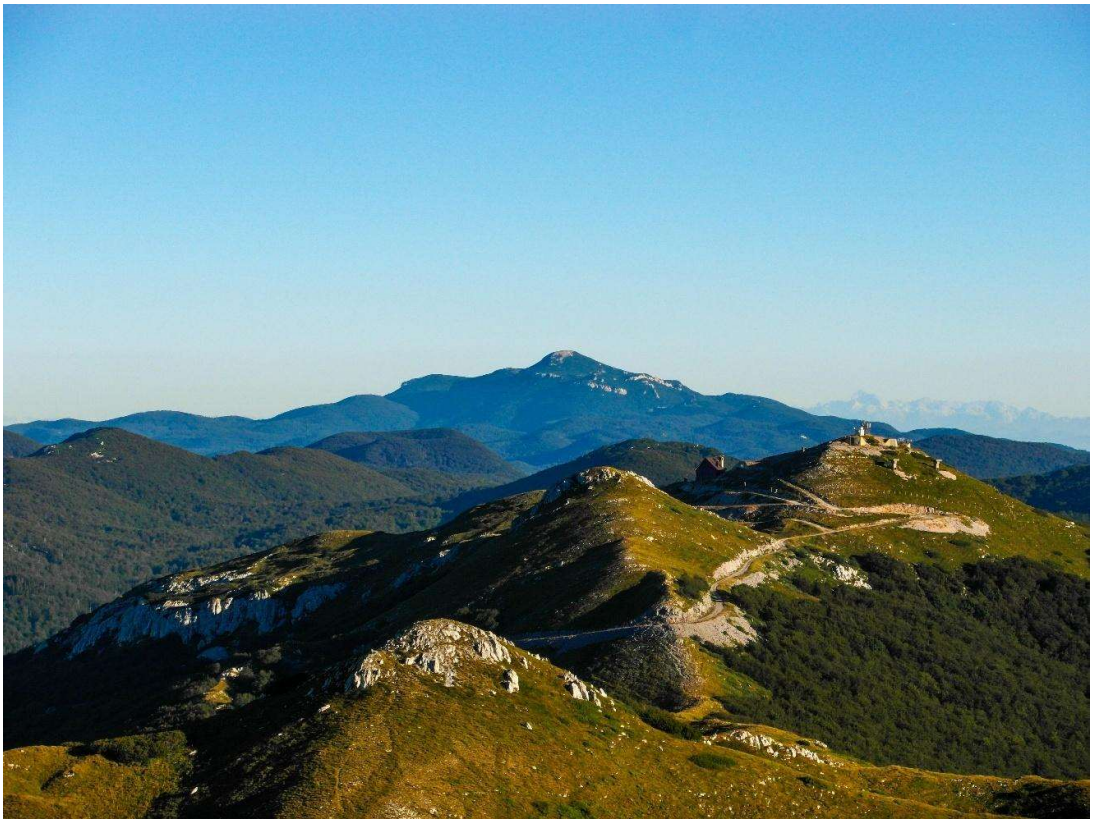
Interreg
Sofinancira EVROPSKA UNIJA
Sufinancira EUROPSKA UNIJA
Slovenija – Hrvatska

transPlant

Poročilo o izvedbi raziskav glaciokraške dediščine na čezmejnem območju Snežnika in Risnjaka /

Izvješće o provedbi istraživanja glaciokrške baštine na prekograničnom području Snežnika i Risnjaka



Ljubljana, 31. oktober 2025 /
Ljubljana, 31. listopad 2025.

NASLOV DOKUMENTA/NAZIV DOKUMENTA:

Poročilo o izvedbi raziskav glaciokraške dediščine na območju Snežnika in Risnjaka

Izvješće o provedbi istraživanja glaciokrške baštine na području Snežnika i Risnjaka

DOKUMENT PRIPRAVIL/DOKUMENT PRIPREMIO:

Znanstvenoraziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti, Geografski inštitut Antona Melika / Znanstvenoistraživački centar Slovenske akademije znanosti i umjetnosti, Geografski institut Antona Melika

Novi trg 2, 1000 Ljubljana, Slovenija

Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta, Oddelek za geografijo /

Aškrčeva 7, 1000 Ljubljana

UREDNIKI/UREDNICI:

Mateja Breg Valjavec

AVTORJI/AUTORI:

Uroš Stepišnik, Mateja Breg Valjavec

PREVOD/PRIJEVOD:

Nadia Dunato Pejnović, Dora Lolić

RECENZIJA:

Nadia Dunato Pejnović

Kazalo vsebine / Sadržaj:

1 Pregled literature o poledenitvi Snežnika in Gorskega kotarja / Pregled literature o zaleđenju Snežnika i Gorskog Kotara 4

2 Sledovi poledenitve na območju Snežnika in Gorskega kotarja / Tragovi glacijacije na području Snežnika i Gorskog kotara 24

2.1 Lokacija in splošne reliefne značilnosti proučevanega območja / Lokacija i opće reljefne karakteristike istraživanog područja 25

2.2 Geološke značilnosti / Geološke značajke 27

2.3 Tipi reliefa na proučevanem območju / Vrste reljefa na području istraživanja 29

2.3.1 Glaciokras Snežnika / Glaciokrš Snežnika 33

2.3.2 Glaciokras Gorskega kotarja / Glaciokrš Gorskog kotara 41

2.4 Geomorfološka interpretacija reliefnih oblik na območju Snežnika in Gorskega kotarja / Geomorfološka interpretacija reljefnih oblika na području Snežnika i Gorskog kotara 51

2.4.1 Kraške oblike / Krški oblici 51

2.4.2 Glaciokraške in ledeniške oblike / Glaciokrški i glacijalni oblici reljefa 55

2.4.3 Agradacijske glaciokraške in ledeniške oblike / Agregacijski glaciokrški i glacijalni oblici reljefa 61

2.4.4 Fluvioglacialne oblike / Fluvioglacijalni oblici reljefa 63

2.5 Morfografska karta glaciogenih reliefnih oblik in predviden obseg poledenitve / Morfografska karta glaciogenih oblika reljefa i predviđeni opseg zaleđenja 64

3 Značilnosti sedimentov / Karakteristike sedimenta 65

3.1 Regolit na krasu / Regolit na kršu 65

3.2 Ledeniški sediment / Ledenjački sediment 67

3.3 Pobočni sedimenti / Sedimenti na padinama 68

3.4 Fluvioglacialni sedimenti / Fluvioglacialni sedimenti 69

4 Literatura / Literatura 71

Kazalo slik / Popis slika

Slika 1:Karta obsega poledenitve na Snežniku in v severozahodnem delu Gorskega kotarja (Šifrer, 1959). 7
Slika 2: Geomorfološka karta sledov poledenitve na Risnjaku (prirejeno po Bognar, Prugovečki, 1997) (vijolična – morene; oranžna – krnice) (Bognar & Prugovečki, 1997; Žebre, 2015). 9
Slika 3: Morfografska karta glaciogenih oblik in sedimentov na osrednjem delu Snežnika (Žebre, 2015). 11
Slika 4: Morfografska karta glaciogenih oblik in sedimentov na južnem delu Snežnika in zahodnem delu Gorskega kotarja (Žebre, 2015) 12
Slika 5: Morfografska karta glaciogenih oblik in sedimentov na severnem delu Gorskega kotarja (Žebre, 2015). 13
Slika 6: Rekonstrukcija topografije ledenikov na Snežniku in v Gorskem kotarju (Žebre, 2015). 14
Slika 7: Glaciokras Snežnika in Gorskega kotarja (Žebre & Stepišnik, 2015a). 16
Slika 8: Morfografska karta ledeniških reliefnih oblik, sedimentov in obsega poledenitve na območju Snežnika in Gorskega kotarja. 22
Slika 9: Morfografska karta ledeniških reliefnih oblik, sedimentov in obsega poledenitve na severovzhodnem delu Snežnika. 24
Slika 10: Dno podledeniške konte Medvedja draga, ki je v dnu uravnana s fluvialnimi sedimenti. 25
Slika 11: Dno podledeniške konte Vala, ki je zapolnjeno z ledeniškimi sedimenti in preoblikovano z grebeni moren. 25
Slika 12: Morfografska karta ledeniških reliefnih oblik, sedimentov in obsega poledenitve na vzhodnem delu Snežnika. 26
Slika 13: Proglacialno kraško polje Gomance. 27
Slika 14: Morfografska karta ledeniških reliefnih oblik, sedimentov in obsega poledenitve na južnem delu Snežnika. 28
Slika 15: Podledeniška konta Črna draga preko katere je polzel odtočni ledenik v smeri Sviščakov in Črnega dola. 29
Slika 16: Morfografska karta ledeniških reliefnih oblik, sedimentov in obsega poledenitve na zahodnem delu Snežnika. 29
Slika 17: Morfografska karta ledeniških reliefnih oblik, sedimentov in obsega poledenitve na severozahodnem delu Gorskega kotarja. 31
Slika 18: Morfografska karta ledeniških reliefnih oblik, sedimentov in obsega poledenitve na vzhodnem delu Gorskega kotarja. 33
Slika 19: Morfografska karta ledeniških reliefnih oblik, sedimentov in obsega poledenitve na južnem delu Gorskega kotarja. 35
Slika 20: Morfografska karta ledeniških reliefnih oblik, sedimentov in obsega poledenitve na zahodnem delu Gorskega kotarja. 36
Slika 21: Morfografska karta glaciogenih reliefnih oblik in predviden obseg poledenitve. 44

1 Pregled literature o poledenitvi Snežnika in Gorskega kotarja / Pregled literature o zaleđenju Snežnika i Gorskog Kotara

Raziskave območij Snežnika in Gorskega kotarja so kljub izraziti geološki in geomorfološki raznolikosti pritegnile pozornost relativno majhnega števila raziskovalcev. Strokovno proučevanje Snežnika ima nekoliko daljšo tradicijo kot raziskave Gorskega kotarja.
Unatoč izrazitoj geološkoj i geomorfološkoj raznolikosti, istraživanje područja Snežnika i Gorskog kotara privuklo je pozornost relativno malog broja istraživača. Stručno proučavanje Snežnika ima nešto dulju tradiciju od istraživanja Gorskog kotara.

Lipold je izvedel prva geološka kartiranja Snežniške planote (cv: Ramovš, 2001), vendar pri tem ni identificiral obsežnih ledeniških akumulacij. Uravnavo na Gomancah je interpretiral zgolj kot aluvialno reliefno obliko. Krebs (1924) je prvi dokumentiral sledove poledenitve na območju Snežnika. Ugotovil je prisotnost skromnih ledeniških sledi na planoti pod vrhom Snežnika, medtem ko je doline na Gomancah opredelil kot predledeniške vršaje. Cumin (1927) je kasneje evidentiral dve krnici na jugovzhodni in severni strani vrha Snežnika na približno 1600 metrov nadmorske višine. Drugih ledeniških sledi ali obsega poledenitve ni podrobneje analiziral. Podobno kot Lipold je tudi on interpretiral uravnavo na Gomancah kot aluvialni nanos lokalnih vodotokov (Cumin, 1927; cv: Šifrer, 1959).
Lipold je proveo prvo geološko kartiranje Snežničke visoravni (cv: Ramovš, 2001.), ali nije identificirao opsežne ledenjačke akumulacije. Zaravninu na Gomancu interpretirao je kao čisto aluvijalni oblik reljefa. Krebs (1924.) prvi je dokumentirao tragove zaleđenja na području Snežnika. Pronašao je prisutnost skromnih ledenjačkih tragova na visoravni ispod vrha Snežnika, dok je doline na Gomancu definirao kao predledene humke. Cumin (1927.) kasnije je zabilježio dva kratera na jugoistočnoj i sjevernoj strani vrha Snežnika na približno 1600 metara nadmorske visine. Nije detaljnije analizirao druge ledenjačke tragove niti opseg zaleđenja. Slično Lipoldu, on je nivelaciju kod Gomanca interpretirao kao aluvijalno taloženje iz lokalnih vodotoka (Cumin, 1927.; cv: Šifrer, 1959.).

Melik (1935) je v geografskem pregledu Slovenije potrdil prisotnost pleistocenskih ledenikov na Snežniku, ki naj bi segali najnižje na območju Gomanc, do približno 900 metrov nadmorske višine. V isti študiji je določil pleistocensko snežno mejo tega območja med 1300 in 1250 metri nadmorske višine (Melik, 1935), vendar brez podrobnejše obrazložitve obsega poledenitve ali metodologije določanja višine snežne meje.
Melik (1935.) je u svom geografskom pregledu Slovenije potvrdio prisutnost pleistocenskih ledenjaka na Snežniku, za koje se kaže da dosežu najnižu točku u području Gomanca, do približno 900 metara nadmorske visine. U istoj studiji odredio je pleistocensku snježnu granicu ovog područja između 1300 i 1250 metara nadmorske visine (Melik, 1935.), ali bez detaljnog objašnjenja opsega zaleđenja ili metodologije određivanja visine snježne granice.

Pleničar je leta 1956 ugotovil, da severovzhodno pobočje Snežnika sestavlja grušč s karakteristikami morenskega gradiva. Zaradi odsotnosti krnic in ledeniških dolin v pobočjih je sklepal, da je območje prekrivala ledeniški pokrov (Pleničar, 1956).
Godine 1956. Pleničar je utvrdio da se sjeveroistočna padina Snežnika sastoji od šljunka s karakteristikama morenskog materijala. Zbog odsutnosti pukotina i ledenjačkih dolina u padinama, zaključio je da je područje prekriveno ledenjačkim pokrovom (Pleničar, 1956.).

Zelo podrobno raziskavo o sledovih in obsegu poledenitve na širšem območju Snežnika in v severozahodnem delu Gorskega kotarja je predstavil Šifrer (1959). Hkrati je izvedel prvo sistematično analizo ledeniških sledov v Gorskem kotarju. S temeljitim geomorfološkim pregledom celotne Snežniške planote in severozahodnega dela Gorskega kotarja je Šifrer rekonstruiral obsežnejšo pleistocensko poledenitev, kot so predvidevale dotedanje študije.

Vrlo detaljnu studiju tragova i opsega zaleđenja na širem području Snežnika i u sjeverozapadnom dijelu Gorskog kotara predstavio je Šifrer (1959.). Istovremeno je proveo prvu sustavnu analizu ledenjačkih tragova u Gorskom kotaru. Temeljitim geomorfološkim pregledom cijele Snežničke visoravni i sjeverozapadnog dijela Gorskog kotara, Šifrer je rekonstruirao opsežnije pleistocensko ledenje nego što su pretpostavile prethodne studije.

V svoji raziskavi je ugotovil prisotnost dveh obsežnih ledeniških platojev na proučevanem območju. Prvi ledeniški plato je prekrival planotasto površje južno od Snežnika in se z višjih predelov spuščal v različne smeri: proti jugu v Padežnico in naprej preko Klanske police po dolini na Gomance; proti vzhodu v Jelenjo drago in Kostelni dol; na severovzhodu se je razdelil na dva odtočna ledenika (eden je preko Kujaviča odtekal na zahodna pobočja Praprotne drage, drugi pa preko Medvedove Glave in Jarmovca na južna pobočja Praprotne drage); proti zahodu je odtekal preko Črne drage v Črni dol, pri čemer je zaradi svoje debeline segal tudi na območje Sviščakov. Severno od Gašperjevega hriba in zahodno od Malega Snežnika sta se nahajala dva manjša dolinska ledenika, ki nista bila povezana z ledeniških platojem.
U svom istraživanju utvrdio je prisutnost dviju opsežnih ledenjačkih visoravni na proučavanom području. Prva ledenjačka visoravan pokrivala je površinu visoravni južno od Snežnika i spuštala se s viših područja u različitim smjerovima: prema jugu do Padežnice i dalje preko Klanske police uz dolinu do Gomanca; prema istoku do Jelenje drage i Kostelne dole; na sjeveroistoku se dijelila na dva drenažna ledenjaka (jedan je tekao preko Kujaviča do zapadnih padina Praprotne drage, a drugi preko Medvedove Glave i Jarmovca do južnih padina Praprotne drage); prema zapadu se ulijevala preko Crne drage u Črnu dol, a zbog svoje debljine dopirala je i do područja Sviščaka. Sjeverno od Gašperjevog hriba i zapadno od Malog Snežnika nalazila su se dva manja dolinska ledenjaka koja nisu bila povezana s ledenjačkom visoravni.

Drugi, še obsežnejši ledeniški plato, je prekrival območje med Gomancami in Risnjakom ter se premikal proti jugozahodu. Ta ledenik je prekrival obsežne kraške kotanje med Crnim vrhom in Risnjakom, se približal uravnavi na Gomancah in se v dveh odtočnih ledenikih premikal preko nižjih predelov proti jugu – eden po dolini proti lovski koči Gorničko, drugi pa med vrhovoma Jesenovica in Sleme proti Grobničkemu polju. Del tega platoja s planot okoli Bačve in Bukove gore se je stekal tudi na sever v kotanjo Dugarišča, kjer se je združil z ledenikom s Snežnika.
Druga, još opsežnija ledenjačka visoravan pokrivala je područje između Gomancea i Risnjaka te se pomicala prema jugozapadu. Ovaj ledenjak prekrivao je prostrane krške bazene između Crnog vrha i Risnjaka, približavao se izravnavanju kod Gomanca i kretao se u dva drenažna ledenjaka preko nižih područja prema jugu – jedan uz dolinu prema lovačkom domu Gorničko, a drugi između vrhova Jesenovice i Slemena prema Grobničkom polju. Dio ove visoravni s visoravni oko Bačve i Bukove gore također je tekao prema sjeveru u kotlinu Dugarišča, gdje se spajao s ledenjakom sa Snežnika.

Na podlagi teh ugotovitev je Šifrer (1959) sklepal, da je bila snežna meja na nadmorski višini približno 1200 m. Največji ledenik na območju Snežnika je poimenoval "Padežniški ledenik", ki se je napajal iz obsežnih ledenih mas s planot južno od vrha Snežnika – glavnega zbirališča ledu. Na tem območju je identificiral manjšo zaplato morenskega gradiva. Padežniški ledenik se je napajal tudi s planote Planinica jugozahodno od Padežnice, čeprav Šifrer tam ni identificiral ledeniških akumulacij. O njegovem obstoju in smeri toka je sklepal zgolj na podlagi topografije površja. Manjše količine ledu so v Padežnico pritekale tudi z Medvedje drage na severozahodu.
Na temelju tih nalaza, Šifrer (1959.) zaključio je da se snježna granica nalazi na nadmorskoj visini od približno 1200 m. Najveći ledenjak na području Snežnika nazvao je "Padežniški ledenjak", koji se hranio opsežnim ledenim masama s visoravni južno od vrha Snežnika – glavnog mjesta sakupljanja leda. Na tom području identificirao je malu krpicu morenskog materijala. Padežnički ledenjak se također hranio s visoravni Planinica jugozapadno od Padežnice, iako Šifrer nije tamo identificirao ledenjačke akumulacije. Njegovo postojanje i

smjer toka zaključio je isključivo na temelju površinske topografije. Manje količine leda također su se slijevale u Padežnicu iz Medveđe drage prema sjeverozapadu.

Šifrer (1959) je poimenoval "Ledenik pod Medvedovo glavo" tisti ledeniški tok, ki se je napajal z obsežnega ledeniškega platoja južno od vrha Snežnika in se pomikal preko reliefne stopnje ob vrhu Medvedova glava. Ta ledenik se je hranil z obsežnih planot in kont zahodno od Medvedove glave ter odtekal med vrhovoma Pravdenjak in Cifre proti vzhodu v približno 200 m nižje ležečo kotanjo. Po celotni kotanji je odložil morensko gradivo. Na podlagi razporeditve ledeniških akumulacij je Šifrer ugotovil, da se je ledenik nadaljeval proti severu v Praprotno drago. Ledenik se je premikal tudi proti jugu v večjo kraško kotanjo, vendar ni dosegel Jelenje drage in se tako ni združil s padežniškim ledenikom.
Šifrer (1959.) je nazvao "Ledenjak pod Medvedovom glavom" ledenjački tok koji se hranio s opsežne ledenjačke visoravni južno od vrha Snežnik i kretao se preko reljefne stepenice uz vrh Medvedove glave. Ovaj se ledenjak hranio s opsežnih visoravni i kontuzija zapadno od Medvedove glave i tekao prema istoku između vrhova Pravdenjak i Cifre u udubinu otprilike 200 m niže. Taložio je morenski materijal kroz cijelu udubinu. Na temelju raspodjele ledenjačkih akumulacija, Šifrer je utvrdio da se ledenjak nastavio prema sjeveru u Praprotnu dragu. Ledenjak se također pomaknuo prema jugu u veću kršku udubinu, ali nije dosegao Jelenju dragu i stoga se nije spojio s ledenjakom Padežnica.

Vzhodno od vrha Snežnika je Šifrer identificiral dva ledenika, ki ju je poimenoval "Ledenika nad Praprotno drago". Ta dva ledenika je ločeval greben, ki poteka od vrha Snežnika proti Gašperjevemu hribu. Severno od tega grebena so bili ohranjeni sledovi manjšega ledenika, ki jih je pred Šifrerjevo raziskavo dokumentiral že Pleničar (1956). Ta ledenik se je formiral v krnici na nadmorski višini približno 1600 m, kjer se je napajal predvsem s snežnimi plazovi. Segal je do velike vrtače na nadmorski višini okrog 1140 m, kjer je Šifrer odkril večje količine morenskega gradiva. Južno od omenjenega grebena je bil odtočni ledenik, ki se je napajal z obsežnih planot na južni in jugovzhodni strani Snežnika. Ta se je premikal preko več kraških kotanj in se zaključil na pobočju na nadmorski višini približno 850 m, od 30 do 50 m nad dnom Praprotne drage. Na strmem pobočju so ohranjene le manjše čelne morene, medtem ko so višje nad Praprotno drago dokumentirane obsežne ledeniške akumulacije in izraziti grebeni umikalnih moren.
Istočno od vrha Snežnika, Šifrer je identificirao dva ledenjaka, koje je nazvao "Ledenjaci iznad Praprotne drage". Ova dva ledenjaka bila su odvojena grebenom koji se proteže od vrha Snežnika prema Gašperjevom hribu. Sjeverno od ovog grebena sačuvani su tragovi manjeg ledenjaka, što je Pleničar (1956.) već dokumentirao prije Šifrerovog istraživanja. Ovaj ledenjak nastao je u pukotini na nadmorskoj visini od približno 1600 m, gdje se hranio uglavnom snježnim lavinama. Dosezao je do velike vrtače na nadmorskoj visini od oko 1140 m, gdje je Šifrer otkrio velike količine morenskog materijala. Južno od spomenutog grebena nalazio se drenažni ledenjak, koji se hranio s opsežnih visoravni na južnoj i jugoistočnoj strani Snežnika. Kretao se preko nekoliko krških udubina i završavao na padini na nadmorskoj visini od približno 850 m, 30 do 50 m iznad dna Praprotne drage. Na strmoj padini sačuvane su samo male frontalne morene, dok su više iznad Praprotne drage dokumentirane opsežne ledenjačke akumulacije i izraženi grebeni povlačećih morena.

Ledenik, ki ga je Šifrer poimenoval "Črnodolski ledenik", se je napajal s planote zahodno od Padežnice in osrednjega dela Planinice ter nato odtekal preko Črne drage v Črni dol. Sledove čela tega ledenika je avtor identificiral v zahodnem delu dna Črnega dola na nadmorski višini okrog 1060 m, in sicer v izkopu, nastajlem ob gradnji lovske koče. V dnu Črnega dola drugih sledov ledeniških akumulacij ni, saj so jih domnevno prekrili predledeniški in fluvioperiglacialni vršaji. V Črni dragi je Šifrer opisal več dobro ohranjenih umikalnih moren, severno na Sviščakih pa serijo čelnih in bočnih moren, ki naj bi nastale ob višku poledenitve, ko je del črnodolskega ledenika odtekal tudi preko grebena proti severu. Sledove starejše poledenitve je odkril le južno od vrha Udnik, kjer je močno sprijeto morensko gradivo prekrito z nesprijetim.

Ledenjak, koji je Šifrer nazvao "Črnodolski ledenjak", hranio se s visoravni zapadno od Padežnice i središnjeg dijela Planinice, a zatim je preko Crne drage tekao u Črni dol. Autor je tragove čela ovog ledenjaka identificirao u zapadnom dijelu dna Črnog dola na nadmorskoj visini od oko 1060 m, u iskopu napravljenom prilikom izgradnje lovačkog doma. U dnu Črnog dola nema drugih tragova ledenjačkih akumulacija, jer su vjerojatno bile prekrivene preglacijalnim i fluvioperiglacijalnim humcima. U Crnoj dragi Šifrer je opisao nekoliko dobro očuvanih povlačećih morena, a sjevernije, u Sviščacima, niz frontalnih i bočnih morena, za koje se smatra da su nastale na vrhuncu oledenja, kada je i dio Črnodolskog ledenjaka tekao preko grebena prema sjeveru. Tragove ranijeg zaleđenja otkrio je samo južno od vrha Udnik, gdje je snažno kohezivni morenski materijal prekriven nekohezivnim materijalom.

Manjši ledenik, ki je pritekal izpod Malega Snežnika v Grdo drago, je Šifrer poimenoval enostavno "Ledenik v Grdi dragi". Napajali so ga predvsem plazovi izpod Malega Snežnika. Ugotovil je, da je bilo čelo tega ledenika v dnu Grde drage, severno od velike kotanje, kjer so ohranjeni grebeni moren.
Manji ledenjak koji je tekao ispod Malog Snežnika u Grdu dragu Šifrer je jednostavno nazvao "Ledenjak u Grdi dragi". Hranile su ga uglavnom lavine ispod Malog Snežnika. Otkrio je da se prednji dio ovog ledenjaka nalazi na dnu Grde drage, sjeverno od velike depresije, gdje su sačuvani morenski grebeni.

Na severnih pobočjih Snežnika Šifrer ni odkril sledov poledenitve. Predpostavil je, da se je na območjih konte Pekel in planote nad Grdo drago sicer zbiralo veliko ledu, vendar je ta v obliki serakov (ledeniških blokov) po strmih pobočjih padal v dolino.
Šifrer nije otkrio tragove zaleđenja na sjevernim obroncima Snežnika. Pretpostavio je da se puno leda nakupilo u područjima planinskog lanca Pekel i visoravni iznad Grde drage, te da je on u dolinu pao u obliku seraka (ledenjačkih blokova) uz strme padine.

Šifrer (1959) je ledenik, ki je zapolnjeval kotanji Ravno in Rečice ter se proti jugovzhodu združil z ledeniki s planot okoli vrhov Guslica, Snježnik in Risnjak, poimenoval "Ravenski ledenik". Ta ledenik se je napajal iz kotanje Ceclje in planotastega površja okoli vrha Bijela Škalja. Glavni tokovi ledeniškega platoja so bili usmerjeni v različne smeri: proti zahodu preko Trikaliča v Trstenik, proti jugu v Suho in preko Rečičke proti jugozahodu v Rečice. V obdobju viška poledenitve sta Ravno in Rečice zapolnjevali sklenjeni ledeni masi ravenskega ledenika, ki sta odtekali proti severozahodu v smeri Gomanc ter proti jugu v smeri Gornička.
Šifrer (1959.) je ledenjak koji je ispunjavao bazene Ravno i Rečice i spajao se s ledenjacima s visoravni oko vrhova Guslice, Snježnika i Risnjaka prema jugoistoku nazvao "Gavran ledenjak". Ovaj se ledenjak napajao iz bazena Ceclja i područja visoravni oko vrha Bijele Škalje. Glavni tokovi ledenjačke visoravni bili su usmjereni u različitim smjerovima: prema zapadu preko Trikaliča do Trstenika, prema jugu do Suhe i prema jugozapadu preko Rečičke do Rečica. Tijekom razdoblja vrhunca zaleđenja, Ravno i Rečice bile su ispunjene zatvorenim ledenim masama ledenjaka Ravno, koje su tekle prema sjeverozapadu prema Gomancu i prema jugu prema Gorničkoj.

V dolini med Gomancami in Rečicami je Šifrer identificiral serijo dobro ohranjenih morenskih nasipov. Nekatere morene segajo do 1150 m visoko v pobočje doline, kar kaže na izjemno debelino ledu na območju Ravnega in Rečic. Na območju nekdanjega ravenskega ledenika so nekateri največji morenski grebeni na celotnem območju Gorskegha kotarja, ki dosegajo višino do 20 m. Severozahodni del ravenskega ledenika je segal skoraj do Gomanc, o čemer priča ohranjena morena na jugozahodni strani Črnega vrha. Južni del ledenika pa je odtekal preko 1147 m visokega prevala proti jugu na Gorničko in se zaključil na pobočjih Mutne doline, kjer so ohranjene globoko preperele, vendar nesprijete morene. Šifrer (1959) je predpostavil, da se je ledenik na Gorničkem napajal tudi z dotokom ledu iz severovzhodnih predelov Ilovnjaka in Kačjega.
U dolini između Gomanca i Rečica, Šifrer je identificirao niz dobro očuvanih morenskih nasipa. Neke od morena protežu se do 1150 m visine u padinu doline, što ukazuje na iznimnu debljinu

leda na području Ravni i Rečica. Na području bivšeg ledenjaka Ravne nalaze se neki od najvećih morenskih grebena u cijelom Gorskom kotaru, koji dosežu visinu i do 20 m. Sjeverozapadni dio ledenjaka Ravne protezao se gotovo do Gomanca, o čemu svjedoči očuvana morena na jugozapadnoj strani Črnog vrha. Južni dio ledenjaka tekao je preko prijevoja visokog 1147 m prema jugu do Gorničke i završavao na obroncima Mutne doline, gdje su sačuvane duboko trošne, ali nekonsolidirane morene. Šifrer (1959.) pretpostavio je da se ledenjak u Gorničkom hranio i dotokom leda sa sjeveroistočnih dijelova Ilovnjaka i Kačja.

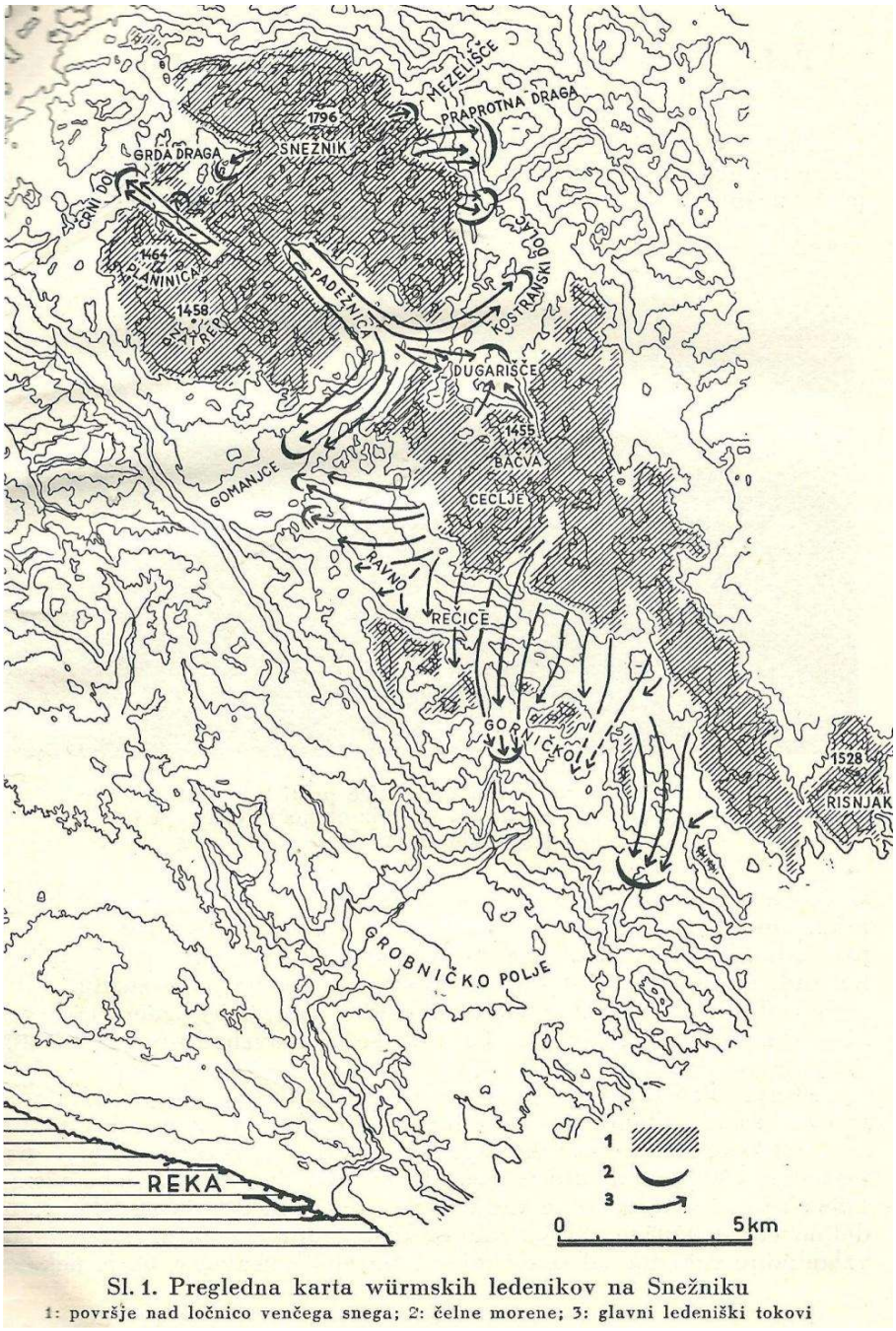
V svoji raziskavi je Šifrer omenil tudi obsežne ledeniške akumulacije jugovzhodno od območja Ravenskega ledenika, vendar jih ni podrobno analiziral. Predvideval je, da se je ledeniški tok s planot okoli vrhov Guslica, Snježnik in Međuvrhi pomikal proti jugu preko kotanje Pribiniš ter po dolini med Jasenovico in Slemenom v smeri Grobničkega polja. Na tem območju je identificiral obsežne ledeniške akumulacije, med katerimi je podrobneje opisal le eno – obsežen morenski greben severno od Jazvine, ki se začenja na nadmorski višini 870 m in se s prekinitvami nadaljuje do nadmorske višine 800 m, kjer naj bi bilo čelo ledenika. To moreno je opisal kot globoko preperelo in nesprijeto, vendar z mestoma prisotnim močno sprijetim morenskim gradivom pod površinsko nesprijeto plastjo.
Šifrer je u svom istraživanju spomenuo i opsežne ledenjačke akumulacije jugoistočno od područja Ravenskog ledenjaka, ali ih nije detaljno analizirao. Pretpostavio je da se ledenjački tok s visoravni oko vrhova Guslice, Snježnika i Međuvrha kretao prema jugu preko Pribiniškog bazena i duž doline između Jasenovice i Slemena u smjeru Grobničkog polja. Na tom području identificirao je opsežne ledenjačke akumulacije, od kojih je detaljno opisao samo jednu – opsežni morenski greben sjeverno od Jazvine, koji počinje na nadmorskoj visini od 870 m i povremeno se nastavlja do nadmorske visine od 800 m, gdje se pretpostavlja da je ledenjačka fronta. Ovu morenu opisao je kao duboko trošenu i nekonsolidiranu, ali s lokalno prisutnim snažno kohezivnim morenskim materijalom ispod površinskog nekonsolidiranog sloja.

Šifrer (1959) je v svoji raziskavi ugotovil, da je bilo glaciofluvialno nasipavanje na proučevanem območju presenetljivo skromno v primerjavi z obsežnostjo poledenitve. Svojo ugotovitev je utemeljil z opažanjem številnih kraških depresij in brezen na nekdaj poledenelih površjih, iz česar je sklepal, da je vertikalni kraški odtok pod ledeniki ostajal aktiven. Ta pojav je po njegovem mnenju preprečeval, da bi podledeniške vode v večji meri dosegle čelo ledenika. Prav ta značilnost kraškega terena naj bi bila ključni dejavnik za izjemno dobro ohranjenost morenskih nasipov na območju Snežnika in Gorskega kotarja. Do obsežnejšega glaciofluvialnega nasipavanja je prišlo le na dveh lokacijah – na Gomancah ter na Grobničkem polju. Na slednjem je Šifrer podrobno analiziral sestavo sedimentov in ugotovil, da zgornjo plast debeline 3-5 m sestavlja prod glaciofluvialnega izvora, ki najverjetneje pripada mlajšemu pleistocenu.
Šifrer (1959.) je u svom istraživanju utvrdio da je glaciofluvijalno ispunjavanje na proučavanom području iznenađujuće skromno u usporedbi s opsegom zaleđenja. Svoje nalaze temeljio je na promatranju brojnih krških udubina i ponora na nekada zaleđenim površinama, iz čega je zaključio da je vertikalna krška drenaža ostala aktivna ispod ledenjaka. Po njegovu mišljenju, taj je fenomen spriječio da subglacijalne vode u većoj mjeri dopru do ledenjačkog fronta. Smatra se da je ova karakteristika krškog terena ključni čimbenik iznimno dobre očuvanosti morenskih humaka na području Snežnika i Gorskog kotara. Opsežno glaciofluvijalno ispunjavanje dogodilo se samo na dvije lokacije – na Gomanceu i na Grobničkom polju. Na potonjem je Šifrer detaljno analizirao sastav sedimenata i utvrdio da gornji sloj, debljine 3-5 m, sastoji se od šljunka glaciofluvijalnog podrijetla, koji najvjerojatnije pripada ranom pleistocenu.

V okviru svojih terenskih raziskav je Šifrer (1959) na območju Snežnika in severozahodnega dela Gorskega kotarja identificiral sledove več poledenitvenih faz. Čeprav v tistem času ni izvedel absolutnih datiranj ledeniških sedimentov, je skladno s takratnimi znanstvenimi pristopi sklepal na njihovo relativno starost na podlagi stopnje diageneze in preperelosti. Nesprijetim morenam je pripisal würmsko starost, pri čemer jih je dodatno ločil glede na globino preperelosti – morene z več kot meter globokim preperelim horizontom je uvrstil v t.i. "stari

würm", medtem ko je morene z nekaj decimetrov globokim preperelim horizontom opredelil kot "mladi würm". Sprijete in bolj fragmentarno ohranjene morene je interpretiral kot starejše in jim pripisal riško starost.

U sklopu terenskog istraživanja, Šifrer (1959.) je identificirao tragove nekoliko faza glacijacije na području Snežnika i sjeverozapadnog dijela Gorskog kotara. Iako u to vrijeme nije izvršio apsolutno datiranje glacijalnih sedimenata, zaključio je o njihovoj relativnoj starosti na temelju stupnja dijageneze i trošenja, u skladu s tadašnjim znanstvenim pristupima. Nekonsolidiranim morenama pripisao je würmijsku starost, dodatno ih razlikujući prema dubini trošenja – morene s trošnim horizontom dubljim od metra klasificirane su kao tzv. "stari Würm", dok su morene s trošnim horizontom dubljim od nekoliko decimetara definirane kao "mladi Würm". Konsolidirane i fragmentarnije očuvane morene protumačio je kao starije i pripisao ih rikainskoj dobi.



Sl. 1. Pregledna karta würmskih ledenikov na Snežniku
1: površje nad ločnico venčega snega; 2: čelne morene; 3: glavni ledeniški tokovi

Slika 1:Karta obsega poledenitve na Snežniku in v severozahodnem delu Gorskega kotarja (Šifrer, 1959).
Slika 1: Karta opsega glacijacije na Snežniku i u sjeverozapadnom dijelu Gorskog kotara (Šifrer, 1959).

Šele več kot štiri desetletja po Šifrerjevi raziskavi je bila na tem območju izvedena prva absolutna datacija, in sicer na lopatici tura (*Bos primigenius*). Fosilni ostanek je bil odkrit v gramozni jami 4 metre pod površjem na Gomancah, ki ležijo na približno 900 m nadmorske višine. Gramoznico sestavlja glaciofluvialni material, za katerega se predvideva, da sta ga odložila dva ledenika. Eden je pritekal iz območja Snežnika s severa in drugi iz območja Trstenika iz vzhoda. Radiokarbonsko datiranje kosti je pokazalo starost 17,1 ± 0,4 14C ka BP (Marjanac, Marjanac, Mogut, 2001), kar s kalibracijskim programom CALIB702 (Reimer in sod., 2013) ustreza 18,7 ± 1,0 cal ka BP.
Tek više od četiri desetljeća nakon Šifrerovog istraživanja provedeno je prvo apsolutno datiranje na ovom području, na lopatici pragoveda (Bos primigenius). Fosilni ostaci otkriveni su u šljunčari 4 metra ispod površine na Gomancu, koji se nalazi na nadmorskoj visini od približno 900 m. Šljunak se sastoji od glaciofluvijalnog materijala, za koji se pretpostavlja da su ga taložila dva ledenjaka. Jedan je tekao iz područja Snežnika sa sjevera, a drugi iz područja Trstenika s istoka. Radiokarbonsko datiranje kosti pokazalo je starost od 17,1 ± 0,4 14C ka BP (Marjanac, Marjanac, Mogut, 2001.), što odgovara 18,7 ± 1,0 cal ka BP s kalibracijskim programom CALIB702 (Reimer i sur., 2013.).

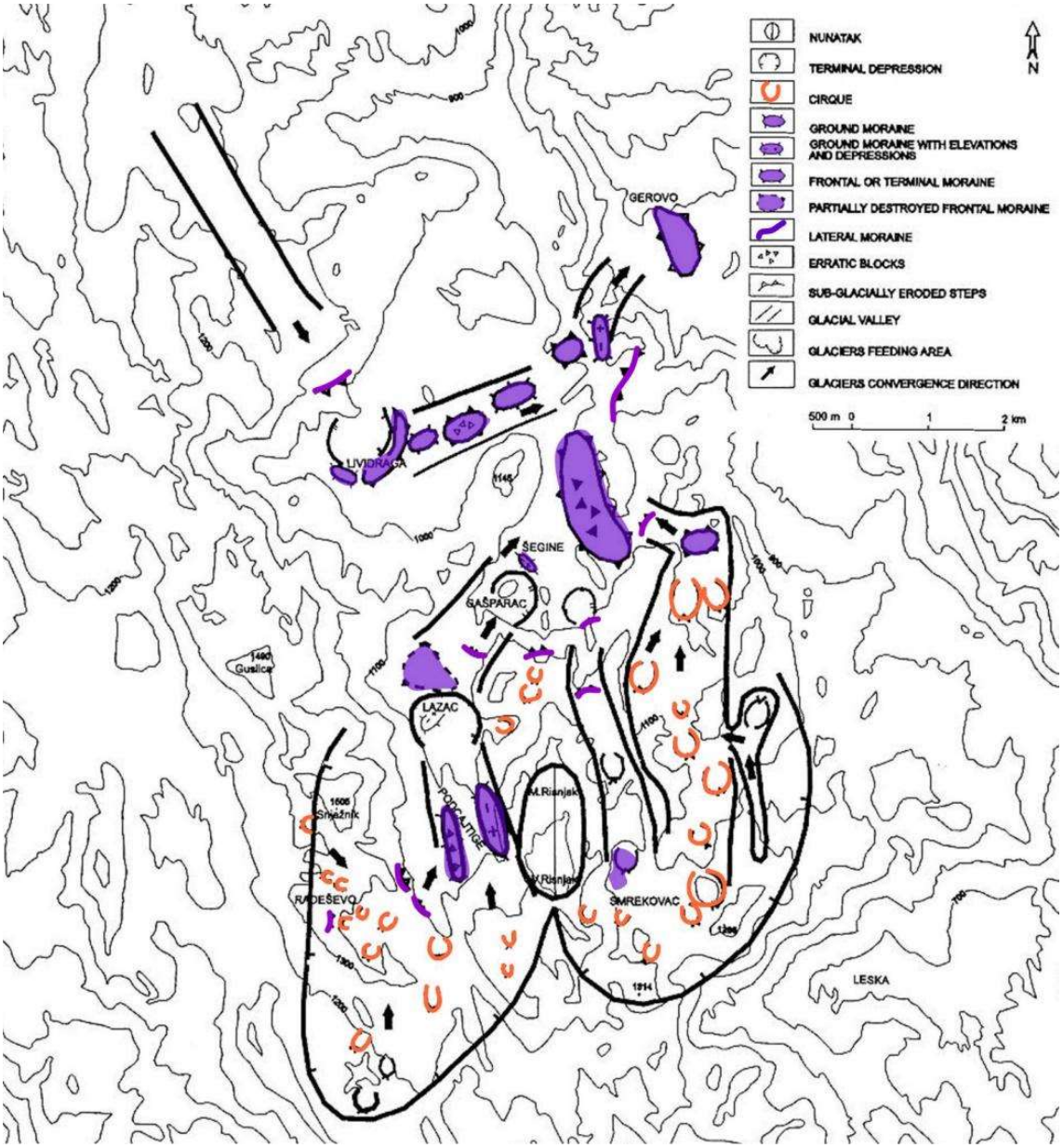
Kasnejša raziskava sledov poledenitve v Gorskem kotarju je obsegala območje od Gerova na severu, Gornjega Jelenja na jugu, Crnega Luga na vzhodu in Snježnika na zahodu (Bognar, Prugovečki, 1997). Avtorja raziskave sta identificirala sistem ledeniško preoblikovanih dolin in krnic, ki so nastale kot posledica delovanja štirih ledenikov. Trije ledeniki naj bi se napajali z ledom z območja Risnjaka, eden pa z območja Snežnika. Glavna akumulacijska območja ledu na Risnjaku sta predstavljali planoti Smrekovac in Radeševo ter greben Malega in Velikega Risnjaka, od koder so do 7 km dolgi ledeniki odtekali v smeri severa in severovzhoda. Najvišji greben Risnjaka naj bi v času poledenitve ostal nepokrit z ledom kot nunatak, kar avtorja potrjujeta z identificiranimi periglacialnimi reliefnimi oblikami na tem območju.
Kasnije istraživanje tragova oledbe u Gorskom kotaru obuhvatilo je područje od Gerova na sjeveru, Gornjeg Jelenja na jugu, Crnog Luga na istoku i Snježnika na zapadu (Bognar, Prugovečki, 1997). Autori istraživanja identificirali su sustav ledenjački transformiranih dolina i klisura koji su nastali kao rezultat djelovanja četiri ledenjaka. Za tri ledenjaka se kaže da se hrane ledom s područja Risnjaka, a za jednog s područja Snežnika. Glavna područja akumulacije leda na Risnjaku bila su visoravan Smrekovac i Radeševo te grebeni Malog i Velikog Risnjaka, odakle su ledenjaci dugi i do 7 km tekli prema sjeveru i sjeveroistoku. Za najviši greben Risnjaka se kaže da je ostao nepokriven ledom kao nunatak tijekom oledbe, što autori potvrđuju periglacijalnim oblicima reljefa identificiranim na ovom području.

Bognar in Prugovečki (1997) sta serijo talnih in čelnih moren odkrila v čelnomorenskih kotanjah Lazac, Gašparac in Šegine severno od vrha Risnjaka. Na območju Zelinskega luga sta evidentirala izjemno veliko, 1800 m dolgo in 500 m široko čelno moreno, ki sta jo pripisala ledenikom z območja Risnjaka. Ledenik, ki je pritekal z območja Snežnika, je odložil serijo čelnih moren med Lividrago in Gerovim. Čelo tega, skoraj 25 km dolgega ledenika, naj bi doseglo Gerovo na nadmorski višini okoli 600 m, kjer se nahaja 500 m dolga in 300 m široka morena. V svoji raziskavi avtorja nista pojasnila, po kateri poti se je ledenik z območja Snežnika pomikal preko Lividrage proti Gerovu.
Bognar i Prugovečki (1997.) otkrili su niz podnih i frontalnih morena u frontalnim morenskim bazenima Lazca, Gašparca i Šegina sjeverno od vrha Risnjaka. U području Zelinskog luga zabilježili su iznimno veliku, 1800 m dugu i 500 m široku frontalnu morenu, koju su pripisali ledenjacima s područja Risnjaka. Ledenjak koji teče s područja Snežnika taložio je niz frontalnih morena između Lividrage i Gerova. Smatra se da je prednji dio ovog, gotovo 25 km dugog ledenjaka, stigao do Gerova na nadmorskoj visini od oko 600 m, gdje se nalazi morena

duga 500 m i široka 300 m. U svojoj studiji autori nisu objasnili put kojim se ledenjak s područja Snežnika kretao preko Lividrage prema Gerovu.

Ledeniške akumulacije, ki jih je odložil ledenik z območja Snežnika, poleg apnencev vsebujejo tudi precejšen delež dolomitov. To naj bi potrjevalo, da te akumulacije res pripadajo Snežniškemu ledeniku, čeprav geološki podatki (Osnovna geološka karta SFRJ, list Ilirska Bistrica, 1972; Osnovna geološka karta SFRJ, list Delnice, 1984) kažejo, da se dolomiti pojavljajo na celotnem območju med Snežnikom in Risnjakom.
Ledenjačke nakupine koje je taložio ledenjak s područja Snežnika sadrže, osim vapnenaca, značajan udio dolomita. To bi trebalo potvrditi da te akumulacije doista pripadaju ledenjaku Snežnik, iako geološki podaci (Osnovna geološka karta SFRJ, Glasnik Ilirske Bistrice, 1972.; Osnovna geološka karta SFRJ, Glasnik Delnica, 1984.) pokazuju da se dolomiti javljaju na cijelom području između Snežnika i Risnjaka.

Na podlagi preproste Höferjeve metode sta avtorja izračunala, da je bila povprečna pleistocenska snežna meja na Risnjaku na nadmorski višini 1190 m, medtem ko sta snežno mejo na Snežniku povzela po Šifrerju (1959). Z uporabo vertikalnega temperaturnega gradienta in predhodno rekonstruirane pleistocenske snežne meje sta določila tudi hipotetično današnjo snežno mejo, ki naj bi bila po njunih izračunih na nadmorski višini 2890 m. Rezultati paleoklimatske rekonstrukcije so pokazali, da so bile temperature v času pleistocena na vrhu Risnjaka –10,85 °C, medtem ko je bila količina padavin za 30 % nižja od današnje. Večini ledeniških akumulacij sta brez datacij pripisala poznowürmsko starost, le moreni na Gerovem sta pripisala riško starost (Bognar, Prugovečki, 1997).
Autori su na temelju jednostavne Höferove metode izračunali da se prosječna pleistocenska snježna granica na Risnjaku nalazi na nadmorskoj visini od 1190 m, dok su snježnu granicu na Snežniku saželi prema Šifreru (1959). Koristeći vertikalni temperaturni gradijent i prethodno rekonstruiranu pleistocensku snježnu granicu, odredili su i hipotetsku današnju snježnu granicu koja bi prema njihovim izračunima trebala biti na nadmorskoj visini od 2890 m. Rezultati paleoklimatske rekonstrukcije pokazali su da su temperature tijekom pleistocena na vrhu Risnjaka bile –10,85 °C, dok je količina oborina bila 30% niža nego danas. Većini ledenjačkih akumulacija pripisali su kasnowürmijsku starost bez datiranja, samo je morena na Gerovu pripisana rizanskoj starosti (Bognar, Prugovečki, 1997).



Slika 2: Geomorfološka karta sledov poledenitve na Risnjaku (prirejeno po Bognar, Prugovečki, 1997) (vijolična – morene; oranžna – krnice) (Bognar, Prugovečki, 1997; Žebre, 2015).

Slika 2: Geomorfološka karta tragova oledbe na Risnjaku (prilagođeno prema Bognar, Prugovečki, 1997.) (ljubičasta – morene; narančasta – močvare) (Bognar, Prugovečki, 1997.; Žebre, 2015.).

Sledove poledenitve na Snežniku je preučeval tudi Habič (2013), kot je razvidno iz njegovih osebnih zapiskov. Habič se je osredotočil na raziskave ledeniških sledi v okolici Mašuna, severozahodno od vrha Snežnika. V kotanji med Strgarijo in Dedno goro, na jugovzhodnih obronkih Strgarije ter na območju med Markovo cesto in Flajšerico je dokumentiral več morenskih grebenov na nadmorskih višinah med 980 in 1040 m. Postavil je hipotezo, da so te ledeniške akumulacije odložili lokalni mašunski ledeniki, saj je na Dedni gori in Strgariji identificiral večje število krnic. Vendar pa ni popolnoma izključil možnosti sklenjene poledenitve Snežniške planote, pri čemer bi ledenik iz Grde drage segal vse do Mašuna.

Tragove zaleđenja na Snežniku proučavao je i Habič (2013.), što se može vidjeti iz njegovih osobnih bilješki. Habič se usredotočio na istraživanje ledenjačkih tragova u blizini Mašuna, sjeverozapadno od vrha Snežnika. U udubini između Strgarije i Dedne gore, na jugoistočnim obroncima Strgarije, te na području između Markove ceste i Flajšerice, dokumentirao je nekoliko morenskih grebena na visinama između 980 i 1040 m. Postavio je hipotezu da su te ledenjačke akumulacije taložene lokalnim mašunskim ledenjacima, budući da je identificirao velik broj pukotina na Dednoj gori i Strgariji. Međutim, nije u potpunosti isključio mogućnost zatvorenog zaleđenja snežničke visoravni, pri čemu ledenjak iz Grde drage dopire sve do Mašuna.

Poleg ledeniških sledi v okolici Mašuna je Habič opisal tudi zaplate morenskega gradiva na obodu Lomovih dolin, Velike Padežnice in Vodne drage ter na dnu Travnih dolcev, ki jih predhodne raziskave niso evidentirale. Podobno kot Šifrer (1959) je tudi Habič identificiral morenské grebene severno od Gašperjevega hriba in na Mezelišču, hkrati pa, tako kot Šifrer, ni odkril sledov poledenitve na severnih pobočjih Snežnika.

Osim ledenjačkih tragova na području Mašuna, Habič je opisao i krpice morenskog materijala na rubu dolina Lomovi, Velika Padežnica i Vodna draga te na dnu dolina Travni dolci, što prethodnim istraživanjima nije zabilježeno. Slično Šifreru (1959.), Habič je također identificirao morenske grebene sjeverno od Gašperjevog hriba i na Mezelišču, ali, poput Šifrera, nije otkrio tragove zaleđenja na sjevernim obroncima Snežnika.

Raziskava ledeniških sledi na območju Snežnika je bila opravljena v okviru diplomskega dela (Trpin, 2011). Avtor raziskave je identificiral več zaplat morenskega gradiva na severnih pobočjih Snežnika, na podlagi katerih je zaključil, da je ledenik iz Pekla polzel po strmem severnem pobočju Snežnika v smeri Leskove doline. Prav tako je ugotovil, da je vrhnje dele Snežnika prekrivala ledena kapa, vendar metodologije, s katero je prišel do teh ugotovitev, podrobneje ni opisal.

Istraživanje ledenjačkih tragova na području Snežnika provedeno je u sklopu njegovog diplomskog rada (Trpin, 2011.). Autor istraživanja identificirao je naslage morenskog materijala na sjevernim obroncima Snežnika, na temelju čega je zaključio da se ledenjak Pekel povukao strmom sjevernom padinom Snežnika u smjeru Leskove doline. Također je otkrio da su gornji dijelovi Snežnika prekriveni ledenom kapom, ali nije detaljno opisao metodologiju korištenu za dolazak do tih nalaza.

Žebre (2015)je izvedla najobsežnejšo raziskavo poledenitve na območju Snežnika doslej in ugotovila, da obsežen del proučevanega območja prekrivajo ledeniške akumulacije med 580 in 1350 m nadmorske višine. Najnižje ležeči sedimenti se nahajajo na severovzhodni strani Gorskega kotarja pri Gerovem. Ledeniški sedimenti so večinoma necementirani, z dobro ohranjenimi morenskimi grebeni, medtem ko so tiliti prisotni le v manjših zaplatah na južni in severni strani Gorskega kotarja ter severovzhodni strani Snežnika.

Žebre (2015.) proveli su do sada najopsežnije istraživanje glacijacije na području Snežnika i utvrdili da je veliki dio proučavanog područja prekriven glacijalnim akumulacijama između 580 i 1350 m nadmorske visine. Najniže položene sedimente nalaze se na sjeveroistočnoj strani Gorskog kotara u blizini Gerova. Glacijalne sedimente uglavnom su necementirane, s dobro očuvanim morenskim grebenima, dok su naslage tila prisutne u manjoj količini na južnoj i sjevernoj strani Gorskog kotara i sjeveroistočnoj strani Snežnika

V nasprotju z dobro ohranjenimi akumulacijskimi oblikami so erozijske reliefne oblike večinoma slabo razpoznavne ali odsotne. Tipičnih krnic ni, ledeniško obrušeno površje pa je zaradi goste vegetacije težko opazno. Edina jasno ledeniško preoblikovana dolina v obliki črke U je Andrinova draga. Nekdanji erozijski del je danes razčlenjen s številnimi kraškimi kotanjami.

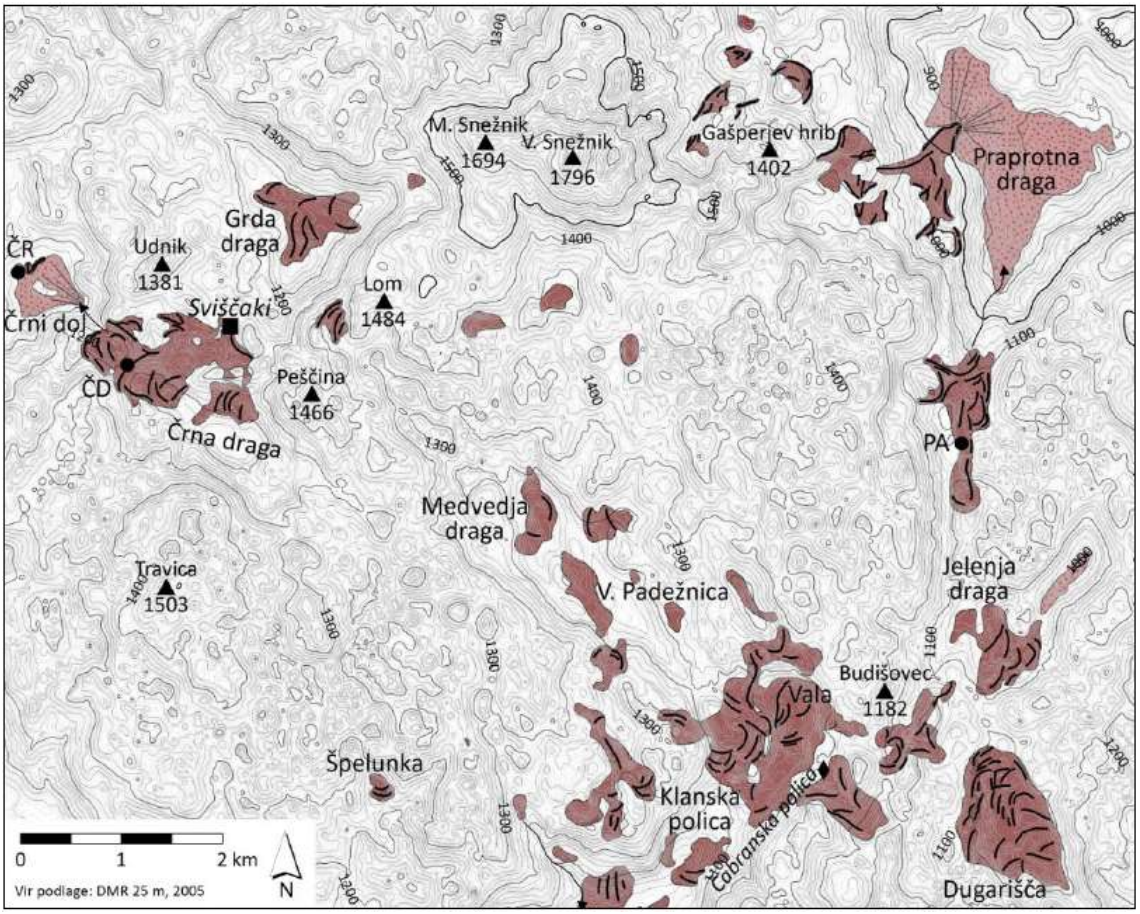
Za razliku od dobro očuvanih akumulacijskih oblika, erozioni oblici reljefa uglavnom su slabo prepoznatljivi ili ih nema. Nema tipičnih jaruga, a glacijalno erodirana površina teško je uočljiva zbog guste vegetacije. Jedina jasno glacijalno transformirana dolina u obliku slova U je Andrinova draga. Nekadašnji erozioni dio danas je diseciran brojnim krškim udubljenjima.

Razporeditev ledeniških akumulacij na Snežniški planoti kaže zanimiv vzorec – najnižje morene so na južni strani (Gomance, 910 m), medtem ko severna stran nima sledov poledenitve. Osrednje območje Snežnika z Medvedjo drago in Veliko Padežnico deli planoto na dva dela, v obeh kotanjah pa so ohranjene manjše umikalne morene.

Raspodjela ledenjačkih akumulacija na Snežničkoj visoravni pokazuje zanimljiv obrazac - najniže morene nalaze se na južnoj strani (Gomance, 910 m), dok sjeverna strana nema tragova zaleđenja. Središnje područje Snežnika s Medveđom dragom i Velikom Padežnicom dijeli visoravan na dva dijela, a manje povlačeće morene sačuvane su u oba bazena.

Na severovzhodni strani Snežniške planote se ledeniške akumulacije razprostirajo severno in vzhodno od Gašperjevega vrha med 910 in 1340 m nadmorske višine, z morenami, ki ne presegajo 10 m v višino. Vzhodno od Gašperjevega vrha se nahaja ena izmed največjih kraških kotanj s pobočji, prekritimi z morenskim gradivom. Grebeni moren so visoki do 50 m in se zaključijo 140 m nad dnom Praprotne drage. Na vzhodni strani Snežnika so ledeniške akumulacije ohranjene na pregibu med Praprotno in Jelenjo drago med 1080 in 1180 m nadmorske višine. Na jugovzhodni strani se morene razprostirajo med Jelenjo drago in Klansko polico. Najobsežnejše in najnižje morene celotne Snežniške planote se nahajajo na Gomancah, kjer so izrazite bočne morene do 70 m nad dnom doline. Namesto čelne morene je tam serija manjših vzporednih grebenov, ki nakazuje na osciliranje čela ledenika. Na zahodni strani Snežnika so ledeniške akumulacije med 1065 in 1270 m nadmorske višine. V Grdi dragi prekrivajo zahodna pobočja in segajo do dna na 1130 m. Ledeniški sedimenti so prisotni tudi na Sviščakih in v Črni dragi. Na jugovzhodnih pobočjih Udnika je ohranjena 350 m dolga bočna morena, ki kaže na približno 40 m debel ledenik (Žebre, 2015).

Na sjeveroistočnoj strani Snežničke visoravni, ledenjačke akumulacije protežu se sjeverno i istočno od Gašperjevog vrha između 910 i 1340 m nadmorske visine, s morenama koje ne prelaze 10 m visine. Istočno od Gašperjevog vrha nalazi se jedan od najvećih krških bazena s padinama prekrivenim morenskim materijalom. Grebenske morene visoke su do 50 m i završavaju 140 m iznad dna Praprotne drage. Na istočnoj strani Snežnika, ledenjačke akumulacije očuvane su na pregibu između Praprotne i Jelenje drage između 1080 i 1180 m nadmorske visine. Na jugoistočnoj strani, morene se protežu između Jelenje drage i Klanske police. Najopsežnije i najniže morene cijele Snežničke visoravni nalaze se na Gomanci, gdje su izražene bočne morene do 70 m iznad dna doline. Umjesto frontalne morene, postoji niz manjih paralelnih grebena, što ukazuje na oscilaciju ledenjačkog fronta. Na zapadnoj strani Snežnika nalaze se ledenjačke akumulacije između 1065 i 1270 m nadmorske visine. U Grdoj dragi prekrivaju zapadne padine i dosežu dno na 1130 m. Ledenjački sedimenti prisutni su i na Sviščakima i Crnoj dragi. Na jugoistočnim padinama Udnika sačuvana je bočna morena duga 350 m, što ukazuje na ledenjak debljine približno 40 m (Žebre, 2015).

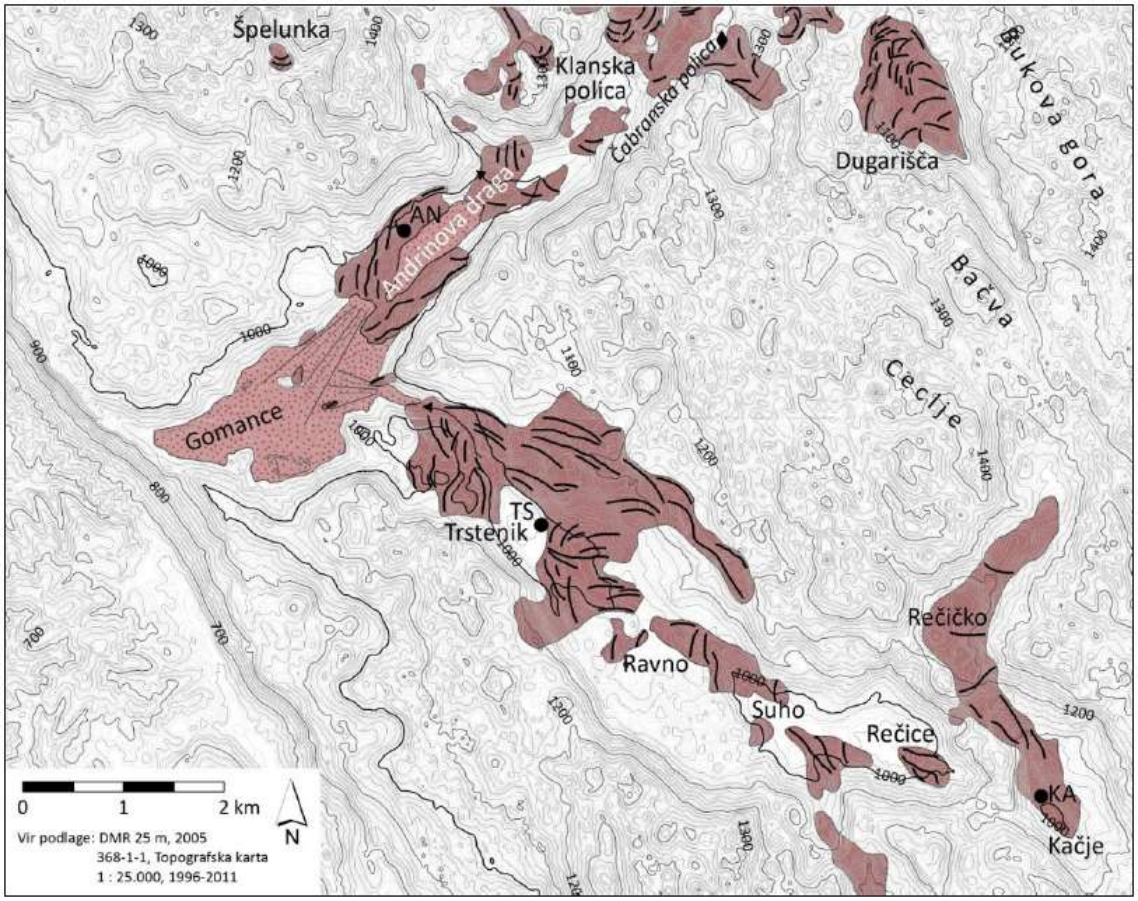


Slika 3: Morfografska karta glaciogenih oblik in sedimentov na osrednjem delu Snežnika (Žebre, 2015).

Slika 3: Morfografska karta glaciogenih oblika i sedimenata u središnjem dijelu Snežnika (Žebre, 2015.).

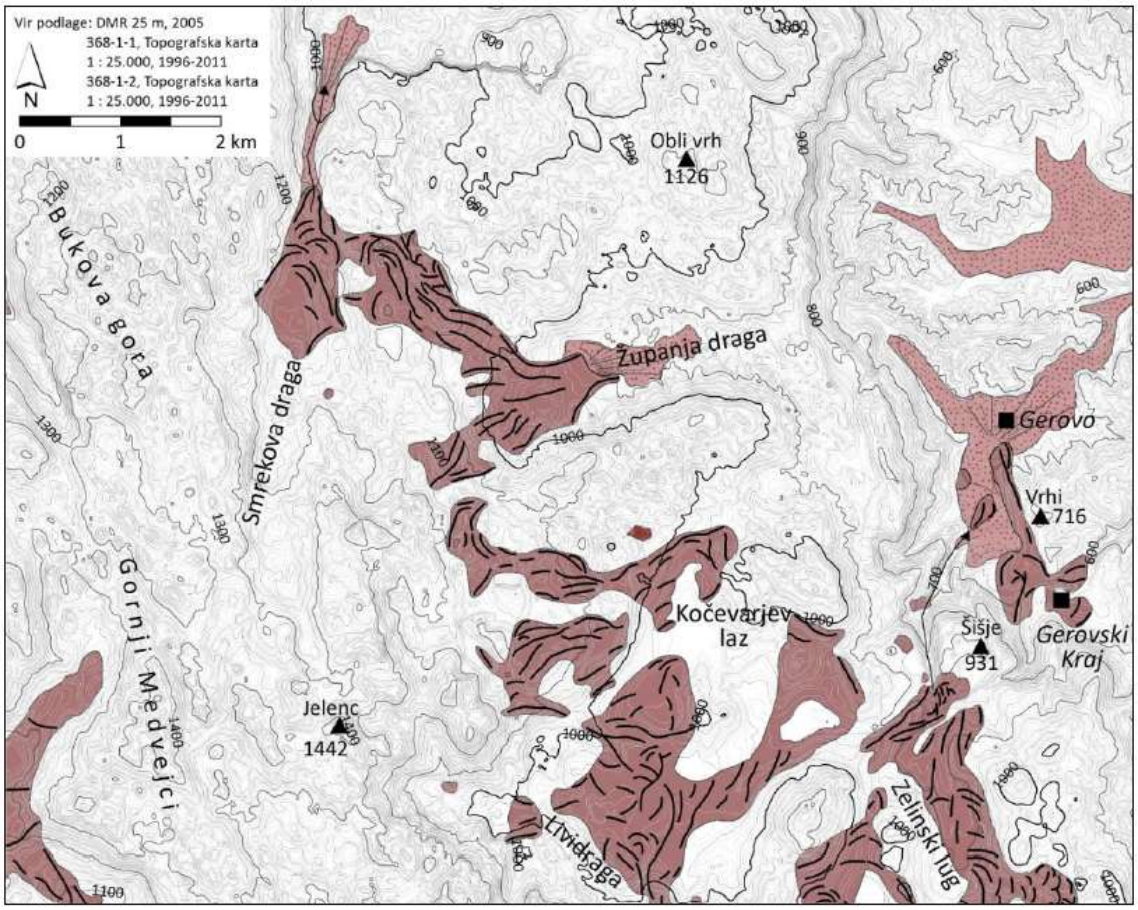
V severozahodnem delu Gorskega kotarja ledeniške akumulacije obdajajo nekdanji erozijski del ledenika. Na severni strani so morene ohranjene do 900 m nadmorske višine in prekrivajo Dugarišča, Smrekovo drago in Županjo drago. Dugarišča so v celoti prekrita s kaotičnimi morenami z ogromnimi bloki do 2 m. Bočne morene v Smrekovi dragi se nahajajo do 70 m nad dnom. Na vzhodni in severovzhodni strani proučevanega dela Gorskega kotarja so ledeniške akumulacije med grebenom Risnjaka in grebenom od Snježnika do Jelenca. Dna in pobočja kraških kotanj prekrivajo ledeniški sedimenti, medtem ko so vmesne vzpetine živoskalne in so bile verjetno nunataki (Žebre, 2015).

U sjeverozapadnom dijelu Gorskog kotara, ledenjačke akumulacije okružuju bivši erozioni dio ledenjaka. Na sjevernoj strani, morene su očuvane do 900 m nadmorske visine i pokrivaju Dugarišče, Smrekovu dragu i Županja dragu. Dugarišče je u potpunosti prekriveno kaotičnim morenama s ogromnim blokovima do 2 m. Bočne morene u Smrekovoj dragi nalaze se do 70 m iznad dna. Na istočnoj i sjeveroistočnoj strani proučavanog dijela Gorskog kotara, ledenjačke akumulacije nalaze se između grebena Risnjaka i grebena od Snježnika do Jelenca. Podine i padine krških bazena prekrivene su ledenjačkim sedimentima, dok su međuuzvišenja vjerojatno izolirani vrhovi, nunataci (Žebre, 2015.).



Slika 4: Morfografska karta glaciogenih oblik in sedimentov na južnem delu Snežnika in zahodnem delu Gorskega kotarja (Žebre, 2015)

Slika 4: Morfografska karta glaciogenih oblika i sedimenata u južnom dijelu Snežnika i zapadnom dijelu Gorskog kotara (Žebre, 2015.)



Slika 5: Morfografska karta glaciogenih oblik in sedimentov na severnem delu Gorskega kotarja (Žebre, 2015).

Slika 5: Morfografska karta glaciogenih oblika reljefa i sedimenata u sjevernom dijelu Gorskog kotara (Žebre, 2015).

Sedimentološke analize so pokazale, da morene na različnih lokacijah gradijo pretežno nekonsolidirani diamikti. Osnova je meljnata ali peščeno-meljnata, pogosto rdečkaste barve zaradi dolgotrajnih pedogenetskih procesov. Prevladujejo pologlati in oglati klasti različnih velikosti in litološke sestave, med katerimi so najpogostejši različni apnenci in dolomiti. Večina sedimentov ima lastnosti tokovnih tilov, ponekod pa se pojavljajo tudi nakopičeni tili in jezerski sedimenti (Žebre, 2015).

Sedimentološke analize pokazale su da su morene na raznim lokacijama izgrađene pretežno nekonsolidiranim diajamiktima. Podloga je silitasta ili pjeskovito-silitasta, često crvenkaste boje zbog dugotrajnih pedogenetskih procesa. Prevladavaju polukružni i uglati klasti različitih veličina i litološkog sastava, među kojima su najčešći razni vapnenci i dolomiti. Većina sedimenata ima karakteristike potočnih tilova, ali ponegdje se javljaju i akumulirani tilovi te jezerski sedimenti (Žebre, 2015.).

Žebre (2015) je poleg geomorfološke in sedimentološke analize izvedla tudi rekonstrukcijo topografije ledenikov na Snežniku in v Gorskem kotarju. Njena raziskava je pokazala, da sta območje prekrivala dva ločena ledeniška pokrova s skupno površino najmanj 140,6 km².

Uz geomorfološke i sedimentološke analize, Žebre (2015.) provela je i rekonstrukciju topografije ledenjaka na Snežniku i u Gorskom kotaru. Njezino istraživanje pokazalo je da je područje prekriveno s dva odvojena ledenjačka pokrova ukupne površine od najmanje 140,6 km².

Ledeniški pokrov na Snežniški planoti je po ugotovitvah Žebre (2015) prekrival vsaj 40,6 km². Največja debelina ledu je bila okoli 270 m na območju Medvedje drage. Žebre (2015) je identificirala severno akumulacijsko območje južno od vrha Veliki Snežnik, od koder je odtekalo sedem odtočnih ledenikov. Trije so odtekali proti severu in se zaključili na pobočjih Praprotne drage na nadmorski višini 910 m. Prav tako trije odtočni ledeniki so tekli proti vzhodu in se zaključili na dnu kraških kotanj. Najdaljši, 4,5 km dolg odtočni ledenik, ki se je napajal iz severnega in južnega pokrova, je odtekal proti jugu in se zaključil na Gomancah na nadmorski višini 920 m, z največjo debelino okoli 100 m.

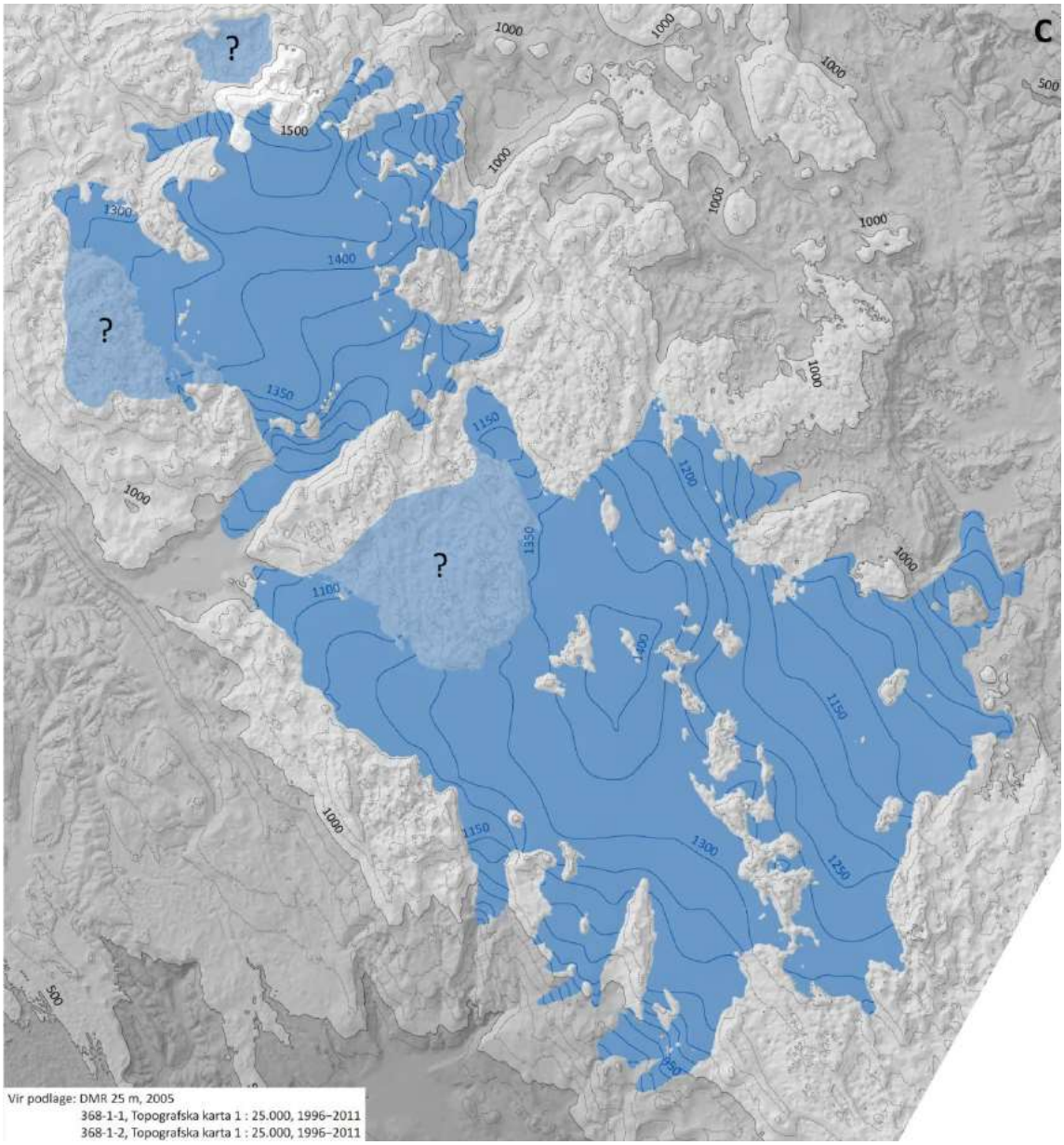
Prema Žebreu (2015.), ledenjački pokrov na Snežniškoj visoravni pokrivao je najmanje 40,6 km². Maksimalna debljina leda bila je oko 270 m na području Medvedje Drage. Žebre (2015.) identificirao je sjeverno akumulacijsko područje južno od vrha Velikog Snežnika, s kojeg se odvodilo sedam izlaznih ledenjaka. Tri su se odvodila prema sjeveru i završavala na obroncima Praprotne Drage na nadmorskoj visini od 910 m. Tri izlazna ledenjaka također su tekla prema istoku i završavala na dnu krških udubina. Najduži, 4,5 km dug izlazni ledenjak, koji se hranio sjevernim i južnim pokrovom, odvodio se prema jugu i završavao kod Gomancea na nadmorskoj visini od 920 m, s maksimalnom debljinom od oko 100 m.

Žebre (2015) je kot južno akumulacijsko območje identificirala planoto Planinica. Led s tega predela je odtekal proti zahodu preko Črne drage na Sviščake in proti Črnemu dolu ter proti vzhodu v Veliko Padežnico in Medvedjo drago ter na Gomance. Zahodni odtočni ledenik je bil na območju Črne drage širok okoli 1 km z največjo debelino 190 m.

Žebre (2015.) je identificirao visoravan Planinica kao južno akumulacijsko područje. Led s ovog područja tekao je prema zapadu preko Crne Drage do Sviščaka i prema Črnom dolu te prema istoku do Velike Padežnice i Medveđe Drage te do Gomance. Zapadni drenažni ledenjak bio je širok oko 1 km na području Crne Drage s maksimalnom debljinom od 190 m.

Ledeniški pokrov v severozahodnem Gorskem kotarju je po površini prekril okoli 100 km² in je bil tako približno dvakrat večji od snežniškega. Glavno akumulacijsko območje je bil po ugotovitvah Žebre (2015) greben med Gornjimi Medvejci in Snježnikom. Od tam so odtekali ledeniki v različne smeri: dva proti severu (eden v kotanjo Dugarišča, drugi v Smrekovo in Županjo drago), dva proti severovzhodu (manjši se je zaključil v Kočevarjem lazu, večji pa je odtekal v gerovsko kotlino), eden proti vzhodu ter vsaj trije proti jugu, ki so se zaključili na pobočjih nad Grobničkim poljem. Največji odtočni ledenik je odtekal proti zahodu in je bil 5,5 km dolg s največjo širino 2,5 km in debelino 330 m, kar predstavlja največjo debelino ledu v Gorskem kotarju po izračunih Žebre (2015).

Ledenjački pokrov u sjeverozapadnom Gorskom kotaru pokrivao je površinu od oko 100 km², što ga čini otprilike dvostruko većim od onog na Snježniku. Prema Žebreu (2015.), glavno akumulacijsko područje bio je greben između Gornjih Medvejaca i Snježnika. Odatle su ledenjaci tekli u različitim smjerovima: dva prema sjeveru (jedan u sliv Dugarišča, drugi u Smrekovu i Županja dragu), dva prema sjeveroistoku (manji je završavao u Kočevarjem lazu, dok je veći utjecao u sliv Gerova), jedan prema istoku i najmanje tri prema jugu, koji su završavali na obroncima iznad Grobničkog polja. Najveći odljevni ledenjak tekao je prema zapadu i bio je dug 5,5 km s maksimalnom širinom od 2,5 km i debljinom od 330 m, što predstavlja najveću debljinu leda u Gorskom kotaru prema izračunima Žebre (2015).



Slika 6: Rekonstrukcija topografije ledenikov na Snežniku in v Gorskem kotarju (Žebre, 2015).

Slika 6: Rekonstrukcija topografije ledenjaka na Snežniku i u Gorskom kotaru (Žebre, 2015.).

Na podlagi različnih metod je Žebre (2015) izračunala tudi ravnovesno mejo ledenikov. Na Snežniku se je ravnovesna meja nahajala na višini med 1238 in 1358 m (po metodi DAOL - delež akumulacijskega območja ledenika). Z metodo ravnovesnega razmerja (RR - ravnovesno razmerje) je izračunala ravnovesno mejo med 1282 in 1325 m. Zanimivo je, da med različno orientiranimi ledeniki na Snežniku ni bilo bistvenih razlik v ravnovesni meji, razen na območju Grde drage, kjer je bila ravnovesna meja najnižja (1277 m), kar Žebre (2015) razlaga kot posledico hranjenja ledenikov s snežnimi plazovi.

Žebre (2015.) je na temelju različitih metoda također izračunala ravnotežnu granicu ledenjaka. Na Snežniku se ravnotežna granica nalazila na nadmorskoj visini između 1238 i 1358 m (prema DAOL metodi - udjelu akumulacijske površine ledenjaka). Koristeći metodu omjera ravnoteže (RR - equilibrium ratio), izračunala je ravnotežnu granicu između 1282 i 1325 m.

Zanimljivo je da nije bilo značajnih razlika u ravnotežnoj granici između različito orijentiranih ledenjaka na Snežniku, osim na području Grde Drage, gdje je ravnotežna granica bila najniža (1277 m), što Žebre (2015.) objašnjava kao posljedicu hranjenja ledenjaka lavinama.

V severozahodnem delu Gorskega kotarja je ravnovesna meja segala nekoliko nižje, med 1124 in 1247 m po metodi DAOL, oziroma med 1153 in 1199 m po metodi RR. Žebre (2015) ugotavlja, da to kaže na nekoliko ugodnejše razmere za nastanek in obstoj ledenikov v tem delu proučevanega območja.

U sjeverozapadnom dijelu Gorskog kotara ravnotežna granica dosezala je nešto niže, između 1124 i 1247 m prema DAOL metodi, odnosno između 1153 i 1199 m prema RR metodi. Žebre (2015.) napominje da to ukazuje na nešto povoljnije uvjete za nastanak i postojanje ledenjaka u ovom dijelu proučavanog područja.

Ravnovesna meja na območju Gorskega kotarja je po izračunih Žebre (2015) variirala med 1105 m na območju Šegine na vzhodu in 1283 m na območju Dugarišč v severozahodnem delu. Pri podrobnejši analizi teh vrednosti je Žebre (2015) ugotovila, da najbolj od povprečja odstopajo rezultati za ledenik Dugarišča, zlasti pri izračunih z metodo DAOL, ki ne upošteva reliefnih značilnosti ledenika. Ker se je ta ledenik zaključil v kraški kotanji in zaradi topografije ni mogel napredovati v nižje lege, je izračunana ravnovesna meja podcenjena. To je razvidno pri višjih odstotkih površine ledenika, kjer se nadmorska višina bistveno ne spreminja. Nasprotno pa je nizka ravnovesna meja ledenikov Šegine in Lividraga precenjena in ni pogojena samo s severovzhodno ekspozicijo, temveč tudi s topografskimi značilnostmi.

Granica ravnoteže u Gorskom kotaru, prema izračunima Žebre (2015.), kretala se između 1105 m u području Šegine na istoku i 1283 m u području Dugarišča u sjeverozapadnom dijelu. U detaljnijoj analizi tih vrijednosti, Žebre (2015.) je utvrdio da rezultati za ledenjak Dugarišče najviše odstupaju od prosjeka, posebno u izračunima DAOL metodom, koja ne uzima u obzir reljefne karakteristike ledenjaka. Budući da je ovaj ledenjak završavao u krškoj depresiji i zbog topografije nije mogao napredovati na niže nadmorske visine, izračunata granica ravnoteže je podcijenjena. To je vidljivo u većim postocima površine ledenjaka, gdje se nadmorska visina ne mijenja značajno. Nasuprot tome, niska granica ravnoteže ledenjaka Šegine i Lividraga je precijenjena i nije uvjetovana samo sjeveroistočnom ekspozicijom, već i topografskim karakteristikama.

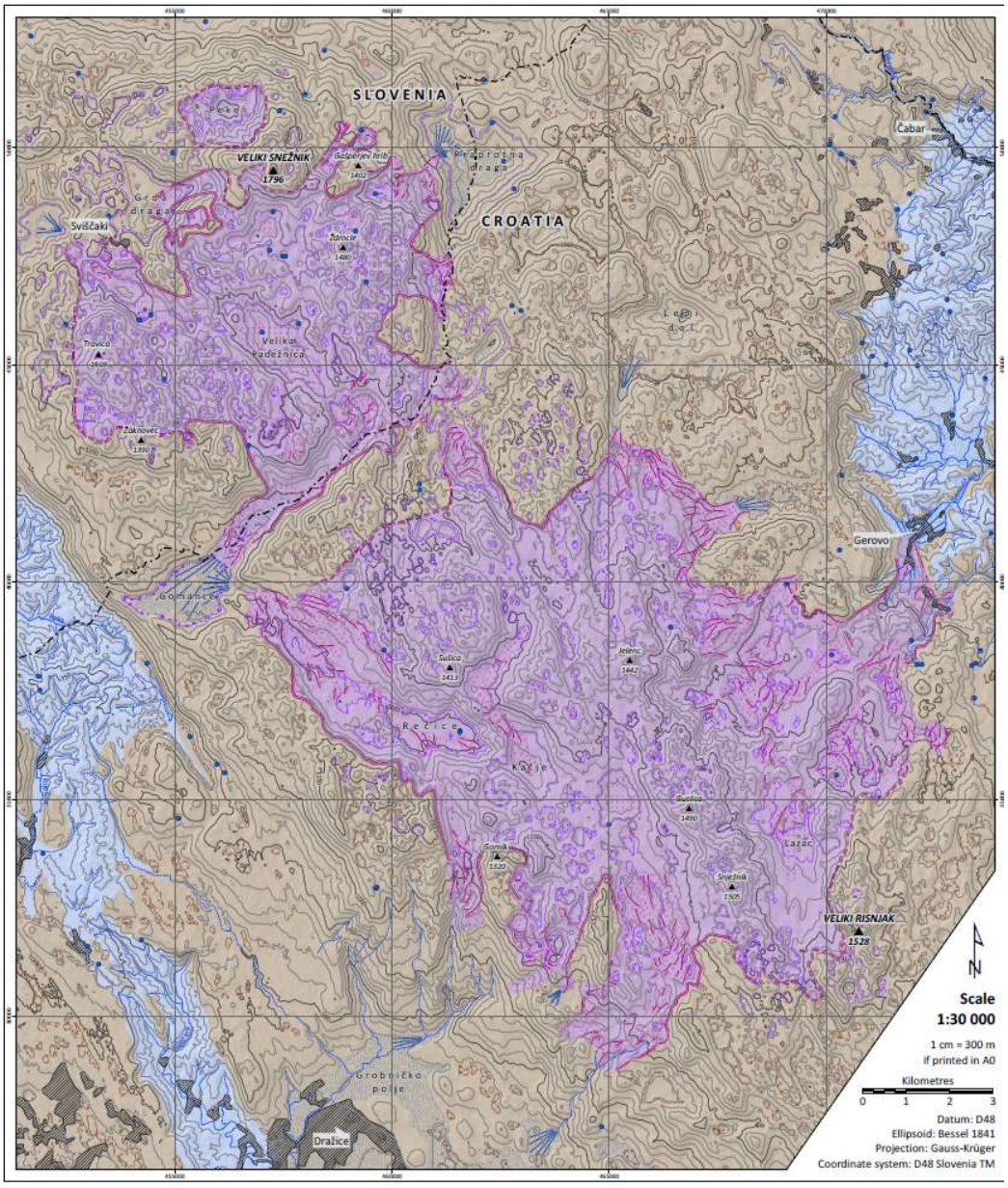
Povprečna ravnovesna meja na severovzhodnih pobočjih Gorskega kotarja je znašala 1169 m, na jugozahodnih pa je bila 30 m višja. Žebre (2015) to podobno razliko kot na Snežniški planoti razlaga z večjo količino padavin in morfologijo površja jugozahodne strani, ki je omogočala akumulacijo vetrnih snežnih nanosov in nastanek ledenikov v obsežnih kraških kotanjah zaradi temperaturne inverzije. Ti dejavniki so prispevali k nižji ravnovesni meji, čeprav bi zaradi manjše sončne radiacije in posledično nižjih temperatur nižjo ravnovesno mejo pričakovali na severovzhodni strani.

Prosječna ravnotežna granica na sjeveroistočnim obroncima Gorskog kotara iznosila je 1169 m, dok je na jugozapadnim obroncima bila 30 m viša. Žebre (2015.) objašnjava ovu razliku, slično kao i na Snežničkoj visoravni, većom količinom oborina i morfologijom površine jugozapadne strane, što je omogućilo nakupljanje vjetrom nanesenog snijega i stvaranje ledenjaka u opsežnim krškim udubljenjima zbog temperaturne inverzije. Ti su čimbenici pridonijeli nižoj ravnotežnoj granici, iako bi se na sjeveroistočnoj strani očekivala niža ravnotežna granica zbog nižeg sunčevog zračenja i posljedično nižih temperatura.

Žebre (2015) razlaga več kot 100 m nižjo povprečno ravnovesno mejo na območju Gorskega kotarja v primerjavi s Snežnikom z večjo količino padavin in s posebno morfologijo reliefa v

Gorskem kotarju, kjer so obsežne kraške kotanje omogočile nastanek površinsko večjih ledenikov.

Žebre (2015.) objašnjava više od 100 m nižu prosječnu ravnotežnu granicu na području Gorskog kotara u usporedbi sa Snežnikom većom količinom oborina i posebnom morfologijom reljefa u Gorskom kotaru, gdje su opsežna krška udubljenja omogućila stvaranje većih ledenjaka u smislu površine.



Slika 7: Glaciokras Snežnika in Gorskega kotarja (Žebre, Stepišnik, 2015a).

Slika 7: Glaciokrš Snežnika i Gorskog Kotara (Žebre, Stepišnik, 2015a).

Sledila je objava Žebre, Stepišnik (2015a), ki temelji na doktorski disertaciji Manje Žebre (2015) in predstavlja rezultate geomorfoloških raziskav na območju Snežnika in Gorskega kotarja. Avtorja sta izdelala geomorfološko karto v merilu 1:30.000, ki prikazuje značilnosti glaciokrasa.

Uslijedila je objava djela Žebra, Stepišnik (2015a), temeljenog na doktorskoj disertaciji Manje Žebre (2015.) u kojem su predstavljeni rezultati geomorfoloških istraživanja na području Snežnika i Gorskog kotara. Autori su izradili geomorfološku kartu u mjerilu 1:30 000, s prikazom karakteristika glaciokrša.

Sledila je podrobna raziskava geomorfološkega razvoja kraškega polja Gomance, ki se nahaja na meji med Snežnikom in Gorskim kotarjem (Žebre in sod., 2016). Gomance so tipičen primer piedmontskega kraškega polja, ki je bilo pod izrazitim vplivom pleistocenske poledenitve. Med zadnjo poledenitvijo sta se na območju Snežnika in Gorskega kotarja nahajala dva obsežna ledeniška pokrova, od koder sta dva odtočna ledenika segala do območja Gomanc. Avtorji so identificirali dve glavni sedimentacijski fazi, ki sta se zgodili v času zadnje poledenitve. V prvi fazi je odtočni ledenik s Snežnika prekrival celoten severovzhodni del polja, kar dokazuje morena in ledeniški balvani na osrednjem delu polja. Preostali del površja je bil kasnje preoblikovan zaradi delovanje proglacialnih tokov, iz katerih so se odlagali bolj drobnozrnati sedimenti. V drugi fazi se je čelo ledenika s Snežnika umaknilo vsaj 800 m navzgor, medtem ko ledenik z Gorskega kotarja še vedno ni dosegel polja. Dva vršaja sta prekrila severovzhodni del polja in skoraj povsem prekrila starejše ledeniške sedimente. Debelina nanosa v proksimalnem delu je najmanj 13 m.

Uslijedilo je detaljno proučavanje geomorfološkog razvoja krškog polja Gomance, smještenog na granici između Snežnika i Gorskog kotara (Žebre i sur., 2016.). Gomance je tipičan primjer piedmontskog krškog polja na koje je snažno utjecala pleistocenska glacijacija. Tijekom posljednje glacijacije, na području Snežnika i Gorskog kotara nalazila su se dva opsežna ledenjačka pokrova, iz kojih su se dva drenažna ledenjaka protezala do područja Gomance. Autori su identificirali dvije glavne sedimentacijske faze koje su se dogodile tijekom posljednje glacijacije. U prvoj fazi, drenažni ledenjak sa Snežnika prekrivao je cijeli sjeveroistočni dio polja, o čemu svjedoče morene i ledenjačke gromade u središnjem dijelu polja. Preostali dio površine kasnije je transformiran djelovanjem proglacijalnih tokova, iz kojih su se taložili sitnijezrnati sedimenti. U drugoj fazi, prednji dio Snežničkog ledenjaka povukao se najmanje 800 m prema gore, dok goranski ledenjak još uvijek nije dosegao polje. Dva grebena prekrivala su sjeveroistočni dio polja i gotovo u potpunosti prekrila starije ledenjačke sedimente. Debljina naslaga u proksimalnom dijelu je najmanje 13 m.

Na podlagi sedimentoloških, geomorfoloških in georadarskih rezultatov so avtorji (Žebre in sod., 2016) razvili model delovanja odtočnih sistemov na kraških poljih. V začetni fazi je bila tektonsko pogojena depresija zakrasela in dobro drenirana brez površinskih tokov. Z začetkom ledeniške in predledeniške sedimentacije je vertikalno odtekanje skozi kras še vedno prevladovalo nad površinskim odtokom. V vrhuncu predledeniške sedimentacije je celotno dno polja prekril droben material z nizko efektivno poroznostjo, ki je deloval kot vodonosnik in preusmerjal površinsko odtekanje proti jugozahodu, kjer je najnižji rob polja. Nadaljnja nihanja ledeniškega čela so povzročila izmenjavanje ledeniške in predledeniške sedimentacije v osrednjem in severovzhodnem delu polja.

Na temelju sedimentoloških, geomorfoloških i georadarskih rezultata, autori (Žebre i sur., 2016.) razvili su model funkcioniranja drenažnih sustava u krškim poljima. U početnoj fazi, tektonski uvjetovana depresija bila je okršena i dobro drenirana bez površinskih tokova. S početkom glacijalne i predglacijalne sedimentacije, vertikalno otjecanje kroz krš i dalje je dominiralo površinskim otjecanjem. Na vrhuncu predglacijalne sedimentacije, cijelo dno polja bilo je prekriveno finim materijalom s niskom efektivnom poroznošću, koji je djelovao kao vodonosnik i preusmjeravao površinsko otjecanje prema jugozapadu, gdje je najniži rub polja. Daljnje fluktuacije glacijalne fronte uzrokovale su naizmjeničnu glacijalnu i predglacijalnu sedimentaciju u središnjim i sjeveroistočnim dijelovima polja.

Sledila je raziskava Žebre in sodelavcev (2019) o paraglacialni prilagoditvi vršajev na Snežniku, ki je temeljila na interdisciplinarnem pristopu, ki združuje geomorfološko kartiranje, sedimentološke analize, georadarske meritve in kozmogeno datiranje z izotopom 36Cl. Avtorji so proučevali Praprotno drago, kraško depresijo s površino 3,4 km² in globino 140 metrov, katere zahodna pobočja prekrivajo morenski nasipi, dno pa aluvialni vršaji.

Nakon toga uslijedila je studija Žebre i suradnika (2019.) o paraglacijalnoj adaptaciji humaka na Snežniku, koja se temeljila na interdisciplinarnom pristupu koji kombinira geomorfološko kartiranje, sedimentološke analize, mjerenja georadarom i kozmogenim datiranjem izotopom 36Cl. Autori su proučavali Praprotnu dragu, kršku depresiju površine 3,4 km² i dubine 140 metara, čije su zapadne padine prekrivene morenskim nasipima, a dno aluvijalnim humcima.

Na podlagi razporeditve ledeniških nanosov so ugotovili obstoj dveh ledeniških faz: starejše, ko so ledeniki segali do 860-910 m nadmorske višine, in mlajše, ko so se umaknili na približno 1050 m. Z georadarskimi meritvami so potrdili, da so pod površinskimi aluvialnimi nanosi (AD2) starejši ledeniški sedimenti (GD1).

Na temelju rasprostranjenosti ledenjačkih naslaga utvrdili su postojanje dviju ledenjačkih faza: starije, kada su ledenjaci dosegli 860-910 m nadmorske visine, i mlađe, kada su se povukli na približno 1050 m. GPR mjerenja potvrdila su da stariji ledenjački sedimenti (GD1) leže ispod površinskih aluvijalnih naslaga (AD2).

Kozmogeno datiranje je pokazalo, da so najmlajši aluvialni nanosi stari približno 12,3 ± 1,7 tisoč let, kar jih umešča v obdobje mlajšega driasa. Ker je rekonstrukcija ravnovesne meje pokazala, da v tem času na Snežniku verjetno ni bilo več ledenikov, so avtorji sklepali, da ti sedimenti niso bili odloženi neposredno z ledeniškimi vodami, temveč v paraglacialni fazi.

Kozmogeno datiranje pokazalo je da su najmlađi aluvijalni nanosi stari približno 12,3 ± 1,7 tisuća godina, što ih smješta u razdoblje mlađeg trijasa. Budući da je rekonstrukcija ravnotežne granice pokazala da u to vrijeme na Snežniku vjerojatno više nije bilo ledenjaka, autori su zaključili da ti sedimenti nisu izravno taloženi ledenjačkim vodama, već u paraglacijalnoj fazi.

Raziskava je razkrila, da je bilo časovno okno paraglacialne prilagoditve na Snežniku presenetljivo kratko in se je zaključilo že v mlajšem driasu, kar je bistvena razlika v primerjavi s sosednjimi Alpami, kjer paraglacialno prerazporejanje sedimentov poteka še danes. To hitro prilagoditev pripisujejo hitremu širjenju gozda po odledenitvi in neučinkovitemu površinskemu odtoku na kraškem terenu. Med ledeniškim obdobjem je prevladoval površinski odtok, po odledenitvi pa je prevladala podzemna drenaža, kar je omogočilo hitro prilagoditev reliefa neledeniškemu stanju.

Istraživanje je otkrilo da je vremenski prozor paraglacijalne adaptacije na Snežniku bio iznenađujuće kratak i završio je u mlađem trijasu, što je značajna razlika u usporedbi sa susjednim Alpama, gdje je preraspodjele paraglacijalnog sedimenta još uvijek u tijeku. Ova brza adaptacija pripisuje se brzom širenju šuma nakon deglacijacije i neučinkovitom površinskom otjecanju u krškom terenu. Tijekom ledenjačkog razdoblja dominiralo je površinsko otjecanje, dok je nakon deglacijacije dominirala podzemna odvodnja, što je omogućilo brzu prilagodbu reljefa neglacijalnom stanju.

Zadnja objava je poglobljena rekonstrukcija podnebnih razmer na Snežniku med zadnjim glacialnim maksimumom (Depolli in sod., 2024). V okviru raziskave so združeni terenske geomorfološke dokaze s sodobnimi računalniškimi simulacijami. S pomočjo modela Parallel Ice Sheet Model (PISM) so ustvarili natančne simulacije ledenega pokrova na območju Snežnika, ki kažejo, da je bilo podnebje v času zadnjega glacialnega maksimuma približno 6 °C hladnejše kot danes, s pomembno nižjo količino padavin.

Najnovija publikacija je detaljna rekonstrukcija klimatskih uvjeta na Snežniku tijekom posljednjeg ledenog maksimuma (Depolli i sur., 2024.). Istraživanje kombinira terenske geomorfološke dokaze sa suvremenim računalnim simulacijama. Koristeći Parallel Ice Sheet Model (PISM), stvorili su točne simulacije ledenog pokrova na području Snežnika, koje pokazuju da je klima tijekom posljednjeg ledenog maksimuma bila otprilike 6 °C hladnija nego danas, sa znatno nižom količinom oborina.

Raziskava izpostavlja ključno vlogo orografskih padavinskih modelov pri natančnem simuliranju razmer na preučevanem območju. Analize kažejo, da so vlažni južni vetrovi z Jadranskega morja imeli prevladujoč vpliv na vzorce padavin in so tako pomembno oblikovali nastanek in razvoj ledenega pokrova. Za ocenjevanje ujemanja simulacij z geomorfološkimi dokazi so avtorji razvili kvantitativni metodološki okvir, ki upošteva tako jasne kot manj jasne ledeniške meje.

Studija ističe ključnu ulogu orografskih modela oborina u točnom simuliranju uvjeta na području istraživanja. Analize pokazuju da su vlažni južni vjetrovi s Jadranskog mora imali dominantan utjecaj na obrasce oborina i time značajno oblikovali formiranje i evoluciju ledenog pokrova. Kako bi procijenili slaganje simulacija s geomorfološkim dokazima, autori su razvili kvantitativni metodološki okvir koji uzima u obzir i jasne i manje jasne ledenjačke granice.

Eden najpomembnejših prispevkov te študije je odkritje inverznega razmerja med temperaturo in padavinami pri nastanku ledenikov. Rezultati kažejo, da lahko podoben obseg ledenega pokrova nastane bodisi v nekoliko toplejših razmerah z več padavinami bodisi v hladnejših razmerah z manj padavinami. Optimalni simulacijski scenarij, ki najbolje ustreza geomorfološkim dokazom, kaže, da so bile podnebne razmere med zadnjim glacialnim maksimumom za približno tretjino bolj suhe kot danes.

Jedan od najvažnijih doprinosa ove studije je otkriće inverznog odnosa između temperature i oborina u formiranju ledenjaka. Rezultati pokazuju da se sličan opseg ledenog pokrova može formirati ili u nešto toplijim uvjetima s više oborina ili u hladnijim uvjetima s manje oborina. Optimalni scenarij simulacije koji najbolje odgovara geomorfološkim dokazima sugerira da su klimatski uvjeti tijekom posljednjeg ledenog maksimuma bili otprilike za trećinu suši nego danas.

2 Sledovi poledenitve na območju Snežnika in Gorskega kotarja / Tragovi glacijacije na području Snežnika i Gorskog kotara

Na območju Snežnika in Gorskega kotarja smo za potrebe te raziskave izdelali morfografsko karto glaciogenih reliefnih oblik. Karta temelji na predhodnih raziskavah in ponovnem terenskem pregledu izbranih delov preučevanega območja. Raziskavo smo nadgradili z uporabo lidarskih podatkov, ki so dostopni tako za slovenski kot hrvaški del območja. Lidarski podatki so omogočili natančnejšo prostorsko opredelitev in reinterpretacijo posameznih reliefnih oblik. Reinterpretacija je zajemala predvsem različne tipe ledeniških in fluvioglacialnih akumulacijskih oblik ter določene denudacijske oblike. S pomočjo lidarkih podatkov smo identificirali tudi reliefne oblike, ki jih zaradi obsežnosti in težke prehodnosti terena v okviru predhodnih raziskav nismo zaznali, kar je prispevalo k ustreznejši opredelitvi obsega poledenitve na preučevanem območju.

Za potrebe ovog istraživanja izradili smo morfološku kartu glaciogenih oblika reljefa na području Snežnika i Gorskog kotara. Karta se temelji na prethodnim istraživanjima i ponovljenom terenskom pregledu odabranih dijelova proučavanog područja. Istraživanje smo nadogradili korištenjem lidarskih podataka, koji su dostupni i za slovenski i za hrvatski dio

područja. Lidarski podaci omogućili su precizniju prostornu definiciju i reinterpretaciju pojedinih oblika reljefa. Reinterpretacija je uglavnom obuhvatila različite tipove glacijalnih i fluvioglacijalnih akumulacijskih oblika te određene denudacijske oblike. Uz pomoć lidarskih podataka identificirali smo i oblike reljefa koji nisu bili otkriveni u prethodnim istraživanjima zbog opsežnosti i teškog terena, što je doprinijelo prikladnijoj definiciji opsega glacijacije na proučavanom području.

Proučevano območje Snežnika in Gorskega kotarja smo zamejili na podlagi obsega poledenitve. Metodološki pristop je obsegal sprva rekonstrukcijo poledenitve na osnovi glaciogenih oblik, čemur je sledila določitev mejnega pasu v širini 2 km okoli ugotovljenega obsega poledenitve. V raziskavi posledično ne obravnavamo zgolj glaciogenih oblik, ki so rezultat interakcije kraških in ledeniških procesov, temveč tudi širše okoliško območje. Ta pristop omogoča celovitejše razumevanje geomorfološkega razvoja območja, ki presega okvire izključno glaciokraških procesov. Geološka zgradba predstavlja osnovni pogoj za delovanje kraških in drugih geomorfnih procesov, zato v nadaljevanju najprej predstavljamo geološke značilnosti proučevanega območja, nato značilnosti posameznih tipov krasa. Šele po geološki umestitvi sledi podrobna obravnava vseh območij, ki so bila preoblikovana s poledenitvijo.

Proučavano područje Snežnika i Gorskog kotara razgraničeno je na temelju opsega zaleđenja. Metodološki pristup u početku je uključivao rekonstrukciju zaleđenja na temelju glaciogenih oblika, nakon čega je uslijedilo određivanje granične zone širine 2 km oko utvrđenog opsega zaleđenja. Slijedom toga, studija ne razmatra samo glaciogene oblike, koji su rezultat interakcije krških i glacijalnih procesa, već i šire okolno područje. Ovaj pristup omogućuje cjelovitije razumijevanje geomorfološkog razvoja područja, koji nadilazi okvire isključivo glaciokrastnih procesa. Geološka struktura predstavlja osnovni uvjet za funkcioniranje krša i drugih geomorfoloških procesa, stoga u nastavku prvo prikazujemo geološke karakteristike proučavanog područja, a zatim karakteristike pojedinih tipova krša. Tek nakon geološkog smještaja slijedi detaljna rasprava o svim područjima koja su transformirana zaleđenjem.

2.1 Lokacija in splošne reliefne značilnosti proučevanega območja / Lokacija i opće reljefne karakteristike istraživanog područja

Snežnik in Gorski kotar predstavljata kraška pogorja v jugozahodnem delu Slovenije oziroma severozahodnem delu Hrvaške. Med območjema ne obstaja izrazita naravna geomorfološka meja, temveč ju ločuje administrativna razmejitev v obliki državne meje med Slovenijo in Hrvaško. Razmejitev je torej posledica politično-administrativnih dejavnikov in ne naravnogeografskih značilnosti. Snežniško pogorje zajema razmeroma širok pas med Javorniki na severozahodu in državno mejo s Hrvaško na jugovzhodu. Severovzhodna meja pogorja je opredeljena s postopnim spuščanjem reliefa proti Babnemu polju, medtem ko jugozahodno in zahodno mejo opredeljuje dolina reke Reke. Površina planote obsega približno 180 km². Najvišja točko območja predstavlja Veliki Snežnik z nadmorsko višino 1796 m. Gorski kotar zavzema prostor med Liko na vzhodu, državno mejo s Slovenijo na zahodu, Jadranskim morjem na jugu in Pokolpjem na severu. V območje proučevanja je vključen le skrajni severozahodni del Gorskega kotarja, ki ga omejujejo Gerovo na vzhodu, Grobničko polje na jugu, greben Belice na severu in administrativna meja s Slovenijo na zahodu. Površina tega dela znaša približno 250 km². Najvišji vrh proučevanega območja, ki hkrati predstavlja najvišjo točko celotnega Gorskega kotarja, je Veliki Risnjak z nadmorsko višino 1528 m.

Snežnik i Gorski kotar predstavljaju krške planinske lance u jugozapadnom dijelu Slovenije, odnosno sjeverozapadnom dijelu Hrvatske. Između ta dva područja ne postoji izrazita prirodna

geomorfološka granica, već administrativno razgraničenje u obliku državne granice između Slovenije i Hrvatske. Razgraničenje je stoga posljedica političko-administrativnih čimbenika, a ne prirodno-geografskih obilježja. Snežnički planinski lanac obuhvaća relativno širok pojas između Javornika na sjeverozapadu i državne granice s Hrvatskom na jugoistoku. Sjeveroistočna granica planinskog lanca definirana je postupnim spuštanjem reljefa prema Babnom Polju, dok su jugozapadna i zapadna granica definirane dolinom rijeke Reke. Plato pokriva površinu od približno 180 km². Najviša točka područja je Veliki Snežnik s nadmorskom visinom od 1796 m. Gorski kotar zauzima područje između Like na istoku, državne granice sa Slovenijom na zapadu, Jadranskog mora na jugu i Pokolja na sjeveru. Područje istraživanja obuhvaća samo krajnji sjeverozapadni dio Gorskog kotara, omeđen Gerovom na istoku, Grobničkim poljem na jugu, grebenom Belica na sjeveru i administrativnom granicom sa Slovenijom na zapadu. Površina ovog dijela iznosi približno 250 km². Najviši vrh područja istraživanja, koji ujedno predstavlja i najvišu točku cijelog Gorskog kotara, je Veliki Risnjak s nadmorskom visinom od 1528 m.

Relief obeh pogorij, tako Snežnika kot Gorskega kotarja, je razčlenjen s podolji, kopastimi vrhovi in obsežnimi kraškimi kotanjami. Med najznačilnejše in najgloblje kotanje sodijo Praprotna draga, Lepi dol, Pekel, Kačje in Rečice. Snežniško pogorje lahko morfološko razdelimo na dva dela, ločena s serijo obsežnih kraških kotanj, ki so linearno razporejene ob prelomu v smeri severozahod–jugovzhod. Severno od prelomne linije se razprostira planota pod Velikim in Malim Snežnikom, južno pa planotasto površje Planinica, ki doseže najvišje nadmorske višine v vrhu Travica.

Reljef oba planinska lanca, Snežnika i Gorskog kotara, razdvojen je dolinama, kupolastim vrhovima i prostranim krškim udubljenjima. Najkarakterističnije i najdublje udubine uključuju Praprotnu dragu, Lepi dol, Pekel, Kačje i Rečice. Planinski lanac Snežnika morfološki se može podijeliti na dva dijela, odvojena nizom prostranih krških udubina, koje su linearno raspoređene duž rasjeda u smjeru sjeverozapad-jugoistok. Sjeverno od rasjedne linije leži visoravan pod Velikim i Malim Snežnikom, a južno leži visoravan Planinice, koja doseže najveću nadmorsku visinu na vrhu Travica.

Severozahodni del Gorskega kotarja doseže najvišje nadmorske višine v grebenu Risnjaka, ki poteka v smeri sever–jug. Na zahodni strani je z morfološko depresijo Podcajtige ločen od ozkega grebena med Snježnikom in Guslico, ki se proti severozahodu razširi v planotasto površje Gornjih Medvejcev, Bukove gore, Bačve in Ceclja. Proti jugozahodu površje prehaja v kraške kotanje, nanizane v dinarski smeri med Gomancami in Platkom. Te kotanje na južni strani obdajajo vzpetine, njihova jugovzhodna pobočja pa se strmo spuščajo proti Grobničkemu polju. Severovzhodno vznožje Gorskega kotarja predstavlja Gerovsko kraško polje.

Sjeverozapadni dio Gorskog kotara doseže svoje najviše nadmorske visine u grebenu Risnjaka, koji se proteže u smjeru sjever-jug. Na zapadnoj strani odvojen je morfološkom depresijom Podcajtige od uskog grebena između Snježnika i Guslice, koji se širi prema sjeverozapadu u visoravni Gornjih Medvejaca, Bukove gore, Bačve i Ceclja. Prema jugozapadu, površina prelazi u krške bazene, nanizane u dinarskom smjeru između Gomanca i Plateka. Ti su bazeni okruženi brdima s južne strane, a njihove jugoistočne padine strmo se spuštaju prema Grobničkom polju. Sjeveroistočno podnožje Gorskog kotara predstavljeno je Gerovskim krškim poljem.

Hidrološko proučevano območje predstavlja globoki raztočni kras z vadozno cono, ki sega do globine približno 1000 m (Zupan Hajna, 2007). V kraškem podzemlju prevladujejo brezna vadozne cone (Buzjak, Fiedler, 1999; Zupan Hajna, 2007), v nekaterih sta trajno prisotna led in sneg. Površinskih vodotokov območje ne premore, manjši izviri na planoti pa se pojavljajo

na plasteh laporjev in na dolomitih. Večji izviri (npr. izviri reke Reke, Riječine, Kolpe) so locirani pretežno na kontaktnih območjih s neprepustnimi kamninami na obrobju pogorij. Za območje je značilna kraška bifurkacija podzemnih voda proti jadranskemu in črnomorskemu povodju, kar je bilo dokumentirano s številnimi sledilnimi poskusi (Habič, 1989). Najpomembnejši izvir jadranskega povodja predstavlja reka Riječina, medtem ko izvir reke Kolpe najizdaztnejši med izviri črnomorskega povodja.

Hidrološki, proučavano područje je duboki drenažni krš s vadoznom zonom koja doseže dubinu od približno 1000 m (Zupan Hajna, 2007.). U krškom podzemlju dominiraju ponori vadozne zone (Buzjak, Fiedler, 1999.; Zupan Hajna, 2007.), a u nekima od njih trajno su prisutni led i snijeg. Područje nema površinskih vodotoka, a manji izvori na visoravni javljaju se na slojevima lapora i na dolomitima. Veći izvori (npr. izvori rijeke Reke, Riječine, Kolpe) nalaze se uglavnom u kontaktnim područjima s nepropusnim stijenama na rubu podnožja. Područje karakterizira krška bifurkacija podzemnih voda prema jadranskom i crnomorskom slivu, što je dokumentirano brojnim eksperimentima trasiranja (Habič, 1989.). Najvažniji izvor jadranskog sliva je rijeka Rječina, dok je izvor rijeke Kupe najistaknutiji među izvorima crnomorskog sliva.

2.2 Geološke značilnosti / Geološke značajke

Območje Snežnika geotektonsko pripada snežniški narivni enoti, ki je narinjena na severovzhodno krilo brkinske sinklinale. Osrednji del Snežnika je tektonska gruda, v okviru katere so dvignjeni in skoraj horizontalno okoli najvišjega vrha Snežnika razporejeni jurski in spodnjekredni sloji. Najstarejše kamnine na območju Snežnika so jurski apnenci in dolomiti oziroma karbonatne breče, ki pretežno gradijo severna in vzhodna pobočja Snežnika, pojavljajo pa se tudi v ozkem pasu zahodno od Gomanc. Najstarejši litostratigrafski horizont tvorijo srednjejurski temnosivi grobozrnati in debeloskladoviti ter ploščasti dolomiti, ki so prostorsko manj razširjeni od zgornjejurskih kamnin. Slednje zastopajo svetlo- in temnosivi apnenci, bogati s fosilnimi ostanki in vložki boksitov. Kredne kamnine gradijo največji del Snežniške planote. Med predstavniki krede prevladujejo različni apnenci, ki se mestoma izmenjujejo z dolomiti, ter karbonatne breče. Paleocenski apnenci gradijo jugozahodne obronke Snežniške planote, v pobočju pod njimi pa se nahajajo eocenski fliši. Kvartarne starosti so pobočni grušči in breče pod strmimi jugozahodnimi pobočji Snežniške planote ter mestoma razprostranjeni ledeniški, glaciofluvialni in jezerski sedimenti (Šikić, Pleničar, Šparica, 1972).

Područje Snežnika geotektonski pripada navlačnoj jedinici Snežnik, koja je navučena na sjeveroistočni bok Brkine sinklinale. Središnji dio Snežnika je tektonski blok, unutar kojeg su jurski i donjokredni slojevi izdignute i gotovo horizontalno raspoređene oko najvišeg vrha Snežnika. Najstarije stijene na području Snežnika su jurski vapnenci i dolomiti ili karbonatne breče, koji uglavnom grade sjeverne i istočne padine Snežnika, a javljaju se i u uskom pojasu zapadno od Gomanaca. Najstariji litostratigrafski horizont čine srednjojurski tamnosivi grubozrnati i debeloslojni te pločasti dolomiti, koji su prostorno manje rasprostranjeni od gornjojurskih stijena. Potonje su predstavljene svijetlim i tamnosivim vapnencima, bogatim fosilnim ostacima i inkluzijama boksita. Kredne stijene grade najveći dio Snežničke visoravni. Od krednih predstavnika dominiraju razni vapnenci, koji se mjestimično izmjenjuju s dolomitima, i karbonatne breče. Paleocenski vapnenci grade jugozapadne padine Snežničke visoravni, a eocenski fliši nalaze se u padini ispod njih. Kvartarna starost obuhvaća agregate

padina i breče ispod strmih jugozapadnih padina Snežničke visoravni, te lokalno raširene glacijalne, glaciofluvijalne i jezerske sedimente (Šikić, Pleničar, Šparica, 1972).

Snežniška planota je razčlenjena s prelomi, katerih prevladujoča orientacija sledi smeri severozahod–jugovzhod (Šikić, Pleničar, Šparica, 1972; Šikić, Pleničar, 1975). Za morfologijo območja sta najpomembnejša dva preloma: prelom od Mašuna proti jugovzhodu, ob katerem so razvite večje kraške kotanje, kot so Grda draga, Medvedja draga, Velika Padežnica in Vala, ter prelom, ki poteka od Vale proti Gomancam. Slednji je orientiran v smeri severovzhod–jugovzhod, ob njem pa je nastala dolina Andrinova draga in kraško polje Gomance.

Snežničku visoravan raščlanjuju rasjedi čija dominantna orijentacija prati smjer sjeverozapad-jugoistok (Šikić, Pleničar, Šparica, 1972.; Šikić, Pleničar, 1975.). Za morfologiju područja najvažnija su dva rasjeda: rasjed od Mašuna prema jugoistoku, uz koji su razvijeni veći krški bazeni poput Grde drage, Medvedje drage, Velike Padežnice i Vale, te rasjed od Vale prema Gomancu. Potonji je orijentiran u smjeru sjeveroistok-jugoistok, a uz njega su nastali dolina Andrinova draga i krško polje Gomance.

Z geotektonskega vidika Gorski kotar predstavlja pokrovno strukturo, pri kateri je alohotna enota severovzhodnega Gorskega kotarja narinjena preko avtohtone enote jugozahodnega Gorskega kotarja, obe pa izkazujeta podobna sedimentacijska zaporedja (Herak in sod., 1961; Herak, 1980). Najstarejše kamnine na proučevanem območju so spodnje- in srednjepermski peščenjaki in skrilavci, prisotni na skrajnem severovzhodnem delu proučevanega območja. Zgornjetriasne kamnine, med katerimi prevladujejo mikritni in sparitni dolomiti, se nahajajo v skrajnem severovzhodnem in jugovzhodnem delu. Kamnine jurske starosti gradijo osrednji in severni del ter zavzemajo največji del proučevanega območja Gorskega kotarja. Spodnjejurske kamnine se raztezajo med Županjo drago in Lividrago. Zastopane so z mikritnimi dolomiti z lečami apnencev, apnenci in dolomiti v izmenjavi ter marogastimi apnenci. Srednjejurski mikritni apnenci z redkimi pojavi ploščastih dolomitov gradijo najvišje predele Gorskega kotarja in območje Platka. Severno od srednjejurskih apnencev se preko osrednjega dela pogorja raztezajo zgornjejurski apnenci, ki se pojavljajo v obliki apnencev in dolomitov. Kredne kamnine se nahajajo pretežno na zahodnem in jugozahodnem delu proučevanega območja. Spodnjekredne starosti so litostratigrafski horizonti apnenčastih breč, mikritnih apnencev, apnencev s školjkami in apnencev s plastmi dolomitov. Zgornjekredne starosti so apnenci z rudisti, svetlosivi in beli prekristalizirani apnenci ter apnenci in dolomiti v izmenjavi. Paleocenski apnenci se pojavljajo kot ozki pasovi med zgornjekrednimi kamninami. Najmlajše kamnine so eocenski fliši zahodno od Grobničkega polja. Genetsko različni kvartarni diamikti se pojavljajo na dnu in pobočjih nekaterih kraških kotanj (Savić, Dozet, 1985).

S geotektonskog gledišta, Gorski kotar predstavlja pokrovnu strukturu u kojoj se alohtona jedinica sjeveroistočnog Gorskog kotara navlači na autohtonu jedinicu jugozapadnog Gorskog kotara, a obje pokazuju slične sedimentne sekvence (Herak i sur., 1961.; Herak, 1980.). Najstarije stijene na proučavanom području su donjopermski i srednjopermski pješčenjaci i škriljevci, prisutni u krajnjem sjeveroistočnom dijelu proučavanog područja. Gornjotrijaske stijene, u kojima dominiraju mikriti i sparitni dolomiti, nalaze se u krajnjem sjeveroistočnom i jugoistočnom dijelu. Jurske stijene izgrađuju središnji i sjeverni dio i zauzimaju najveći dio proučavanog područja Gorskog kotara. Donjojurske stijene protežu se između Županja drage i Lividrage. Zastupljeni su mikritnim dolomitima s vapnenačkim lećama, vapnencima i dolomitima u izmjeni te laporovitim vapnencima. Srednjojurski mikritni vapnenci s rijetkim pojavama pločastih dolomita grade najviše dijelove Gorskog kotara i područje Platka. Sjeverno od srednjojurskih vapnenaca, gornjojurski vapnenci, koji se javljaju u obliku vapnenaca i dolomita, protežu se središnjim dijelom planinskog lanca. Stijene iz doba krede nalaze se uglavnom u zapadnim i jugozapadnim dijelovima proučavanog područja. Donjokredne starosti su litostratigrafski horizonti vapnenačkih breča, mikritnih vapnenaca, vapnenaca sa školjkama

i vapnenaca sa slojevima dolomita. Gornjokredne starosti su vapnenci s ruditima, svijetlosivim i bijelim rekristaliziranim vapnencima te vapnencima i dolomitima u izmjeni. Paleocenski vapnenci javljaju se kao uski pojasevi između stijena gornje krede. Najmlađe stijene su eocenski fliš zapadno od Grobničkog polja. Genetski raznoliki kvartarni dijamiktni spojevi javljaju se na dnu i obroncima nekih krških bazena (Savić, Dozet, 1985).

Za območje severozahodnega dela Gorskega kotarja je značilna kompleksna strukturna zgradba s prelomi, ki imajo prevladujoče smeri severozahod–jugovzhod in sever–jug, ob katerih so nastale kraške kotanje. Najpomembnejši prelomi so prelom Obli vrh, ki je orientiran v smeri sever–jug, ter preloma Bačva–Lividraga in Risnjak, ki potekata v smeri severozahod–jugovzhod (Savić, Dozet, 1985).

Sjeverozapadni dio Gorskog kotara karakterizira složena strukturna struktura s rasjedima koji imaju dominantne smjerove sjeverozapad-jugoistok i sjever-jug, duž kojih su formirani krški bazeni. Najvažniji rasjedi su rasjed Obli vrh, koji je orijentiran u smjeru sjever-jug, te rasjedi Bačva-Lividraga i Risnjak, koji se protežu u smjeru sjeverozapad-jugoistok (Savić, Dozet, 1985).

2.3 Tipi reliefa na proučevanem območju / Vrste reljefa na području istraživanja

Na proučevanem območju se pojavljata dva osnovna tipa reliefa, in sicer kraški in fluvialni. Fluvialni geomorfni sistem je omejen na majhno območje na skrajnem vzhodnem delu, na pobočjih nad Gerovskim poljem, kjer se je oblikoval v permskih klastičnih sedimentnih kamninah. Fluvialne reliefne oblike obsegajo erozijske jarke ter vršaje, ki nastajajo pod temi jarki na Gerovskem polju.

Na proučavanom području javljaju se dva osnovna tipa reljefa, i to krški i fluvijalni. Fluvijalni geomorfološki sustav ograničen je na malo područje u krajnjem istočnom dijelu, na obroncima iznad Gerovskog polja, gdje je nastao u permskim klastičnim sedimentnim stijenama. Fluvijalni reljefni oblici uključuju erozione jarke i humke koji se formiraju ispod tih jaraka u Gerovskom polju.

Na proučevanem območju prevladuje kraški geomorfni sistem. Prisotni sta dve kraški geomorfni okolji: globoki kras in glaciokras. V okviru raziskave je bil podrobneje proučen glaciokras, ki zavzema osrednji del območja, saj vključuje področja nekdanje poledenitve, bližnje okolice z ledeniškimi sedimenti in območja fluvioglacialne agradacije, ki obsegajo kraške kotanje v okolici nekdanje poledenitve.

Proučavanim područjem dominira krški geomorfološki sustav. Prisutna su dva krška geomorfološka okoliša: duboki krš i glaciokrš. Istraživanje se usredotočilo na glaciokrš, koji zauzima središnji dio područja, budući da uključuje područja bivšeg ledenjaka, obližnja područja s glacijalnim sedimentima i područja fluvioglacijalne agradacije, koja uključuju krške depresije u blizini bivšeg ledenjaka.

Glaciokras ali ledeniški kras je poseben tip krasa oziroma kraško geomorfno okolje, pri katerem so ledeniki izrazito preoblikovali površje, tako da je večina reliefnih oblik rezultat ledeniških procesov. Kljub temu so na teh območjih prisotne tudi kraške oblike, ki nastanejo s sočinkovanjem kraških in ledeniških procesov, na primer zelo globoka brezna ter obsežne kraške kotanje oziroma konte. Za poledenele kraške pokrajine je značilno, da se podledeniške

vode skozi kraški vodonosnik stekajo k nižjim izvirom, kar vpliva na pretočne razmere in posledično na dinamiko ledenikov (Žebre, Stepišnik, 2015b; Stepišnik, 2024).

Glaciokrš ili glacijalni krš je posebna vrsta krša ili krškog geomorfološkog okoliša u kojem su ledenjaci značajno transformirali površinu, tako da je većina reljefnih oblika rezultat glacijalnih procesa. Međutim, ta područja sadrže i krške oblike koji nastaju međudjelovanjem krških i glacijalnih procesa, na primjer vrlo duboke ponore i opsežne krške bazene ili konte. Glacijalni krški krajolici karakteriziraju se činjenicom da subglacijalne vode teku kroz krški vodonosnik do nižih izvora, što utječe na uvjete toka i posljedično na dinamiku ledenjaka (Žebre, Stepišnik, 2015b; Stepišnik, 2024).

V erozijskih območjih ledenikov odtok podledeniških vod v kraški vodonosnik zmanjša količino podledeniške vode, kar posledično znižuje intenziteto erozije, ki bi jo sicer povzročale te vode. Hkrati pa se zaradi manjše količine vode med ledenikom in kamninsko podlago poveča trenje, kar pospeši ledeniško abrazijo (Adamson, Woodward, Hughes, 2014; Žebre, Stepišnik, 2015b). Podledeniške vode vstopajo v podzemlje pod tlakom, ki se spreminja s sezonskim nihanjem vodne gladine v ledeniku, pri čemer prinašajo ledeniški sediment. Pod ledeniki se zato lahko oblikujejo brezna, ki služijo kot podledeniški požiralniki, izdatne količine ledeniške vode in sedimenta pa v jamah povzročajo intenzivno raztapljanje in abrazijo (Stepišnik, 2024).

U područjima glacijalne erozije, otjecanje subglacijalnih voda u krški vodonosnik smanjuje količinu subglacijalnih voda, što zauzvrat smanjuje intenzitet erozije koju bi te vode inače uzrokovale. Istovremeno, manja količina vode između ledenjaka i temeljne stijene povećava trenje, što ubrzava glacijalnu abraziju (Adamson, Woodward, Hughes, 2014.; Žebre, Stepišnik, 2015.b). Subglacijalne vode ulaze u podzemlje pod tlakom, koji se mijenja sa sezonskim fluktuacijama razine vode u ledenjaku, donoseći glacijalni sediment. Kao rezultat toga, ispod ledenjaka mogu se stvoriti ponori koji služe kao subglacijalni ponori, a obilne količine glacijalne vode i sedimenta uzrokuju intenzivno otapanje i abraziju u špiljama (Stepišnik, 2024.).

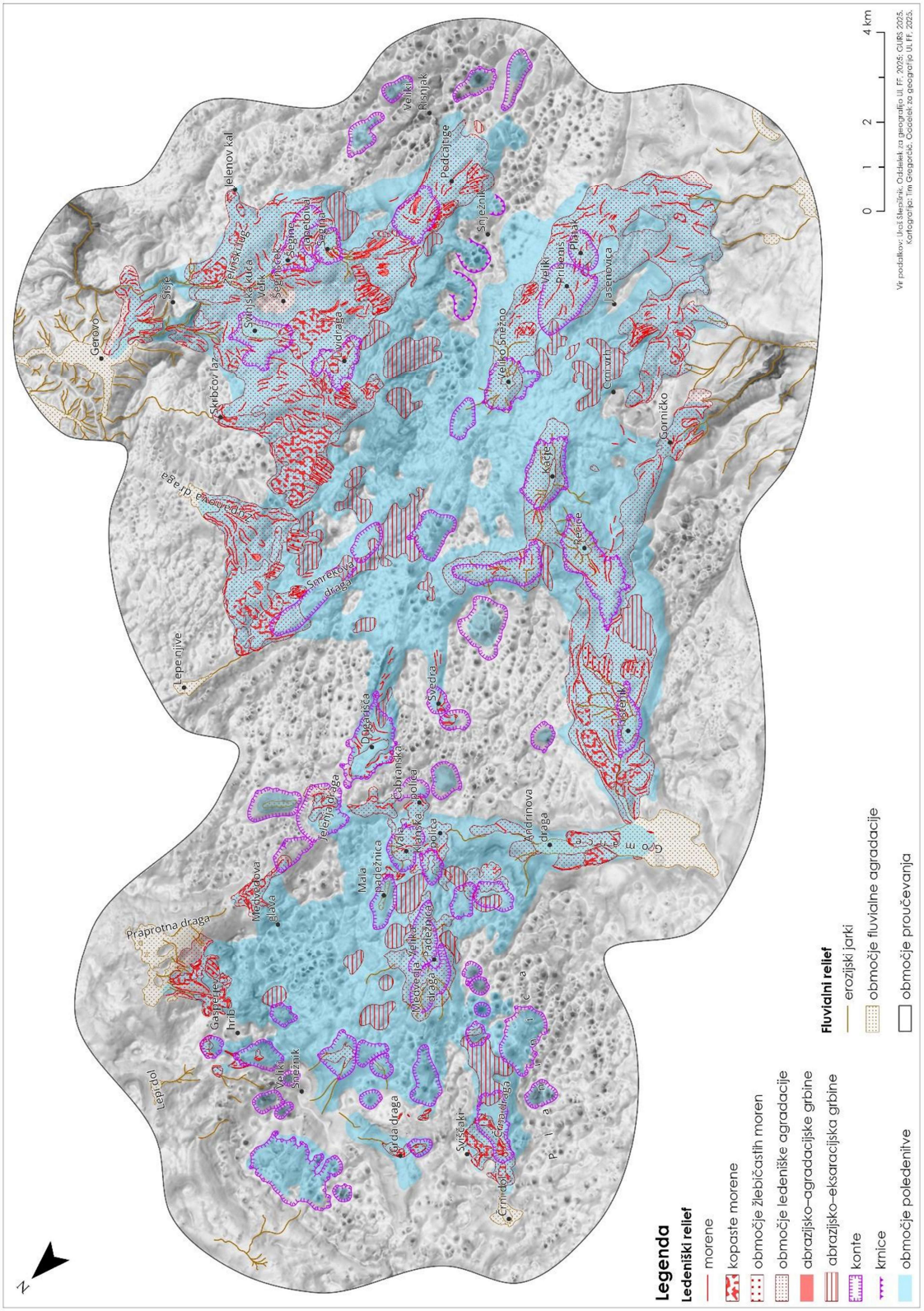
V akumulacijskih območjih ledenikov, kjer se nabira večja količina sedimentov, ti sedimenti delno zaprejo pot vodi v kraško podzemlje, kar povzroči oblikovanje podledeniških tokov. Na poledenelih kraških območjih so takšni tokovi manj dinamični kot v drugih ledeniških okoljih, saj del podledeniške vode ponikne v kras (Žebre, Stepišnik, 2015b; Žebre, Stepišnik, 2015a; Žebre in sod., 2019). Zaradi manjšega obsega odtoka ledeniških vod na površju je tudi erozija ledeniških sedimentov pogosto šibkejša, posledično pa so morene in druge agradacijske ledeniške oblike obsežnejše. Tako se glaciokras loči od drugih poledenelih pokrajin po izraziti kombinaciji kraških in ledeniških procesov, ki se odražajo v edinstvenih geomorfnih in speleoloških značilnostih.

U područjima ledenjačke akumulacije, gdje se nakuplja velika količina sedimenta, ti sedimenti djelomično blokiraju put vode u krško podzemlje, što uzrokuje stvaranje subglacijalnih tokova. U ledenjačkim krškim područjima takvi su tokovi manje dinamični nego u drugim ledenjačkim okruženjima, jer dio subglacijalne vode ponire u krš (Žebre, Stepišnik, 2015b; Žebre, Stepišnik, 2015a; Žebre i dr., 2019). Zbog manjeg opsega otjecanja ledenjačke vode na površini, erozija ledenjačkih sedimenata često je slabija, a kao rezultat toga, morene i drugi agradacijski ledenjački oblici su opsežniji. Dakle, glaciokrš se razlikuje od ostalih ledenjačkih krajolika izrazitom kombinacijom krških i ledenjačkih procesa, koji se ogledaju u jedinstvenim geomorfološkim i speleološkim značajkama.

Globoki kras se na proučevanem območju pojavlja v okolici območja nekdanje poledenitve, saj je bila na ta način določena meja proučevanega območja. Gre za tip krasa, pri katerem padavinska voda neposredno vteka v podzemlje, zato na površju ni stalnih vodotokov ali stoječih voda. Prevladuje kemično raztapljanje, ki povzroča navpično denudacijo in oblikuje

značilne kraške oblike, kot so korozijske vrtače, kopaste vzpetine in uvale, ki se pojavljajo po celotnem proučevanem območju. Raztapljanje poteka tudi v podzemlju, kjer se oblikujejo različni tipi jam. Zaradi denudacije površja in mehanskih nestabilnosti stropov se jame lahko postopoma odprejo na površju v obliki udornih vrtač, brezstropih jam in udornic. Za proučevano območje je značilno predvsem veliko udornih vrtač, ki so nastale z rušenjem vadoznih brezen. Glaciokras zavzema osrednji del območja, saj vključuje področja nekdanje poledenitve, bližnje okolice z ledeniškimi sedimenti in območja fluvioglacialne agradacije, ki obsegajo kraške kotanje v okolici nekdanje poledenitve.

Duboki krš javlja se na području istraživanja oko bivšeg područja glacijacije, budući da je tako određena granica područja istraživanja. To je vrsta krša u kojem oborinska voda izravno otječe u podzemlje, tako da nema trajnih vodotoka ili stajaće vode na površini. Dominira kemijsko otapanje, što uzrokuje vertikalnu denudaciju i formira karakteristične krške značajke poput korozijskih vrtača, uzvišenja u obliku humka i uvala, koje se javljaju po cijelom području istraživanja. Otapanje se odvija i pod zemljom, gdje nastaju različite vrste špilja. Zbog površinske denudacije i mehaničkih nestabilnosti stropova, špilje se mogu postupno otvarati na površinu u obliku vrtača, špilja bez stropa i vrtača. Područje istraživanja karakterizira prvenstveno veliki broj vrtača, koje su nastale urušavanjem vadoznih ponora. Glaciokrš zauzima središnji dio područja, jer uključuje područja bivše glacijacije, bližu okolinu s glacijalnim sedimentima i područja fluvioglacijalne agradacije, koja čine krške bazene u okolici bivše glacijacije.



Slika 8: Morfografska karta ledeniških reliefnih oblik, sedimentov in obsega poledenitve na območju Snežnika in Gorskega kotarja.

Slika 8: Morfografska karta ledenjačkih oblika reljefa, sedimenata i opsega zaleđenja na području Snežnika i Gorskog kotara.

2.3.1 Glaciokras Snežnika / Glaciokrš Snežnika

Obsežen del proučevanega območja Snežnika izkazuje sledove ledeniške denudacije in agradacije, pri čemer je velikost ledeniškega pokrova na tem območju znašala okoli 44 km². Najnižja območja agradacije so na jugu (kraško polje Gomance), na vzhodu (kraško polje Praprotna draga) in na zahodu (kraško polje Črni dol). Ledeniški sedimenti so večinoma necementirani, grebeni moren pa dobro ohranjeni. Agradacija zajema skoraj celotno Snežniško pogorje, razen severnega dela. Na višjih nadmorskih višinah, kjer so bila erozijska območja ledenikov, prevladuje ledeniška denudacija, vendar so te oblike večinoma manj izrazite. Tipičnih krnic na proučevanem območju ni.

Veliki dio proučavanog područja Snežnika pokazuje tragove glacijalne denudacije i agradacije, s veličinom glacijalnog pokrova na ovom području oko 44 km². Najniža područja agradacije nalaze se na jugu (krško polje Gomance), na istoku (krško polje Praprotna draga) i na zapadu (krško polje Črni dol). Glacijalni sedimenti su uglavnom necementirani, a morenski grebeni su dobro očuvani. Agradacija pokriva gotovo cijelo gorje Snežnika, osim sjevernog dijela. Na većim nadmorskim visinama, gdje su postojala područja glacijalne erozije, dominira glacijalna denudacija, ali ti su oblici uglavnom manje izraženi. Na proučavanom području nema tipičnih strmih naslaga.

Na severovzhodni strani Snežniškega pogorja se ledeniške akumulacije razprostirajo severno in vzhodno od Gašperjevega hriba. Ledeniški sedimenti severno od Gašperjevega vrha prekrivajo pobočja in obode kraških kotanj, pri čemer višina morenskih grebenov ne presega 10 m. Na severnih pobočjih obeh kotanj, kjer se nahajajo najnižje ležeče ledeniške akumulacije, so razvite kopaste morene. Pod območjem ledeniških akumulacij je skupina erozijskih jarkov, ki so verjetno služili kot proglacialne struge in odtekali v kotanjo Lepi dol, približno 200 m nižje. Dno te kotanje zapolnjuje proglacialni vršaj.

Na sjeveroistočnoj strani Snežnice, ledenjačke akumulacije protežu se sjeverno i istočno od Gašperjevog hriba. Ledenjački sedimenti sjeverno od Gašperjevog vrha prekrivaju padine i rubove krških udubina, s visinom morenskih grebena ne većom od 10 m. Na sjevernim padinama obje udubine, gdje se nalaze najniže ledenjačke akumulacije, razvijene su morene u obliku humka. Ispod područja ledenjačkih akumulacija nalazi se skupina erozijskih jaraka, koji su vjerojatno služili kao proglacijalni kanali i odvodili se u udubinu Lepi dol, otprilike 200 m niže. Dno ove udubine ispunjeno je proglacijalnim sedimentom.

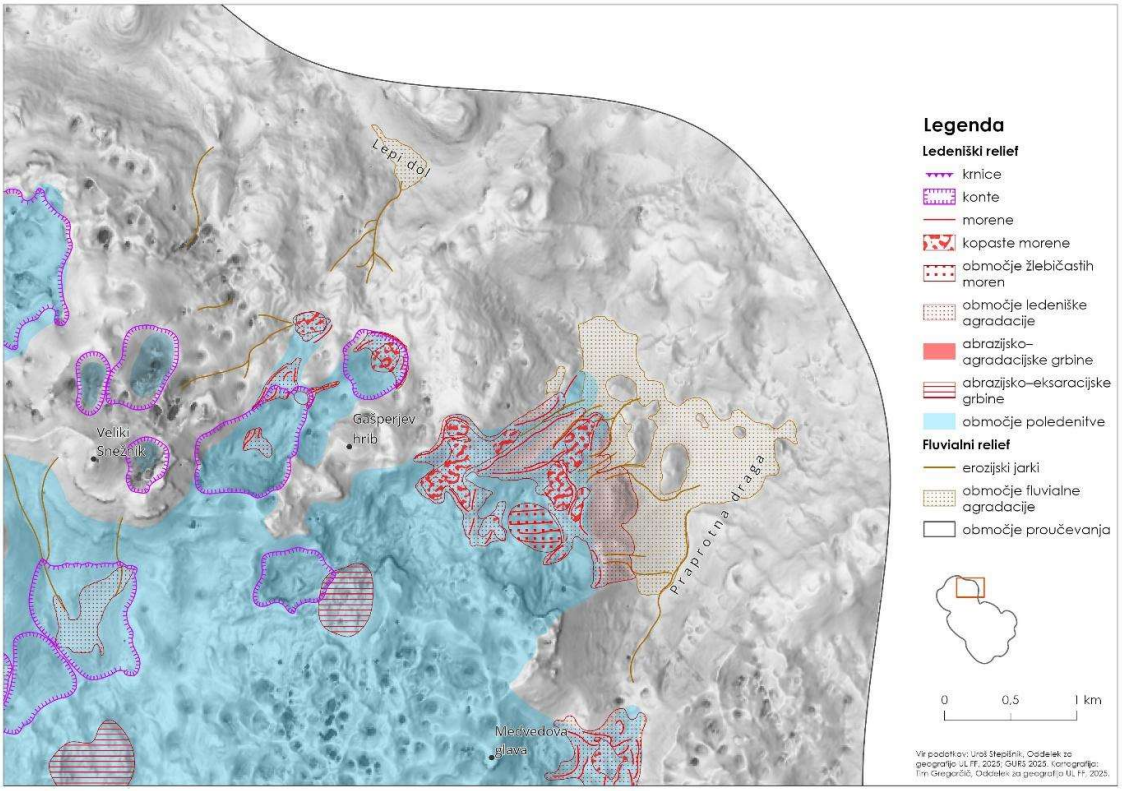
Obsežno območje ledeniških akumulacij se razprostira vzhodno od Gašperjevega hriba, predvsem na zahodnem pobočju Praprotne drage – ene največjih kraških kotanj na proučevanem območju. Morenski grebeni tam dosegajo višine do 50 m in se zaključujejo 140 m nad dnom Praprotne drage. Med grebeni se pojavljajo kopaste morene in več območij žlebičastih moren na sorazmerno strmem pobočju. V spodnjih delih zahodnih pobočij Praprotne drage so razviti predledeniški vršaji, ki segajo do njenega vzhodnega dna. Morfogeneza Praprotne drage ni jasno določena, verjetno pa je povezana s tektonskimi procesi, saj leži vzdolž pomembne prelomne cone. Glede na dimenzije in značilnosti jo lahko klasificiramo kot predledeniško kraško polje.

Istočno od Gašperjevog hriba prostire se opsežno područje ledenjačkih akumulacija, uglavnom na zapadnoj padini Praprotne drage – jedne od najvećih krških udubina na proučavanom

področju. Morenski grebeni tamo dosežu visinu do 50 m i završavaju 140 m iznad dna Praprotne drage. Između grebena pojavljuju se humkaste morene i nekoliko područja žljebastih morena na relativno strmoj padini. Predglacijalni humci razvijeni su u nižim dijelovima zapadnih padina Praprotne drage, dosežući do njezina istočnog dna. Morfogeneza Praprotne drage nije jasno određena, ali je vjerojatno povezana s tektonskim procesima, budući da leži uz važnu rasjedničku zonu. S obzirom na svoje dimenzije i karakteristike, može se klasificirati kao predglacijalno krško polje.

Približno 1 km južno od Gašperjevega hriba je dokumentirano obsežno območje abrazijsko-eksaracijskih ledeniških grbin, orientiranih v smeri severa, kar nakazuje gibanje ledenika proti Praprotni dragi. Nekatere od teh grbin imajo uravnane vrhnje dele in izkazujejo morfološke lastnosti laštov.

Otprilike 1 km južno od Gašperjevih hribova dokumentirano je opsežno područje abrazijsko-egzaracijskih ledenjačkih humova, orijentiranih u smjeru sjevera, što ukazuje na kretanje ledenjaka prema Praprotnoj dragi. Neke od ovih humova imaju zaravnjene vrhove i pokazuju morfološke karakteristike lašta.



Slika 9: Morfografska karta ledeniških reliefnih oblik, sedimentov in obsega poledenitve na severovzhodnem delu Snežnika.

Slika 9: Morfografska karta ledenjačkih oblika reljefa, sedimenata i opsega zaleđenja u sjeveroistočnom dijelu Snežnika.

Na vzhodni strani Snežnika, pod vrhom Medvedova glava, so v kraški kotanji z imenom Jarmovec ohranjene ledeniške akumulacije, usmerjene v smeri sever–jug. Med morenskimi grebeni se pojavlja grbinasta morena. Akumulacije segajo nekaj deset metrov nad severni

pregib kotanje, od koder so predledeniški tokovi odtekali proti Praprotni dragi na severu. Tam so v pobočju še vidni erozijski jarki.

Na istočnoj strani Snežnika, ispod vrha Medvedove glave, u krškoj udubini zvanoj Jarmovec, sačuvane su ledenjačke akumulacije, orijentirane u smjeru sjever-jug. Između grebena morena pojavljuje se humkasta morena. Akumulacije se protežu nekoliko desetaka metara iznad sjevernog zavoja udubine, odakle su predglacijalni tokovi tekli prema Praprotnoj dragi na sjeveru. Tamo su u padini još uvijek vidljivi erozioni jarci.

Na jugovzhodni strani Snežnika se ledeniške akumulacije raztezajo med Jelenjo drago in Klansko polico, z morenskimi grebeni visokimi do 10 m. V celoti prekrivajo Jelenjo drago, med posameznimi grebeni so kopaste morene. Jugovzhodno od Jelenje drage so akumulacije ohranjene na grebenu vse do Čabranske police, kar nakazuje rob nekdanje poledenitve. Zahodno od njih se v Vali, Mali Padežnici in pri Klanski polici nahajajo umikalne morene. Širše območje ledeniške denudacije je vidno zahodno in severozahodno od Vale in Male Padežnice, kjer abrazijsko-eksaracijske grbine, usmerjene proti jugu in jugovzhodu, kažejo smer polzenja ledenika.

Na jugoistočnoj strani Snežnika, ledenjačke akumulacije protežu se između Jelenjske drage i Klanske police, s morenskim grebenima visokim do 10 m. One u potpunosti prekrivaju Jelenju dragu, s morenama u obliku humka između pojedinih grebena. Jugoistočno od Jelenjske drage, akumulacije su očuvane na grebenu sve do Čabranske police, što ukazuje na rub nekadašnjeg ledenjaštva. Zapadno od njih, recesivne morene nalaze se u Vali, Maloj Padežnici i kod Klanske police. Šire područje ledenjačke denudacije vidljivo je zapadno i sjeverozapadno od Vale i Male Padežnice, gdje abrazijsko-egzaracijske humke, orijentirane prema jugu i jugoistoku, ukazuju na smjer puzanja ledenjaka.

Vzhodno od Vale se nahajata dve obsežni konti, Medvedja draga in Velika Padežnica, orientirani v smeri jugovzhoda, skladno z nekdanjo smerjo ledeniškega toka. Zapolnjeni sta z ledeniškimi sedimenti, v pobočju se pojavljajo erozijski jarki, dno pa je zapolnjeno s fluvialnimi sedimenti.

Istočno od Vale nalaze se dve prostrane ponikve, Medveđa draga i Velika Padežnica, orijentirana u smjeru jugoistoka, u skladu s nekadašnjim smjerom ledenjačkog toka. Ispunjena su ledenjačkim sedimentima, u padini se pojavljuju erozijski jarci, a dno je ispunjeno fluvijalnim sedimentima.

Skrajni vzhodni del planote Planinica je bil prav tako poledenel, kar dokazujejo območja abrazijsko-eksaracijskih grbin in ledeniški sedimenti nad Andrinovo drago, kjer je led polzel proti jugu.

Krajnji istočni dio planiničke visoravni također je bio zaleđen, o čemu svjedoče područja abrazijsko-egzaracijskih humki i ledenjačkih sedimenata iznad Andrinove drage, gdje se led kretao prema jugu.



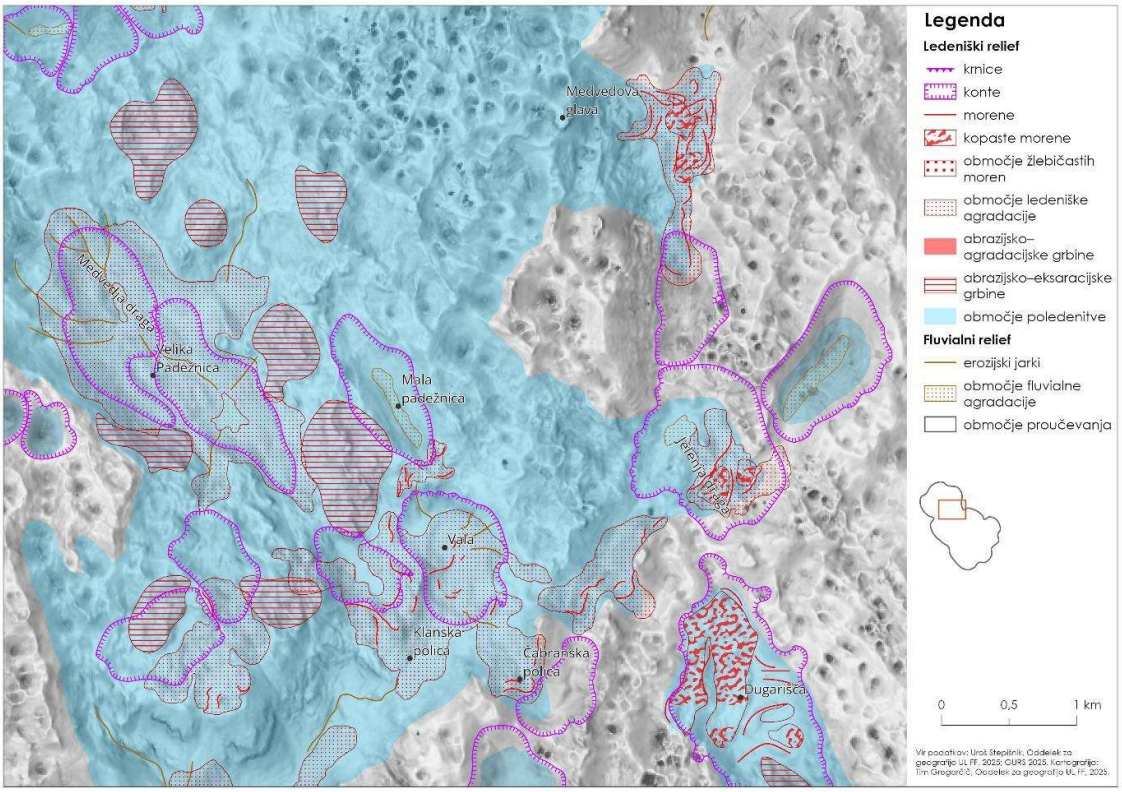
Slika 10: Dno podledeniške konte Medvedja draga, ki je v dnu uravnana s fluvialnimi sedimenti.

Slika 10: Dno subglacijalne slivne površine Medveđe drage, koje je na dnu zaravnano fluvijalnim sedimentima.



Slika 11: Dno podledeniške konte Vala, ki je zapolnjeno z ledeniškimi sedimenti in preoblikovano z grebeni moren.

Slika 11: Dno subglacijalne uvale Vala, koje je ispunjeno ledenjačkim sedimentima i preoblikovano morenskim grebenima.



Slika 12: Morfografska karta ledeniških reliefnih oblik, sedimentov in obsega poledenitve na vzhodnem delu Snežnika.

Slika 12: Morfografska karta ledenjačkih oblika reljefa, sedimenata i opsega zaleđenja u istočnom dijelu Snežnika.

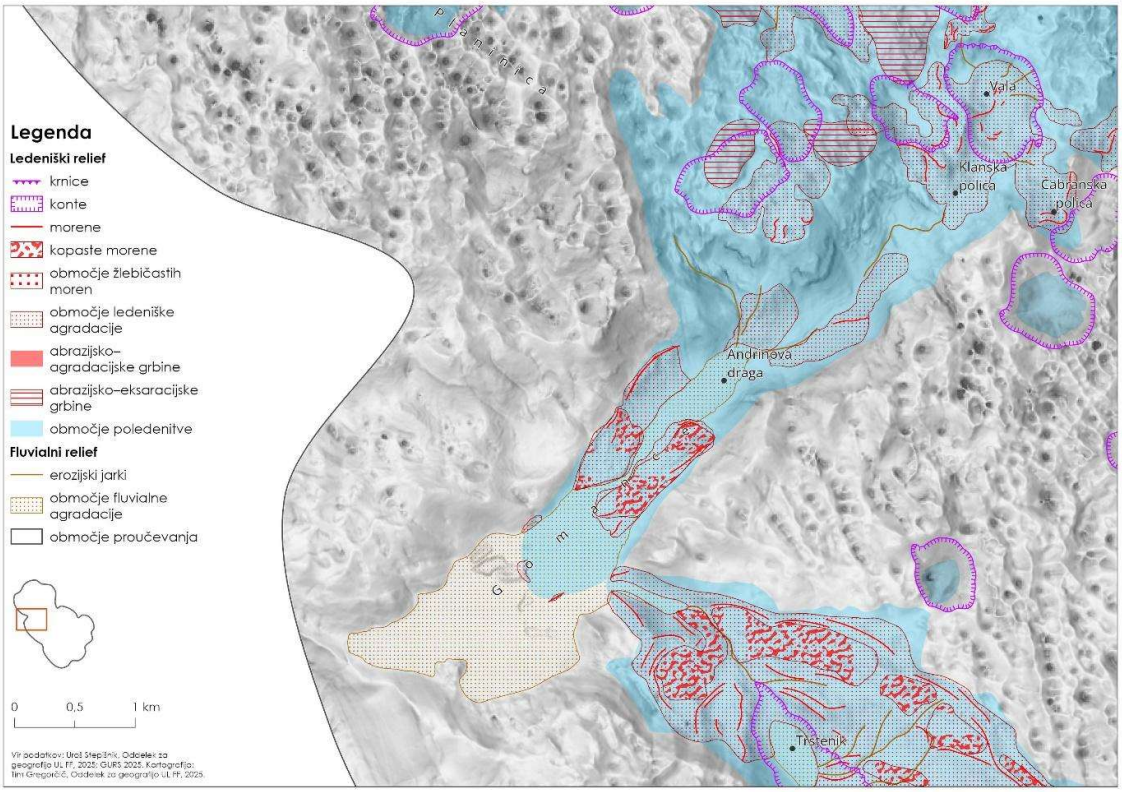
Glavni odtok ledenika na južni strani Snežnika je potekal na Gomance, od koder se je raztezal obsežen ledeniški pokrov južno od Velikega Snežnika preko Klanske police in Planinice ter se usmeril v ledeniško dolino Andrinova draga. Bočne morene so ohranjene do 70 m nad njenim dnom, ki je ponekod prekrito z ledeniškimi sedimenti. Na Gomancah ni izrazite čelne morene; namesto tega je vidna serija manjših, večinoma vzporednih gebenov moren, med katerimi se nahajajo obsežne kopaste morene, kar nakazuje osciliranje ledeniškega čela. Morene se zaključijo na nadmorski višini 920 m, pod njimi pa so odloženi fluvioglacialni sedimenti. Ti sedimenti prekrivajo obsežno kraško polje Gomance, ki ga morfodinamično opredeljujemo kot predledeniško polje. V njem sta dva večja vršaja: eden usmerjen proti jugozahodu, drugi proti zahodu, kar kaže na prisotnost dveh ledenikov, s Snežnika in iz Gorskega kotarja, ki sta se združila prav na tem območju.

Glavni ledenjački odljev na južnoj strani Snežnika išao je do Gomanca, odakle se južno od Velikog Snežnika preko Klanske police i Planinice protezao opsežan ledenjački pokrov te se kretao prema ledenjačkoj dolini Andrinova draga. Bočne morene sačuvane su do 70 m iznad njezina dna, koje je ponegdje prekriveno ledenjačkim sedimentima. Na Gomanci nema izražene frontalne morene; umjesto toga vidljiv je niz manjih, uglavnom paralelnih gebenskih morena, između kojih se nalaze velike humkaste morene, što ukazuje na oscilaciju ledenjačke fronte. Morene završavaju na nadmorskoj visini od 920 m, a ispod njih se talože fluvioglacijalni sedimenti. Ti sedimenti prekrivaju opsežno krško polje Gomance, koje je morfodinamički definirano kao predglacijalno polje. U njemu se nalaze dva veća vrha: jedan orijentiran jugozapadno, drugi zapadno, što ukazuje na prisutnost dva ledenjaka, sa Snežnika i iz Gorskog kotara, koji su se spojili upravo na ovom području.



Slika 13: Proglacialno kraško polje Gomance.

Slika 13: Proglacijalno krško polje Gomance.



Slika 14: Morfografska karta ledeniških reliefnih oblik, sedimentov in obsega poledenitve na južnem delu Snežnika.

Slika 14: Morfografska karta ledenjačkih oblika reljefa, sedimenata i opsega zaleđenja u južnom dijelu Snežnika.

Na zahodni strani Snežnika se ledeniški sedimenti nahajajo v kraški kotanji Grda draga in prekrivajo njeno dno, skupaj z nekaj grebeni moren in kopastimi morenami. Kopaste morene se pojavljajo tudi v kotanji južno od Grde drage, kar kaže na intenzivno osciliranje ledeniškega čela.

Na zapadnoj strani Snežnika, ledenjački sedimenti nalaze se u krškoj kotlini Grda draga i prekrivaju njezino dno, zajedno s nekoliko morenskih grebena i humkastih morena. Humkaste morene javljaju se i u kotlini južno od Grde drage, što ukazuje na intenzivno osciliranje ledenjačkog fronta.

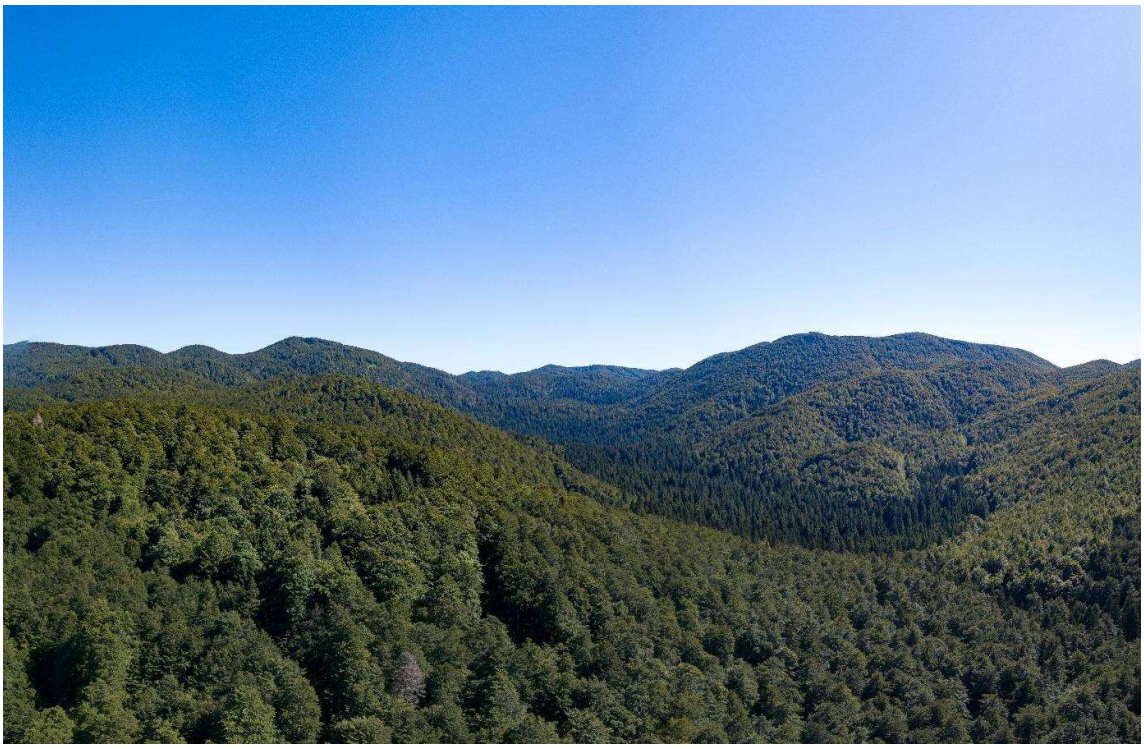
Poleg Grde drage je na zahodni strani Snežniškega pogorja območje obsežnih ledeniških akumulacij tudi prostor južno in zahodno od Sviščakov. Ledenik je na to območje pritekal iz smeri jugovzhoda, delno iz območja Planinice, delno pa iz obsežnega ledeniškega pokrova južno od Velikega Snežnika. Tu se nahaja cela vrsta grebenov moren, med njimi pa so kopaste morene. Najnižji ledeniški sedimenti se nahajajo nad kraško kotanjo Črni dol. Pod njimi je na pobočju Črnega dola erozijski jarek, ki so ga izdolbli proglacialni tokovi. Dno Črnega dola zapolnjujejo fluvioglacialni sedimenti. Zaradi dimenzij in morfodinamičnih značilnosti se Črni dol uvršča med predledeniška kraška polja.

Osim Grde drage, na zapadnoj strani Snežničkog gorja nalazi se područje opsežnih ledenjačkih akumulacija, uključujući područje južno i zapadno od Sviščaka. Ledenjak je u ovo područje dopirao s jugoistoka, dijelom s područja Planinice, a dijelom iz opsežnog ledenjačkog pokrova južno od Velikog Snežnika. Ovdje se nalazi cijeli niz morenskih grebena, među kojima su humkaste morene. Najniži ledenjački sedimenti nalaze se iznad krške kotline Črni dol. Ispod njih, na padini Črnog dola, nalazi se erozijski jarak, koji je izdubljen proglacijalnim tokovima.

Dno Črnog dola ispunjeno je fluvioglacijalnim sedimentima. Zbog svojih dimenzija i morfodinamičkih karakteristika, Črni dol se klasificira kao predglacijalno krško polje.

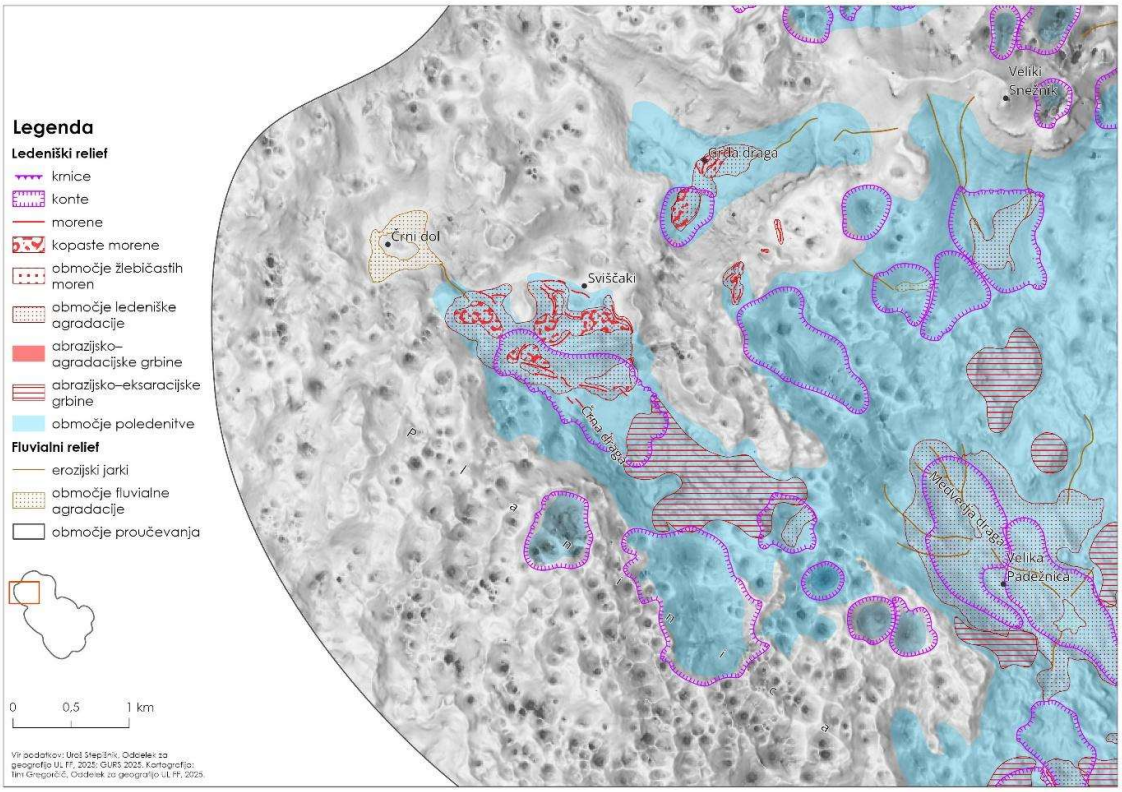
Ledeniki so zapolnjevali tudi konte v okolici sklenjenega ledeniškega pokrova na Snežniškem pogorju. Ti ledeniki v kontah, ki jih imenujemo tudi kontni ledeniki so zapolnjevali nekaj kont na območju Planinice in nekaj kont na severnem pobočju Velikega Snežnika. Med njimi sta tudi konti Velika Kolobarnica in Smrekova draga. Največji kontni ledenik je prav tako nahajal na severnem pobočju Snežnika, in sicer v konti Pekel severozahodno od vrha Velikega Snežnika.

Ledenjaci su također ispunjavali uvale u blizini zatvorenog ledenjačkog pokrova na planinama Snežnik. Ovakvi ledenjaci ispunjavali su neke uvale u području Planinice i neke ponikve na sjevernoj padini Velikog Snežnika. Među njima su uvale Velika Kolobarnica i Smrekova draga. Najveći takav ledenjak nalazio se također na sjevernoj padini Snežnika, u uvali Pekel sjeverozapadno od vrha Velikog Snežnika.



Slika 15: Podledeniška konta Črna draga preko katere je polzel odtočni ledenik v smeri Sviščakov in Črnega dola.

Slika 15: Subglacijalna ponikva Črna draga, preko kojeg je drenažni ledenjak puzao u smjeru Sviščaka i Črnog dola.



Slika 16: Morfografska karta ledeniških reliefnih oblik, sedimentov in obsega poledenitve na zahodnem delu Snežnika.

Slika 16: Morfografska karta ledenjačkih oblika reljefa, sedimenata i opsega zaleđenja u zapadnom dijelu Snežnika.

2.3.2 Glaciokras Gorskega kotarja / Glaciokrš Gorskog kotara

Del Gorskega kotarja severno od vrhov Snježnik in Risnjak je bil poledenel. Obsežen ledeniški pokrov se je v več odtočnih ledenikih spuščal v nižje predele okolice. Skupna površina poledenitve Gorskega kotarja je bila skoraj trikrat večja kot na Snežniškem pogorju in je znašala okoli 110 km². Na najvišjih delih nekdanje poledenitve so sledovi ledeniške denudacije, med katerimi se pojavljajo tudi obsežne krnice. V nižjih predelih prevladujejo območja ledeniške agradacije z dobro ohranjenimi različnimi tipi moren. Ledeniški sedimenti so večinoma necementirani. Proglacialni tokovi so se stekali v okoliška reliefna znižanja, kjer so oblikovali tri kraška polja: Ljepe njive, Županjo drago in največje med njimi – Gerovsko polje, ki ima najnižja območja ledeniške agradacije na območju Gorskega kotarja. Na južni strani Gorskega kotarja so se ledeniki končali na strmem pobočju nad Grobniškim poljem, kamor so odtekali številni proglacialni tokovi in oblikovali uravnavo iz fluvioglacialnih sedimentov v tej obsežni kraški kotlini.

Dio Gorskog kotara sjeverno od vrhova Snježnika i Risnjaka bio je zaleđen. Opsežni ledenjački pokrov spustio se u niža područja okolnog područja u nekoliko drenažnih ledenjaka. Ukupna površina zaleđenja u Gorskom kotaru bila je gotovo tri puta veća nego u Snežničkim planinama i iznosila je oko 110 km². U najvišim dijelovima nekadašnjeg zaleđenja nalaze se tragovi ledenjačke denudacije, među kojima se pojavljuju i opsežne pukotine. U nižim dijelovima dominiraju područja ledenjačke agradacije s dobro očuvanim različitim tipovima morena.

Ledenjački sedimenti su uglavnom necementirani. Proglacijalni tokovi slijevali su se u okolne reljefne udubine, gdje su formirali tri krška polja: Ljepe njive, Županja drago i najveće od njih - Gerovsko polje, koje ima najniža područja ledenjačke agradacije na području Gorskog kotara. Na južnoj strani Gorskog kotara ledenjaci su završavali na strmoj padini iznad Grobničkog polja, kuda su tekli brojni proglacijalni potoci i formirali izravnavajući sustav od fluvioglacijalnih sedimenata u ovom prostranom krškom bazenu.

V severozahodnem in severnem delu Gorskega kotarja so ledeniški sedimenti razporejeni v štirih kotanjah (Dugarišča, Švedra, severni del Smrekove drage in jugozahodni del Županje drage), kamor so se iztekali ločeni ledeniški jeziki iz osrednjega ledeniškega pokrova. Sedimenti prekrivajo pobočja in dna kotanj.

U sjeverozapadnom i sjevernom dijelu Gorskog kotara, ledenjački sedimenti raspoređeni su u četiri bazena (Dugarišče, Švedra, sjeverni dio Smrekove drage i jugozapadni dio Županja drage), u koje su se iz središnjeg ledenjačkog pokrova slijevali odvojeni ledenjački jezici. Sedimenti prekrivaju padine i dna bazena.

Najbolj na zahodu se nahaja kotanja Švedra, ki je pravzaprav na skrajnem delu relativno ozke ledeniške doline. Njena širina je okoli 500 metrov, dolžina pa 2 km. V to kotanjo je ledenik pritekal iz osrednjega ledeniškega pokrova Gorskega kotarja na jugovzhodu. V dolini so ohranjeni ledeniški sedimenti in nekaj grebenov moren. V skrajnem severozahodnem delu doline, v kotanji Švedra, se nahaja območje kopastih moren, ki zapolnjujejo dno in spodnje dele pobočij te kotanje.

Najzapadniji je Švedrin bazen, koji se zapravo nalazi na krajnjem kraju relativno uske ledenjačke doline. Širina mu je oko 500 metara, a duljina 2 km. Ledenjak se u ovaj bazen slijevao iz središnjeg ledenjačkog pokrova Gorskog kotara na jugoistoku. Dolina čuva ledenjačke sedimente i nekoliko morenskih grebena. U krajnjem sjeverozapadnom dijelu doline, u Švedrinom bazenu, nalazi se područje humkastih morena koje ispunjavaju dno i donje dijelove padina ovog bazena.

Severneje leži kotanja Dugarišča, ki je prav tako na skrajnem severozahodnem delu ledeniške doline, široke okoli 700 metrov in dolge okoli 3 km. V to kotanjo je prav tako pritekal dolinski ledenik iz osrednjega ledeniškega pokrova Gorskega kotarja na jugovzhodu. Kotanja Dugarišča je v celoti prekrita s kopastimi morenami, ki jih gradijo ogromni, tudi do 2 m veliki bloki. Med njimi so grebeni moren, ki potekajo prečno na nekdanji tok ledenika.

Sjevernije se nalazi Dugariški bazen, koji se također nalazi u krajnjem sjeverozapadnom dijelu ledenjačke doline, širok oko 700 metara i dug oko 3 km. U ovaj bazen se iz središnjeg ledenjačkog pokrova Gorskog kotara na jugoistoku ulijevao i dolinski ledenjak. Dugariški bazen u cijelosti je prekriven morenama u obliku humka, koje su izgrađene od ogromnih blokova, veličine do 2 m. Među njima su i grebeni morena koji se protežu poprečno na nekadašnji tok ledenjaka.

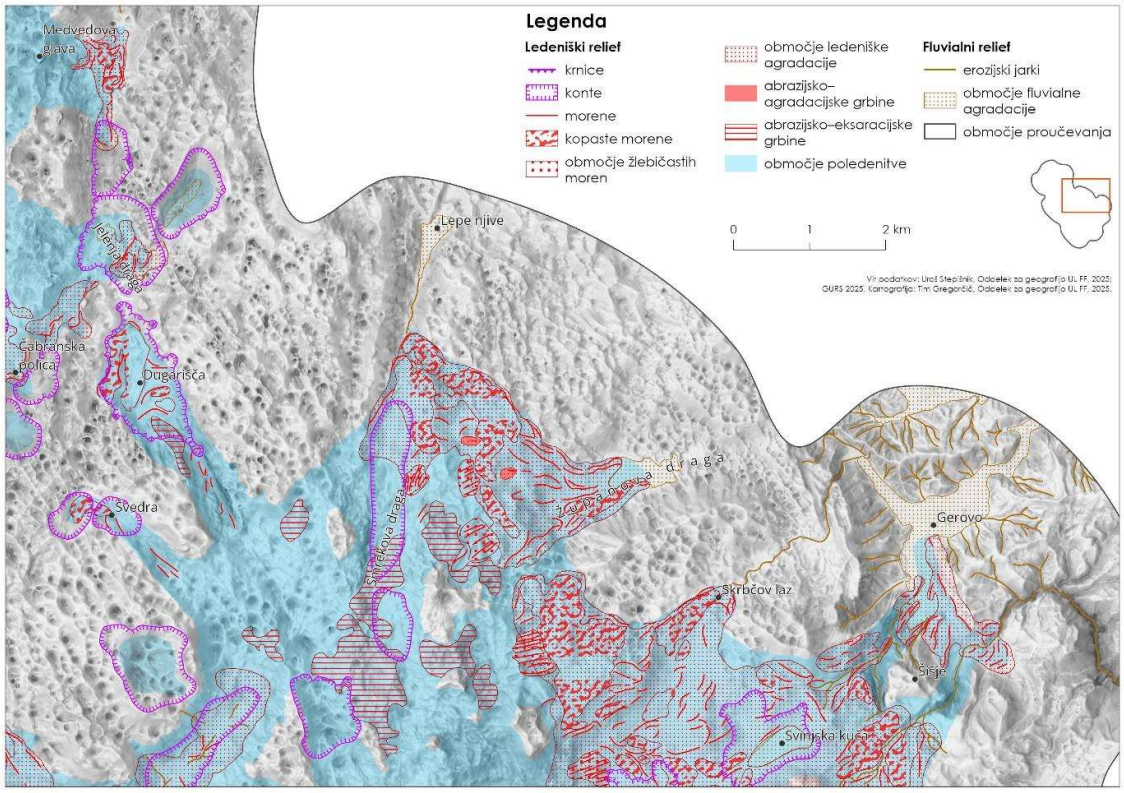
Širok ledeniški jezik je odtekal proti severu preko podolgovate kotanje z imenom Smrekova draga. Ta ledeniški jezik je bil zelo širok, saj je imel širino okoli 3 km in se je izklinil na skrajnem severnem delu kotanje Smrekova draga. Na robovih čela nekdanjega ledenika so ohranjeni izraziti grebeni bočnih moren na pobočjih Smrekove drage. V dnu pa so ohranjeni številni grebeni moren, ki potekajo bolj ali manj prečno na nekdanji tok ledenika. Velik del skrajnega dela obsega nekdanjega ledenika prekrivajo kopaste morene. V vzhodnem pobočju Smrekove drage se nahaja območje žlebičastih moren, ki so usmerjene proti severu in nakazujejo nekdanji tok ledenika. Od skrajnega severnega dela ledenika poteka erozijski jarek, ki ga je oblikoval nekdanji proglacialni tok. Zaključi se v kraški kotanji Lepe njive, ki je zapolnjena s fluvioglacialnim sedimentom. Zaradi morfodinamičnih značilnosti lahko to kotanjo opredelimo

kot predledeniško kraško polje. Kljub temu, da je širina kraškega polja nekako na morfometrični meji (400-500 metrov širine (Gams, 2003)), s katero opredeljujemo kraška polja, smo ga uvrstili pod kraška polja.

Široki ledenjački jezik tekao je prema sjeveru preko izdužene depresije zvane Smrekova draga. Ovaj ledenjački jezik bio je vrlo širok, oko 3 km, i izlazio je u najsjevernijem dijelu depresije Smrekova draga. Na rubovima bivšeg ledenjačkog čela sačuvani su izraziti grebeni bočnih morena na obroncima Smrekove drage. Na dnu su sačuvani brojni grebeni morena, koji se protežu manje-više poprečno na bivši tok ledenjaka. Veliki dio krajnjeg dijela opsega bivšeg ledenjaka prekriven je humskim morenama. Na istočnoj padini Smrekove drage nalazi se područje užljebljenih morena, koje su orijentirane prema sjeveru i ukazuju na bivši tok ledenjaka. Erozijski jarak, nastao bivšim proglacijalnim tokom, proteže se od najsjevernijeg dijela ledenjaka. Završava u krškoj depresiji Lepa njiva, koja je ispunjena fluvioglacijalnim sedimentom. Zbog svojih morfodinamičkih karakteristika, ova depresija se može definirati kao predglacijalno krško polje. Unatoč činjenici da je širina krškog polja donekle na morfometrijskoj granici (400-500 metara širine (Gams, 2003.)) kojom definiramo krška polja, klasificirali smo ga kao krško polje.

Vzhodno od kotanje Smrekova draga je ledeniški pokrov odtekal v smeri vzhoda v ledeniški jezik, ki je zapolnjeval jugozahodni del Županje drage. Na območju višjega reliefa med Smrekovo drago in Županjo drago so namreč ohranjene številne reliefne oblike, ki nakazujejo smer ledenika. Nahaja se obsežno območje abrazijsko-eksaracijskih grbin, ki so z odtočnim delom usmerjene v smeri vzhoda. Sta dve območji žlebičastih moren z enako usmeritvijo. Prav tako sta na tem delu dve izraziti abrazijsko-agradacijski ledeniški grbini z grebenom na vzhodni strani. Med temi oblikami je tudi obsežno območje kopastih moren. Na pobočjih Županje drage so izraziti grebeni bočnih moren, ki nakazujejo maksimalni obseg nekdanje poledenitve, v dnu so prav tako razporejeni številni grebeni umikalnih bočnih moren in kopaste morene. V dnu Županje drage se je zaključil ledeniški jezik, tako da je vzhodni del dna zapolnjen in uravnan z obsežnimi proglacialnimi sedimenti. Zato opredeljujemo Županje njive kot predledeniško kraško polje.

Istočno od bazena Smrekove drage, ledenjački pokrov se slijevao prema istoku u ledenjački jezik, koji je ispunjavao jugozapadni dio Županja drage. U području višeg reljefa između Smrekove drage i Županja drage sačuvani su brojni reljefni oblici koji ukazuju na smjer kretanja ledenjaka. Postoji opsežno područje abrazijsko-egzaracijskih humaka, koje su svojim drenažnim dijelom orijentirane prema istoku. To su dva područja užljebljenih morena s istom orijentacijom. Na ovom području postoje i dvije izrazite abrazijsko-agradacijske ledenjačke humke s grebenom na istočnoj strani. Među tim oblicima je i opsežno područje humkastih morena. Na obroncima Županja drage izraženi su grebeni bočnih morena, koji ukazuju na maksimalni opseg nekadašnjeg zaleđenja, a brojni grebeni povlačećih bočnih morena i humkastih morena raspoređeni su i na dnu. Ledenjački jezik završavao je na dnu Županja drage, pa je istočni dio dna ispunjen i zaravnjen opsežnim proglacijalnim sedimentima. Stoga Županjske njive definiramo kao predglacijalno krško polje.



Slika 17: Morfografska karta ledeniških reliefnih oblik, sedimentov in obsega poledenitve na severozahodnem delu Gorskega kotarja.

Slika 17: Morfografska karta ledenjačkih oblika reljefa, sedimenata i opsega zaleđenja u sjeverozapadnom dijelu Gorskog kotara.

Na vzhodnem delu Risnjaka se je razvil ledenik, ki je na severni strani pritekal iz osrednjega dela ledeniškega pokrova Gorskega kotarja, na južni strani pa se je oblikoval v obsežni, podolgovati kotanji imenovani Podcajtige, med Snježnikom in Risnjakom. Pod grebenom Snježnika se je led akumuliral v treh krnicah, južno od Podcajtige pa v večjih kontah. Ledenik je odtekal proti severu, kjer se je združil z ledeniškim pokrovom Gorskega kotarja na območju kotanj Šegine, Zelinski lug, Svinjska kuča, Lividraga in Japetova šegina, v okolici vzpetine Veliki Šeginšček. Od tam je ledeniški pokrov odtekal v treh odtočnih ledenikih: eden je segal proti vzhodu na območje Jelenovega kala, drugi proti severu na Škrbčov laz, tretji pa na severovzhodu proti naselju Gerovo.

U istočnom dijelu Risnjaka razvio se ledenjak koji je sa sjeverne strane tekao iz središnjeg dijela goranskog ledenjačkog pokrova, a s južne strane formirao se u velikom, izduženom bazenu zvanom Podcajtige, između Snježnika i Risnjaka. Ispod grebena Snježnika led se nakupljao u tri pukotine, a južno od Podcajtiga u većim ponikvama. Ledenjak je tekao prema sjeveru, gdje se spajao s goranskim ledenjačkim pokrovom na području bazena Šegine, Zelinski lug, Svinjska kuća, Lividrag i Japetova šegina, u blizini uzvisine Veliki Šeginšček. Odatle se ledenjački pokrov slijevao u tri drenažna ledenjaka: jedan se protezao prema istoku do područja Jelenovo kala, drugi prema sjeveru do Škrbčovog laza, a treći prema sjeveroistoku do naselja Gerovo.

V Podcajtigi, med grebenom Snježnika in Risnjakom, so dobro izraženi sledovi ledeniške denudacije in agradacije. Pod grebenom Snježnika se nahajajo tri krnice, iz katerih so krniški ledeniki polzeli proti vzhodu. Na zahodnem pobočju Podcajtige pod temi krnicami leži obsežno

območje abrazijsko-eksaracijskih grbin, medtem ko dno Podcajtige prekrivajo ledeniški sedimenti z množico morenskih grebenov, ki so usmerjeni v smeri nekdanjega toka ledenika proti severu. V zahodnem delu dna so vidne tudi žlebičaste morene. V skrajnem severnem delu podolgovate kotanje Podcajtige, kjer se dno nekoliko intenzivneje spusti, se smer morenskih grebenov usmeri proti severovzhodu, pri čemer so se oblikovale številne abrazijsko-agradacijske ledeniške grbine. Na strmem pobočju severno od Velikega Risnjaka se razprostira obsežno območje abrazijsko-eksaracijskih grbin, ki kažejo smer toka ledenika proti severovzhodu. Na zahodnem delu tega prehoda se nahaja še obsežno območje žlebičastih moren.

U Podcajtigi, između grebena Snježnika i Risnjaka, dobro su vidljivi tragovi ledenjačke denudacije i agradacije. Ispod grebena Snježnika nalaze se tri jaruge iz kojih su se jaruge provukle prema istoku. Na zapadnoj padini Podcajtige, ispod tih jaruga, leži opsežno područje abrazijsko-egzaracijskih grebena, dok je dno Podcajtige prekriveno ledenjačkim sedimentima s mnoštvom morenskih grebena, koji su orijentirani u smjeru nekadašnjeg ledenjačkog toka prema sjeveru. Žljebaste morene vidljive su i u zapadnom dijelu dna. U krajnjem sjevernom dijelu izduženog bazena Podcajtige, gdje se dno nešto intenzivnije spušta, smjer morenskih grebena usmjeren je prema sjeveroistoku, s formiranjem brojnih abrazijsko-agradacijskih ledenjačkih jaruga. Na strmoj padini sjeverno od Velikog Risnjaka nalazi se opsežno područje abrazijsko-egzaracijskih grebena, koji ukazuju na smjer ledenjačkog toka prema sjeveroistoku. U zapadnom dijelu ovog prolaza nalazi se i opsežno područje užljebljenih morena.

V kotanjah v okolici Velikega Šeginjščka, ki je v času poledenitve deloval kot nunatak, se pojavljajo številni morenski grebeni, večinoma prečno usmerjeni glede na nekdanji ledeniški tok, kar ustreza seriji umikalnih moren. Med njimi so številne kopaste morene. Dna kotanj zapolnjujejo fluvioglacialni nanosi, ki so večinoma postglacialnei , saj so na ledeniških nanosih v njihovi bližini opazni številni erozijski jarki. Iz območja teh kotanj se je obsežen ledeniški pokrov odtekal v treh smereh.

U udubljenjima oko Velikog Šeginjščka, koji je tijekom ledenjaka djelovao kao nunatak, pojavljuju se brojni morenski grebeni, uglavnom orijentirani poprečno na nekadašnji ledenjački tok, što odgovara nizu povlačećih morena. Među njima su brojne humkaste morene. Dna udubljenja ispunjena su fluvioglacijalnim naslagama, koje su uglavnom postglacijalne, jer su na ledenjačkim naslagama u njihovoj blizini vidljivi brojni erozioni jarci. Iz područja tih udubljenja opsežan ledenjački pokrov tekao je u tri smjera.

Manjši odtočni ledenik je odtekal proti vzhodu, v območje Jelenovega kala, kjer je bil ledeniški jezik širok okoli 400 m in dolg približno 800 m. Na tem območju se nahaja večje število grbinastih moren in obsežna akumulacija ledeniških sedimentov, pri čemer se je ta odtočni ledenik zaključil na območju vrtač.

Manji drenažni ledenjak tekao je prema istoku, u područje Jelenova kala, gdje je ledenjački jezik bio širok oko 400 m i dug oko 800 m. Na ovom području nalazi se veliki broj humkastih morena i velika akumulacija ledenjačkih sedimenata, pri čemu ovaj drenažni ledenjak završava u području vrtača.

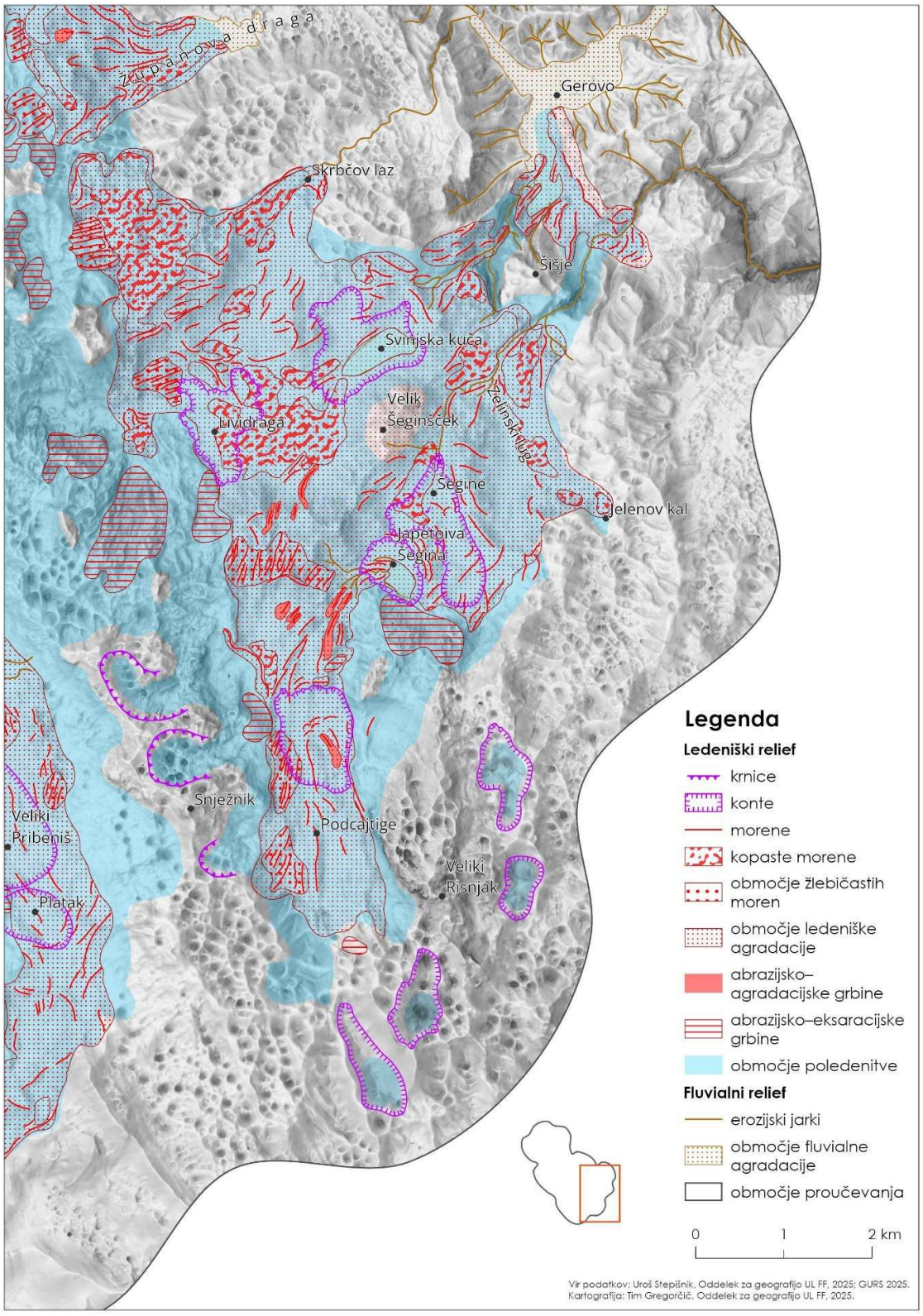
Drug odtočni ledenik je polzel proti severu v območje Škrbčevega laza; njegova širina je dosegala okoli 500 m, dolžina pa približno 800 m. Na zahodnem robu tega ledenika se ohranjajo visoki grebeni bočnih moren, dno kotanje, kamor se je ledenik iztekal, pa zapolnjujejo številne grbinaste morene. Iz čela tega ledenika je odtekal proglacialni tok po dolgem erozijskem jarku, ki se je po 2,5 km iztekel v zahodni del Gerovskega polja.

Još jedan izlazni ledenjak puzao je prema sjeveru u područje Škrbčevog Laza; njegova širina dosezala je oko 500 m, a duljina oko 800 m. Na zapadnom rubu ovog ledenjaka sačuvani su

visoki grebeni bočnih morena, a dno bazena u koji je ledenjak utjecao ispunjeno je brojnim humkastim morenama. S čela ovog ledenjaka tekao je proglacijalni tok duž dugog erozijskog jarka, koji se nakon 2,5 km ulijevao u zapadni dio Gerovskog polja.

Najobsežnejši odtočni ledenik z omenjenega ledeniškega platoja je odtekal proti severovzhodu. Bil je širok približno 2 km in je v dolžini okoli 2,5 km segal vse do Gerovskega polja. Okoli vzpetine Šišje, ki je bila v času poledenitve nunatak, se je ledenik razcepil v dva vzporedna kraka, ki sta se nato ponovno združila na območju današnjega naselja Gerovski Kraj. En krak je potekal nekoliko bolj proti vzhodu in se zaključil vzhodno od naselja Gerovski Kraj, kjer so še danes ohranjeni številni čelni morenski grebeni, usmerjeni prečno na nekdanjo smer ledenika. Večji krak odtočnega ledenika je odtekal proti severu in prekril celoten južni del Gerovskega polja, kjer so ohranjene številne bočne morene. Obsežni fluvioglacialni nanosi kažejo, da je Gerovsko polje predledeniškega tipa; to je hkrati največje tovrstno polje na območju Gorskega kotarja.

Najopsežniji drenažni ledenjak sa spomenute ledenjačke visoravni tekao je prema sjeveroistoku. Bio je širok otprilike 2 km i dosezao je sve do Gerovskog polja u svojoj duljini od oko 2,5 km. Oko uzvisine Šišje, koja je za vrijeme ledenjaka bila nunatak, ledenjak se cijepao u dvije paralelne grane, koje su se potom ponovno spajale na području današnjeg naselja Gerovski Kraj. Jedna grana išla je nešto istočnije i završavala istočno od naselja Gerovski Kraj, gdje su i danas sačuvani brojni frontalni morenski grebeni orijentirani poprečno na nekadašnji smjer ledenjaka. Veća grana drenažnog ledenjaka tekla je prema sjeveru i prekrivala cijeli južni dio Gerovskog polja, gdje su sačuvane brojne bočne morene. Opsežni fluvioglacijalni nanosi ukazuju na to da je Gerovsko polje predglacijalnog tipa; ujedno je i najveće polje te vrste u Gorskom kotaru.



Slika 18: Morfografska karta ledeniških reliefnih oblik, sedimentov in obsega poledenitve na vzhodnem delu Gorskega kotarja.

Slika 18: Morfografska karta ledenjačkih oblika reljefa, sedimenata i opsega zaleđenja u istočnom dijelu Gorskog kotara.

Na južnem delu Gorskega kotarja je ledeniški pokrov odtekal proti jugu med Crnim vrhom na zahodu in grebenom Snježnika na vzhodu, pri čemer je njegova širina dosegala približno 3,5 km. Led se je gibal čez velike kotanje (t. i. konte), ki so usmerjene v smeri sever–jug: na severu se nahaja konta Veliko Snežno, južno je Veliki Pribeniš, na skrajnem jugu pa konta Platak. Kraške kotanje imajo razmeroma neizrazit obod, saj je bila ledeniška denudacija na tem območju zelo intenzivna, hkrati pa so konte prekrite z obsežnimi ledeniškimi nanosi.

U južnom dijelu Gorskog kotara, ledenjački pokrov tekao je prema jugu između Crnog vrha na zapadu i grebena Snježnika na istoku, širine približno 3,5 km. Led se kretao preko ponikvi orijentiranih u smjeru sjever-jug: na sjeveru je bazen Velikog Snežna, na jugu bazen Velikog Pribeniša, a na krajnjem jugu bazen Platka. Krški bazeni imaju relativno neizrazit rub, jer je ledenjačka denudacija na ovom području bila vrlo intenzivna, a istovremeno su konte prekrivene opsežnim ledenjačkim naslagama.

Med kontami se pojavljajo številni grebeni moren. V severnem delu so morenski grebeni usmerjeni v smeri sever–jug (bočne morene), v južnem delu pa pretežno pravokotno na nekdanji ledeniški tok (zahod–vzhod), kar ustreza nekdanjim umikalnim čelnim morenam. V bližini kont so prav tako prepoznavne žlebičaste morene z usmeritvijo sever–jug. Pri Crnem vrhu se nahaja tudi območje abrazijsko-eksaracijskih grbin, ki kažejo smer ledeniškega toka proti jugu. Celoten odtočni ledenik je bil razdeljen v dva vzporedna kraka, ki ju je ločeval greben Jasenovica, delujoč v času poledenitve kot nunatak. Na strmem pobočju Gorskega kotarja nad Grobničkim poljem se je ledeniški pokrov razčlenil v več vzporednih ledeniških jezikov. Tu so ohranjeni obsežni ledeniški sedimenti, grebeni čelnih in bočnih moren ter številne grbinaste morene. Pod morenskimi nanosi se nahajajo erozijski jarki, po katerih so se pretakali proglacialni tokovi s sedimentom. Ta fluvioglacialni sediment je zapolnil celotno Grobničko polje.

Između konta javljaju se brojni morenski grebeni. U sjevernom dijelu, morenski grebeni su orijentirani u smjeru sjever-jug (lateralne morene), dok su u južnom dijelu uglavnom okomiti na nekadašnji ledenjački tok (zapad-istok), što odgovara nekadašnjim povlačećim frontalnim morenama. U blizini konta prepoznatljive su i žljebaste morene s orijentacijom sjever-jug. Na Crnom vrhu nalazi se i područje abrazijsko-egzaracijskih grebena, koji ukazuju na smjer ledenjačkog toka prema jugu. Cijeli drenažni ledenjak bio je podijeljen u dva paralelna kraka, odvojena grebenom Jasenovica, koji je tijekom oledbe djelovao kao nunatak. Na strmoj padini Gorskog kotara iznad Grobničkog polja, ledenjački pokrov se raspao u nekoliko paralelnih ledenjačkih jezika. Ovdje su sačuvani opsežni ledenjački sedimenti, grebeni frontalnih i bočnih morena te brojne rebraste morene. Ispod morenskih naslaga nalaze se erozioni rovovi duž kojih su tekli proglacijalni tokovi sa sedimentom. Ovaj fluvioglacijalni sediment ispunio je cijelo Grobničko polje.

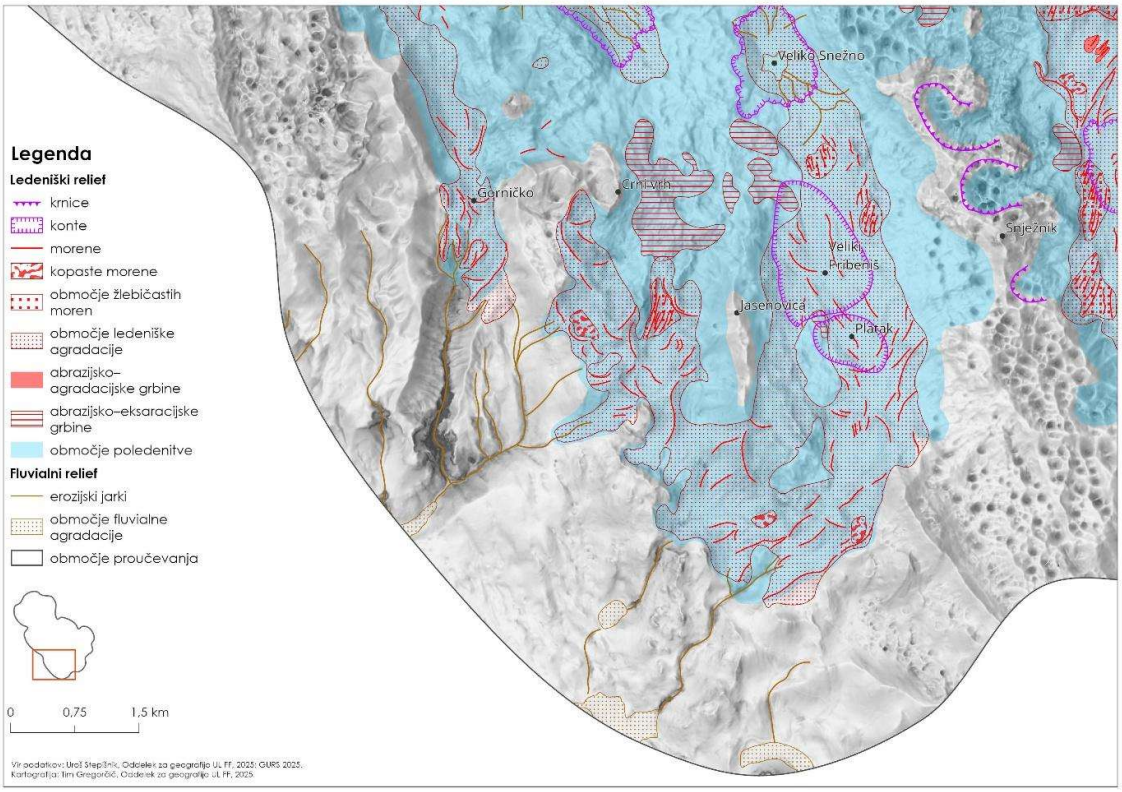
Ker Grobničko polje nima kraškega odtoka (vode iz njega površinsko odtekajo v kanjon Riečine), ga ne opredeljujemo kot kraško polje, temveč kot kraško kotlino.

Budući da Grobničko polje nema krški odvod (voda iz njega teče preko površine u kanjon Riečine), ne definira se kao krško polje, već kao krški bazen.

Na južnem delu Gorskega kotarja se je zahodno od Crnega vrha razvil obsežen odtočni ledenik, ki je potekal vzdolž podolgovate reliefne kotanje z ledinskim imenom Gorničko. Njegova širina je znašala približno 800 metrov, dolžina pa okoli 1500 metrov. Iztekel se je na strmem pobočju Gorskega kotarja nad Grobničkim poljem, kjer so ohranjene obsežne

ledeniške akumulacije, vključno z izrazitimi vzdolžnimi grebeni bočnih moren. Pod ledeniškimi nanosi se razteza izrazit erozijski jarek, po katerem so se nekdaj pretakali proglacialni tokovi.

U južnom dijelu Gorskog kotara, zapadno od Crnog vrha, razvio se opsežni drenažni ledenjak, koji se proteže duž izduženog reljefnog bazena s ledenjačkim nazivom Gorničko. Njegova širina bila je približno 800 metara, a duljina oko 1500 metara. Izlijevao je na strmoj padini Gorskog kotara iznad Grobničkog polja, gdje su sačuvane opsežne ledenjačke akumulacije, uključujući izrazite uzdužne grebene bočnih morena. Ispod ledenjačkih naslaga proteže se izrazit erozijski jarak, duž kojeg su nekada tekli proglacijalni potoci.



Slika 19: Morfografska karta ledeniških reliefnih oblik, sedimentov in obsega poledenitve na južnem delu Gorskega kotarja.

Slika 19: Morfografska karta ledenjačkih oblika reljefa, sedimenata i opsega zaleđenja u južnom dijelu Gorskog kotara.

Iz osrednjega ledeniškega platoja Gorskega kotarja se je po reliefnem znižanju v smeri Gomanc (tj. proti severozahodu) razvil zelo širok odtočni ledenik, širok približno 2,5 km. Ledeniški tok je potekal prek treh izrazitejših kotanj (kont), poimenovanih Kačje, Rečice in Trstenik. Zaradi intenzivne ledeniške denudacije in kasnejše agradacije ledeniških sedimentov te konte nimajo izrazitih obodov; njihova dna so uravnana s fluvialnimi sedimenti, ki so jih nanosili potoki po poledenitvi.

Iz središnje ledenjačke visoravni Gorskog kotara, nakon što se reljef snizio u smjeru Gomanca (tj. prema sjeverozapadu), razvio se vrlo širok drenažni ledenjak, širine otprilike 2,5 km. Ledenjački tok prolazio je kroz tri izraženije udubine (ponikve), nazvane Kačje, Rečice i Trstenik. Zbog intenzivne ledenjačke denudacije i naknadnog taloženja ledenjačkih

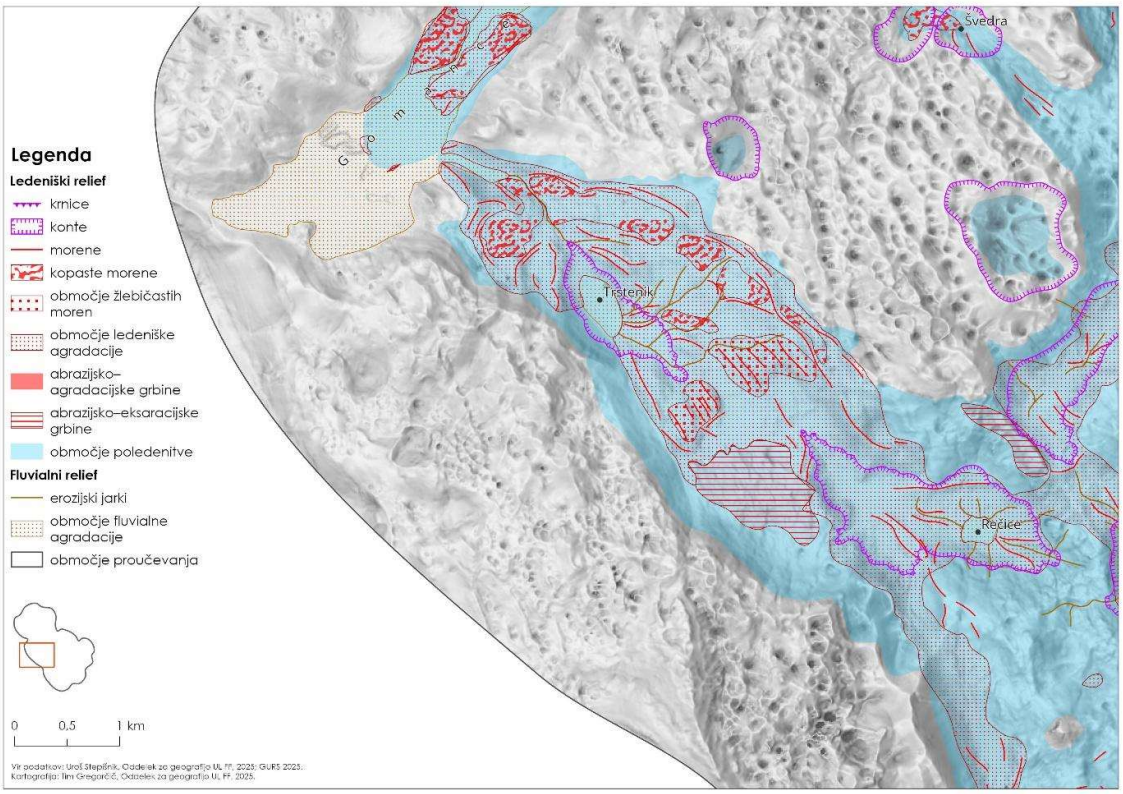
sedimenata, ove uvale nemaju izražene rubove; njihova dna su zaravnana fluvijalnim sedimentima koje su potoci taložili nakon zaleđenja.

Celotno območje nekdanjega odtočnega ledenika je prekrito z ledeniškimi sedimenti. V jugovzhodnem delu prevladujejo vzdolžni morenski grebeni, ki predstavljajo nekdanje bočne morene, v osrednjem delu pa prehajajo v sistem žlebičastih moren z usmeritvijo proti severozahodu. Tam se nahaja tudi obsežno območje abrazijsko-eksaracijskih ledeniških grbin, ki imajo prav tako severozahodno usmeritev. V skrajnem severozahodnem delu so na severnem pobočju ohranjene izrazite bočne morene, ki razkrivajo nekdanjo višino poledenitve, nižje v dolini pa so razmeroma kaotično razporejeni morenski grebeni in obsežna območja kopastih moren.

Cijelo područje bivšeg drenažnog ledenjaka prekriveno je ledenjačkim sedimentima. U jugoistočnom dijelu dominiraju uzdužni morenski grebeni, koji predstavljaju bivše bočne morene, dok u središnjem dijelu prelaze u sustav užljebljenih morena sa sjeverozapadnom orijentacijom. Tu je i opsežno područje abrazijsko-egzaracijskih ledenjačkih humki, koje također imaju sjeverozapadnu orijentaciju. U krajnjem sjeverozapadnom dijelu, na sjevernoj padini očuvane su izražene bočne morene, koje otkrivaju nekadašnju visinu oledbe, dok se niže u dolini nalaze relativno kaotično raspoređeni morenski grebeni i opsežna područja humkastih morena.

Odtočni ledenik se je zaključil na robu kraškega polja Gomance, kjer zasledimo tudi njegove skrajne morene. Proglacialni tok, ki je odtekal iz tega ledenika, je delno prispeval k akumulaciji sedimentov na kraškem polju Gomance.

Izlazni ledenjak završavao je na rubu krškog polja Gomance, gdje se mogu vidjeti i njegove završne morene. Proglacijalni tok koji je tekao s ovog ledenjaka djelomično je pridonio nakupljanja sedimenata na krškom polju Gomance.



Slika 20: Morfografska karta ledeniških reliefnih oblik, sedimentov in obsega poledenitve na zahodnem delu Gorskega kotarja.

Slika 20: Morfografska karta ledenjačkih oblika reljefa, sedimenata i opsega zaleđenja u zapadnom dijelu Gorskog kotara.

2.4 Geomorfološka interpretacija reliefnih oblik na območju Snežnika in Gorskega kotarja / Geomorfološka interpretacija reljefnih oblika na području Snežnika i Gorskog kotara

V nadaljevanju so predstavljene glavne reliefne oblike na proučevanem območju pogorij Snežnika in Gorskega kotarja. Na območju prevladujejo kraške geomorfne oblike, med katerimi posebno pozornost namenjamo glaciokraškim oblikam, ki predstavljajo osrednje območje proučevanja. Poleg specifičnih glaciokraških oblik se na območju pojavlja tudi širok spekter ledeniških reliefnih oblik, ki niso omejene zgolj na območja glaciokrasa, temveč jih uvrščamo med splošne ledeniške oblike.

U nastavku su prikazani glavni oblici reljefa na proučavanom području podnožja Snežnika i Gorskog kotara. Područjem dominiraju krški geomorfološki oblici, među kojima posebnu pozornost posvećujemo glaciokrškim oblicima, koji predstavljaju središnje područje istraživanja. Osim specifičnih glaciokrških oblika, područje sadrži i širok raspon glacijalnih reljefnih oblika, koji nisu ograničeni samo na glaciokrška područja, već su klasificirani kao opći glacijalni oblici.

2.4.1 Kraške oblike / Krški oblici

Na območju pogorij Snežnika in Gorskega kotarja kraški geomorfni sistem razvrščamo v dva tipa: globoki kras in glaciokras. Globoki kras je tip krasa, v katerem je dominantni proces preperevanja raztapljanje in zato prevladuje kemična denudacija. Padavinske vode na globokem krasu vtekajo v podzemlje in oblikujejo jame. V tem okolju je agradacija sedimenta minimalna. Zaradi hidroloških značilnosti ta tip krasa opredeljujemo kot globoki kras, saj je gladina podzemne vode vedno pod površjem. V globokem krasu so geomorfni procesi, ki vplivajo na oblikovanje površja, aktivni v dveh geomorfnih okoljih: na površju in v podzemlju. Neenakomerno raztapljanje in denudacija vodita do nastanka razčlenjenega kraškega površja, oblikujejo se kopaste vzpetine, uvale in korozijske vrtače. Jame v podzemlju se zaradi denudacije površja preslikajo na površje in se tako oblikujejo brezstrope jame in udorne vrtače. Spodjedanje v jamah zaradi podzemnih tokov povzroča nastanek udornic na površju.

Na području podnožja Snežnika i Gorskog kotara, krški geomorfološki sustav klasificira se u dva tipa: duboki krš i glaciokrš. Duboki krš je tip krša u kojem je dominantni proces trošenja otapanje, te stoga prevladava kemijska denudacija. Oborine u dubokom kršu otječu u podzemlje i formiraju špilje. U ovom okruženju, agradacija sedimenta je minimalna. Zbog svojih hidroloških karakteristika, ovaj tip krša definiran je kao duboki krš, budući da je razina podzemne vode uvijek ispod površine. U dubokom kršu, geomorfološki procesi koji utječu na formiranje površine aktivni su u dva geomorfološka okruženja: na površini i u podzemlju. Neravnomjerno otapanje i denudacija dovode do formiranja disecirane krške površine, formirajući humke, uvale i korozijske vrtače. Špilje u podzemlju se preslikavaju na površinu zbog površinske denudacije, formirajući tako špilje i vrtače bez stropa. Potkopavanje špilja zbog podzemnih struja uzrokuje formiranje klizišta na površini.

Glaciokras pa je tip krasa, ki je bil preoblikovan z ledeniki, zato na površju prevladujejo ledeniške reliefne oblike. Nekatere od njih se razvijejo izključno v poledenelih kraških okoljih, zato jih opredeljujemo kot glaciokraške. Zaradi kemične in mehanske denudacije

podledeniških tokov so se oblikovala številna brezna in kotliči. V denudacijskih okoljih so se oblikovale tudi konte. Na agradacijskih glaciokraških okoljih pa so predledeniška kraška polja.

Glaciokrš je vrsta krša koji je transformiran ledenjacima, pa ledenjački oblici reljefa dominiraju površinom. Neki od njih razvijaju se isključivo u ledenjačkim krškim okruženjima, zbog čega se definiraju kao glaciokrš. Zbog kemijske i mehaničke denudacije subglacijalnih tokova, formirali su se brojni ponori i bazeni. U denudacijskim okruženjima formirali su se i konte. U agradacijskim glaciokrškim okruženjima postoje predglacijalna krška polja.

2.4.1.1 Oblike globokega krasa / Duboki krški oblici

V okviru procesnogeomorfološkega pristopa globoki kras predstavlja kraški geomorfni sistem, kjer prevladuje raztapljanje nad preostalimi oblikami preperevanja. Kemična denudacija kot dominanten geomorfni proces oblikuje površje, saj voda odnaša produkte raztapljanja. Ta način preperevanja in denudacije ni prisoten le na površju, ampak tudi v podzemlju, kamor padavinske vode vtekajo. Agradacija sedimenta v globokem krasu je zanemarljiva in ne vpliva bistveno na oblikovanje površja. Zaradi različnih načinov delovanja kemične denudacije na površju in v podzemlju globoki kras delimo na dve značilni okolji: površje in podzemlje.

Unutar procesno-geomorfološkog pristupa, duboki krš predstavlja krški geomorfološki sustav gdje otapanje dominira nad drugim oblicima trošenja. Kemijska denudacija, kao dominantni geomorfološki proces, oblikuje površinu, jer voda odnosi produkte otapanja. Ovaj način trošenja i denudacije prisutan je ne samo na površini, već i u podzemlju, gdje teku oborine. Akumulacija sedimenta u dubokom kršu je zanemariva i ne utječe značajno na formiranje površine. Zbog različitih načina kemijske denudacije na površini i u podzemlju, duboki krš se dijeli na dva karakteristična okoliša: površinski i podzemni.

Površinska denudacija v globokem krasu je predvsem rezultat raztapljanja kamnine in sedimenta s padavinsko vodo. Neenakomerno raztapljanje povzroča topografske razlike, zaradi česar so določeni deli reliefa višji od drugih. Denudacija, ki deluje pretežno v navpični smeri, izoblikuje v tlorisu okroglaste površinske kraške oblike, kot so kopaste vzpetine, uvale ter korozijske vrtače.

Površinska denudacija u dubokom kršu prvenstveno je rezultat otapanja stijena i sedimenta oborinama. Neravnomjerno otapanje uzrokuje topografske razlike, čineći određene dijelove reljefa višima od drugih. Denudacija, koja djeluje pretežno u vertikalnom smjeru, formira zaobljene površinske krške značajke u tlocrtu, poput humaka, uvala i korozijskih vrtača.

Raztapljanje in kemična denudacija v podzemlju na oblikovanost površja vplivata posredno. Z raztapljanjem v podzemlju nastajajo različni tipi jam. Zaradi denudacije površja in mehanskih nestabilnosti jam, ki so nastale v vadozni, epifreatični ali freatični coni, te iz podzemnih oblik postopno prehajajo na površje. Deficit mase jamskega prostora se izraža v oblikovanju kotanj na površju, kot so udorne vrtače, brezstrope jame in udornice (Šušteršič, 2000; Stepišnik, Grlj, 2018; Lipar, Stepišnik, Ferk, 2019; Stepišnik, 2020a).

Otapanje i kemijska denudacija u podzemlju neizravno utječu na formiranje površine. Različite vrste špilja nastaju otapanjem u podzemlju. Zbog površinske denudacije i mehaničkih nestabilnosti špilja koje su nastale u vadoznoj, epifreatičnoj ili freatičnoj zoni, one postupno prelaze iz podzemnih oblika na površinu. Deficit mase špiljskog prostora izražava se u formiranju udubljenja na površini, poput vrtača, špilja bez stropa i ponikvi (Šušteršič, 2000.; Stepišnik, Grlj, 2018.; Lipar, Stepišnik, Ferk, 2019.; Stepišnik, 2020a).

2.4.1.2 Kopaste vzpetine / Konkavna brda

Neenakomerna dinamika kemične denudacije površja globokega krasa povzroča vertikalno razčlenjevanje površja, zato so nekateri deli v višji, drugi pa v nižji topografski legi (Šušteršič, 1986; Šušteršič, 1994; Šušteršič, 2000; Stepišnik, 2020). Višje dele reliefa imenujemo kopaste vzpetine, nižje dele pa uvale(Gams, Kunaver, Radinja, 1973; Stepišnik, 2020). Tip reliefa, kjer prevladujejo te oblike, označujemo kot kopasti kras.

Neravnomjerna dinamika kemijske denudacije duboke krške površine uzrokuje vertikalno disekciju površine, zbog čega se neki dijelovi nalaze u višem, a drugi u nižem topografskom položaju (Šušteršič, 1986.; Šušteršič, 1994.; Šušteršič, 2000.; Stepišnik, 2020.). Viši dijelovi reljefa nazivaju se brdovitim uzvišenjima, a niži dijelovi uvalama (Gams, Kunaver, Radinja, 1973.; Stepišnik, 2020.). Tip reljefa gdje prevladavaju ovi oblici naziva se brdoviti krš.

Oblikovanost pobočij kraških vzpetin je odvisna od dinamike procesov, predvsem od razmerja med mehanskim in kemičnim preperevanjem kamnine (Kaufmann, 2009; Stepišnik, Kosec, 2011). Na območjih intenzivnega kemičnega preperevanja in zanemarljivega mehanskega preperevanja so pobočja strmejša (Williams, 1972; Gams, 2003). kraških okoljih z obratnim razmerjem so pobočja vzpetin manj strma. Večino pobočij kopastih vzpetin v Sloveniji lahko opredelimo kot uravnotežena kraška pobočja (Stepišnik, Kosec, 2011).

Oblik padina krških uzvišenja ovisi o dinamici procesa, posebno o odnosu između mehaničkog i kemijskog trošenja stijene (Kaufmann, 2009.; Stepišnik, Kosec, 2011.). U područjima intenzivnog kemijskog trošenja i zanemarivog mehaničkog trošenja, padine su strmije (Williams, 1972.; Gams, 2003.). U krškim okruženjima s obrnutim odnosom, padine uzvišenja su manje strme. Većinu padina uzvišenja u Sloveniji možemo definirati kao uravnotežene krške padine (Stepišnik, Kosec, 2011.).

2.4.1.3 Uvale / Uvale

Uvale so kraške kotanje, značilne za kopasti kras, ki jih moramo opredeljevati izključno kot reliefna znižanja med kopastimi vzpetinami (Williams, 2004; Williams, 2006; Stepišnik, 2020; Stepišnik, Gostinčar, 2020). Njihov obod v reliefu ni jasen, saj zvezno prehajajo v pobočja vzpetin, zato je njihova razmejitev v prostoru lahko le približna. V profilu so skledastih oblik z uravnanim dnom, v dneh imajo navadno tudi vrtače. Njihove dimenzije so odvisne od razporeditve kopastih vzpetin, a navadno širine presegajo premer nekaj sto metrov. Nastale so s pospešeno vertikalno denudacijo vzdolž tektonsko deformiranih con ali vzdolž manj odpornih kamnin (Čar, 1982; Ćalić, 2011). Zaradi raznolikosti lokalnih geoloških struktur so lahko njihove oblike različne. Če je kopasti kras okoli uval organiziran v kopaste hrbte, potem so med njimi razpotegnjene kotanje, ki jih imenujemo jarkaste uvale. Te lahko sestojijo iz več uval z ločenimi dni ali pa imajo enotno podolgovato dno. Dolžine takšnih uval lahko dosegajo tudi nekaj kilometrov.

Uvale su krške udubine, tipične za kupolasti krš, koje se moraju definirati isključivo kao reljefne udubine između kupolastih uzvišenja (Williams, 2004.; Williams, 2006.; Stepišnik, 2020.; Stepišnik, Gostinčar, 2020.). Njihov obim u reljefu nije jasan, jer kontinuirano prelaze u obronke uzvišenja, pa njihovo prostorno razgraničenje može biti samo približno. U profilu su zdjelastog oblika s ravnim dnom, a u dubini obično imaju i vrtače. Njihove dimenzije ovise o rasporedu

kupolastih uzvišenja, ali im širina obično prelazi nekoliko stotina metara u promjeru. Nastale su ubrzanom vertikalnom denudacijom duž tektonski deformiranih zona ili duž manje otpornih stijena (Čar, 1982.; Ćalić, 2011.). Zbog raznolikosti lokalnih geoloških struktura, njihovi oblici mogu varirati. Ako je kupolasti krš oko uvala organiziran u kupolaste grebene, tada se između njih nalaze proširene udubine, koje se nazivaju rovovskim uvalama. Mogu se sastojati od nekoliko uvala s odvojenim dnom ili imati jedno izduženo dno. Duljine takvih uvala mogu doseći nekoliko kilometara.

2.4.1.4 Vrtače / Vrtače

Termin vrtača uporabljamo kot skupno ime za kraške kotanje, ki jih literatura (Gams, Kunaver, Radinja, 1973) opredeljuje kot okroglaste kotanje s premerom do okoli sto metrov in globino do okoli deset metrov. Te kotanje morajo biti bolj široke kot globoke

Pojam vrtača koristi se kao zajednički naziv za krške udubine, koje literatura (Gams, Kunaver, Radinja, 1973.) definira kao okrugle udubine promjera do oko sto metara i dubine do oko deset metara. Ove udubine moraju biti šire više nego duboke.

Vrtače nekateri avtorji opredeljujejo kot eno najbolj tipičnih kraških oblik (Ford, Williams, 2007) ali diagnostičnih oblik kraškega površja (Sweeting, 1973). V tlorisu niso popolnoma okrogle, ampak lahko kažejo na nekoliko raztegnjeno obliko z različno razčlenjenimi robovi. Razlikujejo se predvsem po oblikovanosti pobočij in dna, zato jih Slovenska kraška terminologija (Gams, Kunaver, Radinja, 1973) razvršča med skledaste, lijakaste in kotlaste vrtače.

Neki autori definiraju vrtače kao jedan od najtipičnijih krških oblika (Ford, Williams, 2007.) ili dijagnostičkih oblika krške površine (Sweeting, 1973.). U tlocrtu nisu potpuno okrugle, već mogu pokazivati blago izduženi oblik s različito raščlanjenim rubovima. Razlikuju se uglavnom po obliku padina i dna, zbog čega ih Slovenska kraška terminologija (Gams, Kunaver, Radinja, 1973.) klasificira kao zdjelaste, lijevkaste i zdjelaste vrtače.

Na osnovi morfogeneze ločimo več različnih tipov vrtač, ki opisujejo glavne procese njihovega oblikovanja ali preoblikovanja. Prevladujoča interpretacija razvoja kraškega površja pripisuje nastanek večine vrtač raztapljanju površja. Te vrtače imenujemo korozijske vrtače. Vrtače, ki nastanejo z udorom podzemnega prostora, imenujemo udorne vrtače. Oblika *udornih vrtač* je odvisna predvsem od stopnje njihovega razvoja. V zgodnjih fazah imajo strma navpična in stenasta pobočja, dno pa je prekrito s podornimi bloki. V njihovih dneh so pogosti vhodi v jamske prostore. V starejših fazah razvoja mehansko in kemično preperevanje ter pobočni procesi povzročijo preoblikovanje strme udorne vrtače v kotanjo z blagimi pobočji in rahlo uravnanim ali konkavnim dnom. Udorne vrtače lahko ločimo od drugih vrtač le v zgodnjih stopnjah razvoja, medtem ko udornim vrtačam na starejših stopnjah razvoja zaradi njihovih oblik, ki so enake korozijskim vrtačam, najpogosteje pripisujemo korozijski nastanek.

Na temelju morfogeneze razlikuje se nekoliko različitih tipova vrtača, koji opisuju glavne procese njihovog nastanka ili transformacije. Dominantno tumačenje razvoja krške površine pripisuje nastanak većine vrtača otapanju površine. Ove vrtače nazivaju se korozijskim vrtačama. Vrtače nastale urušavanjem podzemnog prostora nazivaju se urušnim vrtačama. Oblik urušnih vrtača ovisi uglavnom o stadiju njihovog razvoja. U ranim fazama imaju strme vertikalne i zidne padine, a dno je prekriveno urušnim blokovima. U njihovim danima česti su ulazi u špiljske prostore. U starijim fazama razvoja, mehaničko i kemijsko trošenje i procesi nagiba uzrokuju transformaciju strme urušne vrtače u udubinu s blagim padinama i blago ravnim ili konkavnim dnom. Prodorne vrtače mogu se razlikovati od ostalih vrtača samo u ranim

fazama razvoja, dok se prodorne vrtače u starijim fazama razvoja najčešće pripisuju nastanku korozije zbog svojih oblika, koji su identični korozijskim vrtačama.

2.4.2 Glaciokraške in ledeniške oblike / Glaciokrški i glacijalni oblici reljefa

Glaciokras ali ledeniški kras je poseben tip krasa, kjer so ledeniki popolnoma preoblikovali površje, tako da je velika večina oblik na teh območjih rezultat ledeniških procesov. Kljub temu pa so na teh območjih kraške oblike, ki sicer nastanejo s součinkovanjem kraških in ledeniških procesov.

Glaciokrs ili ledenjački krš je posebna vrsta krša gdje su ledenjaci potpuno preobrazili površinu, tako da je velika većina oblika na tim područjima rezultat ledenjačkih procesa. Međutim, na tim područjima postoje i krški oblici koji nastaju međudjelovanjem krških i ledenjačkih procesa.

Z vidika procesne geomorfologije glaciokras delimo enako kot glacialni geomorfni sistem na denudacijsko in agradacijsko okolje. Procesi v denudacijskih okoljih obsegajo predvsem eksaracijo, abrazijo ter erozijo podledeniških vod. Najvišje hidrogeološke cone krasa, vključno s cono talnega prenikanja in epikraško cono, so bile na večini glaciokraških območij popolnoma denudirane. Po umiku ledenikov cona vertikalnega prenikanja izdanja na površini kot kamnito površje brez sedimentov, z mnogimi vhodi v brezna, značilnimi za to hidrogeološko cono krasa. Na kamniti glaciokraški površini so ohranjene različne oblike erozije podledeniških vod, ledeniške abrazije in eksaracije. Najznačilnejše oblike, ki nastanejo zaradi kombinacije ledeniške abrazije in eksaracije, so abrazijsko-eksaracijske ledeniške grbine. Nekatere abrazijsko-eksaracijske ledeniške grbine imajo na vrhu izravnane površine, običajno vzdolž lezik. Večje izravnane površine ledeniških grbin in drugih delov glaciokrasa, ki so posebej značilne za plastnate apnence, so poimenovane lašti (Kunaver, 1962). Med najpogostejšimi glaciokraškimi denudacijskimi oblikami so kotliči. Značilne so tudi konte, velike kotanje, ki se nahajajo na različnih mestih nekdanje poledenitve, tako v denudacijskih kot agradacijskih območjih in tudi v bližini nekdanjih sklenjenih območij poledenitve. Med ledeniške denudacijske oblike, ki niso značilne le za glaciokraška območja in so prisotne na proučevanem območju, uvrščamo tudi krnice in abrazijsko-agradacijske grbine.

S gledišta procesne geomorfologije, glaciokrš se dijeli na denudacijske i agradacijske okoliše, baš kao i glacijalni geomorfološki sustav. Procesi u denudacijskim okolišima uglavnom uključuju eksaraciju, abraziju i eroziju subglacijalnih voda. Najviše hidrogeološke zone krša, uključujući zonu infiltracije tla i epikršnu zonu, bile su potpuno denudirane u većini glaciokrastnih područja. Nakon povlačenja ledenjaka, zona vertikalne infiltracije izbila je na površinu kao stjenovita površina bez sedimenata, s mnogim ulazima u ponore karakteristične za ovu hidrogeološku zonu krša. Na stjenovitoj glaciokrškoj površini sačuvani su različiti oblici subglacijalne vodene erozije, glacijalne abrazije i eksaracije. Najkarakterističniji oblici koji nastaju kombinacijom glacijalne abrazije i eksaracije su abrazijsko-egzaracijske glacijalne humbe. Neke abrazijsko-egzaracijske ledenjačke humke imaju spljoštene površine na vrhu, obično uz letvice. Veće spljoštene površine ledenjačkih humki i drugih dijelova glaciokrša, koje su posebno karakteristične za slojevite vapnence, nazivaju se lašti (Kunaver, 1962.). Među najčešćim denudacijskim oblicima glaciokrasta su kotlići. Karakteristični su i ponikve, velike udubine smještene na raznim mjestima bivšeg oledenja, kako u denudacijskim i agradacijskim područjima, tako i u blizini bivših zatvorenih područja oledenja. Glacijalnim denudacijskim oblicima koji nisu karakteristični samo za glaciokrška područja, a prisutni su na proučavanom području, pripadaju i škrapa i abrazijsko-agradacijske humke.

V nižjih visokogorskih predelih so pogoste tudi glaciokraške agradacijske oblike. Pogoste so sufozijske vrtače na ledeniških sedimentih. Med značilne glaciokraške akumulacijske oblike uvrščamo predledeniška kraška polja (Stepišnik, 2020a; Stepišnik, 2021c). Med ledeniške agradacijske oblike, ki niso značilne le za glaciokraška območja in so prisotne na proučevanem območju, uvrščamo tudi žlebičaste morene in kopaste morene.

U nižim visokoplaninskim područjima česti su i glaciokrški agradacijski oblici. Uobičajene su sufuzijske vrtače na glacijalnim sedimentima. Tipični glaciokrški akumulacijski oblici uključuju predglacijalna krška polja (Stepišnik, 2020a; Stepišnik, 2021c). Glacijalni agradacijski oblici koji nisu tipični samo za glaciokrastična područja i prisutni su na proučavanom području, uključuju i rebraste morene i humčaste morene.

2.4.2.1 Denudacijske glaciokraške in ledeniške oblike / Denudacijski glaciokrški i glacijalni oblici reljefa

2.4.2.2 Kotliči / Kotlići

Ledeniška denudacija je pogosto popolnoma odstranila zgornje dele krasa, vključno s celotno cono talnega prenikanja in epikraško cono. Na površju posledično izdanja globlja hidrogeološka cona krasa, ki je cona vertikalnega prenikanja. Zanjo je značilno, da se v njej zaradi vertikalnega odtoka večjih zbranih vodnih tokov oblikujejo brezna. Na površju nekdanjega erozijskega območja glaciokrasa so tako številni vhodi v brezna, ki so v času poledenitve služila kot podledeniški požiralniki. Med taljenjem ledenikov, še posebej v obdobjih ablacije, so pod visokim tlakom v brezna vtekale podledeniške vode, prenašale ledeniške sedimente in tako preoblikovale in oblikovale jamske sisteme. Brezna glaciokrasa so torej v času poledenitve delovala kot podledeniški odtočni jamski sistemi.

Glacijalna denudacija često je potpuno uklanjala gornje dijelove krša, uključujući cijelu zonu infiltracije tla i epikršku zonu. Kao rezultat toga, na površinu izbija dublja hidrogeološka zona krša, zona vertikalne infiltracije. Karakterizira je stvaranje ponora zbog vertikalnog otjecanja većih prikupljenih tokova vode. Na površini bivšeg glaciokrškog erozijskog područja nalaze se brojni ulazi u ponore, koji su služili kao subglacijalni ponori tijekom oledenja. Tijekom topljenja ledenjaka, posebno tijekom razdoblja ablacije, subglacijalne vode su pod visokim tlakom ulazile u ponore, noseći glacijalne sedimente i tako transformirajući i formirajući špiljske sustave. Glaciokrški ponori su stoga tijekom oledenja funkcionirali kao subglacijalni drenažni špiljski sustavi.

Nekateri podledeniški požiralniki so bili med poledenitvijo ali po umiku ledenikov delno ali v celoti zasuti s sedimenti. To je na površju oblikovalo vrsto navpičnih kotanj različnih globin. Vhodi v te kotanje so značilni po ostrih robovih in okrogli ali podolgovati obliki, odvisno od geoloških struktur. Pobočja kotanj so strma, včasih celo navpična. Premeri obodov variirajo od nekaj metrov do nekaj deset metrov, pri čemer se globina kotanj razlikuje med brezni (globlje) in kotliči (plitvejše). Kotliči običajno ne presegajo globine nekaj deset metrov, pogosto pa so plitvejši (Kunaver, 1962). Dno kotličev je pogosto zapolnjeno z ledeniškim sedimentom, gruščem ali ledom. V njih se pogosto ohranja sneg tudi skozi celo leto (Kunaver, 1962), zato literatura razlaga njihov nastanek kot posledico lokalno pospešenega raztapljanja s snežnico (Kunaver, 1962; Gams, 2003; Veress, 2009a; Veress, 2016b). Kotliči so zato pogosto opredeljeni kot visokogorski ekvivalent vrtač (Habič, 1969; Habič, 1978; Ford, Williams, 2007b).

Neke su subglacijalne vrtače djelomično ili u potpunosti ispunjene sedimentima tijekom zaleđenja ili nakon povlačenja ledenjaka. Time je na površini nastao niz vertikalnih udubljenja različitih dubina. Ulazi u ta udubljenja karakteriziraju se oštrim rubovima i okruglim ili izduženim oblikom, ovisno o geološkim strukturama. Nagibi udubljenja su strmi, ponekad čak i vertikalni. Promjeri rubova variraju od nekoliko metara do nekoliko desetaka metara, s time da se dubina udubljenja razlikuje između ponora (dublji) i kotlića (plići). Kotlovi obično ne prelaze dubinu od nekoliko desetaka metara, ali su često plići (Kunaver, 1962.). Dno kotlića često je ispunjeno ledenjačkim sedimentom, šljunkom ili ledom. Često zadržavaju snijeg tijekom cijele godine (Kunaver, 1962.), pa literatura objašnjava njihov nastanak kao rezultat lokalno ubrzanog topljenja topljenjem snijega (Kunaver, 1962.; Gams, 2003.; Veress, 2009a; Veress, 2016b). Kotlići se stoga često definiraju kao visinski ekvivalent vrtača (Habič, 1969.; Habič, 1978.; Ford, Williams, 2007b).

Preoblikovanje kotličev je najpogosteje povezano z mehanskim razpadom navpičnih sten ali pobočij. Zaradi mehanskega preperevanja se postopno zmanjšuje naklon okoliških pobočij, kotliče postopoma spreminja v oblike, podobne vrtačam. Zato jih literatura včasih opredeljuje kot *kotličaste vrtače* (Habič, 1978).

Transformacija kotlića najčešće se povezuje s mehaničkim razgradnjom okomitih zidova ili pokosa. Zbog mehaničkog trošenja, nagib okolnih pokosa postupno se smanjuje, postupno pretvarajući kotliće u oblike slične vrtačama. Stoga ih literatura ponekad definira kao kotlovske ponore (Habič, 1978).

2.4.2.3 Konte / Uvale

Konte so velike kraške kotanje, značilne za visokogorski kras, ki jih zaradi lege na območjih nekdanje poledenitve ali v njihovi bližini obravnavamo kot glaciokraške oblike. Njihova raznolikost se kaže v obliki, naklonih pobočij, razčlenjenosti dna in prekritosti s sedimenti. Obodi kont so lahko okroglasti, izrazito elipsasti ali razvejani, pobočja pa so strma, ponekod celo prepadna, pogosto prekrita z melišči ali podornimi bloki. Nekatera pobočja so blaga in uravnotežena, druga pa razčlenjena z erozijskimi jarki, ki so nastali v času, ko so se prek njih še pretakali podledeniški ali predledeniški vodotoki. Dna kont so raznolika – nekatera so prekrita s sedimenti, druga pa razkrivajo kamninsko podlago. V dneh so navadno kotliči, ki so lahko različnih oblik in dimenzij. Dimenzije kont so zelo različne, saj lahko v premeru segajo od nekaj sto metrov do več kot en kilometer, njihova globina pa pogosto presega več deset metrov (Stefanovski, Stepišnik, 2024a).

Uvale su velike krške udubine tipične za visokoplaninski krš, koje se zbog svog položaja u ili blizu područja bivšeg ledenjaka smatraju glaciokrškim formacijama. Njihova raznolikost ogleda se u obliku, nagibima padina, fragmentaciji dna i sedimentnoj pokrivenosti. Obim konta može biti okrugao, izrazito eliptičan ili razgranat, a padine su strme, ponegdje čak i strme, često prekrivene siparima ili kliznim blokovima. Neke su padine blage i uravnotežene, dok su druge fragmentirane erozijskim jarcima koji su nastali u vrijeme kada su preko njih još tekli subglacijalni ili predglacijalni vodotoci. Dna uvala su raznolika - neka su prekrivena sedimentima, dok druga otkrivaju matičnu stijenu. Obično su to bazeni, koji mogu biti različitih oblika i dimenzija. Dimenzije stožaca uvelike variraju, jer im se promjer može kretati od nekoliko stotina metara do više od jednog kilometra, a njihova dubina često prelazi nekoliko desetaka metara (Stefanovski, Stepišnik, 2024a).

Čeprav se konte pogosto opredeljujejo kot glaciokraške kotanje, jih najdemo tudi zunaj območij, kjer so bili nekoč ledeniki. Te običajno ležijo v bližini nekdanjih poledenelih območij,

pogosto na nekoliko nižjih nadmorskih višinah. Na podlagi oblike in dimenzij lahko konte razdelimo na dva tipa. Prvi tip so obledeniške konte, ki niso bile neposredno preoblikovane z ledeniki, čeprav so bile verjetno zapolnjene z ledom zaradi inverzne ravnovesne meje ledenikov. Drugi tip so podledeniške konte, ki so bile preoblikovane z ledeniško denudacijo in agradacijo, ko so ledeniki polzeli čez njih (Kodelja, Žebre, Stepišnik, 2013; Stefanovski, Stepišnik, 2024a).

Iako se uvale često definiraju kao glaciokrške depresije, one se nalaze i izvan područja gdje su nekoć postojali ledenjaci. Obično se nalaze u blizini bivših ledenjačkih područja, često na nešto nižim nadmorskim visinama. Na temelju svog oblika i dimenzija, konte se mogu podijeliti u dvije vrste. Prva vrsta su predglacijalne uvale, koji nisu izravno transformirani ledenjacima, iako su vjerojatno bili ispunjeni ledom zbog inverzne ravnotežne granice ledenjaka. Druga vrsta su subglacijalne uvale, koji su transformirani glacijalnom denudacijom i agradacijom dok su ledenjaci puzali preko njih (Kodelja, Žebre, Stepišnik, 2013.; Stefanovski, Stepišnik, 2024a).

Obledeniške konte so nastale na območjih, kjer ledeniki v hladnejših obdobjih pleistocena niso neposredno polzeli, vendar so bile zaradi inverzne ravnovesne meje ledenikov verjetno zapolnjene z ledom. Njihova oblika je rezultat kombinacije kraških in ledeniških procesov, pri čemer je kemično preperevanje tektonsko pretrtih kamnin pospešilo raztapljanje površja. V nekaterih primerih so bile dovolj globoke, da se je v njih akumuliral led, kar je spodbudilo nadaljnje preperevanje kamnine z zmrzalno in kemično erozijo. Ko je led dosegel kritično maso, je začel delovati kot kontni ledenik, kar je dodatno vplivalo na poglabljanje in širjenje kont. V podzemlje je poleg raztopljenega sedimenta pritekala tudi velika količina drobnozrnatega materiala, ki je nastajal zaradi ledeniške denudacije. Navadno jih prepoznamo po strmi stopnji, ki je blizu dna na severnem pobočju, južna pobočja imajo navadno manjše naklone in so parabolične oblike. Po drugi strani so podledeniške konte nastale tam, kjer so ledeniki dejansko polzeli čez površje in ga preoblikovali s procesi ledeniške denudacije in agradacije. Njihova oblika je močno odvisna od smeri polzenja ledenika – pritočna pobočja so ostrejša in strmejša zaradi ledeniške eksaracije, medtem ko so odtočna pobočja bolj blaga in pogosto zvezno prehajajo v okolico. Na odtočnih pobočjih je močna ledeniška abrazija znižala teren, v skrajnih primerih celo odstranila dele pobočij in spremenila konte v polkrožne reliefne oblike, podobne krnicam. Dna podledeniških kont so običajno bolj ravna kot pri obledeniških kontah, zapolnjena z ledeniškimi in pobočnimi sedimenti ter razčlenjena s kotliči in vrtačami (Stefanovski, Stepišnik, 2024a).

Glacijalne uvale nastali su u područjima gdje ledenjaci nisu izravno napredovali tijekom hladnijih razdoblja pleistocena, već su vjerojatno bili ispunjeni ledom zbog inverzne ravnotežne granice ledenjaka. Njihov oblik rezultat je kombinacije krških i glacijalnih procesa, pri čemu kemijsko trošenje tektonski frakturiranih stijena ubrzava otapanje površine. U nekim slučajevima bili su dovoljno duboki da se u njima može nakupiti led, što je potaknulo daljnje trošenje stijene mrazom i kemijskom erozijom. Kada je led dosegao kritičnu masu, počeo je djelovati kao konteski ledenjak, dodatno produbljujući i proširujući kontese. Osim otopljenog sedimenta, u podzemlje je procurila i velika količina sitnozrnatog materijala, koji je nastao uslijed glacijalne denudacije. Obično se prepoznaju po strmoj stepenici pri dnu na sjevernoj padini, dok južne padine obično imaju manje nagibe i paraboličnog su oblika. S druge strane, subglacijalne uvale nastale su tamo gdje su se ledenjaci zapravo kretali po površini i transformirali je procesima glacijalne denudacije i agradacije. Njihov oblik snažno ovisi o smjeru puzanja ledenjaka - pritoke padine su oštrije i strmije zbog glacijalne eksarije, dok su drenažne padine blaže i često se besprijekorno stapaju u okolno područje. Na drenažnim padinama, jaka glacijalna abrazija snizila je teren, u ekstremnim slučajevima čak uklanjajući dijelove padina i transformirajući kontese u polukružne reljefne oblike, slične jarugama. Dna

subglacijalnih konta obično su ravnija od dna glacijalnih konta, ispunjena glacijalnim i padinskim sedimentima, te razdvojena bazenima i vrtačama (Stefanovski, Stepišnik, 2024a).

2.4.2.4 Krnice / Vodotoci

Krnice se običajno nahajajo v povirnih delih ledeniških dolin ali pa samostojno na strmih pobočjih. Sestavlja jih osrednja skledasto oblikovana kotanja, obdana s treh strani s strmimi stenami, na odtočnem delu pa je nekoliko privzdignjen ledeniški prag. Njihove dimenzije lahko segajo od nekaj sto metrov širokih kotanj do večkilometrskih, amfiteatrskih oblik s stenami, visokimi več sto metrov. Pomembno vlogo pri masni bilanci ledenikov v krnicah ima vetrni nanos snega, zato so najbolje razvite tam, kjer prevladujoči vetrovi prinašajo velike količine snega ali pa kjer vetrna deflacija snega ni učinkovita.

Ledenjaci se obično nalaze u izvorištima ledenjačkih dolina ili stoje samostalno na strmim padinama. Sastoje se od središnje zdjelaste depresije okružene s tri strane strmim zidovima, s blago podignutim ledenjačkim pragom na izlazu. Njihove dimenzije mogu varirati od depresije široke nekoliko stotina metara do nekoliko kilometara dugih, amfiteatralnih oblika sa zidovima visokim nekoliko stotina metara. Snijeg nošen vjetrom igra važnu ulogu u masi ledenjaka u ledenjacima, pa su najbolje razvijeni tamo gdje prevladavajući vjetrovi donose velike količine snijega ili gdje je deflacija snijega uzrokovana vjetrom neučinkovita.

Nastanek krnice se začenja s kopičenjem firna v pobočni kotanji, ki ga sčasoma teža preoblikuje v ledenik. Krnica se postopoma širi in poglablja zaradi kombinacije procesov, znanih kot nivacija, ki vključujejo zmrzalno preperevanje in pobočne procese zaradi prisotnosti ledeniških voda okoli firna oziroma okoli ledenika. Značilen konkavni vzdolžni profil je posledica rotacijskega polzenja, pri katerem se tokovne linije pri vznožju stene nagibajo stran od površja ledenika in proti površju ledenika pri iztoku. Ob polzenju ledu deluje abrazija kamninske podlage, ki krnico poglablja.

Formiranje ledenjaka započinje nakupljanjem firna u padini, koja se na kraju gravitacijom transformira u ledenjak. Ledenjak se postupno širi i produbljuje zbog kombinacije procesa poznatih kao nivacija, koji uključuju mrazno trošenje i procese na padini zbog prisutnosti ledenjačkih voda oko firna ili ledenjaka. Karakteristični konkavni uzdužni profil rezultat je rotacijskog puzanja, u kojem se linije toka u podnožju zida naginju od površine ledenjaka prema površini ledenjaka na izlazu. Kako se led puže, djeluje abrazija temeljne stijene, produbljujući ledenjak.

Širjenje krnic je posledica intenzivnih pobočnih procesov in zmrzalnega preperevanja, ki poteka zaradi razbremenjevanja. Ti procesi delujejo v pobočju nad ledenikom in tudi pod višino ledu, kajti v zgornjem delu krniškega ledenika se navadno pojavi krniška poč oziroma robna ledeniška razpoka (nem. *bergschrund*), ki ločuje krniški ledenik od gorskega pobočja. V razpoki se kopičijo ledeniške vode, ki ob ponovnem zmrzovanju povzročajo intenzivno zmrzalno preperevanje in širitev razpok, ki nastanejo zaradi razbremenjevanja (Benn, Evans, 2010).

Širenje ledenjaka posljedica je intenzivnih padinskih procesa i mraznog trošenja, koje nastaje zbog reljefa. Ti procesi djeluju u padini iznad ledenjaka, a također i ispod visine leda, jer se u gornjem dijelu ledenjaka Krnica obično pojavljuje bergschrund ili rubna ledenjačka pukotina (njemački: bergschrund) koja odvaja ledenjak Krnica od planinske padine. U pukotini se nakupljaju ledenjačke vode koje pri ponovnom smrzavanju uzrokuju intenzivno mrazno trošenje i širenje pukotina koje nastaju zbog reljefa (Benn, Evans, 2010).

2.4.2.5 Abrazijsko-eksaracijske grbine / Abrazivno-egzaracijske grbe

Abrazijsko-eksaracijske ledeniške grbine so kamnite vzpetine na območju nekdanje poledenitve, katerih daljša os je vzporedna s tokom ledenika. Na pritočni strani imajo zglajeno, bolj položno pobočje, ki je posledica ledeniške abrazije. Odtočna stran pa je strma in ima ostre odlomne robove, ki nastanejo zaradi eksaracije kamninskih blokov iz podlage. Takšne oblike so zelo pogoste na erozijsko preoblikovanih ledeniških površjih in se v literaturi poimenujejo s francoskim izrazom, ki dobesedno pomeni »ovčja grbina«: roche moutonnée. Te ledeniške grbine so lahko zelo majhne, manjše od 1 m, ali pa v dolžino merijo več sto metrov.

Abrazijsko-egzaracijske ledenjačke humke su stjenovita uzvišenja u području bivšeg ledenjaštva, čija je dulja os paralelna s tokom ledenjaka. Na strani ulaska imaju gladak, blaži nagib, što je rezultat ledenjačke abrazije. Strana ulaska, s druge strane, je strma i ima oštre rubove odloma, koji nastaju zbog egzaracije kamenih blokova s podloge. Takvi oblici su vrlo česti na erozijsko transformiranim ledenjačkim površinama i u literaturi se nazivaju francuskim izrazom, koji doslovno znači "ovčja grba": roche moutonnée. Ove ledenjačke humke mogu biti vrlo male, manje od 1 m, ili mogu biti duge nekoliko stotina metara.

Oblika abrazijsko-eksaracijskih ledeniških grbin je posledica porazdelitve napetosti v kamnitih izboklinah pod ledenikom. Na pritočni strani grbin so tlačne napetosti višje, kar pospešuje abrazijo, zato se tam pogosto pojavljajo ledeniške raze. Hkrati se zaradi višjih pritiskov led tali in talna voda (ledenica) odteka pod ledenikom na odtočno stran grbine, kjer je pritisk manjši. Zaradi manjše tlačne obremenitve voda tam ponovno zamrzne, kar spodbuja zmrzalno preperevanje v razpokah ter povzroči ujetje razrahljanih kamninskih blokov. Na ta način nastopi eksaracija, ki ustvari strmejše, iztrgane robove na odtočni strani grbine (Benn, Evans, 2010).

Oblik abrazijsko-egzaracijskih ledenjačkih humki rezultat je raspodjele naprezanja u stijenskim izdancima ispod ledenjaka. Na uzvodnoj strani humki tlačna naprezanja su veća, što ubrzava abraziju, zbog čega se tamo često javljaju ledenjački izdanci. Istovremeno, zbog većih tlakova, led se topi, a podzemna voda (ledenjak) teče ispod ledenjaka na nizvodnu stranu humka, gdje je tlak niži. Zbog nižeg tlačnog opterećenja, voda se tamo ponovno smrzava, što potiče mrazno trošenje u pukotinama i uzrokuje zarobljavanje rastresitih stijenskih blokova. Na taj način dolazi do egzaracije, koja stvara strmije, poderane rubove na nizvodnoj strani humka (Benn, Evans, 2010).

2.4.2.6 Abrazijsko-agradacijske grbine / Abrazijsko-agradacijske grbe

Abrazijsko-agradacijske ledeniške grbine predstavljajo posebno obliko subglacialnih reliefnih oblik, ki nastanejo s kombinacijo abrazijskih in agradacijskih procesov vzdolž smeri ledeniškega toka. Te reliefne oblike spominjajo na drumline, vendar se od njih razlikujejo po značilni zgradbi, saj jih na pritočni strani gradi kamninska podlaga, na odtočni strani pa se nadaljujejo v podolgovat greben ledeniških sedimentov. Te reliefne oblike se v tuji literaturi pogosto pojavljajo kot dobesedni prevod angleškega termina, in sicer osamelec z repom (ang. *crag-and-tail*).

Abrazijsko-agradacijski glacijalni humpi posebna su vrsta subglacijalnih reljefnih oblika nastalih kombinacijom abrazijskih i agradacijskih procesa duž smjera glacijalnog toka. Ovi

reljefni oblici nalikuju drumlinima, ali se od njih razlikuju po karakterističnoj strukturi, jer su na strani dotoka izgrađeni na temeljnoj stijeni, a na strani odtoka nastavljaju se u izduženi greben glacijalnih sedimenata. Ovi reljefni oblici često se pojavljuju u stranoj literaturi kao doslovni prijevod engleskog izraza, crag-and-tail.

Nastanek abrazijsko-agradacijskih ledeniških grbin je vezan na območja, kjer ledenik prečka odpornejše dele kamninske podlage. Zaradi velikih napetosti na pritočni strani ledeniške grbine pride do intenzivne abrazije in erozije okoliškega mehkejšega sedimenta. Kamninska podlaga na pritočnem delu deluje kot zaščitna ovira, ki zmanjšuje erozijsko moč ledenika na svoji odtočni strani. V tem odtočnem območju znižanih napetosti se sediment ohrani, hkrati pa lahko prihaja do agradacije ledeniških sedimentov, zaradi česar se oblikuje značilen podolgovat greben oziroma sedimentni 'rep' (Benn, Evans, 2010).

Formiranje abrazijsko-agradacijskih ledenjačkih humki povezano je s područjima gdje ledenjak prelazi preko otpornijih dijelova matične stijene. Zbog visokih naprezanja na strani ulaska ledenjačke humke dolazi do intenzivne abrazije i erozije okolnog mekšeg sedimenta. Matična stijena na strani ulaska djeluje kao zaštitna barijera, smanjujući erozijsku moć ledenjaka na strani ulaska. U ovom području ulaska smanjenih naprezanja, sediment se očuvava, ali istovremeno može doći do agradacije ledenjačkih sedimenata, što rezultira formiranjem karakterističnog izduženog grebena ili sedimentnog 'repa' (Benn, Evans, 2010).

2.4.3 Agradacijske glaciokraške in ledeniške oblike / Agregacijski glaciokrški i glacijalni oblici reljefa

2.4.3.1 Morene (grebeni) / Morene (grebeni)

Morene so lahko zelo splošen izraz, ki se ga lahko uporablja za kakršnekoli ledeniške sedimente, a v geomorfologiji se ga navadno uporablja za opredelitev reliefne oblike, in sicer grebena, ki ga gradijo ledeniški sedimenti, in v tem kontekstu termin uporabljamo tudi v okviru naše raziskave. Morene so lahko različnih oblik in so nastale v različnih ledeniških okoljih, zato jih ločimo na več tipov, odvisno od položaja na ledeniku in mehanizma nastanka. Na proučevanem območju smo identificirali bočne in čelne grebene moren, najpogostejše pa so umikalne morene.

Morene mogu biti vrlo općenit pojam koji se može koristiti za bilo koje ledenjačke sedimente, ali u geomorfologiji se obično koristi za definiranje oblika reljefa, naime grebena izgrađenog ledenjačkim sedimentima, te u tom kontekstu taj pojam koristimo i u našem istraživanju. Morene mogu imati različite oblike i nastale su u različitim ledenjačkim okruženjima, pa se dijele na nekoliko tipova, ovisno o položaju na ledenjaku i mehanizmu nastanka. Na području istraživanja identificirali smo bočne i frontalne morenske grebene, pri čemu su povlačeće morene najčešće.

Bočne ali lateralne morene so vzporedni grebeni moren, ki se odlagajo vzdolž robov ledenika. Sediment priteka iz ledenika, in sicer zaradi taljenja roba ledenika. Del materiala predstavljajo tudi sedimenti, ki so posledica erozijskih procesov v stenah nad ledenikom.

Bočne morene su paralelni grebeni morene taloženi duž rubova ledenjaka. Sediment teče s ledenjaka dok se topi. Dio materijala je također sediment iz procesa erozije u zidovima iznad ledenjaka.

Čelne morene so grebeni ledeniškega sedimenta, ki se je odložil ob čelu ledenika. Običajno odražajo maksimalni obseg ledenikov. Čelne morene navadno niso dobro ohranjene, saj so jih med odlaganjem erodirali proglacialni tokovi.

Frontalne morene su grebeni ledenjačkog sedimenta taloženi duž prednjeg dijela ledenjaka. Obično odražavaju maksimalni opseg ledenjaka. Frontalne morene obično nisu dobro očuvane, jer su erodirane proglacijalnim tokovima tijekom taloženja.

Umikalne oziroma stadialne morene se pogosto pojavljajo kot serija prečnih grebenov, ki potekajo preko doline za čelno moreno. Najpogosteje se oblikujejo pravokotno na bočne morene, a so lahko tudi povsem vzporedne s smerjo polzenja ledenika. Nastanejo med stadiali, torej v stabilnih obdobjih čela ledenika, v času ko se je obseg poledenitve postopoma zmanjševal (Benn, Evans, 2010).

Povlačeće ili stadijalne morene često se pojavljuju kao niz poprečnih grebena koji se protežu preko doline iza frontalne morene. Najčešće se formiraju okomito na bočne morene, ali mogu biti i potpuno paralelne sa smjerom napredovanja ledenjaka. Formiraju se tijekom stadijala, tj. tijekom stabilnih razdoblja ledenjačke fronte, kada se opseg zaleđenja postupno smanjuje (Benn, Evans, 2010).

2.4.3.2 Žlebičaste morene / Žljebljene morene

Žlebičaste morene (ang. fluted moraines) predstavljajo posebno obliko subglacialnih reliefnih oblik, ki nastanejo kot rezultat preoblikovanja podlage zaradi ledeniških napetosti. Gre za podolgovate, linearne grebene tilov, ki ležijo vzporedno s smerjo ledeniškega toka, med njimi pa so kotanje. V višino in širino merijo od nekaj deset centimetrov do nekaj metrov, medtem ko njihova dolžina lahko doseže tudi več sto metrov. Za te reliefne oblike je značilno, da se običajno pojavljajo v skupinah vzporednih grebenov, njihova oblika pa je pretežno ravna ali le rahlo ukrivljena, čeprav lahko okoli ovir naglo spremenijo smer.

Žljebaste morene posebna su vrsta subglacijalnog reljefa koji nastaje deformacijom temeljne stijene uslijed ledenjačkog naprezanja. To su izduženi, linearni grebeni stijena koji leže paralelno sa smjerom ledenjačkog toka, s udubljenjima između njih. Visina i širina im variraju od nekoliko desetaka centimetara do nekoliko metara, dok im duljina može doseći nekoliko stotina metara. Ovi reljefni oblici karakteriziraju se time što se obično javljaju u skupinama paralelnih grebena, a oblik im je uglavnom ravan ili samo blago zakrivljen, iako mogu naglo promijeniti smjer oko prepreka.

Njihova razporeditev je tesno povezana z lokalnimi pogoji podlage, predvsem s topografijo in trdnostjo sedimentov. Za njihov nastanek obstaja več teoretičnih modelov, med katerimi prevladuje interpretacija, ki njihov razvoj povezuje s subglacialno deformacijo sedimentov odtočni strani ovir v podlagi ledenika. Pri tem procesu se sediment pod pritiskom stisne v majhne votline za ovirami, najpogosteje za večjimi balvani. Žlebičaste morene lahko nastanejo tudi z erozijskimi procesi, kar dokazujejo sledi na podlagi nekaterih subglacialnih tilov. V tem primeru gre za brazde, ki so jih izdolbli balvani, štrleči iz ledeniške podlage (Benn, Evans, 2010; Summerfield, 2013).

Njihova rasprostranjenost usko je povezana s lokalnim uvjetima podloge, posebno topografijom i čvrstoćom sedimenata. Postoji nekoliko teorijskih modela za njihovo nastajanje, među kojima je dominantno tumačenje da je njihov razvoj povezan sa subglacijalnom deformacijom sedimenata na nizvodnoj strani prepreka u ledenjačkom koritu. U tom procesu

se sediment pod tlakom komprimira u male šupljine iza prepreka, najčešće iza većih gromada. Žljebaste morene također mogu nastati procesima erozije, o čemu svjedoče tragovi na podnožju nekih subglacijalnih tillova. U ovom slučaju, to su brazde iskopane gromadama koje strše iz ledenjačkog korita (Benn, Evans, 2010.; Summerfield, 2013.).

2.4.3.3 Kopaste morene / Humkaste morene

Kopaste morene (ang. *hummocky moraines*) predstavljajo značilen tip ledeniških sedimentnih teles, ki imajo na površju močno razgiban, **vegast** oziroma **razčlenjen** relief. Njihove posamezne vzpetine so običajno različno velike, z višinskim razponom, ki lahko variira od le nekaj metrov do več deset metrov. Najpogosteje se pojavljajo v območjih **stagnirajočih ledenikov** (ang. *stagnant ice*) ali pa so nastale v **podledenih** (ang. *subglacial*) okoljih, kjer je prišlo do zapletenih procesov deformacije in preoblikovanja ledeniškega gradiva.

Humkaste morene su tipičan tip ledenjačkog sedimentnog tijela s vrlo varijabilnim, žilnatim ili diseciranim reljefom na površini. Njihova pojedinačna uzvišenja obično su različite veličine, s rasponom visine koji može varirati od samo nekoliko metara do nekoliko desetaka metara. Najčešće se javljaju u područjima stajaćeg leda ili su nastale u subglacijalnim okruženjima, gdje su se dogodili složeni procesi deformacije i transformacije ledenjačkog materijala.

Obstajate dve glavni interpretaciji nastanka kopastih moren. Ena od interpretacij jih interpretira kot oblike ki nastanejo pod ledenikom in sicer tako, da drobnozrnat ali slabo sortiran **ledenikški sediment** zaradi **pritiska ledu** deformira in vtiska v podledene votline, kjer nastanejo **kupolaste vzpetine**. Druge razlage pa se kopaste morene povezujejo s **taljenjem** ledu, ki je bil močno nasičen s sedimenti. Ko se je ledena gmota postopoma umikala, so se sedimenti razporedili v **kaotične kopaste oblike**, kar odraža neenakomerno taljenje in posedanje blokov ledu (Benn, Evans, 2010).

Postoje dva glavna tumačenja nastanka kupolastih morena. Jedno tumačenje ih tumači kao objekte nastale ispod ledenjaka, naime pritiskom leda koji deformira sitnozrnati ili slabo sortirani ledenjački sediment i utiskuje ga u temeljne šupljine, gdje se formiraju kupolasta uzvišenja. Druga tumačenja povezuju kupolaste morene s otapanjem leda koji je bio jako zasićen sedimentom. Kako se ledena masa postupno povlačila, sedimenti su bili raspoređeni u kaotične kupolaste oblike, odražavajući neravnomjerno topljenje i slijeganje ledenih blokova (Benn, Evans, 2010).

2.4.4 Fluvioglacialne oblike / Fluvioglacijalni oblici reljefa

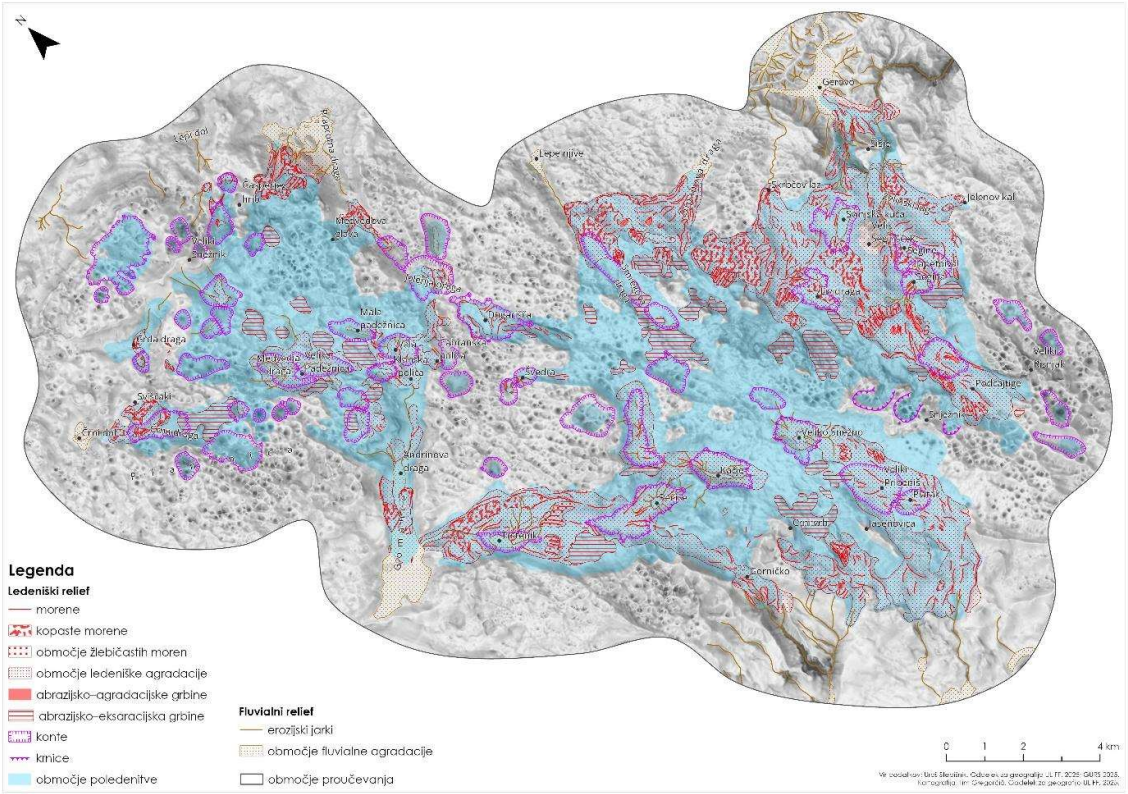
2.4.4.1 Predledeniška kraška polja / Preglacijalna kraška polja

Dobre ohranjenosti ledeniških akumulacij ob nekdanjih ledeniških čelih lahko pripišemo odtoku podledeniške vode v kraški vodonosnik. Kljub temu del podledeniških tokov pod akumulacijskim delom ledenika ne vteka v podzemlje zaradi obilne akumulacije ledeniškega sedimenta, ki deluje kot neprepustna podlaga. Predledeniški tokovi zato površinsko iztekajo iz čela ledenika in odlagajo fluvioglacialni sediment v obliki vršajev. V primeru, da predledeniški vršaji zapolnjujejo večje kraške kotanje z ustreznimi dimenzijami, jih imenujemo predledeniška kraška polja. Ta polja so danes hidrološko neaktivna, saj predledeniški tokovi ne pritekajo več

nanje, čeprav so na poljih pogosto ohranjene njihove struge (Stepišnik, 2015). Starejša literatura ta polja imenuje *piedmontska polja* (Gams, 1978) (it.: *piede di monte* = vznožje gora) ali *piedmontska gorska polja* (Gams, 1978; Gams, 2003), kar pa ni ustrezno, saj večinoma ležijo v visokogorju, pred iztoki nekdanjih ledenikov, ne pa pod gorami (Stepišnik, 2024).

Dobra očuvanost ledenjačkih akumulacija uz bivše ledenjačke fronte može se pripisati otjecanju subglacijalne vode u krški vodonosnik. Međutim, dio subglacijalnih tokova ispod akumulacijskog dijela ledenjaka ne otječe u podzemlje zbog obilne akumulacije ledenjačkog sedimenta, koji djeluje kao nepropusna podloga. Predglacijalni tokovi stoga otječu iz ledenjačke fronte na površini i talože fluvioglacijalni sediment u obliku humaka. U slučaju kada predglacijalni humci ispunjavaju veće krške udubine odgovarajućih dimenzija, nazivaju se predglacijalnim krškim poljima. Ta su polja danas hidrološki neaktivna, jer predglacijalni tokovi više ne utječu u njih, iako su im korita često sačuvana u poljima (Stepišnik, 2015). U starijoj literaturi ova polja se nazivaju piedmontskim poljima (Gams, 1978.) (tal. piede di monte = podnožje planina) ili piedmontskim planinskim poljima (Gams, 1978.; Gams, 2003.), što nije prikladno, jer se uglavnom nalaze u visoravnima, ispred izlaza bivših ledenjaka, ali ne ispod planina (Stepišnik, 2024.).

2.5 Morfografska karta glaciogenih reliefnih oblik in predviden obseg poledenitve / Morfografska karta glaciogenih oblika reljefa i predviđeni opseg zaleđenja



Slika 21: Morfografska karta glaciogenih reliefnih oblik in predviden obseg poledenitve.

Slika 21: Morfografska karta glaciogenih oblika reljefa i predviđeni opseg zaleđenja.

3 Značilnosti sedimentov / Karakteristike sedimenta

Imamo različne vrste sedimentov ki se nahajajo na proučevanem območju. Na območju globokega krasa prekriva površje regolit, ki je značilen za tovrstna kraška okolja. Na glaciokraških okoljih prevladuje ledeniški sediment, na pobočjih pa pobočni sedimenti.

Na području istraživanja pronađene su različite vrste sedimenata. U dubokom krškom području površina je prekrivena regolitom, što je tipično za takve krške okoliše. U glaciokraškim okolišima dominiraju glacijalni sedimenti, dok na padinama dominiraju sedimenti padina.

3.1 Regolit na krasu / Regolit na kršu

Regolit je nesprijeta plast preperine, ki prekriva kamninsko podlago in nastane zaradi dolgotrajnega preperevanja kamnin. Regolit je torej sediment, ki nastaja s preperevanjem matične kamnine na mestu nastanka. Za regolit se uporablja tudi termin preperinski pokrov. Spodnja meja regolita je meja med nepreperelo in preperelo kamnino ter se imenuje fronta preperevanja.

Regolit je rastresiti sloj trošenja koji prekriva temeljnu stijenu i nastaje dugotrajnim trošenjem stijena. Regolit je stoga sediment koji nastaje trošenjem matične stijene na mjestu nastanka. Za regolit se koristi i izraz pokrov trošenja. Donja granica regolita je granica između netrošene i trošene stijene i naziva se fronta trošenja.

Regolit je razdeljen v značilne horizontalne plasti. V spodnjem delu, tik ob fronti preperevanja, se nahaja območje razpokane preperele kamninske podlage. Nad njo so kosi kamnine, ki proti zgornjemu delu prehajajo v vedno bolj fine frakcije. Proti površju so zaradi bližine površja vedno pogostejši organski sedimenti. Spodnji del teh plasti, kjer se nahaja preperela kamninska podlaga in kosi nepreperele kamnine, imenujemo saprolit. Saprolit ostaja na mestu, kjer je nastal, in ga ne premaknejo pobočni premiki ali drugi erozijski procesi.

Regolit je podijeljen na karakteristične horizontalne slojeve. U donjem dijelu, odmah uz frontu trošenja, nalazi se područje ispucale trošene temeljne stijene. Iznad njega nalaze se komadi stijene koji prema gornjem dijelu prelaze u sve finije frakcije. Zbog blizine površine, organski sedimenti su sve češći prema površini. Donji dio tih slojeva, gdje se nalaze trošena temeljna stijena i komadi netrošene stijene, naziva se saprolit. Saprolit ostaje na mjestu gdje je nastao i ne pomiče se pomicanjem padina ili drugim procesima erozije.

V višjih delih regolita, ki so popolnoma ločeni od preperele kamnine nad saprolitom, je preperevanje močno napredovalo in struktura kamninske podlage ni več prepoznavna. Ker je ta del regolita navadno nekoliko premaknjen zaradi denudacijskih procesov lateralno in zaradi procesov spiranja tudi v vertikalni smeri, ga imenujemo mobilni regolit (Summerfield, 2013).

U višim dijelovima regolita, koji su potpuno odvojeni od trošne stijene iznad saprolita, trošenje je značajno napredovalo i struktura matične stijene više nije prepoznatljiva. Budući da je taj dio regolita obično malo pomaknut zbog denudacijskih procesa lateralno, a zbog procesa ispiranja i u vertikalnom smjeru, naziva se mobilnim regolitom (Summerfield, 2013).

Na krasu, zlasti na kamninah, ki imajo večjo mehansko odpornost, kar velja pretežno tudi za celotno območje proučevanja, preperevanje deluje na način, da se plast mobilnega regolita ne oblikuje, temveč na površju ostane predvsem saprolit, kar pomeni, da na površju izdanjajo bloki nepreperele kamninske podlage. Med njimi je oblikovan saprolit, ki ga gradi organski material s klasti mehansko razpadle kamninske podlage. Tovrstno površje krasa, ki ga gradi le plast saprolita, v geomorfologiji imenujemo polgoli kras (Stepišnik, 2024).

Na kršu, posebno na stijenama koje imaju veću mehaničku otpornost, što vrijedi i za cijelo proučavano područje, trošenje djeluje na način da se ne formira sloj mobilnog regolita, već na površini ostaje uglavnom saprolit, što znači da na površinu izlaze blokovi netrošene matične stijene. Među njima se formira saprolit, koji je izgrađen od organskog materijala s klastima mehanički razgrađene matične stijene. Ova vrsta krške površine, izgrađena samo slojem saprolita, u geomorfologiji se naziva polugoli krš (Stepišnik, 2024).

Kraški regolit običajno tvori plitva, pretežno suha in s hranili revna tla. Zaradi njegove diskontinuirane razporeditve, kjer med izdanki nepreperele kamninske podlage nastajajo žepi saprolita, se ustvarjajo izrazito heterogene rastiščne razmere na kratkih razdaljah. Ta mikrohabitatna raznolikost je ključni dejavnik, ki povečuje biodiverziteto na kraških območjih, saj omogoča sobivanje vrst z različnimi ekološkimi zahtevami.

Krški regolit obično tvori plitka, uglavnom suha i hranjivim tvarima siromašna tla. Njegova diskontinuirana rasprostranjenost, gdje se džepovi saprolita formiraju između izdanaka neistrošene podloge, stvara izrazito heterogene uvjete staništa na kratkim udaljenostima. Ova raznolikost mikrostaništa ključni je čimbenik koji povećava bioraznolikost u krškim područjima, jer omogućuje koegzistenciju vrsta s različitim ekološkim zahtjevima.

Vpliv regolita na krasu na vegetacijo je kompleksen. Na delih, kjer je saprolit globlji, se lahko razvijejo bolj zahtevne rastlinske združbe z globljim koreninskim sistemom. Nasprotno pa na območjih, kjer je regolit zelo tanek ali celo odsoten in kamninska podlaga izdanja na površju, najdemo specializirane rastlinske vrste, prilagojene na ekstremne rastiščne pogoje. Te vrste so pogosto endemične za kraška območja in predstavljajo pomemben del regionalne biodiverzitete.

Utjecaj regolita na kršku vegetaciju je složen. U područjima gdje je saprolit dublji, mogu se razviti zahtjevnije biljne zajednice s dubljim korijenovim sustavima. Nasuprot tome, u područjima gdje je regolit vrlo tanak ili ga čak nema, a podloga je izložena površini, nalaze se specijalizirane biljne vrste prilagođene ekstremnim uvjetima staništa. Ove vrste često su endemske za krška područja i predstavljaju važan dio regionalne bioraznolikosti.

Kraški regolit ima tudi značilno hitro drenažo, kar povzroča sušne razmere kljub relativno obilnim padavinam v regiji. To je privedlo do razvoja vegetacije, prilagojene na periodične suše, kar dodatno prispeva k specifičnosti kraških ekosistemov. V prihodnosti bodo te značilnosti regolita na krasu še pomembnejše v kontekstu podnebnih sprememb, saj bodo območja z regolitom, ki lahko zadrži več vlage, morda predstavljala pomembne mikrorefugije za rastlinske vrste.

Krški regolit također ima karakterističnu brzu drenažu, što rezultira sušnim uvjetima unatoč relativno obilnim oborinama u regiji. To je dovelo do razvoja vegetacije prilagođene periodičnim sušama, što dodatno doprinosi specifičnosti krških ekosustava. U budućnosti će ove karakteristike krškog regolita postati još važnije u kontekstu klimatskih promjena, jer područja s regolitom koji može zadržati više vlage mogu predstavljati važne mikrorefugije za biljne vrste.

3.2 Ledeniški sediment / Ledenjački sediment

Ledeniški sediment je nesprijeti material, ki ga je premikal in odlagal ledenik. Zaradi specifičnega načina transporta, pri katerem led vsebuje in premika znatne količine erodiranega materiala, imajo ledeniški sedimenti značilne lastnosti, ki jih ločujejo od drugih vrst sedimentov. Najpogostejšo obliko ledeniškega sedimenta imenujemo til (ang. till), ki predstavlja nesortiran in heterogen sediment, odložen neposredno iz ledu. Za til se žal tudi v strokovni literaturi pogosto uporablja tudi izraz morena, kar pa ni ustrezno, saj je morena reliefna oblika, ki jo gradi ledeniški sediment. Gre za pomembno terminološko razlikovanje v glacialni geomorfologiji, kjer morena označuje akumulacijsko reliefno obliko (greben ali nasip), medtem ko til predstavlja sam sediment oziroma material, ki te oblike sestavlja. V strokovni literaturi in raziskavah je zato pomembno dosledno ločevati med procesom (transport in odlaganje sedimenta), materialom (til ali ledeniška greda) in reliefno obliko (morena), ki iz tega procesa nastane.

Glacijalni sediment je rastresiti materijal koji je ledenjak pomicao i taložio. Zbog specifičnog načina transporta u kojem led sadrži i pomiče značajne količine erodiranog materijala, glacijalni sedimenti imaju karakteristična svojstva koja ih razlikuju od drugih vrsta sedimenta. Najčešći oblik glacijalnog sedimenta naziva se til, koji predstavlja nesortirani i heterogeni sediment taložen izravno iz leda. Nažalost, u stručnoj literaturi se za til često koristi i termin morena, što nije prikladno, budući da je morena oblik reljefa izgrađen od glacijalnog sedimenta. Ovo je važna terminološka razlika u glacijalnoj geomorfologiji, gdje morena označava akumulacijski oblik reljefa (greben ili nasip), dok til predstavlja sam sediment ili materijal koji čini te oblike. Stoga je u stručnoj literaturi i istraživanjima važno dosljedno razlikovati proces (transport i taloženje sedimenta), materijal (til ili glacijalno korito) i oblik reljefa (morenu) koji nastaje tim procesom.

Ledeniški sediment sestavljajo delci različnih velikosti, od drobnozrnatega melja in gline, do peska, proda, grušča in velikih skalnih blokov, ki jih imenujemo ledeniški balvani. Značilna lastnost ledeniških sedimentov je njihova izrazita heterogenost v velikosti delcev, saj so pomešani drobni in grobi delci brez sortiranja. Klasti v tilu so pogosto oglatih ali polzaobljenih oblik, večji med njimi pa lahko izkazujejo značilne glacialne obruse ali ledeniške raze, ki so nastale z abrazijo.

Glacijalni sediment sastoji se od čestica različitih veličina, od sitnozrnatog mulja i gline, do pijeska, šljunka, oblutaka i velikih blokova stijena koji se nazivaju glacijalne gromade. Karakteristična značajka glacijalnih sedimenata je njihova izražena heterogenost u veličini čestica, jer se fine i grube čestice miješaju bez sortiranja. Klasti u tilu često su kutnog ili polukružnog oblika, a veći mogu pokazivati karakteristične glacijalne abrazije ili glacijalne pukotine nastale abrazijom.

Ledeniški sediment lahko nastane na različne načine. Subglacialni til se odlaga na dnu ledenika in ima pogosto bolj kompaktno strukturo zaradi pritiska ledu nad njim. Supraglacialni til se odlaga na površini ledenika in se nato po taljenju ledu odloži na površju ob robu ledenika in tvori bočne ali čelne morene. Zaradi odsotnosti kompakcije med procesom odlaganja je običajno manj konsolidiran

Glacijalni sediment može se formirati na različite načine. Subglacijalni til se taloži u podnožju ledenjaka i često ima kompaktniju strukturu zbog pritiska leda iznad njega. Supraglacijalni til se taloži na površini ledenjaka, a zatim se taloži na površini uz rub ledenjaka nakon što se led otopi, formirajući bočne ili frontalne morene. Zbog odsutnosti zbijanja tijekom procesa taloženja, obično je manje konsolidiran.

Za vegetacijo in biodiverziteto so ledeniški sedimenti izjemno pomembni, saj se bistveno razlikujejo od kraških regolitov. Kraški regolit običajno zagotavlja plitva, pretežno suha in s hranili revna tla, medtem ko lahko ledeniški sediment zaradi svoje neprepustnosti zadrži več vlage in ima pogosto višjo vsebnost hranil. To vodi do izrazitih lokalnih in regionalnih razlik v vegetacijskih vzorcih. Območja z ledeniškim sedimentom lahko podpirajo bolj bujno vegetacijo in višjo vrstno pestrost kot okoliški goli kras. Tovrstne razlike v rastiščnih pogojih bodo predvidoma pomembne tudi v prihodnje, zlasti v luči podnebnih sprememb, saj območja z ledeniškimi sedimenti lahko zagotavljajo ugodnejše habitatne razmere in predstavljajo pomembne refugije za določene rastlinske vrste.

Glacijalni sedimenti izuzetno su važni za vegetaciju i bioraznolikost, jer se značajno razlikuju od krških regolita. Krški regoliti obično pružaju plitka, uglavnom suha i hranjivim tvarima siromašna tla, dok glacijalni sedimenti, zbog svoje nepropusnosti, mogu zadržati više vlage i često imaju veći sadržaj hranjivih tvari. To dovodi do izraženih lokalnih i regionalnih razlika u obrascima vegetacije. Područja s glacijalnim sedimentima mogu podržati bujniju vegetaciju i veću raznolikost vrsta od okolnog golog krša. Očekuje se da će takve razlike u uvjetima rasta ostati važne u budućnosti, posebno s obzirom na klimatske promjene, jer područja s glacijalnim sedimentima mogu pružiti povoljnije uvjete staništa i predstavljati važna utočišta za određene biljne vrste.

3.3 Pobočni sedimenti / Sedimenti na padinama

Pobočni sedimenti so nesprijeti materiali, ki se kopičijo na pobočjih in ob njihovem vznožju kot posledica gravitacijskega premikanja materiala navzdol po pobočju. Ti sedimenti nastajajo zaradi različnih geomorfnih procesov, kot so padanje kamenja, polzenje, plazenje in tok zemljin, ki so posledica preperevanja kamninske podlage in delovanja gravitacije.

Padinski sedimenti su rastresiti materijali koji se nakupljaju na padinama i u njihovom podnožju kao rezultat gravitacijskog kretanja materijala niz padinu. Ovi sedimenti nastaju raznim geomorfološkim procesima, poput odrona stijena, puzanja, tečenja i toka tla, koji su rezultat trošenja temeljne stijene i djelovanja gravitacije.

Pobočni sedimenti se pojavljajo v različnih oblikah in velikostih. Lahko so relativno veliki ostrorobati bloki ali grušč, ter drobnejši sediment, ki ga imenujemo koluvij (angl. colluvium). Koluvij običajno sestavljajo heterogene mešanice različnih velikosti klastov, od gline in melja do peska in proda, ki so slabo sortirani in pogosto vsebujejo tudi organski material. V nasprotju z ledeniškim sedimentom, kjer heterogenost velikosti delcev izvira iz procesa transporta z ledom, je heterogenost pobočnih sedimentov predvsem posledica različnih faz preperevanja matične kamnine in različnih načinov transporta po pobočju.

Padinski sedimenti javljaju se u različitim oblicima i veličinama. Mogu biti relativno veliki blokovi ili ruševine oštrih rubova, te finiji sediment koji se naziva koluvij. Koluvij se obično sastoji od heterogenih mješavina klastova različitih veličina, od gline i mulja do pijeska i šljunka, koji su slabo sortirani i često sadrže organski materijal. Za razliku od ledenjačkog sedimenta, gdje heterogenost veličine čestica potječe od procesa transporta ledom, heterogenost padinskih sedimenata prvenstveno je rezultat različitih faza trošenja matične stijene i različitih načina transporta niz padinu.

Kamninski bloki in grušč, ki se odlomijo s strmih sten, se kopičijo ob njihovem vznožju in tvorijo kamnita pobočja, ki jih imenujemo melišča (angl. *scree slopes*). Kadar grušč pada skozi stenske žlebove ali strme erozijske jarke, se kopiči ob njihovem vznožju v obliki meliščnih

stožcev (angl. *talus cones*), ali pa se nabira enakomerno ob vznožjih sten, kar imenujemo pobočni nasip. Zaradi gravitacijskega sortiranja se na meliščih večji bloki pogosto nakopičijo na dnu pobočja, medtem ko manjši delci ostanejo višje.

Stijene i ruševine koje se odlome sa strmih zidova nakupljaju se u njihovom podnožju, tvoreći stjenovite padine zvane siparne padine. Kada ruševine propadaju kroz zidne jarke ili strme erozijske jarke, nakupljaju se u njihovom podnožju u obliku siparnih konusa ili se ravnomjerno nakupljaju u podnožju zidova, što se naziva nasip padine. Zbog gravitacionog sortiranja, veći blokovi se često nakupljaju na dnu padine, dok manje čestice ostaju više.

Na proučevanem območju Snežnika in Gorskega kotarja so pobočni sedimenti posebej pomembni v strmejših delih reliefa, zlasti ob vznožjih strmih pobočij in v kraških kotanjah. V primerjavi z ostalimi tipi sedimentov na območju, kot sta regolit in ledeniški sediment, imajo pobočni sedimenti običajno višjo prepustnost za vodo, kar vpliva na hidrološke razmere.

Na proučavanom području Snežnika i Gorskog kotara, sedimenti padina posebno su važni u strmijim dijelovima reljefa, posebno u podnožju strmih padina i u krškim udubljenjima. U usporedbi s drugim vrstama sedimenata u tom području, poput regolita i ledenjačkog sedimenta, sedimenti padina obično imaju veću propusnost vode, što utječe na hidrološke uvjete.

Za vegetacijo in biodiverziteto so pobočni sedimenti pomembni, saj ustvarjajo specifične rastiščne pogoje. Melišča in grušč predstavljajo ekstremna rastišča, kjer lahko uspevajo le posebej prilagojene rastlinske vrste. Te vrste imajo pogosto prilagoditve na nestabilno podlago, pomanjkanje vode in hranil ter izpostavljenost mehanskim poškodbam zaradi premikanja materiala. Na starejših, stabiliziranih meliščih, kjer so se že začeli procesi nastajanja tal, pa lahko najdemo bolj raznovrstno vegetacijo.

Padinski sedimenti važni su za vegetaciju i bioraznolikost, jer stvaraju specifične uvjete rasta. Sipar i šljunak predstavljaju ekstremna staništa gdje mogu uspjeti samo posebno prilagođene biljne vrste. Ove vrste često su prilagođene nestabilnom tlu, nedostatku vode i hranjivih tvari te izloženosti mehaničkim oštećenjima od pomicanja materijala. Na starijim, stabiliziranim siparima, gdje su procesi stvaranja tla već započeli, može se naći raznolikija vegetacija.

3.4 Fluvioglacialni sedimenti / Fluvioglacialni sedimenti

Fluvioglacialni sedimenti so nesprijeti materiali, ki jih je transportirala in odložila voda, nastala s taljenjem ledenikov. Ti sedimenti predstavljajo pomemben prehodni tip med čisto ledeniškim materialom (tilom) in običajnimi rečnimi sedimenti. Nastanejo, ko ledeniške vode preoblikujejo in sortirajo ledeniški material, pri čemer se ustvari zaporedje sedimentov z drugačnimi značilnostmi od primarno ledeniških.

Fluvioglacijalni sedimenti su rastresiti materijali koje prenosi i taloži otapanje ledenjaka. Ovi sedimenti predstavljaju važan prijelazni tip između čisto ledenjačkog materijala (tila) i konvencionalnih fluvijalnih sedimenata. Nastaju kada ledenjačke vode prerađuju i sortiraju ledenjački materijal, stvarajući niz sedimenata s različitim karakteristikama od onih prvenstveno ledenjačkog podrijetla.

Za razliko od ledeniških sedimentov, ki so tipično nesortirani in heterogeni, so fluvioglacialni sedimenti običajno bolje sortirani, saj vodni tok omogoča razvrščanje delcev glede na njihovo velikost. To sortiranje se odraža v značilni plastovitosti, kjer se izmenjujejo plasti z različno

velikostjo delcev, od peska in proda do večjih zaobljenih prodnikov. Zaradi vodnega transporta so klasti v fluvioglacialnih sedimentih praviloma bolj zaobljeni kot tisti v ledeniškem tilu, kjer prevladujejo oglati ali polzaobljeni delci.

Za razliku od glacijalnih sedimenata, koji su tipično nesortirani i heterogeni, fluvioglacijalni sedimenti su obično bolje sortirani, jer protok vode omogućuje sortiranje čestica prema njihovoj veličini. To sortiranje ogleda se u karakterističnoj slojevitosti, gdje se izmjenjuju slojevi s različitim veličinama čestica, od pijeska i šljunka do većih zaobljenih oblutaka. Zbog transporta vode, klasti u fluvioglacijalnim sedimentima su općenito zaobljeniji od onih u glacijalnom tillu, gdje prevladavaju uglate ili poluzaobljene čestice.

Na proučevanem območju Snežnika in Gorskega kotarja fluvioglacialni sedimenti zapolnjujejo kraške kotanje, v katere so dotekali proglacialni tokovi. Posebej pomembni so v večjih kotanjah, kjer se je akumulirala večja količina fluvioglacialnega materiala in so tako oblikovana predledeniška kraška polja. Ta polja predstavljajo specifične geomorfološke enote, ki so nastale z zapolnjevanjem kraških kotanj s fluvioglacialnim sedimentom, prinesenem po proglacialni strugi iz ledeniškega čela.

Na proučavanom području Snežnika i Gorskog kotara, fluvioglacijalni sedimenti ispunjavaju krške bazene u koje su se slijevali proglacijalni tokovi. Posebno su važni u većim bazenima, gdje se nakupila veća količina fluvioglacijalnog materijala, formirajući tako predglacijalna krška polja. Ova polja predstavljaju specifične geomorfološke jedinice koje su nastale ispunjavanjem krških udubina fluvioglacijalnim sedimentom donesenim duž proglacijalnog sloja s ledenjačkog fronta.

Fluvioglacialni sedimenti na proučevanem območju so primarno odloženi v obliki vršajev, ki so nastali na iztekih proglacianih tokov iz čela ledenika. Ti vršaji so običajno pahljačaste oblike in kažejo na postopno zmanjševanje transportne moči vodnega toka z oddaljenostjo od ledeniškega čela. Danes so ti sedimenti najpogosteje ohranjeni v predledeniških kraških poljih, kot so Gomance, Črni dol, Lepe njive in Županje njive, ki so opisana v prejšnjih poglavjih.

Fluvioglacijalni sedimenti na području istraživanja prvenstveno su taloženi u obliku humaka nastalih na izlazima proglacijalnih potoka s ledenjačkog fronta. Ovi humci su obično lepezastog oblika i ukazuju na postupno smanjenje transportne snage vodenog toka s udaljenošću od ledenjačkog fronta. Danas su ovi sedimenti najčešće očuvani u predglacijalnim krškim poljima, poput Gomance, Črnog dola, Lepih njiva i Županje njiva, koja su opisana u prethodnim poglavljima.

Za vegetacijo in biodiverziteto so fluvioglacialni sedimenti izjemno pomembni, saj ustvarjajo edinstvene rastiščne pogoje v kraški pokrajini. V primerjavi s kraškimi regoliti in ledeniškim tilom imajo fluvioglacialni sedimenti običajno boljšo sposobnost zadrževanja vlage, obenem pa zaradi sortiranosti tudi boljšo prepustnost kot til. To ustvarja ugodne rastiščne pogoje z zadostno količino vlage, a brez zastajanja vode, kar omogoča razvoj specifičnih rastlinskih združb.

Fluvioglacijalni sedimenti izuzetno su važni za vegetaciju i bioraznolikost, jer stvaraju jedinstvene uvjete rasta u krškom krajoliku. U usporedbi s krškim regolitom i ledenjačkim tilom, fluvioglacijalni sedimenti obično imaju bolji kapacitet zadržavanja vlage, a istovremeno, zbog svoje sortiranosti, imaju i bolju propusnost od tila. To stvara povoljne uvjete rasta s dovoljnom količinom vlage, ali bez stagnacije vode, što omogućuje razvoj specifičnih biljnih zajednica.

4 Literatura / Literatura

Adamson, K. R., Woodward, J. C., Hughes, P. D., 2014. Glaciers and rivers: Pleistocene uncoupling in a Mediterranean mountain karst. Quaternary Science Reviews, 94, str. 28-43. DOI: https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2014.04.016.

Benn, D. I., Evans, D. J. A., 2010. Glaciers and Glaciation. New York: Rutledge.

Bognar, A., Prugovečki, I., 1997. Glaciation Traces in the Area of the Risnjak Mountain Massif. Geologia Croatica, 50, 2, str. 269-278. DOI.

Depolli, M., Žebre, M., Stepišnik, U., Kosec, G., 2024. Simulation of a former ice field with Parallel Ice Sheet Model – Snežnik study case. Climate of the Past, 20, 7, str. 1471-1488. DOI: 10.5194/cp-20-1471-2024.

Ford, D., Williams, P. D., 2007. Karst Hydrogeology and Geomorphology. Chichester: Wiley.

Gams, I., 2003. Kras v Sloveniji v prostoru in času. Ljubljana: Založba ZRC.

Gams, I., Kunaver, J., Radinja, D., 1973. Slovenska kraška terminologija. Ljubljana: Katedra za fizično geografijo, Univerza v Ljubljani.

Herak, M., 1980. Sustav navlaka između Vrbovskog i Delnica u Gorskom kotaru (The nappe-system between Vrbovsko and Delnice in Gorski kotar (Croatia)). Acta Geologica, 10, 2, str. 35-51. DOI.

Herak, M., Bojanić, L., Šikić, D., Magdalenić, A., 1961. Novi elementi tektonike u području gornjeg toka rijeke Kupe. Geološki vjesnik, 14, str. 245-251. DOI.

Kaufmann, G., 2009. Modelling karst geomorphology on different time scales. Geomorphology, 106, 1, str. 62-77. DOI: https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2008.09.016.

Kodelja, B., Žebre, M., Stepišnik, U., 2013. Poledenitev Trnovskega gozda. Ljubljana: Znanstvena založba Filozofske fakultete Univerze v Ljubljani.

Savić, D., Dozet, S., 1985. Tumač za list Delnice : L 33-90 : Socijalistička federativna republika Jugoslavija, osnovna geološka karta, 1:100 000. Beograd: Savezni geološki zavod.

Šikić, D., Pleničar, M., 1975. Tumač za list Ilirska Bistrica: L 33-89 Beograd: Savezni geološki zavod.

Šikić, D., Pleničar, M., Šparica, M. 1972. Osnovna geološka karta SFRJ. L 33-89, Ilirska Bistrica. Beograd, Savezni geološki zavod.

Stefanovski, S., Stepišnik, U., 2024a. Konte na Jelovici in Pokljuki.

Stefanovski, S., Stepišnik, U., 2024b. Konte na Jelovici in Pokljuki. Ljubljana: Znanstvena založba Filozofske fakultete.

Stepišnik, U., 2015. Krasno polje on Velebit Mountain: morphographic and morphogenetic characteristics Hrvatski geografski glasnik, 77, 2, str. 85-99. DOI: https://doi.org/10.21861/HGG.2015.77.02.05.

Stepišnik, U., 2020. Fizična geografija krasa Ljubljana: Znanstvena založba Filozofske fakultete.

Stepišnik, U., 2024. Geomorfologija krasa Slovenije. Založba Univerze v Ljubljani.

Stepišnik, U., Gostinčar, P., 2020. Periodically inundated uvalas and collapse dolines of Upper Pivka, Slovenia. Acta geographica Slovenica, 60, 2, str. 92-105. DOI: 10.3986/AGS.8051.

Stepišnik, U., Kosec, G., 2011. Modelling of slope processes on karst. Acta Carsologica, 40, 2, str. 267-273. DOI: https://doi.org/10.3986/ac.v40i2.11.

Summerfield, M. A., 2013. Global Geomorphology. London; New York: Routledge, Taylor & Francis Group.

Šušteršič, F., 1986. Model čistega krasa in nasledki v interpretaciji površja. Acta Carsologica, 21, 1, str. 97-116. DOI.

Šušteršič, F., 1994. Classic Dolines of Classical Site. Acta Carsologica, 23, 1, str. 123-154. DOI.

Šušteršič, F. 2000. Are collapse dolines formed only by collapse? . 8th International Karstological School - Collapse Dolines, Postojna, June 26-29th, 2000. Ljubljana, Slovenska akademija znanosti in umetnosti; Znanstvenoraziskovalni center SAZU**:** Str. 213-230.

Sweeting, M. M., 1973. Karst Landforms. New York: Columbia University Press.

Williams, P. D., 2004. Karst. V: Goudie, A. S. (ur.). Encyclopedia of Geomorphology. London: Routledge, str. 568-594.

Williams, P. W., 1972. Morphometric Analysis of Polygonal Karst in New Guinea. GSA Bulletin, 83, 3, str. 761-796. DOI: 10.1130/0016-7606.

Williams, P. W., 2006. Karst evolution. V: Gunn, J. (ur.). Encyclopedia of Karst and Cave Science. New York: Fitzroy Dearborn, str. 1020-1024.

Žebre, M. 2015. Pleistocenska poledenitev obalnega dela Dinarskega gorstva. Filozofska Fakulteta, Oddelek za geografijo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani**:** 197.

Žebre, M., Jež, J., Mechernich, S., Mušič, B., Horn, B., Jamšek Rupnik, P., 2019. Paraglacial adjustment of alluvial fans to the last deglaciation in the Snežnik Mountain, Dinaric karst (Slovenia). Geomorphology, 332, str. 66-79. DOI: https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2019.02.007.

Žebre, M., Stepišnik, U., 2015a. Glaciokarst geomorphology of the Northern Dinaric Alps: Snežnik (Slovenia) and Gorski Kotar (Croatia). Journal of Maps, 12, 5, str. 873-881. DOI: 10.1080/17445647.2015.1095133.

Žebre, M., Stepišnik, U., 2015b. Glaciokarst landforms and processes of the southern Dinaric Alps. Earth Surface Processes and Landforms, 40, 11, str. 1493-1505. DOI: 10.1002/esp.3731.

Žebre, M., Stepišnik, U., Colucci, R. R., Forte, E., Monegato, G., 2016. Evolution of a karst polje influenced by glaciation : the Gomance piedmont polje (northern Dinaric Alps). str. 143-154. DOI: https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.01.005.