perspektive. Naime, relativno malene količine fluvioglacijskih akumulacija mogu biti posljedica činjenice da je voda koja je tekla ispod golemih ledenjaka vjerojatno u manjoj mjeri došla do Gumanca i Grobničkog polja već se najvjerojatnije brojnim ponorima drenirala izravno u podzemlje (Šifrer, 1959) što naglašava glaciokršku narav ovog područja. Žebre i sur. (2016), pak smatraju da je većina materijala ispranog ispod velikih ledenjaka istaložena prije poniranja

jer bi u suprotnom tadašnji ponori izgubili svoju hidrogeološku funkciju kao posljedicu zapunjavanja slabopropusnim fluvioglacijskim materijalom.

Valja istaknuti važnost polja Gumanca za rekonstrukciju događaja u pleistocenu na ovom području pri čemu je originalno krška depresija vršila funkciju sedimentne zamke koja bilježi događaje u vrijeme oledbe. Takav nastanak kategorizira ga kao piedmontski tip polja. Prema Žebre i sur. (2016), radi se o krškoj depresiji koja je prije glacijacije bila bez površinskih tokova i s razvijenim vertikalnim drenažnim sustavom podzemnih voda. Tijekom glacijacije polje je zapunjavano slabopropusnim fluvioglacijskim materijalom kojeg su donijele rijeke koje su tekle ispod ledenjaka Padežnice na sjeveroistoku i ledenjaka koji se preko Trstenika spuštao prema Gumanca na jugoistoku (Šifrer, 1959, Žebre i sur., 2016, Žebre i Stepišnik, 2016). Ulaz u vertikalnu drenažnu mrežu pomicao se prema zapadu i prema višim kotama, da bi u posljednjoj fazi zapunjavanja funkciju ponorne fronte preuzela zona duljine gotovo 3 km koja prati kontakt fluvioglacijskih sedimenata i okolih karbonatnih stijena. Analizom sedimenata iz polja utvrđene su barem dvije faze nastanka pri čemu su obje smještene u vrijeme posljednjeg glacijalnog maksimuma (Žebre i Stepišnik 2016, Marjanac i sur., 2001), a tragovi ranijih glacijacija još nisu pronađeni.

## Glacijacija i speleogeneza

Želimo li promatrati utjecaj glacijacije na nastanak i razvoj speleoloških objekata u kontekstu glaciokrša treba uzeti u obzir ne samo speleogenezu u vrijeme oledbe već i interakciju predglacijske hidrogeološke mreže, glacijskih procesa i svih posljedica koje ti procesi imaju na okršavanje u postglacijskom razdoblju. Uvjeti permafrosta kao posljedica niskih temperatura smanjuju količinu tekuće vode, inhibiraju primarnu produkciju ugljika i usporavaju nastanak tla čije uklonjanje pod utjecajem erozije ledom dodatno smanjuje količinu dostupne organske tvari. Takve procjedne vode siromašne su otopljenim  $\text{CO}_2$  i njihova kemijska agresivnost je bitno umanjena (Cooper i Mylroie, 2015). Nastanak sigovine u tim uvjetima također je inhibiran pa se generalno može reći da je rast speleotema ograničen na razdoblja interglacijala zbog nedostatka slobodnog  $\text{CO}_2$  za otplinjavanje, vode u tekućem stanju i njezine nezasićenosti s otopljenim kalcitom (Cooper i Mylroie, 2015, Palmer, 2007, Horvatinčić i sur., 2000). Zbog kompaktacije snijega pri formiranju leda (pri čemu dolazi do značajnog otpli-

njavanja  $\text{CO}_2$ ), vode koje nastaju otapanjem ledenjaka posjeduju zanemarivu kemijsku agresivnost (Palmer, 2007), no neki autori smatraju da veća topivost kalcita pri nižim temperaturama i velike količine vode nastale otapanjem ledenjaka mogu uzrokovati koroziju, koja je usporediva s onom u interglacijskim periodima (Cooper i Mylroie, 2015). Doprinos ledenjačkih voda speleogenezi krije se u velikim količinama i erozivnom djelovanju, kao rezultatu obrušavanja kroz vertikalne kanale noseći abrazivni materijal (Audra i sur., 2007), ali generalno interglacijska razdoblja su ta koja doprinose razvoju podzemne drenažne mreže i taloženju speleotema dok razdoblja oledbe često rezultiraju zatrpavanjem nižih etaža objekata (Audra i sur., 2007). Kao važna posljedica deglacijacije javlja se i efekt izostazije. Nestankom leda smanjuje se pritisak mase na reljef što regionalno dovodi do uzdizanja i neotektonskih procesa, a lokalno do relaksacije terena i stvaranje novih i proširivanje postojećih pukotina (Harland, 1957).

Općenito, može se reći da dominantni utjecaj na razvoj i oblikovanje speleoloških objekata ledenjaci imaju posredno kroz oblikovanje topografije reljefa kojoj se hidrološka mreža zatim prilagođava za vrijeme i nakon perioda oledbe (Audra i sur., 2007, Palmer, 2007, Cooper i Mylroie, 2015). Prisutnost ledenjaka značajno utječe na promjenu lokalne erozijske baze kroz zapunjavanje dolina ledom, čime se erozijska baza podiže, a zatim erozijom i produbljavanjem istih (50 – 250 m, Audra i sur., 2007) što konačno rezultira sniženjem erozijske baze u odnosu na predglacijalno doba (Cooper i Mylroie, 2015). Formiranje ledenjačkih tokova, taloženje slabopropusnih fluvioglacijanih sedimenata i uspostava glacijalnih jezera također imaju drastične posljedice na promjenu lokalne erozijske baze pri čemu novonastali elementi hidrološke mreže mogu stvoriti preduvjete za brzi razvoj speleogeneze (Audra i sur., 2007). Novonastala jezera stvaraju nove lokalne erozijske baze koje utječu na proces speleogeneze (Bočić i sur., 2013) te povećavaju nizvodni hidraulički gradijent. Njihovim starenjem mogu nastati močvare poput cretova koji obogaćuju vodu s CO<sub>2</sub> i organskim kiselinama te čine vodu iznimno agresivnom (Allred, 2004). Talozenje glacijalnih sedimenata unutar speleoloških objekata ima višestruke posljedice na proces speleogeneze (Bočić i sur., 2012, 2013). Ono također može stvoriti lokalno povišenje vodnog lica čime se povećava nizvodni hidraulički gradijent i stimulira nastanak novih kanala (Audra i sur., 2007). Svi ti utjecaji rezultiraju drastičnim izmjenama i djelomičnim brisanjem predglacijalne geomorfologije i hidrološke mreže koji se u postglacijanom razdoblju nikad u potpunosti ne vrate u svoje predglacijalno stanje (Cooper i Mylroie, 2015). U takvim novonastalim hidrološkim uvjetima neki predglacijalni speleološki objekti su djelomično ili potpuno izbrisani denudacijom, neki ostaju bez funkcije ili su zatrpani sedimentom, neki se reaktiviraju uz nastajanje novih etaža, a neki tek nastaju i na većim dubinama se nadovezuju na predglacijalnu podzemnu drenažnu mrežu (Palmer, 2007, Audra i sur., 2007, Cooper i Mylroie, 2015).

Glacijacija može imati višestruki utjecaj na speleogenezu (Audra i sur., 2007, Palmer, 2007, Bočić i sur., 2012, 2013, Cooper i Mylroie, 2015). Međutim, mnogi kanali nastali su i prije pleistocenske glacijacije te ona nije imala značajniju ulogu u njihovom nastanku. Recentna istraživanja pokazuju da je većina speleoloških objekata na području Alpa pliocenske ili čak miocenske starosti (Audra i sur., 2007), što ukazuje da mogu ostati očuvani i kroz nekoliko glacijacija (Cooper i Mylroie, 2015). Činjenica da su speleološki objekti većim dijelom zaštićeni od destruktivnih procesa koji prate glacijaciju čini ih rezervoarom informacija važnih za rekonstrukciju paleoklime i paleotopografije (Bočić i sur., 2012, Cooper i Mylroie, 2015). Morfologija objekata, dimenzije i etažiranost kanala kao i karakteristike sedimenta u špiljama važni su tragovi koji pomažu u rekonstrukciji nekadašnje hidrološke mreže i uvjeta njezina nastanka (Audra i sur., 2007, Bočić i sur., 2012, 2013).



III Naslage leda u Lepuškoj ledenici (Ambisu) na približno 100 m dubine | Foto: Lovel Kukuljan

## Glacijacija i speleološki objekti Šverde

Ako se osvrnemo na dosadašnja speleološka istraživanja Šverde, možemo konstatirati da je dobiveno vrlo malo informacija koje bi nam više rekle o paleoklimi ili paleomorfologiji područja. Osim Vrtložne jame u kojoj su pronađeni freatski oblici i špiljski sediment (nepoznatog sastava), ponori i ponorne zone ledenjačkih uvala (Gumance, Trstenik, Rečice, Vale, Dugarišće,

Praprotna draga) su većinom malih dimenzija i zatrpani sedimentom ili kršjem što onemogućuje njihovo detaljnije (speleološko) istraživanje. Uzevši u obzir dobru zastupljenost tragova oledbe na površini reljefa može se pretpostaviti njezin utjecaj na speleološke objekte, a nastavkom istraživanja može se očekivati pronalazak više takvih tragova i u podzemlju.

# Led u speleološkim objektima Šverde

Osim ledenjačkog leda, na njihov nastanak i razvoj važan utjecaj ima led nastao unutar speleoloških objekata (tzv. špiljski led). Od 156 istraženih speleoloških objekata na Šverdi, njih 58 čini ledenicu ili sniježnicu. Međutim poznato je da je većina snijega i leda u ledenicama na širem području mlađeg postanka (Horvatinčić 1996, Buzjak i sur., 2018) što više govori o trenutnoj klimi područja nego li prošlim procesima glacijacije. Monitoring leda i snijega se na Šverdi izvodio samo sporadično, a primjećena je velika varijabilnost od zime do zime. Najpoznatiji primjeri su oni iz jame Co To Maš (Crobexov ambis) kada je jama 2007. godine istražena do 45 m dubine, a slučajno ponovljena dvije godine kasnije kada je dosegnuta nova dubina od

92 m te Ledene jame na Lepušju gdje je 2018. godine, 4 metra iznad tadašnje razine leda, pronađeno sidrište postavljeno 2011. godine na mjestu gdje je istraživanje tada stalo zbog velikih količina leda. Deblje naslage snijega i leda su zabilježene u: Jami 3 ledene suze majke božje, Jami Mirna ruka, Jami pod Smrekovcem, Lepuškoj ledenici, Ledenoj jami na Lepušju i jami WD-40 (slika 5.2). Posljednja ledenica je zanimljiva zato što trenutna morfologija objekta ne dozvoljava akumulaciju novog snijega. Naime, ulaz kroz koji je bilo omogućeno upadanje snijega je sada zatrpan. Na Šverdi za sada nisu provedena kontinuirana mikroklimatska mjerenja.



Slika 5.2 ||| Ledene naslage na dnu jame WD-40 | Foto: Lovel Kukuljan