

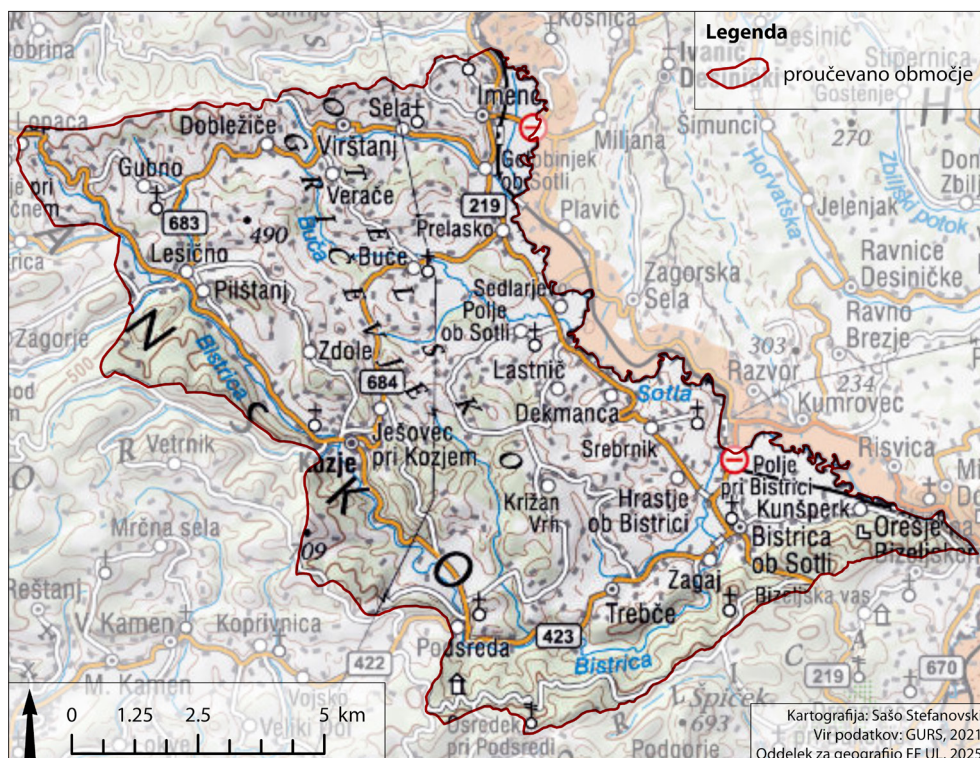
Geomorfološke značilnosti Sotelskega gričevja

Sašo Stefanovski, Uroš Stepišnik

I Uvod

Vzhodni del Slovenije leži na zahodnem robu Panonskega bazena, zaradi česar te predele običajno uvrščamo med obpanonske pokrajine. Površje teh pokrajin zaznamujejo nižje nadmorske višine v primerjavi z drugimi deli Slovenije. Zanje je značilna prevlada fluvialnega tipa površja, kjer se izmenjujejo gričevja, doline in obsežne ravnine, ki so jih v preteklosti oblikovale reke in njihovi pritoki (Gams, 1993; Natek in Natek, 2008; Ogrin in Plut, 2012). Ena bolj vodnatih rek, ki imajo povirje v vzhodni Sloveniji, je Sotla. Izvira južno od Macelske gore in teče proti jugu ob državni meji s Hrvaško. Sotla najprej teče čez dolino z izmenjujočimi se ožjimi in širšimi odseki. Dva kilometra južno od naselja Podčetrtek Sotla doseže široko dolinsko dno. Ta odsek je dolg približno 6,5 km. Nato za razdaljo 1,5 km ponovno preide v ožjo dolino, vse do ravnine med Bistrico ob Sotli na slovenski strani in Kumrovcem na hrvaški. V tem delu, od Podčetrka do Bistrice ob Sotli, dobi Sotla večino večjih pritokov iz gričevja na slovenski strani, imenovanega Sotelsko gričevje (slika 1). Gre za gričevje, ki meri približno 111 km² in pokriva 51 % Kozjanskega regijskega parka. Natančne meje Sotelskega gričevja niso usklajene. Za potrebe tega prispevka smo jih določili sami na podlagi reliefne izoblikovanosti in obstoječe regionalizacije Slovenije, kjer je območje poimenovano Srednjesotelsko gričevje (Perko, 1998). Vzhodni rob Sotelskega gričevja določa reka Sotla. Na severu se Sotelsko gričevje razteza do Rudnice. Točna meja poteka po grebenu od Imenske Gorce na vzhodu prek vrha Virštanja in Javoršice proti Lopaci. Na zahodni strani, južno od Lopace, se Sotelsko gričevje razteza do Bohorja. Meja se torej vije po vrhovih, kot so Bredič, Vetrnik, Okič in Boršt, ter od tu prek Podsrede do vrha Orlice. Ta predstavlja skrajni jugozahodni rob območja. Južna meja se nato nadaljuje po grebenu Orlice, prek vrhov Tisovec in Javorje na zahodu ter vrhov Rožce, Straža in Silovec vse do Sotle v dolinskem dnu na samem jugovzhodnem robu območja (Perko, 1998). Namen tega prispevka je predstavitev glavnih reliefnih značilnosti Sotelskega gričevja. Za dosego namena smo analizirali obstoječo literaturo in kartografsko gradivo o proučevanem območju. Na podlagi prostorskih analiz in terenskega dela smo izdelali inventar reliefnih oblik na območju. Z upoštevanjem geoloških značilnosti in pripravljenega inventarja smo območje, skladno s procesnogeomorfološko sistematizacijo, razdelili na različne reliefne tipe in njihove podtipe (Huggett, 2017; Stepišnik, 2024).

Slika 1: Proučevano območje na Državni pregledni karti merila 1 : 250.000.

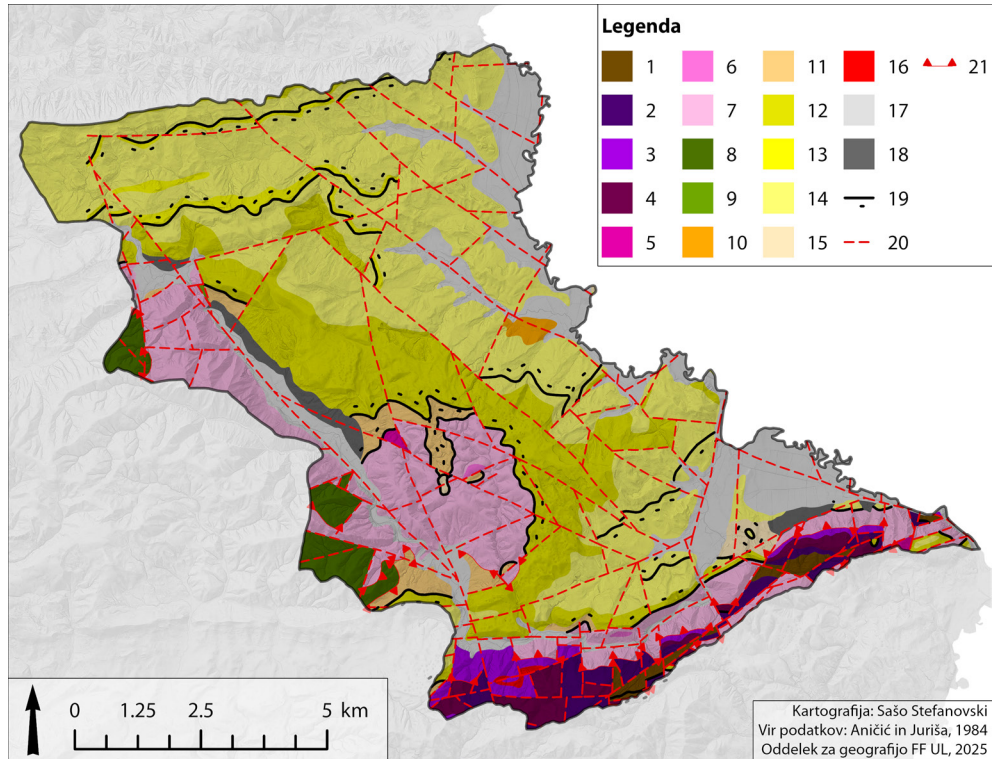


2 Geološke značilnosti

Geološka zgradba Sotelskega gričevja je zelo raznolika, ker leži na prehodu med dvema tektonskima enotama (slika 2). Večji del Sotelskega gričevja pripada enoti Panonskega bazena. Ta vključuje tudi obrobne bazene. Za sistem panonskih bazenov je značilno oblikovanje številnih depresij, ki so se razvijale in spreminjale v paleogenu in neogenu. V tem času so se odlagali sedimenti Paratetide, ki ležijo na pogreznjenih podaljških Dinaridov (Placer, 2008). Kljub temu zahodni in južni deli proučevanega območja, ki pripadajo prehodnemu območju med Zunanji in Notranji Dinaridi, niso prekriti s temi sedimentnimi kamninami. Dinaridi se na proučevanem območju izražajo kot vzhodni obronki Posavskih gub, za katere je značilna smer vzhod–zahod. Južni obod območja oblikuje Orliška antiklinala, sestavljena iz klastičnih kamnin permsko-karbonske starosti in triasnih karbonatnih kamnin, pretežno dolomita. Severneje leži vzhodni rob Senovške sinklinale, ki jo gradijo klastične kamnine kenozojske starosti. Na zahodni del Sotelskega gričevja sega tudi Litijska antiklinala, ki jo sestavljajo klastične in karbonatne mezozojske kamnine. Na severozahodu območja je Planinsko-Deseniška sinklinala, ki jo prav tako tvorijo kenozojske klastične kamnine (Aničić in Juriša, 1985). Celotno obravnavano območje prečijo številni prelomi, med

katerimi prevladujeta dinarska in prečnodinarska smer. Prelomi so najpogostejši na območju najstarejših kamnin, ki jih najdemo na grebenu Orlice. Med najizrazitejšimi prelomi Sotelskega gričevja sta Bučki in Pilštanjski prelom, oba z dinarsko usmeritvijo. Pilštanjski prelom poteka vzdolž doline Bistrice, nato pa med Kozjim in Podsredo prečka triasne plasti. Bučki prelom se začne na južnem robu Rudnice, od tam poteka prek Dobležič proti Dekmanci in nato prek Buč (Aničić in Juriša, 1985).

Slika 2: Geološka karta Sotelskega gričevja.



1: skrilavi glinavec, peščenjak in konglomerat (C, P), 2: dolomit, oolitni in lapornati apnenec, glinavec, meljevec, laporovec in peščenjak (T1), 3: dolomit, skrilavi glinavec, peščenjak, apnenec z rožencem in tuf (T2), 4: masivni dolomit in plastnati dolomit z vložki dolomitnega laporovca (T2), 5: dachsteinski apnenec (T3), 6: baški dolomit (T3), 7: glavni dolomit (T3), 8: laporovec, skrilavi glinavec, apnenec, kalkarenit z rožencem in apnenčeva breča (K1,2), 9: konglomerat, apnenčeva breča in laporovec (K2), 10: glinavec, meljevec, laporovec in peščenjak (O1), 11: peščenjak in konglomerat z vložki laporovca (OM), 12: litotamnijski apnenec z apnenčevim peščenjakom in konglomeratom (M4), 13: apnenčevo-kremenov peščenjak in konglomerat (M5), 14: laporovec in peščenjak (M5), 15: pesek, prod in glina (Pl), 16: diabaz in diabazni tuf (ββ), 17: aluvij (Q), 18: grušč (Q), 19: erozijska diskordanca, 20: prelom, 21: nariv.

Najstarejše kamnine na območju so karbonsko-permske starosti. Gre za različne klastične kamnine, med katerimi prevladujejo skrilavi glinavci, kremenov peščenjak in konglomerat. Permsko-karbonske kamnine pokrivajo manjše površine na grebenu Orlice. Kamnine triasne starosti so raznolike. Najstarejše med njimi so spodnje triasne starosti, za katere je značilno izmenjevanje dolomita, vmesnih vložkov klastičnih

kamnin in apnenca. Podobna sestava je značilna za srednji trias, kjer najdemo tudi diabazni tuf. Kamnine srednjega in spodnjega triasa so omejene zgolj na greben Orlice. Nasprotno so kamnine zgornjega triasa precej bolj razširjene. Večinoma gre za glavni dolomit, ki tvori severni rob Orlice v dolini Bistrice ter zahodni in jugozahodni predel gričevja, kjer sta si dolini izoblikovali Bistrica in Sušica. Manjši območji sta sestavljeni iz dachsteinskih apnencev in dolomita z rožencem. Na zahodu proučevanega območja so tudi manjše zaplate krednih kamnin, ki vključujejo konglomerat, brečo, glinavec in laporovec. Velik del kamnin Sotelskega gričevja je iz neogena, predvsem miocena. Območje je znano po rdečkasto obarvanih peščenih apnencih, imenovanih litotamnijski apnenci, katerih barva izhaja iz rdečih alg rodu *Lithothamnion*. Za apnence z večjim deležem peščene frakcije uporabljamo tudi termin *kalkareniti* (slika 3). Ti sestavljajo osrednji del Sotelskega gričevja. Na robovih litotamnijskega apnenca so razporejene različne klastične kamnine, predvsem laporovec, peščenjak in konglomerat. Reliefna znižanja so večinoma zapolnjena s kvartarnimi sedimenti, ponekod v višjih legah pa so ti sedimenti pliocenske starosti (Aničić in Juriša, 1985; Aničić in sod., 2004).



Slika 3:

*Izpostavljena površina
litotamnijskega
apnenca (kalkarenita)
iz epohe miocena
(foto: U. Stepišnik).*

3 Predhodne geomorfološke raziskave

Geomorfološke značilnosti Kozjanskega oziroma Srednjega Sotelskega je prvi sistematično raziskoval Melik (1935), ki je območje interpretiral predvsem s tektonskega vidika. Njegovo temeljno delo je opredelilo glavne strukturne elemente območja v sistemu Posavskih gub. Večji del območja pripada vzhodnemu robu Litijske antiklinale, medtem ko se južni del uvršča v vzhodni rob Senovske sinklinale. Orlica na jugu, ki predstavlja mejo območja, je najjužnejša antiklinala Posavskih gub, Rudnica na severu pa tvori južno krilo Trojanske antiklinale (Melik, 1935).

Relief območja je interpretiral z geološko zgradbo. Miocenske plasti, ki gradijo dele tektonskih gub, so litološko heterogene. Izmenjavanje odpornejših litotamnijskih apnencev in manj odpornih laporovcev je povzročilo nastanek izrazitih strukturnih stopenj. Zaradi prevlade miocenskih kamnin v Sotelskem gričevju je Melik območje

poimenoval terciarno gričevje (Melik, 1935), čeprav se ta izraz v sodobni geomorfološki literaturi ne uporablja več.

Posebno geomorfološko značilnost predstavlja reka Bistrica s svojo prečno vrezano dolino. Njen tok se začne v območju Trboveljske sinklinale, nato prečka Litijško antiklinalo, teče prek Senovske sinklinale in se zareže v severno krilo Orliške antiklinale, preden se končno vrne v terciarno podolje, kjer doseže Sotlo. Značilnosti doline Bistrice so tesno povezane z litološko zgradbo. Na območju triasnih dolomitov je dolina najožja in ima značaj globoke debrske doline. Prečni potek doline prek tektonskih gub Melik (1935) razlaga z epigenezo, ki naj bi delovala sočasno z gubanjem območja.

Pozneje se je s splošnimi geomorfološkimi značilnostmi območja ukvarjal tudi Žagar (1964), ki območje Sotelskega gričevja opredeljuje kot del Laško-kozjanskega podolja, ki na severu in jugu prehaja v višji relief antiklinal. Lego podolja je interpretiral z manj odpornimi terciarnimi kamninami, medtem ko je višji relief na robovih pripisoval manjši dinamiki procesov na odpornejših kamninah. V podolju je več grebenov, ki naj bi bili, podobno kot jih je interpretiral že Melik (1935), strukturne stopnje vzdolž pasov odpornejših litotamnijskih apnencev (Žagar, 1964).

Raziskave krasa na območju Sotelskega gričevja imajo dolgo tradicijo in sledijo splošnemu trendu slovenskih geomorfoloških raziskav, kjer je proučevanje kraških oblik in procesov pogosto v ospredju. Že Melik (1935) je identificiral kraške oblike v pasu litotamnijskega apnenca med Drenskim Rebrom, Zdolami, Križanim Vrhom in Podsredo, kjer je dokumentiral predvsem vrtače in suhe doline. Te ugotovitve je pozneje nadgradil Žagar (1967) s poudarkom na vlogi litotamnijskega apnenca pri razvoju kraških oblik.

Pomemben napredek v razumevanju kraških procesov na tem območju predstavlja delo Gospodariča (1977), ki je v sklopu Osnovne speleološke karte Slovenije izvedel sistematično raziskavo. Njegova študija je razkrila pestrost kraških oblik, od površinskih elementov, kot so vrtače in suhe doline, do pedoloških značilnosti (rdeča prst) ter hidroloških elementov v obliki številnih izvirov na litotamnijskem apnencu. Gospodarič je posebej opredelil planotasti kras Zdol, Opečnika in Čen sela vzhodno od Kozjega ter uvedel koncept osamelega krasa za to območje, kjer so karbonatne kamnine obdane z neprepustnimi plastmi (Gospodarič, 1977).

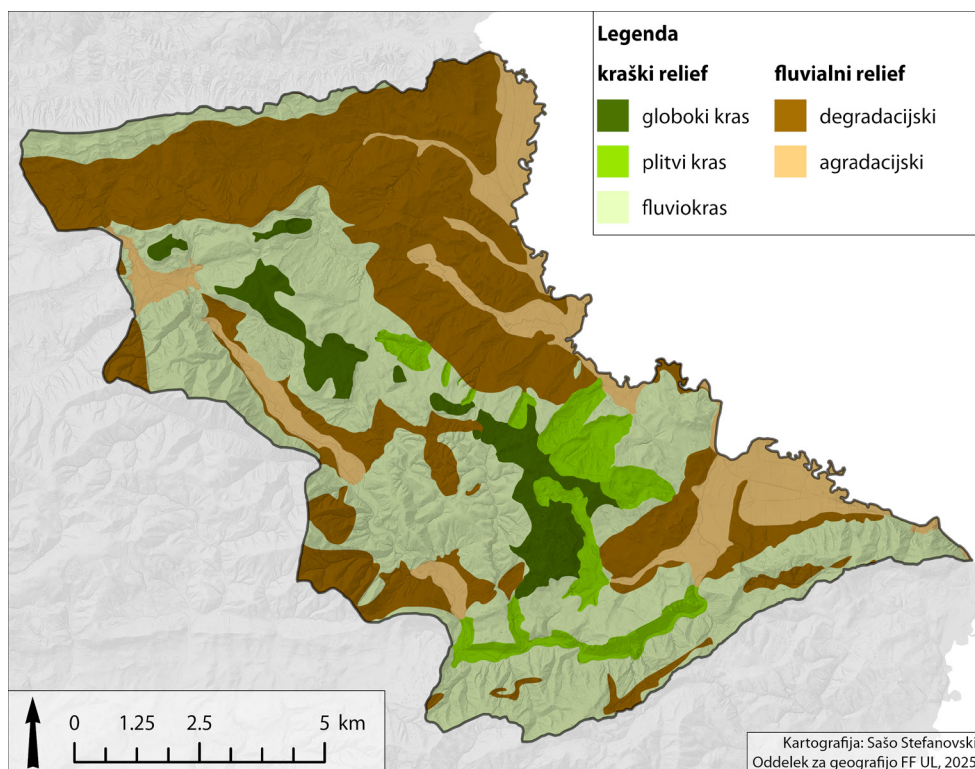
Raziskave Kozjanskega regijskega parka so se osredotočile na dokumentiranje in proučevanje pomembnejših kraških oblik, med katerimi izstopajo Gruska jama z zatrepno dolino, Puščavnikova jama, kraški izvir Trebčice ter sistem vrtač in požiralnikov (Ciglencečki in sod., 2002). Najbolj poglobljeno proučevanje krasa je izvedla Šeško (2007), ki je na območju Kozjanskega regijskega parka identificirala tri litološke enote z različnim razvojem kraških reliefnih oblik: litotamnijski apnenec, triasni dolomit in lapornati apnenci. Ugotavlja, da medtem ko na območjih litotamnijskega apnenca prevladuje kraški relief, se na dolomitih in laporovcih razvija predvsem fluviodenducijski relief s posameznimi kraškimi oblikami. Zaradi prostorske razporeditve litotamnijskega apnenca, ki je obdan z nekraškimi kamninami, je območje opredelila kot osameli kras. Po njenih ugotovitvah se največje sklenjeno območje litotamnijskega apnenca razteza med Pilštanjem in Podsredo, kjer relief razčlenjujejo številne vrtače, odsotnost površinske rečne mreže in lokacije kraških izvirov na litoloških stikih.

V svoji raziskavi je Šeško (2007) posebej izpostavila geomorfne oblike, netipične za slovenski kras. Ugotovila je, da se zaradi specifične sestave litotamnijskega apnenca oblikuje debela preperina z značilnim podpovršinskim pretokom vode. Na kontaktih z nekraškimi kamninami je dokumentirala neizrazite slepe doline in široke polkrožne dolinske zatrepe. Na manjših območjih litotamnijskega apnenca, ki jih pogosto razčlenjujejo rečne doline alogenih potokov, je zaznala kraški relief v obliki izvirov, posameznih slepih dolin s ponikalnicami in vrtače na uravnanih površjih. Na območjih dolomita in lapornatih apnencev je po njenih ugotovitvah prevladujoč fluviodenudacijski relief z razvejano površinsko rečno mrežo, kjer se kraške oblike pojavljajo le mestoma, predvsem v obliki vrtač na uravninah ob vrhovih in slemenih (Šeško, 2007).

4 Geomorfološke značilnosti

Geološke značilnosti Sotelskega gričevja so zelo pestre, saj se na območju menjavajo kamnine različnih starosti, ki so nastale v različnih paleookoljskih razmerah. Posledično se njihove fizikalno-kemične lastnosti razlikujejo. Reliefne in hidrološke značilnosti sledijo geološki zgradbi, zato je oblikovanost površja izjemno raznolika.

Slika 4: Karta tipov reliefa Sotelskega gričevja.



Geomorfološka okolja se razlikujejo glede na prevladujoči medij, ki povzroča premeščanje mase. Najpogostejši je rečni oziroma fluvialni relief, kjer površinsko tekoče vode preoblikujejo površje (Huggett, 2017). Za Slovenijo je zelo značilen tudi kraški relief, kjer zaradi raztapljanja kamnin prevladuje kemični transport mase (Ford in Williams, 2007). Zaradi procesa raztapljanja so za kraški relief značilne tudi jame (White, 1988).

Razporeditev fluvialnega in kraškega reliefa na proučevanem območju (slika 4) je odvisna od razporeditve kamnin. V osrednjem delu prevladuje litotamnijski apnenec, medtem ko na jugu in vzhodu območja prevladuje dolomit. Apnenec in dolomit sta najpogostejši sedimentni karbonatni kamnini v Sloveniji, znani kot najznačilnejši kraški kamnini. Zanje je značilna intenzivna kemična denudacija, kar omogoča širjenje nezveznosti v kanale in vzpostavitev kraške hidrologije (Bögli, 1980). Za kras je torej značilno, da je prevladujoči proces raztapljanje kamnin ob vertikalnem odtoku padavin, kar povzroča prevladujoče odnašanje snovi v raztopljeni obliki skozi podzemlje, medtem ko je akumulacija mase minimalna (Ford in Williams, 2007; Stepišnik, 2020, 2024). Ključno za razumevanje krasa je poznavanje treh hidrogeoloških con. Najvišje ležeča je vadozna ali nezasičena cona, v kateri kanali niso stalno zapolnjeni z vodo, temveč se z njo zapolnijo le občasno, ob padavinah. Zanj je značilen vertikalni odtok vode. Pod vadozno cono leži epifreatična ali občasno nasičena cona. V tej coni kraškega vodonosnika so kanali ob visokih vodah zapolnjeni z vodo, ob nizkih pa z zrakom. Najnižja cona je freatična ali stalno nasičena cona, kjer so kanali stalno zapolnjeni z vodo (Ford in Williams, 2007). Tip krasa, kjer so vse tri hidrogeološke cone prisotne in delujejo nemoteno, opredeljujemo kot **globoki kras** (Stepišnik, 2020, 2024). V nekaterih primerih so hidrogeološki procesi zavrti ali spremenjeni, kar omogoča delitev krasa še na druge tipe. Na primer, nekatera kraška območja nimajo vadozne cone, zaradi česar gladina kraške vode sega na površje in vertikalni odtok padavin ni mogoč. Takšna kraška okolja imenujemo **plitvi kras** (Stepišnik, 2017, 2020, 2024). Čeprav kras pogosto povezujemo s kamnitim površjem, je lahko prekrit s plastjo regolita, ki zavira vertikalni odtok padavinske vode skozi vadozno cono. Na nagnjenih površjih to povzroča površinske tokove, ki so odgovorni za fluvialno erozijo in akumulacijo. Zaradi fluvialnega delovanja na kraškem površju takšna območja imenujemo **fluviokras** (Gostinčar in Stepišnik, 2012).

Najpogostejši reliefni tip na svetu je **fluvialni** ali **rečni**, kjer je glavni medij premeščanja gradiva tekoča voda (Huggett, 2017; Summerfield, 2013). Značilen je za vsa območja, ki jih ne gradijo prej omenjene kraške kamnine. Večino fluvialnega površja proučevanega območja sestavljajo klastične sedimentne kamnine, kot so laporovec, peščenjak in glinavec. Te prevladujejo na severnem in vzhodnem delu osrednjega gričevja. Hkrati pa so tipična fluvialna okolja v vmesnih reliefnih зниžanjih, kjer je površje prekrito z rečno naplavino. Podobno kot kraško površje lahko zato tudi fluvialno razdelimo v dva podtipa, glede na prevladujoči proces preoblikovanja površja. Prvi podtip je **denudacijski tip**, za katerega je značilno, da prevladujejo procesi erozije in denudacije. Večinoma gre za pobočja klastičnih kamnin, kjer glavna padavinske vode odteka površinsko. Zaradi strmca vodnega toka lahko voda na teh območjih erodira, agradacija materiala pa je zanemarljiva. Voda odteka po strmih pobočjih do reliefnih зниžanj, kjer je strmec manjši in neizrazit. Na območjih, kjer pride do zmanjšanja moči vodnega toka, se prične agradacija mehanskega tovora. Tak tip površja zato imenujemo **agradacijski tip** fluvialnega reliefa (Huggett, 2017).

4.1 Kraški relief

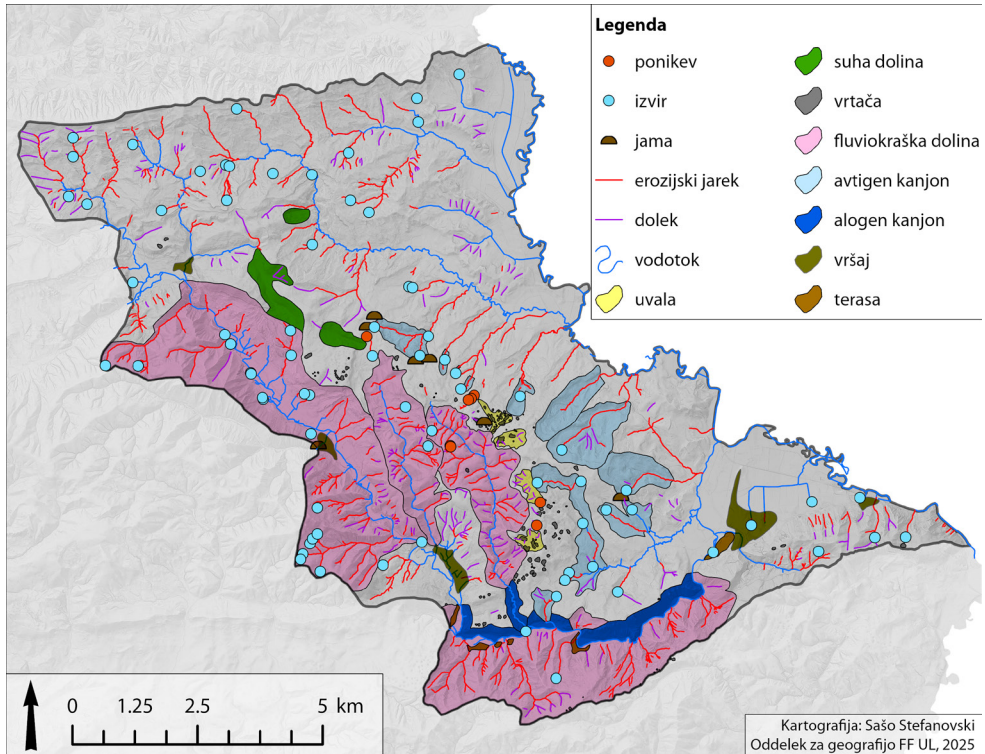
Kras je prostorsko najbolj razširjen tip reliefa v Sloveniji, saj pokriva kar 50,6 % površja (Stepišnik, 2024), na območju Sotelskega gričevja pa predstavlja 52 % celotnega površja. Zanj je značilno, da prevladuje vertikalni odtok padavinske vode v kamninsko podlago. Zaradi raztapljanja kamnine se nezveznosti v njej postopoma širijo in oblikujejo v jame. Zaradi prevladujočega procesa raztapljanja in minimalne akumulacije je kraško površje običajno izrazito kamnito. Čeprav je kraški relief značilen za Sotelsko gričevje, so kamniti izdanki tam vseeno zelo redki. Večino krasa namreč sestavljata triasni dolomit in litotamnijski apnenec, ki si delita pomembno skupno lastnost – manjšo mehansko odpornost. Dolomit nastane iz apnenca z dolomitizacijo, procesom, pri katerem se kalcij nadomesti z magnezijem, kar vodi v nastanek kalcijevega magnezijevega karbonata oziroma minerala dolomita. Dolomitizacija poveča poroznost kamnine, kar vpliva na povečano dinamiko mehanskega preperevanja na površju (Ford in Williams, 2007). Litotamnijski apnenci so klastične karbonatne kamnine, ki jih večinoma sestavljajo peščeni delci. Podobno kot dolomit imajo tudi litotamnijski apnenci večjo poroznost in manjšo mehansko trdnost, kar prispeva k intenzivnejšemu mehanskemu preperevanju. Poleg tega litotamnijski apnenec vsebuje večjo količino netopnih primesi (Aničić in Juriša, 1985). Zaradi intenzivnega mehanskega preperevanja in prisotnosti netopnih snovi se na površju oblikuje preperinski pokrov ali regolit. Kraško površje Sotelskega gričevja lahko zato v prvi vrsti označimo za **po-kriti kras** (Gams in sod., 1973; Stepišnik, 2024). Na nekaterih predelih kljub debelemu sloju regolita površje deluje povsem kraško, zato ta območja štejemo pod globoki kras. Na drugih območjih kljub prisotnosti kraških kamnin deluje tudi spiranje po površju, kar opredeljujemo kot fluviokras. Tretji tip vključuje območja, kjer so v kraških reliefnih nižanjih površinski vodotoki, kar je značilno za plitvi kras; torej, to so območja, kjer kraška podzemna voda sega do površja. V nadaljevanju so podrobno predstavljeni kraški podsistemi, ki so prisotni na proučevanem območju.

Globoki kras

Globoki kras odraža hidrološke značilnosti, ki ustrezajo splošni predstavi o krasu kot pokrajini brez površinskih voda. Ključna lastnost globokega krasa je vtekanje padavinske vode neposredno v podzemlje, zaradi česar se ta tip površja pogosto obravnava kot nasprotje fluvialnih okolij. Za globoki kras je značilna prisotnost vseh treh hidrogeoloških con, pri čemer padavinska voda s površja odteka neposredno v kras, brez oblikovanja površinskih vodotokov ali stoječih voda (Stepišnik, 2024). Voda lahko pronica v podzemlje tudi skozi plast sedimenta, kar upočasni dinamiko vtekanja. V globokem krasu kemično preperevanje površja presega mehansko preperevanje, zaradi česar mehanski sedimenti na površju ne ovirajo vertikalnega odtoka vode v podzemlje. Globoki kras pokriva le 6 km² oziroma 5,2 % površine Sotelskega gričevja in je omejen predvsem na nekaj manjših območjih litotamnijskega apnenca. Ta območja so večinoma na najvišjih delih osrednjega Sotelskega gričevja. Največje sklenjeno območje se razteza med Trebčami in Kopinjo Loko, medtem ko je drugo večje sklenjeno območje med Vино goro in Opečnikom. Globoki kras je razvit tudi na manjših območjih, kot so Ortnice, Osojnik in Puše. Območjem je skupno, da imajo

blago razgibano površje, ki ne dosega večjih naklonov, ter so mestoma razčlenjena s kotanjami različnih velikosti in oblik (slika 5).

Slika 5: Karta reliefnih oblik Sotelskega gričevja.



Najpogostejše kotanje globokega krasa so vrtače, ki jih nekateri strokovnjaki opredeljujejo kot diagnostične ali tipične reliefne oblike krasa v zmernih geografskih širinah (Ford in Williams, 2007; Sweeting, 1973). Gre za manjše zaprte kotanje, ki dosežejo globine do 10 m in širine do 100 m. Največje zgostitve vrtač so na območju litotamnjskega apnenca med Trebčami in Križanim Vrhom ter severno od Križanega Vrha, v reliefnih nižanjih Trebeži in Dole. Obod vrtač zvezno prehaja v okoliško površje. Njihova pobočja so položna in ne dosega večjih naklonov, medtem ko so dna pokrita s sedimentom. Dna vrtač so navadno obsežna in uravnana, saj so morfologijo vrtač v preteklosti prilagodili agrarnim potrebam. Takšne vrtače označujemo z izrazom *delane vrtače* (Gams, 2003). Zaradi blagih naklonov pobočij in uravnane dna so vrtače v profilu skledaste oblike, zato jih imenujemo *skledaste vrtače* (Cvijić, 1893; Gams in sod., 1973; Sauro, 2019). Vrtače, ki so razvite na bolj razgibanem površju, imajo v tlorisu podolgovato obliko.

Na območju globokega krasa so tudi kotanje, ki so večje od vrtač. Gre za uvale, kraške kotanje, ki zvezno prehajajo v okoliške vzpetine, v tlorisu pa imajo pogosto zvezdasto obliko (Čalić, 2011; Mazej, 2024). Na osrednjem delu Sotelskega gričevja so štiri

uvale, ki ležijo med Palovcem in Olimsko goro. Pobočja in dna proučevanih uval so prav tako prekrita s sedimentom, kar jim daje skledasto obliko v profilu. Nekatera pobočja so razčlenjena z linearnimi vdolbinami, imenovanimi dolki, medtem ko so dna razčlenjena z vrtačami. Najobsežnejše reliefne oblike globokega krasa na območju so suhe doline. Največja suha dolina se razteza južno od naselja Turk in poteka v smeri sever–jug. Manjša suha dolina, ki poteka v smeri zahod–vzhod, leži vzhodno od Zdol. Obe dolini zvezno prehajata v okoliško površje, pri čemer so njuna pobočja položna in pokrita s plastjo sedimenta ter zvezno prehajajo v dno. Tretja suha dolina je zahodno od naselja Ortnice in prav tako poteka v smeri zahod–vzhod. Ta dolina se morfografsko razlikuje od preostalih. Njen zahodni obod je zelo izrazit. Pobočja so strma, mestoma izdanja kamninska podlaga. Zahodno pobočje zvezno prehaja v dno, severno in južno pa nekoliko manj zvezno. Dno te doline je širše v primerjavi z drugima suhima dolinama. Na območju globokega krasa najdemo tudi jamski vhod. To je Pistišekova povšna, ki je s 140 m dolžine in 26 m globine največja jama na proučevanem območju.

Termin vrtača se uporablja kot skupno ime za kotanje sorodnih velikosti, ki lahko nastanejo na različne načine. Na pokritem krasu vrtače najpogosteje nastanejo s procesom sufozije, zato jih imenujemo sufozijske vrtače (Gams, 2003). Sufozija je proces spiranja in spodjedanja sedimenta, ki odteka v kras, zaradi česar se na površju oblikuje kotanja (De Waele in Gutiérrez, 2022; Waltham in Fookes, 2003). Udor jamskega stropa je najstarejša interpretacija vrtač (Gams, 2003). Vrtače, ki nastanejo zaradi udora podzemnih prostorov, imenujemo udorne vrtače (Stepišnik, 2024). Suhe doline na proučevanem območju so nastale kot posledica delovanja površinskih vodotokov, preden so se ti pretočili v podzemlje ali pa si rečno korito oblikovali drugod. Suha dolina pri Turku je najverjetneje posledica površinske pretočitve. Glede na morfologijo površja lahko sklepamo, da je vodotok, ki danes teče čez naselje Drenik, v preteklosti pri Turku tekkel proti jugu namesto proti zahodu. Suha dolina Duhec pa je najverjetneje nastala zaradi pretočitve v kras. V preteklosti je bil neposreden vertikalni odtok padavin očitno zavrt, zato je voda oblikovala dolino. S površinskim vodotokom se je povečala dinamika spiranja sedimenta, ki je bila večja od njegove agradacije. Sčasoma zaradi manjše količine sedimenta vertikalni odtok padavinske vode ni bil več zavrt, kar je omogočilo pretočitev v kras. Danes se preteklo fluvialno preoblikovanje površja kaže v obliki suhe doline. Pri suhi dolini Ortnica smo identificirali strmo stopnjo na koncu doline, imenovano zatrep. Zaradi tega lahko dolino po nastanku opredelimo kot zatrepno dolino (Tičar, 2015) ali avtigeni kanjon (Stepišnik, 2024). Dolina se je najverjetneje oblikovala z zadenjsko erozijo nad kraškim izvirom, ki danes ni več aktiven. Razlog za to je lahko spust erozijske baze ali tektonski dvig na območju, zaradi česar dno kanjona več ne seže do epifreatične cone.

Plitvi kras

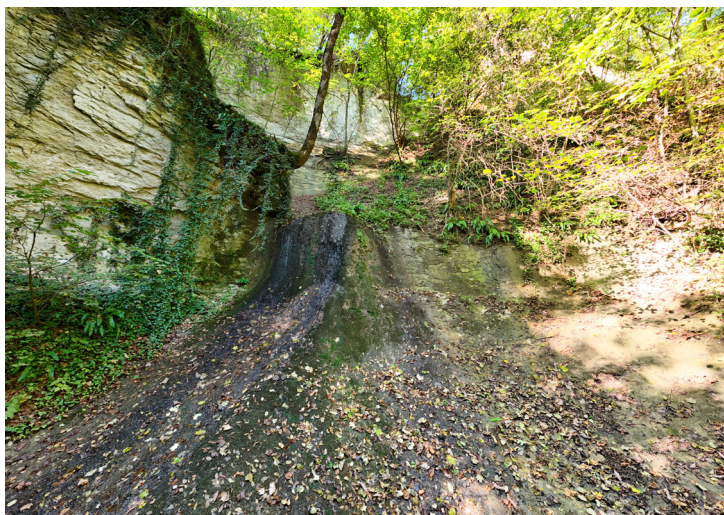
Kljub temu pa so nekateri deli krasa znani tudi po površinskih hidroloških oblikah, kot so presihajoča jezera in reke ponikalnice z vodnatimi izviri in ponori. Takšen tip krasa imenujemo *plitvi kras*. Hidrološko ga opredeljujemo kot tip krasa, kjer vadozna hidrogeološka cona ni prisotna, kar pomeni, da površje sega do epifreatične ali celo freatične cone krasa. Na teh območjih se gladina podzemne vode dviguje nad

površje (Gams in sod., 1973; Stepišnik, 2017; Stepišnik in Gostinčar, 2020). Plitvi kras lahko razdelimo na okolja stojećih vod, kjer je voda na površju prisotna v obliki jezer, in na okolja tekoćih vod, kjer so na površju prisotni vodotoki. Na obmoćju Sotelskega grićevja je plitvi kras prisoten izključno v obliki tekoćih vod. Prevladujoći geomorfni procesi v teh okoljih vključujejo kemićno in mehansko denudacijo ter kemićno in mehansko agrađacijo. Denudacija je posebej izrazita v visokoenergetskih površinskih tokovih, kjer mehansko denudacijo povzročajo abrazija, erozija sedimenta in kavitacija. Ob teh procesih poteka tudi kemićna denudacija, ki vključuje raztapljanje karbonatnih kamnin. Mehanska agrađacija v teh okoljih vključuje predvsem odlaganje drobnozrnate frakcije sedimentov. Na proućevanem obmoćju obsega plitvi kras 6,3 % oziroma 7 km² celotne površine. Pomembno je poudariti, da obmoćje plitvega krasa ne zajema zgolj same površine vodnega telesa, temveć tudi poboćja dolin. Glavnina plitvega krasa na obmoćju je razvita na litotamnijskih apnencih, ponekod pa je prisoten tudi na dolomitu. Najvećje površine plitvega krasa najdemo na obmoćju kraških izvirov v vzhodnem delu Sotelskega grićevja, kjer se stikata kraški in fluvialni relief. Od severa proti jugu se vrstijo doline Gruska, Globoko, Strah, Svećnjek, Log, Dekmanca, Bobovec, Hrastje, Loćica in Dećni dol. Većje sklenjeno obmoćje plitvega krasa predstavlja tudi severni del doline Bistrice med Podsredo in Zagajem.

Za plitvi kras Sotelskega grićevja so znaćilni kanjoni, ki so globoke in strme doline z obićajno nerazćlenjenimi poboćji, brez izrazitih erozijskih oblik. Kanjoni se razlikujejo glede na zaledje, iz katerega prejemajo vodo, pri ćemer loćimo dva osnovna tipa: kanjone, ki se napajajo iz krasa z avtigenimi vodami, in kanjone, ki prejemajo vodo iz drugih geomorfniht okolij, torej z alogenimi vodami. Prve imenujemo avtigeni kanjoni, druge pa alogeni kanjoni (Stepišnik, 2024). Avtigeni kanjoni, ki se napajajo iz kraških izvirov, imajo nad izviri strma poboćja, imenovana zatrepí, zato jih pogosto oznaćujemo kot zatrepne doline. Na proućevanem obmoćju so, z izjemo kanjona Bistrice in Sućice, vsi kanjoni avtigeni. Vsi alogeni kanjoni na obmoćju so oblikovani v litotamnijskih apnencih in predstavljajo najvećje zatrepne doline v Sloveniji. Znaćilnost proućevaniht avtigenih kanjonov je, da imajo izvir v precej višji topografski legi glede na toćko iztoka iz kanjona, kar omogoća njihovo opredelitev kot zatrepnih jarkov (Gams, 2003). Edini pravi alogeni kanjon na obmoćju je kanjon Sućice med Trebćami in kanjonom Bistrice. Ta približno kilometer dolgi odsek doline Sućice je oblikovan v dolomitu, njegova poboćja pa so strma in brez sledov erozije. Dolina Bistrice je deloma alogeni kanjon, saj njena poboćja kaćejo dvojnost: severna poboćja niso razćlenjena z erozijskimi jarki, kar ustreza definiciji kanjona, medtem ko so na južnem poboćju pogoste linearne vdolbine razlćčnih oblik.

Avtigeni in alogeni kanjoni nastajajo na razlćčne naćine (Stepišnik, 2024). Vse avtigene kanjone na proućevanem obmoćju uvrććamo med zatrepne jarke. Za te je znaćilno, da se oblikujejo zaradi zadenjske erozije, ki poteka na obmoćju izvira. Zatrep doline se s tem pomika vse bolj v notranjost, kar povzroća podaljševanje kanjona (Tićar, 2015). Ni naključje, da so najvećji avtigeni kanjoni v Sloveniji prav na tem obmoćju. Litotamnijski apnenec, ki je manj odporen na mehansko preperevanje, omogoća intenzivnejšo zadenjsko erozijo kot druge kraške kamnine, kar ima za posledico obsećne avtigene kanjone. Intenzivnost zadenjske erozije presega mehansko in kemićno poglobljanje doline, kar potrjujejo izviri, ki so precej nad dnom dolin (slika 6). Alogeni kanjoni nastanejo s povsem drugaćnim

mehanizmom, imenovanim antedecenda. Pri tem procesu vodotok ohranja svojo prvotno smer kljub tektonskemu dvigovanju ali spustu erozijske baze (De Waele in Gutiérrez, 2022; Huggett, 2017). Reka se med antedecendo mehansko in kemično vrezuje v kamninsko podlago ter oblikuje globoke in strme doline. Kanjoni, nastali zaradi antedecende, pogosto ohranjajo oblike nekdanjih rečnih tokov, kot so ujeti meandri. Ti predstavljajo nekdanje meandre rek, ki so se pozneje zarezali globoko v kamninsko podlago. Takšna primera najdemo v dolini Bistrice pri Kopiču in na koncu doline pri Zagaju. Za kanjon Bistrice je značilno, da severno pobočje ustreza definiciji kanjona, saj ni razčlenjeno z erozijskimi oblikami, medtem ko ima južno pobočje morfografske značilnosti fluviokraške doline. To razliko povzroča smer vpada dolomitnih skladov, ki na tem območju padajo proti severu pod kotom 50°. Južno pobočje je skladno in posledično položnejše, kar omogoča razvoj površinske hidrološke mreže. Nasprotno je severno pobočje neskladno in strmo. Padavinska voda na severnem pobočju odteka vertikalno, zato tam ni vidnih sledov erozije.



Slika 6:

*Zatreb avtigenega
kanjona Gruske
(foto: S. Stefanovski).*

Fluviokras

V globokem in plitvem krasu so procesi večinoma vezani na raztapljanje na površju in v podzemlju ter na površinska vodna telesa, ki se napajajo iz freatične cone krasa. Na fluviokrasu pa procesi delujejo podobno kot v fluvialnem reliefu, saj so glavni procesi vezani na fluvialne denudacijske in agraacijske procese (Roglič, 1958). Za fluviokras je značilno, da je dinamika mehanskega preperevanja intenzivnejša od kemičnega, kar vodi v sklenjen preperinski pokrov na krasu. V denudacijskem okolju fluviokrasa sediment ovira popoln vertikalni odtok padavinske vode v kras, zaradi česar se del vode steka po površju. Površinski vodni tokovi premeščajo velike frakcije sedimenta z erozijo, pri čemer delujeta tudi abrazija in kavitacija. V agraacijskih okoljih fluviokrasa, zlasti ob vznožju pobočij, se pogosto oblikujejo fluviokraški vršaji. Poleg vršajev so značilne tudi fluviokraške doline, kjer sediment v dnu zavira vertikalni odtok vode, kar omogoča stalne ali občasne vodotoke (Stepišnik, 2024). V Sotelskem

gričevju fluviokras po površini prevladuje, saj obsega 40,5 % območja oziroma 45 km² površine. Omejen je večinoma na pobočja litotamnijskega apnenca in dolomita. Največje sklenjeno območje fluviokrasa je v osrednjem delu Sotelskega gričevja, kjer prevladuje litotamnijski apnenec. Fluviokras je prisoten tudi na zahodnem robu območja, med Lesičnim in Podsredo, ter na jugu, med Podsredo in Kunšperkom. Manjši območji fluviokrasa sta na vzhodni meji območja pri Srebrniku ter na severu, na najvišjih delih grebena Javoršice.

Na pokritih kraških pobočjih del padavinskih voda ne vteka skozi sediment v kraški vodonosnik, temveč odteka po površju, kar povzroča spiranje in erozijo sedimenta (Huggett, 2017). Na fluviokrasu se zato razvijejo erozijski jarki, značilni predvsem za fluvialna okolja. Erozijski jarki na območju Sotelskega gričevja imajo različne dimenzije. Običajno segajo do nekaj sto metrov v dolžino in do nekaj deset metrov v globino. Začnejo se s strmimi pobočji in so pogosto organizirani v dendritično mrežo, kjer se posamezni jarki stekajo drug v drugega. Pobočja erozijskih jarkov so večinoma strma, dno pa je pogosto ozko in skalnato, z občasnimi ali stalnimi vodotoki. V osrednjem delu Sotelskega gričevja so prisotni tudi erozijski jarki, ki se ne iztekajo površinsko v nižje ležeče doline, ampak točkovno napajajo kraški vodonosnik. Erozijski jarki se zaključujejo s ponikvami, ki so mesta, kjer voda vteka v podzemlje skozi odprtino, delno ali popolnoma prekrito z naplavino (Novak, 1962). Najznačilnejša oblika fluviokrasa so dolki. Podobno kot erozijski jarki so dolki linearne vdolbine, ki sledijo smeri največjega naklona. Po dimenzijah so podobni erozijskim jarkom in prav tako organizirani v dendritično mrežo; vendar pa se dolki od erozijskih jarkov razlikujejo po blažjih pobočjih in širšem dnu, ki je prekrito s sedimentom. Pogosto se dolki iztekajo v erozijske jarke. Največja fluviokraška reliefna znižanja so fluviokraške doline, ki so se večinoma oblikovale v dolomitu. Njihova glavna značilnost je razčlenjenost pobočij s številnimi erozijskimi jarki in dolki, kar jih loči od kanjonov. Največja fluviokraška dolina na območju je dolina Bistrice, ki poteka od Pilštanja do Socke in od Podsrede do Zagaja. Drugi večji dolini sta fluviokraška dolina Duple, ki se razteza od Opečnika do Socke, ter dolina Sušice, ki poteka od Cerja do Stare svete gore.

Erozijski jarki na krasu nastanejo zaradi sedimenta, ki na pobočjih zavira vertikalni odtok padavinske vode v podzemlje, zato voda odteka po površju. Ko se voda zbere v večje tokovnice, preide v linijsko odtekanje, kar povzroča abrazijo kamnine. Na strmih skokih tokovnice pride do kavitacije in erozije večjih frakcij sedimenta (Huggett, 2017). Nastanek dolkov je neposredno povezan s procesi oblikovanja in preoblikovanja erozijskih jarkov (Gostinčar, 2011, 2016; Gostinčar in Stepišnik, 2012). Proces linearnega vrezovanja potekajo, dokler se debelina sedimenta na pobočjih dovolj ne zmanjša. Ko je sedimenta manj, padavinska voda ponovno začne odtekati navpično v kraški vodonosnik. Ko erozijski procesi prenehajo, se dna jarkov preoblikujejo v blago konkavne oblike brez vidnih strug. Ob zadostni akumulaciji sedimenta v dolkih pa lahko voda ponovno začne odtekati po površju, kar v določenih primerih vodi do reaktivacije erozijskih jarkov. Sediment, ki se steka s pobočij in iz erozijskih jarkov, se akumulira v reliefnih znižanjih. Akumulirani sediment zavira odtok vode v teh znižanjih, kar omogoča oblikovanje stalnih ali občasnih vodotokov ter razvoj fluviokraških dolin. V nekaterih primerih dna fluviokraških dolin segajo do gladine podzemne vode. Takšna območja lahko štejemo kot plitvi kras, kar potrjujejo številni izviri v dolini, ki postanejo aktivni ob višjem vodostaju.

4.2 Fluvialni relief

Fluvialni relief je najbolj razširjen tip reliefa na svetu (Huggett, 2017; Summerfield, 2013), medtem ko v Sloveniji pokriva le okoli 40 % površja. Na območju Sotelskega gričevja pa predstavlja 48 % površja. Za fluvialni relief je značilno, da padavinska voda odteka površinsko po pobočjih in se združuje v vodotoke, ki z denudacijo, transportom in agradacijo preoblikujejo površje. Sotelsko gričevje pripada porečju Sotle, ki predstavlja osrednji vodotok tega območja. Pomembno vlogo pri preoblikovanju reliefa imajo njeni desni pritoki, med katerimi je največja Bistrica. Pomembnejša pritoka sta še Buča in Golobinjski potok. V tem fluvialnem reliefu je tudi gosta mreža manjših občasnih ali stalnih vodotokov. Ti vodotoki oblikujejo dendritični vzorec odtočne mreže, ki je značilen za območja z relativno homogeno litološko sestavo.

Večina fluvialnega reliefa na območju Sotelskega gričevja je na kamninah miocenske starosti, kar so predvsem laporovci, peščenjaki in konglomerati, ki prevladujejo na severnem in vzhodnem predelu osrednjega dela gričevja. Na južnem delu območja, na območju Orlice, so prisotne tudi permsko-karbonske klastične kamnine, predvsem skrilavi glinavci in kremenovi peščenjaki (Aničić in sod., 2004). Vse te kamnine si delijo pomembno skupno lastnost – nizko mehansko odpornost. Zaradi intenzivnega mehanskega preperevanja vzdolž plasti in razpok nastaja obsežen preperinski pokrov, kar je posebej izrazito na območjih miocenskih laporovcev in permsko-karbonskih skrilavih glinavcev.

Glede na prevladujoče geomorfne procese lahko fluvialni relief Sotelskega gričevja razdelimo na dva osnovna tipa. Prvi je denudacijski tip, kjer prevladujejo procesi odnašanja. Značilen je za strma pobočja, kjer padavinska voda zaradi večjega strmca površinsko odteka in erodira površje, hkrati prihaja pa tudi do polzenja sedimenta po pobočjih. Drugi tip je agradacijski, ki ga najdemo v reliefnih znižanjih z manjšim strmcem, kjer prihaja predvsem do odlaganja erodiranega gradiva. V nadaljevanju so podrobno predstavljeni tipi fluvialnega reliefa ter oblike in procesi, ki so prisotni na Sotelskem gričevju (Huggett, 2017).

Fluvialni denudacijski relief

Fluvialni denudacijski relief predstavlja 36 % površja Sotelskega gričevja in je razvit pretežno na miocenskih kamninah, predvsem laporovcih, peščenjaki in konglomeratih. V manjšem obsegu se pojavlja tudi na permsko-karbonskih klastičnih kamninah v južnem delu območja. Zaradi majhne mehanske in kemične odpornosti matičnih kamnin celotno območje prekriva debela plast preperine, na kateri potekajo različni denudacijski procesi.

Površinsko spiranje predstavlja najpomembnejši proces preoblikovanja fluvialnega denudacijskega reliefa in deluje na tri načine. Prvi način je erozija zaradi udarcev dežnih kapelj, ki je posebej intenzivna na območjih z malo ali brez vegetacijskega pokrova, predvsem na obdelovalnih površinah. Drugi način je ploskovni tok padavinske vode, ki lahko premešča drobne delce sedimenta. Tretji način predstavlja koncentriran tok, ki omogoča transport večjega materiala in sčasoma vodi v oblikovanje erozijskih žlebičev. Ti procesi so najizrazitejši na kmetijskih površinah, zlasti na njivah

in pašnikih na pobočjih, kjer predstavljajo pomemben dejavnik erozije tal (Firoozi in Firoozi, 2024).

Zaradi delovanja koncentriranih tokov se v pobočjih oblikujejo erozijski jarki, ki lahko dosegajo dolžine od nekaj sto metrov do več kilometrov. Na dnu erozijskih jarkov se zaradi intenzivne erozijske dinamike izmenjujejo odseki s kamnitimi strugami in lokalne aluvialne zapolnitve. Pobočja jarkov so strma, v povirnih delih pa so pogosti izvirni zatrepi s polkrožno sklenjenim obodom. vzdolž erozijskih jarkov se pojavljajo pregibi s povečanim strmcm vodotokov, kjer so brzice in manjši slapovi. Celoten sistem erozijskih jarkov tvori značilen razvejan vzorec odvodnjavanja pobočij (Firoozi in Firoozi, 2024).

Poleg površinskega spiranja in fluvialne erozije so na območju fluvialnega denudacijskega reliefa prisotni tudi pobočni premiki. Najpočasnejši med njimi je polzenje, ki je posledica plastičnih deformacij sedimentov zaradi gravitacijskih napetosti na pobočjih. Čeprav je dinamika procesa relativno počasna, od nekaj milimetrov do deset metrov letno, je proces jasno prepoznaven po upognjenih drevesnih deblih in poškodbah infrastrukture, kot so razpoke v zidovih, nagnjene ograje in podolžne razpoke v asfaltiranih cestah. Ta proces deluje na pobočjih, ki imajo naklon do okoli 25°. Na strmejših pobočjih je debelina preperinskega sloja premajhna, da bi prihajalo do polzenja (Huggett, 2017).

Slika 7:

*Sledi usadov
v zatrepni
dolini Gruska
(foto: U. Stepišnik).*



Hitrejšo obliko pobočnih premikov predstavlja plazenje, pri čemer na območju prevladujejo rotacijski plazovi, saj je sediment relativno homogen. Njihove dimenzije segajo od nekaj deset do nekaj sto metrov v dolžino. Pri recentnih plazovih so še vidne reliefne strukture v obliki razčlenjenih blokov plazine v zgornjem delu, medtem ko so pri starejših plazovih te strukture že zabrisane. Posebno pogosti so manjši in plitvejši plazovi z dolžinami okoli nekaj deset metrov in globlinami do tri metre, imenovani usadi (slika 7). Tako plazovi kot usadi so na območju Sotelskega gričevja izjemno številčni. Prostorska razporeditev plazov in usadov na območju Sotelskega gričevja kaže na njihovo izrazito koncentracijo v strmih pobočjih, predvsem v povirnem delu Buče

ter v dolinah Sušice in Skopečnega potoka, ki se pri naselju Lesično izlivata v Bistrico. Ta območja predstavljajo najbolj dinamične dele denudacijskega reliefa, kjer zaradi kombinacije strmih naklonov in debele plasti preperine kontinuirano potekajo procesi pobočnega premikanja sedimenta.

Fluvialni agradacijski relief

Fluvialni agradacijski relief Sotelskega gričevja obsega 12 % površja ter ga sestavljajo tri osnovne geomorfne oblike: poplavne ravnice, vršaji in rečne terase. Poplavne ravnice predstavljajo največji delež agradacijskega reliefa ter se pojavljajo vzdolž dveh glavnih vodotokov – Sotle in Bistrice. Ob Sotli sta razviti dve večji poplavni ravnici: prva med naseljem Imeno in Dekmanca, kjer se združuje s poplavnima ravnica Buče in Golobinjskega potoka, ter druga na območju Kumrovske kotline ob sotočju Bistrice in Sotle. Ob Bistrici najdemo tri manjše poplavne ravnice: pri Lesičnem, Kozjem in severno od Podsrede.

Poplavne ravnice ob Sotli in Bistrici se morfološko in procesno razlikujejo. Poplavne ravnice ob Sotli imajo vertikalno agradacijo sedimentov (Summerfield, 2013), kjer se material odlaga predvsem med poplavami, ko pretok preseže kapaciteto struge. Čeprav so za ta tip poplavnih ravnin značilni naravni nasipi oziroma izgoni ob strugah, jih na proučevanem območju zaradi majhnosti poplavnih ravnin in obsežnih antropogenih preoblikovanj struge nismo identificirali. V teh poplavnih ravninah prevladujejo meandrirajoče struge, kjer helični tok povzroča erozijo na zunanjih in agradacijo na notranjih delih meandrov (Sakalowsky, 1974). Posledica teh procesov so pretočitve meandrov, zaradi česar nastanejo mrtvi meandri oziroma mrtvice (Huggett, 2017), ki pa so na območju večinoma antropogene, saj so Sotlo v več delih regulirali. Naravne meandrirajoče struge so v večjem obsegu ohranjene le ob potoku Buča in Golobinjskem potoku.

Bistrica ima vzdolž svoje doline tri poplavne ravnice, ki imajo drugačne značilnosti. Gre za poplavne ravnice z bočno agradacijo sedimentov (Summerfield, 2013), ki se odlagajo neprestano. V teh poplavnih ravninah so bile lahko razvite tako prepletene kot meandraste struge, vendar je zaradi obsežnih antropogenih preoblikovanj prvotni značaj strug težko določiti. V delih, kjer Bistrica v kanjonih teče prek kraškega reliefa, so vidni ujeti meandri, kar nakazuje, da je v času ob začetku antecedentnega vrezovanja reka meandrirala. V današnji dolini sta se najverjetneje izmenjevala meandrasti in prepleteni režim, kar je bilo odvisno od količine in značilnosti transportiranega sedimenta.

Vršaji so predvsem ob robovih poplavnih ravnin v dolini Bistrice. Ta sedimentna telesa so pahljačaste oblike in so nastala na mestih, kjer pritoki Bistrice prehajajo iz strmejših pobočij v uravnano dolino (Huggett, 2017). Zaradi svoje dvignjene lege nad poplavnimi ravnica so vršaji tradicionalno predstavljali ugodne lokacije za poselitev, kar se odraža v legi več naselij na območju. Največje vršaje najdemo na treh lokacijah v dolini Bistrice. Najmanjši je ob prehodu Sušice v poplavno ravnico pri Lesičnem, na naslednjem je naselje Kozje, medtem ko na največjem vršaju leži naselje Bistrica ob Sotli (slika 8). Vsi ti vršaji imajo značilno morfološko modifikacijo v svojih distalnih delih, kjer je Bistrica s svojo bočno erozijo odstranila njihove spodnje dele. Vršaje so

razčlenili tudi potoki, ki so jih prvotno oblikovali in so se pozneje vrezali vanje. Vršaji imajo v svojih spodnjih delih strma pobočja, ki jih je Gams (1964) opisal kot ježe vršajskih teras, čeprav z vidika geneze ne gre za terase.

Slika 8:

Vršaj Bistrice, na katerem leži naselje Bistrica ob Sotli (foto: S. Stefanovski).



Rečne terase so izključno ob Bistrici in se pojavljajo od naselja Podsreda navzdol. Najvišja identificirana terasa, na kateri stoji naselje Podsreda, se dviga približno 10 m nad recentno poplavno ravnico. Sistem teras se nadaljuje nižje vzdolž desnega brega Bistrice, kjer so razvite manjše terase. Največja terasa leži ob vršaju pri naselju Bistrica ob Sotli. Ta terasa, ki se dviga 20 m nad sedanjo poplavno ravnico, dosega dolžino skoraj enega kilometra in največjo širino 300 m.

Teras v dolini Bistrice predstavljajo morfološke dokaze večfaznega razvoja rečnega reliefa in nam omogočajo rekonstrukcijo geomorfne evolucije območja (Huggett, 2017). Čeprav absolutna starost teras in natančen razlog njihovega nastanka še ni določena, prostorska razporeditev in morfologija teras omogočata razumevanje procesov njihovega oblikovanja. Ključni indikator geneze teras je njihova odsotnost v dolini Sotle, kar izključuje regionalne tektonske procese kot primarni vzrok vrezovanja. Namesto tega lahko nastanek teras pripišemo spremembam v količini in značilnostim transportiranega sedimenta, ki so vplivale na ravnotežje med erozijskimi ter akumulacijskimi procesi v strugi Bistrice. Ko je prišlo do zmanjšanja dotoka sedimenta ali povečanja transportne sposobnosti reke, se je začela faza poglobljanja struge, pri čemer so deli nekdanjih poplavnih ravnin ostali ohranjeni kot rečne terase.

5 Sklep

Oblikovanost površja Sotelskega gričevja je rezultat stika Panonskega bazena z Dinariidi in posledično zelo pester litologije. Prevlada mehansko manj odpornih litotamnijskih apnencev in dolomitov je privedla do razvoja preperinskega pokrova. Tak tip krasa imenujemo pokriti kras. Na teh kamninah so se oblikovali trije podtipi krasa: globoki kras s številnimi vrtačami, uvalami in suhimi dolinami, plitvi kras z obsežnimi avtigenimi kanjoni ter najobsežnejši fluviokras, kjer preperina zavira

vertikalno odtekanje padavinske vode, kar vodi v fluvialno preoblikovanje pobočij. Fluvialni relief izkazuje gosto mrežo erozijskih jarkov in razpon pobočnih procesov, od površinskega spiranja do plazov. Agradacija se razlikuje med poplavnimi ravninami ob Sotli (pretežno vertikalna) in Bistrici (pretežno bočna), sistem teras ob Bistrici pa kaže večfazni razvoj; odsotnost teras ob Sotli nakazuje vpliv sprememb v režimu transporta sedimentov, in ne vpliv tektonike. Raziskava prinaša prvo celovito procesnogeomorfološko tipizacijo območja in potrjuje ključno vlogo litoloških značilnosti pri razvoju reliefa.

Viri in literatura

- Aničić, B. in Juriša, M. *Osnovna geološka karta SFRJ. L 33-68, Rogatec* [1 zvd]. Beograd, Zvezni geološki zavod.
- Aničić, B. in Juriša, M. (1985). *Tolmač za list Rogatec: L 33-68: Socialistična federativna republika Jugoslavija, osnovna geološka karta, 1 : 100 000*. Zvezni geološki zavod.
- Aničić, B., Ogorelec, B. in Dozet, S. (2004a). *Geološka karta Kozjanskega 1 : 50.000* [1 zvd]. Ljubljana, Geološki zavod Slovenije.
- Bögli, A. (1980). *Karst Hydrology and Physical Speleology*. Springer-Verlag.
- Ciglencečki, S., Goršak, B., Kolar, T., Kunst, M., Rožman, H., Vetrnik, M., Zidar, F. in Zorenč, L. (2002). *Odmaknjena bližina*. Kozjanski park.
- Cvijić, J. (1893). *Das Karstphänomen: Versuch einer Morphologischen Monographie*. Hölzel.
- Čalić, J. (2011). Karstic uvala revisited: Toward a redefinition of the term. *Geomorphology*, 134(1–2), 32–42. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2011.06.029>
- De Waele, J. in Gutiérrez, F. (2022). *Karst Hydrogeology, Geomorphology and Caves*. John Wiley & Sons Ltd. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/9781119605379.ch6>
- Firoozi, A. A., in Firoozi, A. A. (2024). Water erosion processes: Mechanisms, impact, and management strategies. *Results in Engineering*, 24, 103237. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.103237>
- Ford, D. in Williams, P. D. (2007). *Karst Hydrogeology and Geomorphology*. Wiley.
- Gams, I. (1964). Klasifikacija vršajev. *Geografski obzornik*, 11(3), 69–71.
- Gams, I. (1993). *Geografske značilnosti Slovenije* (Izpopolnjena izd.). Mladinska knjiga.
- Gams, I. (2003). *Kras v Sloveniji v prostoru in času*. Založba ZRC.
- Gams, I., Kunaver, J. in Radinja, D. (1973). *Slovenska kraška terminologija*. Katedra za fizično geografijo, Univerza v Ljubljani.
- Gospodarič, R. (1977). *Osnovna speleološka karta Slovenije 1 : 50.000. List Rogatec 3*. RSS.

- Gostinčar, P. (2011). Kontaktni kras v Kočevskem Rogu in Kočevski Mali gori. *Dela*(35), 27–43. <https://doi.org/https://doi.org/10.4312/dela.35.27-44>
- Gostinčar, P. (2016). *Geomorphological characteristics of karst on contact between limestone and dolomite in Slovenia*. [Doktorsko delo]. Univerza v Novi Gorici.
- Gostinčar, P. in Stepišnik, U. (2012). *Geomorfološke značilnosti Kočevskega Roga in Kočevske Male gore s poudarkom na fluviodenudacijskem površju*. Znanstvena založba Filozofske fakultete.
- Huggett, R. J. (2017). *Fundamentals of Geomorphology*. Routledge.
- Mazej, T. (2024). *Geomorfološke značilnosti kopastega krasa v Sloveniji*. [Magistrsko delo]. Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta. <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=161117&lang=slv>
- Melik, A. (1935). *Slovenija : geografski opis*. Slovenska matica.
- Natek, K. in Natek, M. (2008). *Slovenija: portret države*. Natek in ostali.
- Novak, D. (1962). Kraške oblike z vodno funkcijo. *Geografski vestnik*, 34(1), 129–132.
- Ogrin, D. in Plut, D. (2012). *Aplikativna fizična geografija Slovenije* (2. natis). Znanstvena založba Filozofske fakultete.
- Perko, D. (1998). The Regionalization of Slovenia. *Geografski zbornik*, 38, 11–57.
- Placer, L. (2008). Principles of the tectonic subdivision of Slovenia. *Geologija*, 51(2), 205–217.
- Roglič, J. (1958). Odnos riječne erozije i krškog procesa. *Kongres geografa FNR Jugoslavije* (str. 103–134).
- Sakalowsky, P. P., Jr. (1974). Theories of stream meander causation: A review and analysis. *Earth-Science Reviews*, 10(2), 121–138. [https://doi.org/10.1016/0012-8252\(74\)90083-X](https://doi.org/10.1016/0012-8252(74)90083-X)
- Sauro, U. (2019). Chapter 33 – Closed depressions in karst areas. V. W. B. White, D. C. Culver in T. Pipan (ur.), *Encyclopedia of Caves (Third Edition)* (str. 285–300). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814124-3.00032-7>
- Stepišnik, U. (2017). *Dinarski kras: plitvi kras Zgornje Pivke*. Znanstvena založba Filozofske fakultete Univerze v Ljubljani.
- Stepišnik, U. (2020). *Fizična geografija krasa*. Znanstvena založba Filozofske fakultete.
- Stepišnik, U. (2021). Fluviokras Žibrške planote s Hotenjskim in Logaškim kraškim poljem. *Dela*(55), 41–68. <https://doi.org/10.4312/dela.55.41-68>
- Stepišnik, U. (2024). *Geomorfologija krasa Slovenije*. Založba Univerze. <https://doi.org/10.4312/9789612973131>
- Stepišnik, U. in Gostinčar, P. (2020). Periodically inundated uvalas and collapse dolines of Upper Pivka, Slovenia. *Acta geographica Slovenica*, 60(2), 92–105. <https://doi.org/10.3986/AGS.8051>

- Summerfield, M. A. (2013). *Global Geomorphology*. Routledge, Taylor & Francis Group. <http://public.ebookcentral.proquest.com/choice/publicfullrecord.aspx?p=1688955>
- Sweeting, M. M. (1973). *Karst Landforms*. Columbia University Press.
- Šeško, S. (2007). *Osameli kras v Kozjanskem regijskem parku*. [Diplomsko delo]. Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta. <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?lang=slv&id=17227>
- Tičar, J. (2015). Geomorfološke značilnosti izbranih zatrepnih dolin v Sloveniji. *Geografski vestnik*, 87(1), 23–42. <https://doi.org/10.3986/GV87102>
- Waltham, T. in Fookes, P. G. (2003). Engineering classification of karst ground conditions. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*(36), 101–108.
- White, W. B. (1988). *Geomorphology and hydrology of karst terrains*. Oxford university press.
- Žagar, M. (1964). Kozjansko in Voglajnsko-rogaško podolje. *Geografski obzornik*, 11(2), 43–46.