3 Značilnosti vrtač Rakitovsko-Movraškega krasa

Gregor Kovačič
Univerza na Primorskem, Fakulteta za humanistične študije,
Titov trg 5, SI – 6000 Koper, Slovenija
gregor.kovacic@fhs.upr.si

1 Uvod – o vrtači kot vzorčni reliefni obliki kraških pokrajin

V Sloveniji kraško površje obsega 43–44 % ozemlja (Gams 2004), zato se poznavanje oziroma prepoznavanje vrtače kot značilne površinske kraške oblike zdi samoumevno. V *Geografskem terminološkem slovarju* je vrtača opredeljena kot »manjša, od nekaj metrov do nekaj sto metrov široka kraška kotanja okroglaste oblike, navadno širša kot globlja« (Kladnik, Lovrenčak in Orožen Adamič 2005); v besedni zvezi se pojavi 14-krat, pojavljajo se tudi različne sopomenke, kot npr. dolina, draga, dol, dolec, udornica, ograda, koliševka, ugrez, ki so kot obči geografski pojmi povezane z obliko, merami ali razvojem obravnavane kraške površinske geomorfološke oblike. V *Slovenski kraški terminologiji* je vrtača opredeljena kot »depresijska oblika, navadno globoka več metrov, ki je bolj široka kot globoka« (Gams, Kunaver in Radinja 1973). Opisa vrtače v *Geografskem terminološkem slovarju* in *Slovenski kraški terminologiji* ustrezata splošni predstavi o njeni obliki oziroma t. i. »šolskemu« primeru vrtače, ki ga je definiral že Cvijić (1895). Dejstvo pa je, da so lahko vrtače v širino in globino tudi manjših in znatno večjih mer. Omenjeni opredelitvi tudi ne pojasnjujeta procesov nastanka vrtač oziroma lahko iz zapisanega nekako razumemo, da je prevladujoči proces nastanka raztapljanje, glede na to, da gre za »kraško« kotanjo (Kladnik, Lovrenčak in Orožen Adamič 2005). V *Slovenski kraški terminologiji* lahko o različnih procesih njihovega nastanka sklepamo iz imen posameznih tipov vrtač, kot so korozijska vrtača, sufozijska vrtača in udorna vrtača (Gams, Kunaver in Radinja 1973). Podrobneje vrtačo kot geomorfološko obliko določa *Leksikon jamske in kraške terminologije* (United States Environmental Protection Agency 2002), ki pojasnjuje, da obstajajo vrtače različnih oblik prečnih prerezov,

Kovačič, G., ur. 2021. *Geografsko raziskovanje slovenske Istre 1.*
Koper: Založba Univerze na Primorskem. https://doi.org/10.26493/978-961-293-176-6.75-111

različnih nagibov pobočij (strme, položne) ter različnih sestav pobočij (pokrita s prstjo, gola, kamnita, skalnata ...).

Vrtačo natančneje opredelimo kot kraško kotanjo različnih oblik in mer, ki nastaja prvenstveno zaradi delovanja procesa korozije, pri njenem nastanku pa lahko sodelujejo tudi drugi geomorfni procesi preoblikovanja površja, ki so odvisni od geoloških in podnebnih značilnostih območja, v katerih nastajajo (Gams 2004; Ford in Williams 2007). Nastanka in razvoja vrtač torej nikakor ne moremo poenostaviti na en splošno veljaven razvojni model, saj veljajo različni modeli (korozijski, udorni, podnebni ...), ki se med seboj povezujejo in prepletajo v odvisnosti od prostorskih dejavnikov, pri vseh pa je osnovni proces korozija (Čar 2001).

Vrtače so najpogostejša, tipična in vzorčna reliefna oblika kraških pokrajin (Sauro 2003; Ford in Williams 2007) in njihovo preučevanje je zelo razširjeno. So razpoznavna reliefna oblika krasa (Ford in Williams 2007), in kjer se pojavljajo, lahko z gotovostjo govorimo o krasu in koroziji kot prevladujočem procesu preoblikovanja površja. Obratno pa ne moremo trditi, saj sta pojavnost in gostota vrtač zelo odvisni od različnih dejavnikov, kot so npr. litološko-strukturne značilnosti vodotopne kamnine, nagib pobočij (z večanjem nagiba se gostota vrtač zmanjšuje), prisotnost preperine in prsti, razmerje med padavinami in dejansko evapotranspiracijo idr. (Gunn 1981; Šušteršič 1986; Čar 2001; Gams 2000; 2004; Ford in Williams 2007). V Sloveniji se vrtače ne pojavljajo na površju, katerega nagib presega posipni kot za grušč, torej med 30 in 33° (Gams 2000) oziroma 24° (Kranjc 1981; Frelih 2014; Novljan 2019), njihova največja gostota pa je med nagibi pobočja od 2° do 5° (Frelih 2014; Novljan 2019).

Ponekod vrtače dajejo krasu značilen izgled in tak kras imenujemo vrtačasti kras (United States Environmental Protection Agency 2002; Gams 2004). Gams (2004) glede na razmere v slovenskih kraških pokrajinah navaja, da je gostota vrtač izjemna, če je vrtač nad 200, zelo velika pri 110–200, velika pri 50–110, zmerna pri 15–50, majhna pri 5–15 in neznatna pod 5 na km^2. Na krednih apnencih Divaškega krasa gostota vrtač lahko dosega tudi vrednost 240 vrtač na km^2 (Mihevc 2001).

2 Pregled ciljev raziskovanja vrtač

Preučevanje vrtač je staro toliko, kot je staro znanstveno zanimanje za kraške pokrajine. Vrtačam je veliko pozornosti v svojem delu *Karst* posvetil že Cvijić (1895), ki je postavil temelje sodobnega preučevanja zaprtih

kraških globeli srednjih mer in kraških pokrajin nasploh. Med prvimi raziskovalci je opravil morfometrične meritve vrtač; kot vzorčno območje je izbral Dinarski kras, kjer je na podlagi rezultatov meritev 300 vrtač slednje razdelil v posamezne tipe glede na nagib površja ter razmerje med premerom in globino vrtače, računal pa je tudi njihovo površinsko gostoto. Od takrat dalje se je znanje o vrtačah zelo razširilo, bolj malo pa poenotilo okrog osrednjih vprašanj, povezanih z njihovim nastankom in razvojem (Šušteršič 1994).

Vzgibi preučevanja vrtač so bili in ostajajo zelo različni. Veliko študij je bilo povezanih z razvrščanjem in preučevanjem vrtač glede na njihove različne lastnosti, bodisi morfometrične bodisi druge. Vrtače lahko namreč med seboj razvrščamo po merah, po obliki prečnega prereza (lijakaste, kotlaste, skledaste, vodnjakaste, sestavljene, polodprte, mnogokotne), po geometrijski obliki (polkroglaste, stožčaste, valjaste), po obliki tlorisa (poligonalne, zvezdaste, nepravilne), po razvoju oziroma nastanku (»običajne« oziroma nastale s pospešeno korozijo, ki jih lahko imenujemo kar korozijske, erozijske vrtače – nastale z udorom, sufozijske vrtače – nastale z ugrezanjem, poligenetske vrtače – nastale iz brezstropnih jam, nasledstvene vrtače – nastale s preslikavo nekdanjih kraških votlin na površje), po prisotnosti naplavin in prsti (aluvialna vrtača, ugrez, prekrita vrtača, pokrita vrtača), po hidrološki zgradbi in funkciji, po funkcionalnosti, po litološki in tektonski zgradbi, glede na lego v primerjavi s sosednjimi (primarna, sekundarna, dvojna vrtača), glede na podnebne pogoje nastanka (vrtače tropskega krasa, vrtače zmernih geografskih širin, vrtače periglacialnih okolij), glede na topografsko lego (vrtače v dolinah, vrtače na ravnikih, vrtače v slepih dolinah, vrtače na kraških poljih in uvalah) idr. (Jennings 1975; Bondesan, Meneghel in Sauro 1992; Šušteršič 1994; Gams 2000; Čar 2001; Sauro 2003; Gams 2004; Ford in Williams 2007; Williams 2008). Vrtačo najpreprosteje opredelimo tako, da dodamo pridevnik, ki pojasnjuje pravkar opisane lastnosti oziroma posebnosti (Sauro 2003).

Z razvojem vrtač so se ukvarjali številni avtorji. Poleg že v prejšnjem odstavku omenjenih je zanimiva raziskava Šušteršiča (1994), v kateri se je z metodo morfometrije lotil pojasnjevanja nastanka točno določenih vrtač, ki jih je pred njim Cvijić (1895) opredelil kot šolske primere. Na osnovi opravljenih terenskih meritev in uporabe računalniškega programa je razvil matematično metodo izračuna morfometričnih značilnosti vrtač, ki temelji na merjenju točk višin nad najnižjo točko v vrtači in

na osnovi katere je lahko sestavil matriko vrtače za izračun trideset morfometričnih kazalnikov; med njimi so prostornina vrtače, smer in vpad pobočij vrtače, geometrija vrtač. Natančno je obdelal sedemnajst vrtač in iz rezultatov morfometričnih značilnosti sklepal o njihovem nastanku in razvoju. Čar (2001) je skušal povezati zapletene probleme nastanka, razvoja, razporeditve in oblike vrtač z geološkimi strukturnimi elementi. Na osnovi natančnega strukturnogeološkega kartiranja okolice Planinskega polja s pomočjo zemljevidov *Temeljnih topografskih načrtov merila 1 : 5.000,* kjer so po ocenah pregledali in geološko podrobno kartirali okrog 4.000 vrtač, je izdelal novo razvrstitev vrtač z osmimi kategorijami. Razvrstitev ni zgolj opisna, temveč vsebuje pomembne razvojne elemente. Poimenoval jo je opisno-genetska razvrstitev, saj upošteva geološke osnove, ki določajo potek razvoja vrtač in jim dajejo morfološko obliko (Čar 2001). Z vplivi geoloških struktur na razporeditev vrtač so se ukvarjali tudi drugi (npr. Faivre in Reiffsteck 2002; Faivre in Pahernik 2007; Pahernik 2012). Z geomorfogenetskimi procesi nastanka vrtač v zmerno toplem pasu in v drugih podnebnih območjih se je ukvarjal tudi Gams (2000), ki je nastanek in razvoj vrtač razložil s procesom krajevno pospešene korozije, na katerega vplivajo podnebni dejavniki (presežek padavin nad evapotranspiracijo) ter značilnosti kamnin in preperine. Pri tem je opozoril, da gre pri vrtačah velikih mer (npr. udornicah) za podedovane oblike, v katerih so začetni ugodni pogoji za razvoj – stik prst/kamnina v epikraški coni, na katerem se odvija najintenzivnejša korozija padavinske vode – navadno že odstranjeni. Sauro (2003) je vrtače glede na razvoj razvrstil v šest glavnih skupin, skupino »običajnih« vrtač, nastalih s pospešeno korozijo, pa še v nadaljnje štiri podskupine. Glede na nastanek in razvoj sta vrtače razvrstila tudi Ford in Williams (2007), medtem ko je Gams (2004) vrtače razdelil na posamezne tipe tudi glede na obliko prečnega prereza, prisotnost preperine in lego do sosednjih vrtač.

Med vrtačami so, tako po svetu kot v Sloveniji, zaradi velikosti, globine, strmih pobočij in velike prostornine ter drugih značilnosti (npr. prisotnosti temperaturnega in posledično rastlinskega obrata) veliko pozornosti pritegnile udornice. Različni avtorji so se ukvarjali z njihovimi morfometričnimi značilnostmi, nastankom in razvojem, tudi modeliranjem nastanka, s sedimenti v njih, geološko-strukturnimi pogoji nastanka itn. (npr. Mihevc 1998; Castiglioni in Sauro 2000; Sauro 2000; Šebela in Čar 2000; Šušteršič 2000; Stepišnik 2004; Zhu in Waltham 2005;

Stepišnik 2008; Gabrovšek in Stepišnik 2011; Hiller idr. 2014; Stepišnik 2014; Kaufmann in Romanov 2016; Stepišnik 2017; Stepišnik in Grlj 2018; Lipar, Stepišnik in Ferk 2019; Stepišnik in Gostinčar 2020).

Nekateri avtorji so se sistematičnega preučevanja vrtač lotili iz nekoliko drugačnih vzgibov. Kovačič in Ravbarjeva (2013) sta, npr., z metodo terenskega kartiranja ugotavljala spremenjenost vrtač oziroma njihovo degradacijo zaradi človeških posegov v obliki zasipanja, odvzemanja sedimentov in izravnave kraškega površja zaradi gradnje različnih objektov ter infrastrukture. Podobno študijo sta opravili Cernatič-Gregoričeva in Zega (2010), deloma je ta problematika del študije, ki so jo opravili Gams idr. (1993) ter Parise in Pascali (2003). Preučevanja degradacije vrtač, ki so služile kot prikladen prostor za odlaganje smeti in bile kasneje zasute z različnim gradbenim odpadom, s katerim so izravnali valovito kraško površje, so se s pomočjo uporabe metode daljinskega zaznavanja ter merjenja električne upornosti tal lotili Breg (2007a; 2007b), Breg Valjavec (2014) ter Breg Valjavec in Zorn (2015). Breg Valjavec, Zorn in Čarni (2018a; 2018b) so, denimo, preučevali degradacijo vrtač zaradi odvzemanja prsti in sprememb njene sestave, ki posredno vpliva na biološko raznovrstnost teh prostorsko zelo omejenih življenjskih okolij. Podobne raziskave o biološki raznovrstnosti vrtač ter vplivu človeka na ekološko zelo občutljiva življenjska okolja v njih so opravili tudi Bátori idr. (2014a; 2014b; 2020). Lamelasova idr. (2008) so s pomočjo geografskih informacijskih sistemov (GIS) preučevali verjetnost nastanka udornic in subsidenčnih vrtač, ki povzročajo težave pri prostorskem načrtovanju v okolici Zaragoze v Španiji. Zanimiva je obsežna raziskava o arheologiji vrtač na Krasu, ki je bila opravljena z namenom ugotavljanja poselitvenih vzorcev in gospodarstva vse od časa gradišč v bronasti in železni dobi do sodobnosti. Za raziskavo so bili v vrtačah opravljeni strojni izkopi testnih jarkov, uporabljene so bile geografske, arheološke in geološke metode s številnimi terenskimi meritvami in z laboratorijskimi analizami odvzetih vzorcev (Fabec 2018). Kot lahko vidimo, so vrtače kot predmet preučevanja z leti postale zanimive tudi izven klasičnega krasoslovnega (geomorfološkega) preučevanja.

3 Pregled metod preučevanja vrtač

Poznamo različne metode preučevanja vrtač, ki se med seboj razlikujejo že glede na namen in cilje njihovega preučevanja. V prvo skupino sodijo t. i. »klasične« metode pridobivanja podatkov o različnih značilnostih

vrtač, kot npr. njihovih morfometričnih značilnosti, ki obsegajo terensko kartiranje s pomočjo ustreznih kartografskih podlag različnih meril in z uporabo preprostih (meter) ali zahtevnejših merilnih naprav (laserski merilniki razdalj, teodolit, sprejemniki GNSS – globalni navigacijski satelitski sistemi), s katerimi se pretežno določa položaj in mere vrtač, iz katerih se lahko s pomočjo računalniških orodij v nadaljevanju izračuna tudi kompleksnejše morfometrične kazalnike. Poleg določanja morfometričnih značilnosti lahko s terenskim delom pridobimo tudi druge informacije o vrtačah, kot npr. podatke o litološko-strukturni zgradbi, o rabi tal v vrtači, stopnjo spremenjenosti oziroma naravnosti idr. V drugo skupino sodijo posredne meritve osnovnih morfometričnih in drugih značilnosti na osnovi letalskih posnetkov, satelitskih posnetkov, digitalnih topografskih zemljevidov različnih meril ter v novejšem času predvsem digitalnega modela višin (v nadaljevanju DMV) različne prostorske ločljivosti. Rezultate posrednih meritev lahko dopolnjujemo z rezultati terenskih meritev in opazovanj. Med posrednimi metodami meritve morfometričnih značilnosti danes tehnologija svetlobnega zaznavanja in merjenja razdalj (LIDAR – Light Detection And Ranging) omogoča višinsko natančnost izmere laserskih točk okoli decimetra in položajno natančnost nekaj decimetrov (Triglav Čekada 2011). Po navedbi iste avtorice za preučevanje kraških pojavov zadošča gostota med 5 in 12 točk/m^2, z višinsko natančnostjo nekaj decimetrov ter položajno natančnostjo pol metra. V zadnjem obdobju znotraj skupine metod posrednih meritev prevladujejo metode samodejnega zaznavanja kraških kotanj na osnovi DMV različne ločljivosti in z uporabo različnih računalniških algoritmov. Slednji omogočajo tudi samodejne meritve nekaterih osnovnih morfometričnih značilnosti vrtač, kot so površina, obseg, dolžina osi vrtače idr. Več o metodah samodejnega zaznavanja vrtač v nadaljevanju.

Med prvimi je meritve morfometričnih značilnosti vrtač s pomočjo topografskih zemljevidov opravil Cramer (1941), ki je raziskoval vrtače v različnih delih sveta. Pred splošno razširjenostjo uporabe računalnikov sta bila pridobivanje in obdelava podatkov o morfometričnih značilnostih vrtač zamudna, razmah na tem področju so omogočili šele računalniško podprti matematični izračuni in statistična obdelava terensko zbranih podatkov (Novljan 2019). Pregled raziskav morfometričnih značilnosti vrtač v drugi polovici 20. stoletja, s katerimi so različni avtorji preučevali povezave med procesi nastanka in razvoja vrtač z njihovo obliko, razporeditev in gostoto pojavljanja vrtač v povezavi z različnimi okolj-

skimi dejavniki, kot so litološko-strukturne lastnosti kamnine, nadmorska višina ali podnebje, so opravili Bondesan, Meneghel in Sauro (1992). V istem delu je narejen pregled 65 morfometričnih kazalnikov (merjenih in računsko izvedenih), ki so jih različni avtorji uporabili pri svojih raziskavah in jih je moč uporabiti pri morfometrični analizi vrtač.

V Sloveniji so se in se še vedno za terensko geomorfološko kartiranje (tudi vrtač) najpogosteje uporabljajo zemljevidi *Temeljnih topografskih načrtov merila 1 : 5.000,* na katerih je praviloma vrisana večina vrtač. Vrtače so na njih prikazane z zaokroženimi plastnicami roba (obsega) vrtače in s topografskim znakom minus, ki označuje kotanjasto geomorfološko obliko (običajno so zapisane tudi nadmorske višine njihovih dnov), zato jih tudi ni težko poiskati na terenu. V okviru preučevanja vrtač so jih pri svojem delu uporabili npr. Čar (2001), Šebela in Čar (2000), Gostinčarjeva (2013), Kovačič in Ravbarjeva (2013) ter drugi. Lep primer analize vrtač s pomočjo GIS na podlagi topografskih kart in terenskega kartiranja z uporabo GNSS je raziskava Telbisza (2010). Glavna pomanjkljivost uporabe topografskih zemljevidov različnih meril pri določanju obsega vrtač je, da najvišje ležeča zaokrožena plastnica vrtačo omeji po njenem najnižjem robu, s čimer se lahko zelo zmanjša dejanska površina vrtače, kar je zlasti problematično pri vrtačah, ki se pojavljajo na nagnjenem površju. Na pomen težav določanja zgornjega roba vrtač v svojih prispevkih opozarjajo različni avtorji (npr. Bondesan, Meneghel in Sauro 1992; Šušteršič 2014; Šegina idr. 2018; Novljan 2019).

Novejše metode preučevanja morfometričnih značilnosti vrtač so se razvile z razvojem GIS in vedno natančnejšimi digitalnimi prostorskimi podatki, ki temeljijo na uporabi DMV in/ali posnetkov daljinskega zaznavanja, ki omogočajo hiter samodejni zajem podatkov ter njihovo enostavno obdelavo (Frelih 2014; Novljan 2019). Kot smo že navedli zgoraj, tovrstne metode na osnovi podatkov DMV in z uporabo različnih računalniških algoritmov omogočajo ne zgolj samodejno prepoznavanje zaprtih kraških globeli, temveč tudi samodejno izračunavanje njihovih osnovnih morfometričnih značilnosti. Večina tovrstnih algoritmov je prilagojenih območjem raziskav, zato je nemogoča neposredna primerjava njihove uporabnosti z vidika prepoznavanja vrtač. Nekateri od teh algoritmov so stari že skoraj štiri desetletja (Jenson in Dominigue 1988), večina pa jih je novejšega datuma in uporabljajo DMV različnih ločljivosti (npr. Planchon in Darboux 2001; Zhu, Yixiang in Zhao 2006; Grimaldi idr. 2007; Lyew-Ayee, Viles in Tucker 2007; Telbisz, Dragušica in Nagy 2009;

Arnold 2010; Basso idr. 2013; Pardo-Igúzquiza, Durán Valsero in Dowd 2013; de Carvalho Júnior idr. 2014; Zhu idr. 2014). V Združenih državah Amerike so s pomočjo geografskih informacijskih sistemov ustvarili obsežno bazo vrtač in drugih kraških oblik ter njihovih morfometričnih značilnosti (Gao, Alexander in Tipping 2002; Florea idr. 2002). Denizman (2003) je s kombinacijo digitalizacije vrtač na topografskih zemljevidih merila 1 : 24.000 ter z uporabo GIS analiziral morfometrične značilnosti približno 25.000 vrtač na Floridi. Orndorff, Weary in Lagueux (2000) so s samodejnim odkrivanjem vrtač na osnovi podatkovnega sloja DMV ločljivosti 30 m v GIS-ih na preučevanem območju določili 2.613 vrtač ter s prostorsko analizo analizirali njihovo porazdelitev v odvisnosti od posameznih litoloških enot, nagiba površja in globine kraške podtalnice. To raziskavo sta kasneje nekoliko dopolnila Weary in Orndorff (2001). Siart, Bubenzer in Eitel (2009) so za samodejno prepoznavanje vrtač uporabili različne prostorske sloje in satelitske posnetke. Zhu idr. (2014) so uporabili algoritem samodejnega odkrivanja vrtač na podlagi DMV iz LIDAR-podatkovnega oblaka ločljivosti 1,5 m. Pardo-Igúzquiza idr. (2016) so na osnovi DMV ločljivosti 5 m z uporabo algoritma samodejnega zaznavanja na območju Sierra Gorda v južni Španiji odkrili 3.100 vrtač in jim nadaljnje samodejno določili tudi nekatere morfometrične značilnosti.

Kratek pregled uporabe digitalnih prostorskih podatkov za geomorfološke analize krasa in vrtač je v magistrskem delu naredila Novljanova (2019). Pregled raziskav vrtač s samodejnimi metodami njihovega zaznavanja na podlagi DMV pa je opravil Grlj (2020). V nadaljevanju povzemamo bistvene ugotovitve. Popolnoma samodejni postopek prepoznavanja kraških kotanj na osnovi DMV je v svojem diplomskem delu uporabil Obu (2011). Gre za enostaven in vsesplošen algoritem, ki deluje na podlagi DMV in obsega štiri korake, ki vključujejo: računanje porečij, omejevanje kotanj, omejevanje kotanj višjega reda in izločanje nekraških kotanj. Jedro izdelanega algoritma je, da so kotanje omejene z višino najnižje robne celice porečja (pristop hidrološkega zapolnjevanja). Uspešnost algoritma je bila preizkušena na testnem območju in ugotovitve so pokazale, da je kakovost rezultatov zelo odvisna od ločljivosti DMV (Obu in Podobnikar 2013). Podoben pristop s hidrološkim zapolnjevanjem kotanj DMV in z odštevanjem izvornega DMV od zapolnjenega sta uporabila Grlj in Grigillo (2014), uporabila pa ga je tudi Novljanova (2019). S samodejno metodo izračuna indeksa vbočenosti, na osnovi podatkov lidarskega

snemanja prostorske ločljivosti 1 m, je vrtače in njihove značilnosti na Menišiji določal Mihevc (2014).

Danes se srečujemo s hitrim razvojem metod samodejnega daljinskega zaznavanja vrtač in samodejnega merjenja njihovih morfometričnih značilnosti; raziskave so številne in opravljene v različnih kraških pokrajinah (npr. Doctor in Young 2013; Shaw-Faulkner, Stafford in Bryant 2013; Miao idr. 2013; Obu in Podobnikar 2013; Pardo-Igúzquiza idr. 2016; Rahimi in Alexander 2013; de Carvalho Júnior idr. 2014; Bauer 2015; Liang idr. 2014; Kobal idr. 2015; Telbisz idr. 2016; Wu, Deng in Chen 2016; Grlj 2014; 2020). Obstoj več različnih metod samodejnega zaznavanja vrtač je spodbudil nekatere raziskovalce, da so na testnih poligonih opravili primerjave različnih metod samodejne zaznave vrtač s pomočjo DMV (npr. Doctor in Young 2013; Bauer 2015; Telbisz idr. 2016; Grlj 2014). Različne metode dajejo različne rezultate tako z vidika prepoznavanja vrtač kot tudi določanja njihovih morfometričnih značilnosti. Vsaka od njih ima določene pomanjkljivosti, tako kot jih imajo že omenjene metode ročne digitalizacije obodov vrtač iz DMV ter topografskih zemljevidov različnih meril, ki so med drugim tudi časovno potratne in subjektivne ter dopuščajo celo vrsto različnih napak, tudi takih, ki jih ni možno sistematično odpraviti. Ena od očitnejših pomanjkljivosti samodejnih metod zaznavanja vrtač je povezana z uporabo samodejnega modeliranja oboda vrtač s pristopom hidrološkega zapolnjevanja, ki omeji rob vrtače na najnižjo plastnico oboda vrtače, kar je zlasti težavno pri vrtačah, ki se pojavljajo na pobočjih (Šegina idr. 2018; Grlj 2020). Grlj (2020) je samodejni algoritem modeliranja pravilnih obodov vrtač, na osnovi nekoliko izpopolnjene metode modeliranja oboda vrtač s pristopom hidrološkega zapolnjevanja, ki sta jo razvila Grlj in Grigillo (2014), izboljšal z dodatnim modeliranjem oboda s polrezi in ga preizkusil na primeru petih večjih vrtač. Metodologija omejevanja vrtač z analizo polrezov je po Grljevem mnenju (2020) natančnejša, metodo pa bi seveda veljalo preizkusiti na primeru večjega števila vrtač, tudi manjših po merah.

4 Rakitovsko-Movraški kras

Z lastnim zemljepisnim imenom Rakitovsko-Movraški kras označujemo kraški ravnik (planoto), ki se razteza na nadmorskih višinah približno 450–570 m in leži južno, zahodno in deloma severozahodno od naselja Rakitovec (525 m) ter vzhodno in severovzhodno od strmih travnatih pobočij, ki se spuščajo v Movraško valo, ki je v precej nižji legi, na nadmor-



Slika 1. Lega Rakitovsko-Movraškega krasa



Slika 2. Kraški ravnik Rakitovsko-Movraškega krasa
(fotografija: Valentina Brečko Grubar, 30. 1. 2021)

ski višini približno 175 m (slika 1). Ravnik se razteza na površini približno 10 km^2. Ravnik z izjemo manjšega dela na zahodni strani, kjer pripada ozemlju katastrskih občin Movraž, Hrastovlje in Zazid, v celoti pripada katastrski občini Rakitovec.

Kraški ravnik je oblikovan na paleocenskih in eocenskih alveolinskih apnencih (Pleničar, Polšak in Šikić 1969; 1973), ki so dobro zakraseli. Uravnano kraško površje je prepredeno z linijskimi zaporedji vrtač ter vmesnimi dvignjenimi hrbti (slika 2). Oboji, tako kot vse geološke strukture na območju, potekajo v dinarski smeri severozahod–jugovzhod. Ravnik preči nekaj prelomov, prepoznani sta vsaj po ena antiklinala ter sinklinala z vodoravno osjo in dve osi prevrnjenih sinklinal. Sinklinale na zahodnemu in južnemu robu ravnika tonejo, mejo ravnika proti nižjim predelom pa določajo čela strukturnih lusk (Pleničar, Polšak in Šikić 1969). Ravnik na vzhodu omejuje nad 800 m visok kras jugovzhodnega dela Podgorskega krasa z vrhoma Lipnik (804 m) in Kavčič (879 m), proti zahodu mejo predstavlja Movraška vala, proti jugu pa strma reliefna

apnenčasta stopnja, ki se pne nad flišnim povirjem reke Mirne (Hrvaška). Z imenom Rakitovsko-Movraški kras opredeljujemo ravnik na območju Slovenije, čeprav se podoben svet nadaljuje proti jugovzhodu v hrvaški del Čičarije (Brečko Grubar in Kovačič 2017).

Po naravnogeografski regionalizaciji se omenjeno območje uvršča v pokrajino Podgorski kras, Čičarija in Podgrajsko podolje (Orožen Adamič in Perko 1998) oziroma Kras s Slavniškim hribovjem (Žiberna, Natek in Ogrin 2004; Senegačnik 2012). Na *Državni topografski karti merila 1 : 25.000* je to območje označeno kot del večje pokrajine Čičarija (Geodetski zavod Slovenije 1996). Na omenjenem zemljevidu na preučevanem območju ni zapisanih toponimov, ki bi opozarjali na prisotnost vrtač, medtem ko se toponim Raven kras pojavlja na *Državni topografski karti merila 1 : 50.000* (Geodetski inštitut Slovenije, Geodetski zavod Slovenije in DFG Consulting 2004). Na *Temeljnem topografskem načrtu merila 1 : 5.000* se pojavlja več toponimov, povezanih z vrtačastim površjem, kot so: Pri dolinah, Na Dolcah, Na krasu, Raven kras in Mohoričeve doline (Geodetska uprava Republike Slovenije 1996). Na preučevanem zakraselem območju je registriranih 23 jamskih objektov, dolžin 9–402 m (mediana je 24 m) in globin 1–168 m (mediana je 10 m). Največji jamski objekt je Pečina v Radotah, ki leži na zahodnem robu ravnika, prav na meji s Hrvaško, in meri v dolžino 402 ter v globino 168 m (Društvo za raziskovanje jam Ljubljana b. l.).

5 Metodologija kartiranja vrtač Rakitovsko-Movraškega krasa

Kartiranje vrtač smo s študenti univerzitetnega študijskega programa Geografija 1. stopnje v okviru učne enote *Terenski seminar Istra* opravljali v študijskih letih 2008/2009, 2009/2010, 2010/2011, 2014/2015 in 2016/2017 (slika 3). Vrtače na ravniku Rakitovsko-Movraškega krasa smo pregledovali znotraj državne meje. Na ravniku so vrtače prisotne na uravnanem površju, na večjih nagibih jih ni. Od tu njihova popolna odsotnost na pobočjih, ki se spuščajo proti Movraški vali, in na strmih pobočjih, ki se pnejo proti Lipniku in Kavčiču, kar je skladno s splošno ugotovljenimi dejstvi, da se vrtače na nagibih, večjih od 30°, praktično ne pojavljajo (Gams 2004; Frelih 2014; Novljan 2019).

Pri kartiranju smo uporabljali preproste terenske metode in pripomočke. Kot osnovni pripomoček za kartiranje vrtač smo uporabili *Temeljne topografske načrte merila 1 : 5.000*. Od časa izdelave do danes jih je bilo le nekaj posodobljenih (reambuliranih), listi za območje Rakitovskega-



Slika 3. Študenti geografije na Fakulteti za humanistične študije Univerze na Primorskem med kartiranjem vrtač na Rakitovsko-Movraškem krasu (fotografija: Gregor Kovačič, 18. 5. 2010)

Movraškega krasa so bili izdelani v letih 1973 in 1976. Zgodilo se je tudi, da kakšna manjša vrtača na zemljevidu ni bila prikazana in jo je bilo treba tja vrisati. Nekatere plitve vrtače na zemljevidih tudi niso bile prikazane s plastnicami. Zato smo na terenu vrtače iskali tudi tam, kjer je na zemljevidu prikazan zaključen suhi zid, ki lahko kaže na zamejitev vrtače. Vrtače so zaradi debelejšega profila prsti na prevladujočem golem kraškem površju, primernem zgolj za pašnike in tu pa tam za travnike, v dnu predstavljale dragocene krpe rodovitnih zemljišč, ki jih je bilo možno urediti v manjše njive ali vrtove in so bile zato za človeka izrednega pomena. Na Rakitovsko-Movraškem krasu je zato večina vrtač obdana s suhim zidom (slika 4).

Temeljni topografski načrti 1 : 5.000 so hkrati služili kot pripomoček za gibanje na terenu, za orientacijo pa smo uporabljali običajni kompas, kompas in/ali aplikacijo »lokacija« na pametnem telefonu z različnimi kartografskimi podlagami. Težavo pri orientaciji na terenu je predstavlja-



Slika 4. Še »vedno« obdelana delana vrtača na Rakitovsko-Movraškem krasu, zamejena s suhim zidom (fotografija: Valentina Brečko Grubar, 2. 4. 2019)

la zastarelost prikazanih topografskih podatkov na omenjenih zemljevidih (neobstoj vrisanih poti, sprememba poraščenosti, nevrisane nove poti in objekti itn.), zato so bili v veliko pomoč tudi ortofoto barvni posnetki, ki so za različne raziskave prosto dostopni na Prostorskem portalu Geodetske uprave Republike Slovenije.

Postopek kartiranja vrtač je bil sledeč. Ko smo na terenu prepoznali vrtačo, ki je vrisana na temeljnem topografskem načrtu, smo na zemljevid najprej zarisali potek meje njenega oboda, poleg pa zapisali identifikacijsko številko. Sledile so meritve morfometričnih značilnosti, kjer smo izmerili daljši in krajši premer vrtače na en meter natančno ter globino na en decimeter natančno, nato pa še določanje drugih značilnosti vrtač (kategorije, ki smo jih za lažje delo označili s številkami, smo pripravili vnaprej), kot so: oblika prečnega preseka (1 = skledasta, 2 = kotlasta, 3 = lijakasta, 4 = vodnjakasta), raba tal v vrtači (1 = vrt ali njiva, 2 = travnik, 3 = pašnik, 4 = v zaraščanju, 5 = gozd, 6 = druga kmetijska raba, kot npr. vinograd in sadovnjak, 7 = pozidano, kot npr. stavbe, parkirišča, ces-

te itn., ter 8 = drugo), omejitev vrtače s suhim zidom (1 = suhi zid obstaja, 2 = obstaja druga antropogena zamejitev vrtače (npr. živa meja), 3 = vrtača nima ne suhega zidu niti ni kako drugače zamejena), prekritost pobočja vrtače s preperino (1 = prekrito, 2 = delno prekrito z izdanki kamnine, 3 = kamnito, ni preperine), prekritost dna vrtače s preperino (1 = prekrito, 2 = delno prekrito z izdanki kamnine, 3 = kamnito, ni preperine), somernost tlorisa vrtače (1 = somerna, 2 = nesomerna), ki se določa glede na razmerje med krajšo in daljšo osjo vrtače. Med somerne vrtače smo uvrstili vrtače okroglih in štirioglatih oblik, pri katerih dolžina daljše osi vrtače ne presega bistveno dolžine krajše osi, med nesomerne pa smo uvrstili vrtače ovalnih (elipsastih) in pravokotnejših oblik, katerih dolžina daljše osi bistveno presega dolžino krajše osi. Vse podatke smo zapisovali v vnaprej pripravljeno preglednico, ki je vsebovala tudi stolpec *opomba,* v katerega smo zapisovali druga zanimiva opažanja, povezana z vrtačami, kot npr.: v vrtači je vhod v brezno, vrtača je kal, v vrtači je divje odlagališče odpadkov idr.

Največjo težavo pri terenskem pridobivanju podatkov o različnih značilnostih vrtač so predstavljale meritve mer vrtač, še posebej v primerih večjih vrtač in velike poraščenosti terena. Nekatere vrtače so bile na gosto poraščene s črnim trnjem in neprehodne. Veliko težavo je povzročalo določanje zgornjega roba vrtač, ki ležijo na nagnjenem površju, na kar so v svojih raziskavah opozorili že Bondesan, Meneghel in Sauro (1992) ter Šegina idr. (2018). V takih primerih smo zgornji rob vrtače na višjem delu površja omejili z nadmorsko višino najnižjega roba, ki bi še zadržal morebitno iztekanje vode iz vrtače (pristop hidrološkega zapolnjevanja). Na tak način smo številnim vrtačam zmanjšali njihovo dejansko površino. Za merjenje razdalj smo uporabljali 30-metrski tračni meter, kot zelo pogojno uporabne so se izkazale različne aplikacije za merjenje razdalj na pametnih telefonih. Zelo pogosta napaka je bilo precenjevanje globine vrtač, na kar je treba biti pri terenskem delu posebej pozoren. Izkušnje s terena so pokazale, da je za ocenjevanje globine vrtače priporočljivejše merjenje globine z dna vrtače proti njenemu najnižjemu robu in ne obratno.

Po opravljenem terenskem kartiranju je sledilo vrisovanje vrtač s postopkom digitalizacije v obliki poligonov v prostorski sloj v programu ArcMap 10.2.1. V podatkovno datoteko prostorskega sloja smo iz preglednice prepisali značilnosti posameznih vrtač. Sledila je analiza morfometričnih in drugih značilnosti vrtač Rakitovsko-Movraškega krasa.

6 Značilnosti vrtač Rakitovsko-Movraškega krasa

Analiza značilnosti vrtač je bila narejena s programskimi orodji ArcMap 10.2.1 in IBM SPSS Statistics 26 ter zajema podatke o 276 vrtačah. Tematski zemljevidi so izdelani s programoma ArcMap 10.2.1 in CorelDRAW Graphics Suite X4. Približno 80 vrtač Rakitovsko-Movraškega krasa še ni bilo terensko kartiranih in v analizo niso vključene. Analiza je bila izvedena za terensko izmerjene morfometrične značilnosti vrtač (premer daljše osi, premer krajše osi, globina) ter površine vrtač, ki smo jo poenostavljeno za vsako vrtačo izračunali s pomočjo dolžine daljše in krajše osi vrtače po formuli za izračun ploščine elipse. V analizo smo vključili tudi samodejno izračunane morfometrične značilnosti vrtač na osnovi vrisanih poligonov vrtač v prostorski sloj. Podatke o obsegu in površini vrtač smo v programu ArcMap 10.2.1 izračunali s pomočjo ukaza »Calculate Geometry« v podatkovni preglednici prostorskega sloja, medtem ko smo podatke o polmerih krajših in daljših osi vrtač pridobili z uporabo ukaza »Zonal Statistics« ter iz njih izračunali premere krajših in daljših osi. Izračunali smo tudi indeks krožnosti vrtač, za katerega obstoji veliko različnih metod izračunavanja (Bondesan, Meneghel in Sauro 1992; Denizman 2003; Doctor in Young 2013; de Carvalho Júnior idr. 2014; Kobal idr. 2014; Šegina idr. 2018 idr.). V raziskavi smo indeks krožnosti vrtač v podatkovni preglednici prostorskega sloja digitaliziranih poligonov vrtač izračunali s pomočjo podatka o obsegu in površini vrtače po zgledu Kobala idr. (2014). Rezultate opisne statistike značilnosti vrtač Rakitovsko-Movraškega krasa prikazuje preglednica 1.

6.1 Morfometrične značilnosti

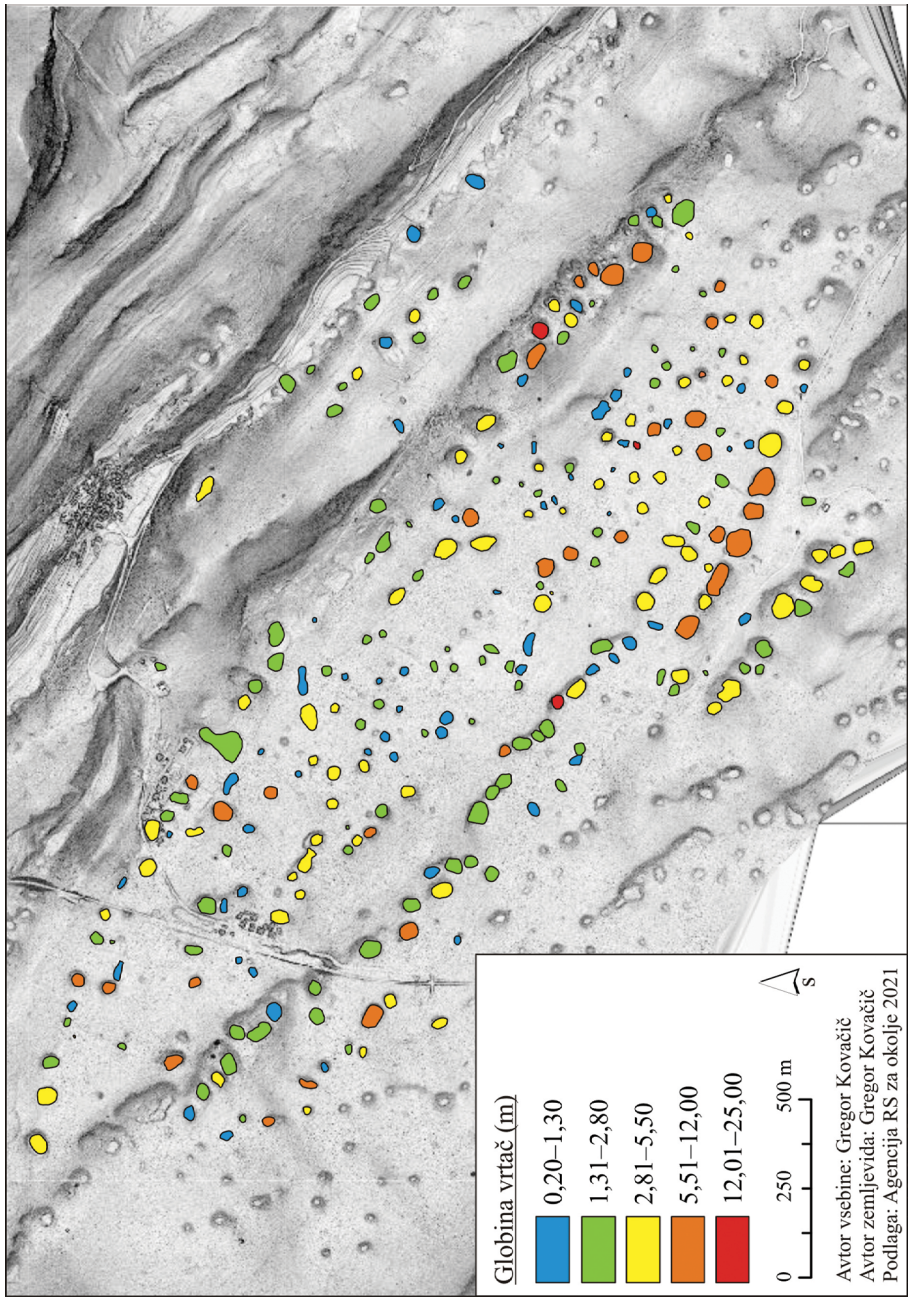
Na terenu izmerjeni premeri daljših osi vrtač so v razponu 5–180 m, v povprečju pa daljša os vrtač na Rakitovsko-Movraškem krasu meri dobrih 42 m. Največ vrtač (24 %) ima dolžino daljše osi v razredu 30–40 m. Povprečna dolžina krajše osi vrtač je 30,7 m, vrednosti pa se gibljejo v razponu 3–86 m. 65 % vrtač ima dolžino krajše osi v razponu 15–40 m. Vrtače Rakitovsko-Movraškega krasa so plitve, njihova povprečna globina znaša 3,1 m, vrednosti pa se gibljejo v razponu 0,2–25 m (slika 5). Tri četrtine vrtač je plitvejših od 3 m. Za primerjavo: rezultati raziskave, ki so jo na območju Krajne vasi na Krasu opravili Gams, Lovrenčak in Ingolič (1971), kažejo, da so vrtače Rakitovsko-Movraškega krasa v primerjavi z vrtačami na Krasu manjših mer; povprečna dolžina daljše osi slednjih namreč meri 72 m, krajše osi 57 m, povprečna globina pa 5,4 m. Večje povprečne

globine vrtač so značilne za območja, kjer prevladujejo udornice (Mihevc 2001), sicer pa se globine vrtač na preučevanih območjih Dinarskega krasa gibljejo v razponu 3,7–6,9 m (Bondesan, Meneghel in Sauro 1992; Ravbar in Zorn 2003; Telbizs in sodelavci 2016, Novljan 2019). Povprečni indeks krožnosti vrtač Rakitovsko-Movraškega krasa je 1,13 in se giblje v razponu 1,02–1,77; vrednost 1 označuje obliko popolnega kroga (slika 6).

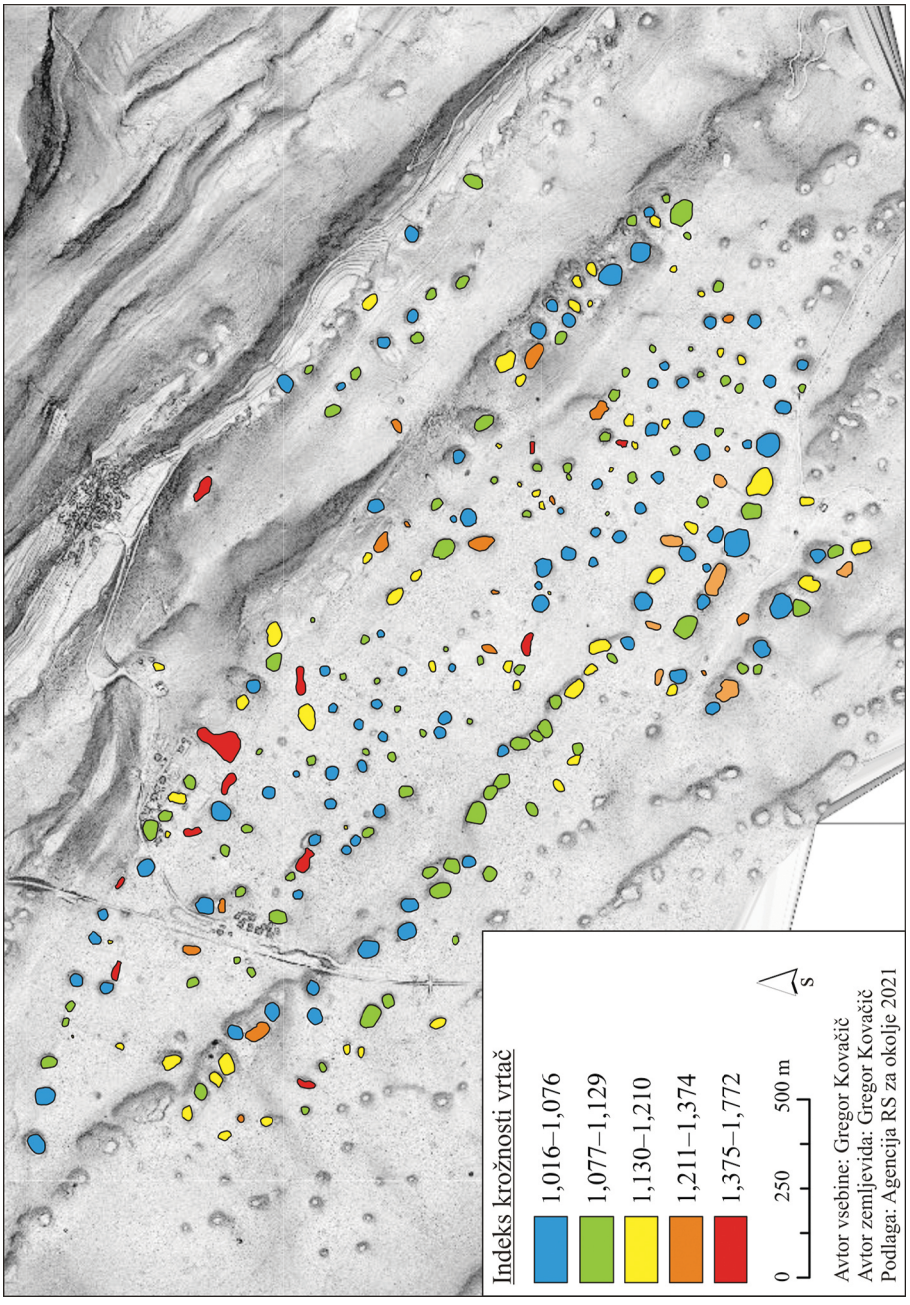
Preglednica 1. Opisna statistika morfometričnih značilnosti vrtač Rakitovsko-Movraškega krasa

	Kazalnik	Najmanjša vrednost	Največja vrednost	Razpon	Aritmetična sredina	Vsota	Standardni odklon	Koeficient variacije
Izmerjeno na terenu	Premer daljše osi (m)	5	180	175	42,2		22,7	0,54
	Premer krajše osi (m)	3	86	83	30,7		15,4	0,50
	Globina (m)	0,2	25	24,8	3,1		2,9	0,94
	Površina (m2)	11,8	11.309,8	11.298,0	1.245,0	343.614,9	1.346,1	1,08
Poligoni v prostorskem sloju	Premer daljše osi (m)	10,7	121,3	110,6	39,8		16,7	0,42
	Premer krajše osi (m)	9,2	68,5	59,3	27,4		11,8	0,43
	Obseg (m)	20,3	346,0	325,7	109,1		44,9	0,41
	Površina (m2)	27,7	6.331,8	6.304,0	975,2	269.162,5	802,1	0,82
	Indeks krožnosti	1,02	1,77	0,76	1,13		0,11	0,10

Mere daljših in krajših osi vrtač, izračunane na osnovi digitaliziranih poligonov vrtač v prostorskem sloju, se od terensko izmerjenih nekoliko razlikujejo, kar je posledica nenatančnosti pri izvajanju postopka digitalizacije. Digitalizacijo vozlišč poligonov robov vrtač v prostorski sloj smo običajno izvedli kar po najvišji zaključeni plastnici, ki se na *Temeljnem topografskem načrtu merila 1 : 5.000* pojavlja na območju digitalizirane vrtače, dejansko pa je lahko rob vrtače v višji ali nižji legi. Na problematiko določanja zgornjega roba vrtače, s pomočjo uporabe topografskih zemljevidov različnih meril, DMV različne ločljivosti, barvnih ortofoto posnetkov ter terenskih meritev, opozarjajo različni avtorji, kot npr. Bondesan, Meneghel in Sauro (1992), Šegina idr. (2018), Šegina (2021). Posebej



Slika 5. Prikaz vrtač Rakitovsko-Movraškega krasa glede na globino



Slika 6. Prikaz vrtač Rakitovsko-Movraškega krasa glede na indeks krožnosti

izpostavljajo problem določanja poligonov vrtač po konceptu plastnic v primerih, ko zgornji rob vrtače ni v isti nadmorski višini ali ko je interval plastnic prevelik, da bi lahko zajel zgornji rob vrtače (Šegina idr. 2018).

Povprečen premer daljše osi vrtač Rakitovsko-Movraškega krasa na osnovi digitaliziranih poligonov vrtač tako znaša 39,8 m, vrednosti pa se gibljejo v razponu 10,7–121,3 m, kar je za 58 % manjši razpon kot pri terensko izmerjenih vrednostih, medtem ko sta povprečji terensko izmerjenih in samodejno izračunanih dolžin daljših osi vrtač približno enaki (6 % večje pri terensko izmerjenih podatkih). Nekoliko večje je odstopanje med povprečjema izmerjenih in samodejno izračunanih vrednosti pri dolžini krajše osi (12 % večje pri terensko izmerjenih podatkih). Premer krajše osi se giblje v razponu 9,2–68,5 m, povprečje pa znaša 27,4 m.

Površina vrtač, izračunana kot ploščina elipse iz terensko izmerjenih podatkov, je v razponu 11,8–11.298 m^2, kar bi pomenilo, da vrtače na Rakitovsko-Movraškem krasu pokrivajo skupaj 34 ha oziroma 0,34 km^2. Vrtače, ki smo jih kartirali na površini 4,92 km^2, tako pokrivajo skoraj 7 % preučevanega površja Rakitovsko-Movraškega krasa. Gotovo so natančnejši podatki o površini vrtač, izračunani samodejno na osnovi digitaliziranih poligonov vrtač v programu ArcMap 10.2.1. Ti kažejo, da so površine vrtač v razponu 27,7–6.331,8 m^2, njihova skupna površina pa je približno 27 ha ali 0,27 km^2. V tem primeru vrtače pokrivajo 5,5 % preučevanega območja. Za primerjavo: vrtače na območju Divaškega krasa predstavljajo 11 % površja, od tega udornice kar 4 % površja (Mihevc 1998). Ravbar in Zorn (2003) sta za Divaški kras prišla do ugotovitve, da vrtače predstavljajo 6,45 % površja, medtem ko sta Kovačič in Ravbarjeva (2013), ki sta se osredotočila na preučevanje vrtač v neposredni bližini Divače in Kozine, ugotovila, da se je delež vrtačastega površja zaradi širitve naselji in gradnje druge infrastrukture (poslovna cona, obrtna cona, avtocesta idr.) v obdobju 1972–2012 zmanjšal, v prvem primeru z 18,3 na 17,3 % ter v drugem s 14,6 na 13,2 %. Radinja (1969) ja za Dobrdobski kras ugotovil, da vrtače v povprečju obsegajo 5 % površja, na območjih z večjo gostoto pa tudi do 12 % površja. Bondesan, Meneghel in Sauro (1992) so za testno območje na Tržaškem krasu izračunali, da vrtače pokrivajo 11 % površja.

Gostota vrtač na Rakitovsko-Movraškem krasu je približno 72 vrtač/km^2; v izračunu so upoštevane tudi vrtače, ki jih terensko še nismo kartirali. Po Gamsovi (2004) klasifikaciji je to velika gostota vrtač. Vrtače so zgoščene v pasovih nekoliko znižanega površja, medtem ko na vmesnih rahlo dvignjenih hrbtih praviloma niso prisotne. Gams, Lovrenčak

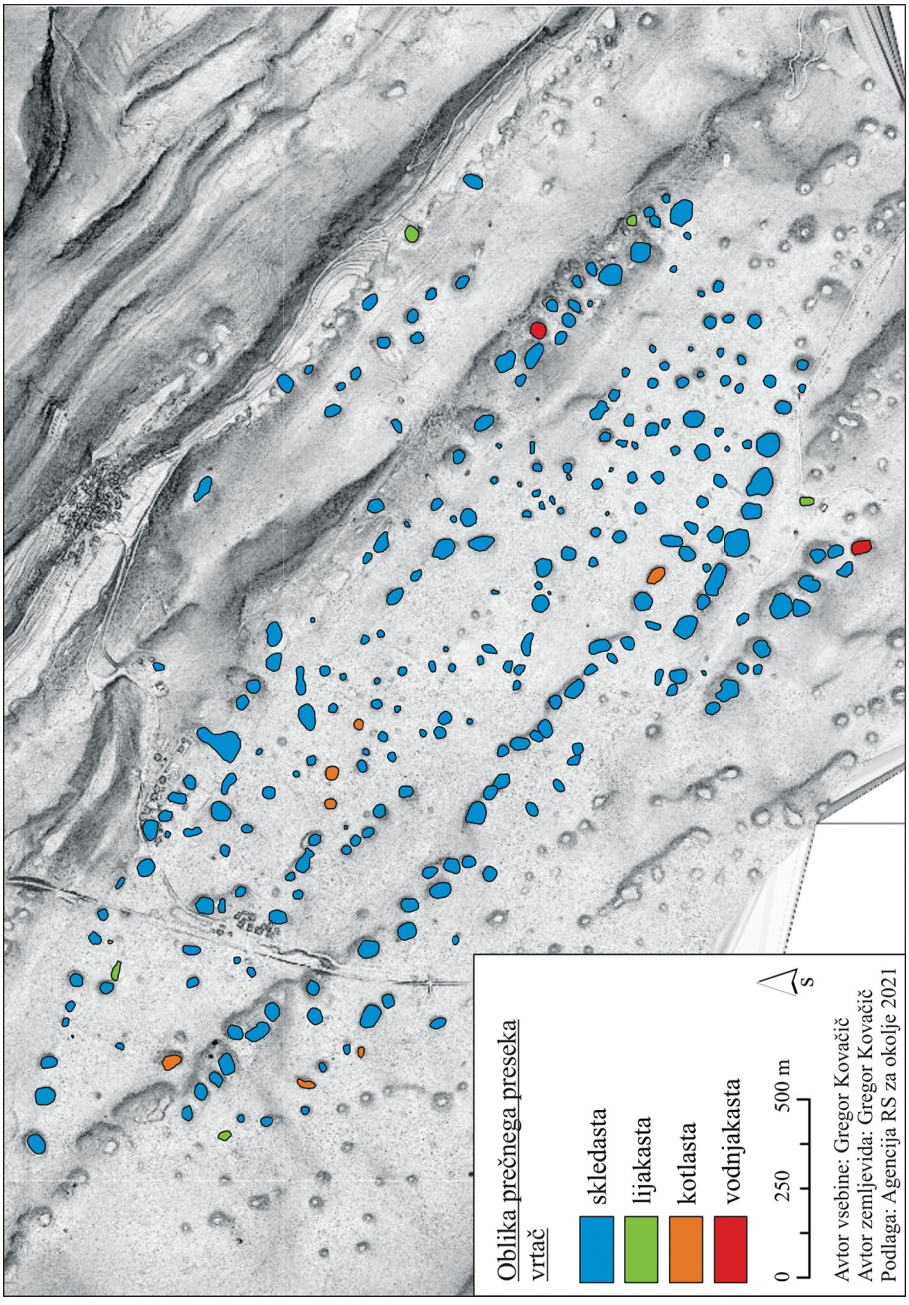
in Ingolič (1971) so na območju Krasa ugotovili podobno gostoto vrtač (64 vrtač/km²), medtem ko so ostali avtorji ugotovili manjše gostote vrtač na Krasu. Bondesan, Meneghel in Sauro (1992) so na Tržaškem krasu tako izmerili gostoto 40 vrtač/km², Mihevc (1998) je na območju Divaškega krasa ugotovil gostoto 25 vrtač/km², Ravbar in Zorn (2003) pa na približno enakem območju gostoto 38 vrtač /km². Kovačič in Ravbarjeva (2013) sta na območju Kozine in Divače ugotovila zmanjšanje gostote vrtač v obdobju širih desetletij, in sicer s 57 na 42 v primeru Kozine z okolico in z 79 na 59 vrtač/km² v primeru Divače z okolico. Podobno gostoto vrtač, kot je značilna za Rakitovsko-Movraški kras, je za ribniško Malo goro (88 vrtač/km²) izračunal Kranjc (1981), približno tako gostoto vrtač izkazujeta tudi Kočevski rog in posamezni predeli Suhe krajine (Gams 2004). Gostota vrtač Rakitovsko-Movraškega krasa torej ni zelo velika, saj v Sloveniji obstajajo območja z veliko večjimi gostotami, kot sta npr. rob Kočevskega polja (211 vrtač na km²; Gams 2004), okolica Planinskega polja (261 vrtač/km²; Šušteršič 1994) ali pa območja, ki jih gradijo kredni apnenci na Divaškem krasu (240 vrtač/km²; Mihevc 2001).

Med preučevanimi morfometričnimi značilnostmi vrtač (preglednica 1) največjo spremenljivost kažejo podatki za izračunano površino na osnovi terensko izmerjenih vrednosti (koeficient variacije je 1,08), sledijo podatki o globini (koeficient variacije je 0,94) ter podatki o izračunani površini digitaliziranih poligonov vrtač v prostorskem sloju (koeficient variacije je 0,82). Najmanjšo spremenljivost pa kažejo podatki o indeksu krožnosti (koeficient variacije je 0,10). Majhno spremenljivost kažejo tudi izračunani obsegi digitaliziranih poligonov vrtač (koeficient variacije je 0,41) in iz istih poligonov izračunani podatki o polmerih krajših in daljših osi vrtač (koeficienta variacije sta 0,42 oziroma 0,43). Ne moremo potrditi, ali je manjša spremenljivost nazadnje omenjenih spremenljivk, v primerjavi s spremenljivkama terensko izmerjenih dolžin krajših osi (koeficient variacije je 0,50) in daljših osi (koeficient variacije je 0,54) vrtač, povezana z že opisanimi možnimi napakami pri digitalizaciji poligonov vrtač v prostorski sloj. Največjo statistično značilno ($p < 0,000$) povezanost med preučevanimi morfometričnimi značilnostmi izkazujeta iz digitaliziranih poligonov izračunana obseg in površina vrtač ($r = 0,97$), najmanjšo pa globina vrtač in polmer krajše osi ($r = 0,26$).

6.2 Druge značilnosti

Največ, 260 oziroma 94 % vrtač Rakitovsko-Movraškega krasa ima skledasto obliko prečnega prereza, pri čemer jih je večina imela dno dokaj uravnano (slika 7). To povezujemo s preteklim urejanjem vrtač z uravnavanjem in s širjenjem njihovega dna, s čimer so prebivalci območja pridobili nekaj več ravnih površin z dovolj globoko prstjo, na katerih so si uredili manjše njive oziroma bolj vrtove, ki jih drugod na zakraselem ravniku zaradi plitvosti prsti in kamnitosti ni bilo mogoče (ravnik je bil izkoriščan kot skupni pašnik) (slika 4). Pet (1,8 %) vrtač je kotlaste, devet (3,3 %) lijakaste in dve (0,7 %) vodnjakaste oblike, pri katerih je dolžina navpične osi bistveno presegala dolžini drugih dveh osi. Ena od njih kaže na možen nastanek z udorom, saj ima strma skalnata pobočja, na enem od njih se odpira manjša votlina. Na terenu smo vidno ocenjevali tudi somernost tlorisa vrtač, pri čemer smo vrtačam z majhno razliko med razdaljo daljše in krajše osi pripisali somerno obliko, vrtačam z večjo razliko med osema pa nesomerno obliko. Kazalnik je primerljiv s t. i. sploščenostjo (Šegina idr. 2018). 162 oziroma 58,7 % vrtač Rakitovsko-Movraškega krasa ima someren tloris, 114 oziroma 41,3 % vrtač pa je asimetrične oblike, pri čemer prevladujoče smeri sploščenosti tlorisa nismo računsko ugotavljali. Med vsemi vrtačami je največ somernih vrtač s skledastim prečnim presekom (57,2 %).

V času največjega poljedelskega pritiska so vrtače na Rakitovsko-Movraškem krasu, izvzeta so relativno obsežna polja v Movraški ter nekoliko manj obsežna polja v Rakitovski vali, delovale kot redke, za poljedelstvo primerne površine na območju, ki je za kmetijstvo manj primerno. T. i. delane vrtače so lepo vidne na zemljevidih Franciscejskega katastra z začetka 19. stoletja, kjer je med obsežnimi površinami skupnega pašnika veliko število manjših ovalnih krp orne zemlje v vrtačah, ki so v nekaterih primerih celo razdeljene na več parcel (slika 8; Ministrstvo za kulturo, Arhiv Republike Slovenije b. l.). Danes je na ravniku zelo malo vrtač z njivo ali vrtom (40 oziroma 14,5 %), pa kljub vsemu bistveno več kot v okolici Kozine in Divače, kjer se povečuje delež pozidanih površin in je zato vrtač z njivami zgolj 6 % oziroma 3 % (Kovačič in Ravbar 2013). »Kmetovalci« morajo pridelke v vrtačah pred divjadjo »varovati« z več kot dvema metroma visokimi železnimi ograjami. 54 oziroma 19,6 % vrtač je glede na rabo travnik in zgolj dober odstotek jih je namenjen za pašo. 57 oziroma 20,7 % vrtač že prekriva gozd hrasta in drugih drevesnih vrst, največ (122 oziroma 44,2 %) pa jih je v procesu zaraščanja.



Slika 7. Prikaz vrtač Rakitovsko-Movraškega krasa glede na obliko prečnega preseka

Slika 8. Vrtače Rakitovsko-Movraškega krasa na izseku zemljevida Franciscejskega katastra prepoznamo po poligonih svetlooker barve, ki označuje zemljišča z njivami in vrtovi, znotraj obsežnih skupnih pašnikov (svetlozelena barva)

Nekdanji pomen vrtač za poljedelstvo potrjuje podatek, da je kar 230 oziroma 83,3 % vrtač Rakitovsko-Movraškega krasa omejenih s suhim zidom, pet (1,8 %) vrtač je zamejenih z živo mejo, 41 oziroma 14,9 % vrtač pa je takih, ki v okolico prehajajo brez vidne meje. Povezanost opisnih spremenljivk »raba tal v vrtači« in »omejitev vrtače s suhim zidom« pokaže tudi izračun Pearsonovega hi-kvadrat-testa ($df = 8$; $p < 0{,}000$), ki pokaže, da je v več vrtačah brez suhega zidu prisoten gozd oziroma se zarašča ter da je v več vrtačah, ki so obdane s suhim zidom, pogostejša raba tal vrt ali njiva, kot bi sicer pričakovali, če spremenljivki med seboj ne bi bili povezani. 160 oziroma 58 % vrtač ima pobočja prekrita s preperino in zgolj sedem (2,5 %) je takih, ki imajo povsem kamnita pobočja. Vrtač, ki imajo pobočja delno prekrita s preperino in delno z izdanki kamnine, je 109 oziroma 39,5 %. Delež vrtač s prekritim dnom s preperino je še mnogo večji in znaša 87 % (240), kar ponovno dokazuje, da so bile v vrtačah nekoč njive in vrtovi. 31 oziroma 11,2 % vrtač ima dno delno prekrito s preperino in zgolj pet oziroma 1,8 % jih ima dno kamnito, brez preperine. Povezanost opisnih spremenljivk »prekritost pobočja vrtače s preperino« in »prekritost dna vrtače s preperino« pokaže tudi izračun Pearsonovega hi-kvadrat-testa ($df = 4$; $p < 0{,}000$). Največ, 57,6 %, je vrtač, ki imajo tako pobočje kot dno prekrito s preperino, in samo dober 1 % je vrtač, ki tako pobočja kot dna nimajo pokritega s preperino.

7 Sklep

Analiza podatkov morfometričnih in drugih značilnosti vrtač Rakitovsko-Movraškega krasa, pridobljenih s terenskim kartiranjem ter obdelavo z računalniškimi programi, je pokazala, da na preučevanem območju prevladujejo po površini majhne ter relativno plitve vrtače dokaj okroglega tlorisa, z izrazito prevladujočim skledastim prečnim presekom. Čeprav se v raziskavi nismo dotaknili procesov njihovega nastanka in razvoja, lahko po obliki, merah in lastnostih preperine na pobočjih ter dnov vrtač sklepamo o tem, da jih je večina nastala s procesom pospešene korozije. Večjih udornic nismo prepoznali.

Večina vrtač se danes zarašča, v preteklosti pa jih je bila večina skrbno obdelanih, o čemer pričajo zgodovinski kartografski viri ter tudi izravnana dna vrtač. To je tudi eden od razlogov, zakaj jih je kar štiri petine obdanih s suhim zidom. Gostota vrtač na Rakitovsko-Movraškem krasu je visoka in primerljiva z drugimi kraškimi območji v Sloveniji, ni pa izje-

mna. Vrtače skupaj obsegajo približno 7 % površine, kar je tudi primerljivo s sosednjimi kraškimi pokrajinami.

Morfometrične značilnosti vrtač smo merili s preprostimi pripomočki, zato se zavedamo možnosti napak, ki imajo določen vpliv tudi na rezultate opravljene analize. Terensko popisovanje so izvajali različni popisovalci, kar poveča možnosti napak meritev, ki so nesistematičnega značaja in se jih ne da odpraviti samodejno, kar zelo vpliva na pravilnost rezultatov. Če bi terensko kartiranje morfometričnih značilnosti in drugih značilnosti vrtač vedno opravljali isti popisovalci, bi bile napake sistematičnejše. Različni popisovalci pa lahko pri isti vrtači izmerijo povem drugačne vrednosti morfometričnih značilnosti in drugače določijo tudi druge lastnosti. V tem primeru tako ne vemo, v katero smer in v kakšnem razponu se izmerjene vrednosti različnih kazalnikov vrtač odklanjajo od dejanskih vrednosti. Zato je pri terenskem popisovanju morfometričnih in drugih značilnosti vrtač zelo pomembno, da različni popisovalci enako razumejo navodila in meritve opravljajo po enakih postopkih, s čimer se skuša zmanjšati napake, ki bi izhajale iz drugačnega razumevanja postopkov terenskega kartiranja, oziroma drugače povedano, stremeti je treba k čim bolj poenoteni metodologiji terenskega popisovanja morfometričnih in drugih značilnosti. Možnost napak se zmanjša z uporabo natančnejših merilnih naprav, kot so, recimo, natančne naprave GNSS, laserski merilniki razdalj idr.

Samodejne metode prepoznavanja vrtač in meritev njihovih morfometričnih značilnosti odpravljajo pomanjkljivosti, povezane s subjektivnostjo presoje terenskih popisovalcev. Je pa kakovost tako pridobljenih podatkov zelo odvisna od natančnosti prikaza površja, torej ločljivosti DMV kot vhodnega podatka, in pa tudi uporabljenih algoritmov, kar so pokazale številne raziskave. Velika prednost samodejnega prepoznavanja vrtač je v tem, da lahko v analizo naenkrat zajamemo velika območja in da je relativno objektivna. To pomeni, da četudi pri samodejnem zajemu in morfometričnih meritvah vrtač prihaja do napak, so le-te sistematičnega značaja in se jih da odpraviti ter s tem povečati pravilnost pridobljenih rezultatov. Najboljši sta terenska kontrola daljinsko pridobljenih podatkov o morfometričnih značilnostih vrtač in kalibracija samodejnih algoritmov na osnovi terenskih opažanj. Samodejno bi lahko s pomočjo prostorskih podatkov o rabi tal Ministrstva za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano (2021) daljinsko zajeli tudi podatke o rabi tal v vrtačah, s poseb-

nimi računalniškimi prijemi in zelo natančnimi DMV pa bi morda lahko tudi ocenili, ali posamezno vrtačo obdaja suhi zid.

Izzivov za nadaljnje raziskovanje značilnosti vrtač Rakitovsko-Movraškega krasa je veliko, med njimi jih je kar nekaj povezanih z vrednotenjem kakovosti uporabljenih metod in pridobljenih podatkov. Z vidika razvoja metodologije bi bilo zelo smiselno na študijskem poligonu uporabiti tudi katero od metod samodejnega daljinskega zaznavanja vrtač ter merjenja njihovih morfometričnih značilnosti in dobljene rezultate primerjati s terensko izmerjenimi.

Viri in literatura

Agencija Republike Slovenije za okolje. B. l. Lidar. http://gis.arso.gov.si/evode/profile.aspx?id=atlas_voda_Lidar@Arso.

Arnold, Neil. 2010. »A New Approach for Dealing with Depressions in Digital Elevation Models when Calculating Flow Accumulation Values.« *Progress in Physical* Geography 34 (6): 781–809.

Basso, Allesia, Emanuela Bruno, Mario Parise in Mariangela Pepe. 2013. »Morphometric Analysis od Sinkholes in a Karst Coastal Area of Southern Apulia (Italy).« *Environmental Earth Sciences* 70 (6): 2545–2559.

Bátori Zoltán, János Csiky, Tünde Farkas in Anna E-Vojtkó. 2014a. »The Conservation Value of Karst Dolines for Vascular Plants in Woodland Habitats of Hungary: Refugia and Climate Change«. *International Journal of Speleology* 43 (1): 15–26.

Bátori Zoltán, Tünde Farkas, László Erdős, Csaba Tölgyesi, László Körmöczi in András Vojtkó. 2014b. »A Comparison of the Vegetation of Forested and Non-Forested Solution Dolines in Hungary: A Preliminary Study.« *Biologia* 69 (10): 1339–1348.

Bátori, Zoltán, András Vojtkó, Gunnar Keppel, Csaba Tölgyesi, Andraž Čarni, Matija Zorn, Tünde Farkas, László Erdős, Péter János Kiss, Gábor Módra in Mateja Breg Valjavec. 2020. »Anthropogenic Disturbances Alter the Conservation Value of Karst Dolines.« *Biodiversity and Conservation* 29 (2): 503–525.

Bauer, Christian. 2015. »Analysis of Dolines Using Multiple Methods Applied to Airborne Laser Scanning Data.« *Geomorphology* 250:78–88.

Bondesan, Aldino, Mirco Meneghel in Ugo Sauro. 1992. »Morphometric Analysis of Dolines.« *International Journal of Speleology* 21 (1–4): 1–55.

Brečko Grubar, Valentina, in Gregor Kovačič. 2017. »Terenski seminar Istra: spoznavanje s terenskimi metodami geografskega raziskovanja.« *Geografija v šoli* 25 (2): 30–38.

Breg, Mateja. 2007a. »Degradation of Dolines on Logaško polje (Slovenia).« *Acta carsologica* 36 (2): 223–231.

Breg, Mateja. 2007b. »Okoljski vidiki ohranjanja in zaščite vrtač v Sloveniji.« *Dela* 28:43–57.

Breg Valjavec, Mateja. 2014. »Study of Filled Dolines by Using 3D Stereo Image Processing and Electrical Resistivity Imaging.« *International Journal of Speleology* 43 (1): 57–68.

Breg Valjavec, Mateja, in Matija Zorn. 2015. »Degraded Karst Relief: Waste-Filled Dolines.« V *Advances in Environmental Research,* ur. Justin A. Daniels, 77–95. Zv. 40. New York: Nova Science.

Breg Valjavec, Mateja, Matija Zorn in Andrej Čarni. 2018a. »Bioindication of Human-Induced Soil Degradation in Enclosed Karst Depressions (Dolines) Using Ellenberg Indicator Values (Classical Karst, Slovenia).« *Science of The Total Environment* 640–641:117–126.

Breg Valjavec, Mateja, Matija Zorn in Andrej Čarni. 2018b. »Human-Induced Land Degradation and Biodiversity of Classical Karst Landscape: On The Example of Enclosed Karst Depressions (Dolines).« *Land Degradation & Development* 29 (10): 3823–3835

Castiglioni, Benedetta, in Ugo Sauro. 2000. »Large Collapse Dolines in Puglia (Southern Italy): The Cases of 'Dolina Pozzatina' in the Gargano Plateau and of 'Puli' in the Murge.« *Acta carsologica* 29 (2): 83–93.

Cernatič-Gregorič, Anica, in Mojca Zega. 2010. »The Impact of Human Activities on Dolines (Sinkholes) – Typical Geomorphologic Features on Karst (Slovenia) and Possibilities of Their Preservation.« *Geographica Pannonica* 14 (4): 109–117.

Cramer, H. 1941. »Der Systematik der Karstdolinen.« V *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paläontologie, Bailage-Band,* Abt. B 85: 293–382.

Cvijić, Jovan. 1895. *Karst: geografska monografija.* Beograd: Štamparija Kraljevine Srbije.

Čar, Jože. 2001. »Structural Bases for Shaping of Dolines.« *Acta carsologica* 30 (2): 239–256.

de Carvalho Júnior, Osmar Ablio, Renato Fontes Guimarães, David R. Montgomery, Alam R. Gillespie, Roberto Arnaldo Trancoso Gomes, Eder de Souza Martins in Nilton Correia Silva. 2014. »Karst Depression Detection Using ASTER, ALOS/PRISM and SRTM-Derived Digital Elevation Models in the Bambuí Group, Brazil.« *Remote Sensing* 6 (1): 330–351.

Denizman, Can. 2003. »Morphometric and Spatial Distribution Parameters of Karstic Depressions, lower Suwannee River basin, Florida.« *Journal of Cave and Karst Studies* 65 (1): 29–35.

Doctor, H. Daniel, in John A. Young. 2013. »An Evaluation of Automated GIS Tools for Delineating Karst Sinkholes and Closed Depressions from 1-Meter Lidar-Derived Digital Elevation Data.« V *Proceedings of the 13th Multidisciplinary Conference on Sinkholes and the Engineering and Environmental Impacts of Karst, National Cave and Karst Research Institute,* ur. Lewis Land, Daniel H. Doctor in J. Brad Stephenson, 449–458. Carlsbad: National Cave and Karst Research Insititute.

Društvo za raziskovanje jam Ljubljana. B. l. »eKataster jam«. https://www.katasterjam.si/.

Fabec, Tomaž. 2018. *Arheologija vrtač na Krasu*. Ljubljana: Zavod za varstvo kulturne dediščine Slovenije.

Faivre, Sanja, in Mladen Pahernik. 2007. »Structural Influences on the Spatial Distribution of Dolines, Island of Brač, Croatia.« *Zeitschrift für Geomorphologie* 51 (4): 487–503.

Faivre, Sanja, in Philippe Reiffsteck. 2002. »From Doline Distribution to Tectonic Movements Example of the Velebit Mountain Range, Croatia.« *Acta Carsologica* 31 (3): 139–154.

Florea, Lee, Randall Paylor, Larry Simpson in Jason Gulley. 2002. »Karst GIS Advances in Kentucky.« *Journal of Cave anf Karst Studies* 64 (1): 58–62.

Ford, Derek C., in Paul Worthing Williams. 2007. *Karst Hydrogeology and Geomorphology*. Chichester: Wiley.

Frelih, Martina. 2014. »Gostota, razporeditev in morfološke značilnosti vrtač na izbranih primerih v Sloveniji.« Doktorska disertacija, Univerza v Ljubljani.

Gabrovšek, Franci, in Uroš Stepišnik. 2011. »On the Formation of Collapse Dolines: A Modelling Perspective.« *Geomorphology* 134:23–31.

Gams, Ivan. 2000. »Doline Morphogenetic Processes from Global and Local Viewpoints.« *Acta carsologica* 29 (2): 123–138.

Gams, Ivan. 2004. *Kras v Sloveniji v prostoru in času*. Ljubljana: Založba ZRC.

Gams, Ivan, Jurij Kunaver in Darko Radinja, ur. 1973. *Slovenska kraška terminologija*. Ljubljana: Katedra za fizično geografijo Oddelka za geografijo FF.

Gams, Ivan, Franc Lovrenčak in Borut Ingolič. 1971. »Krajna vas: študija o prirodnih pogojih in agrarnem izkoriščanju krasa.« *Geografski vestnik* 12:223–263.

Gams, Ivan, Jean Nicod, M. Julian, Edward Anthony in Ugo Sauro. 1993. »Environmental Change and Human Impacts on the Mediterranean Karsts of France, Italy and the Dinaric Region.« *Catena Supplement* 25:59–98.

Gao, Yongli, E. Calvin Alexander in Robert G. Tipping. 2002. »The Development of Karst Feature Database for Southeastern Minnesota.« *Journal of Cave anf Karst Studies* 64 (1): 51–57.

Geodetski inštitut Slovenije, Geodetski zavod Slovenije in DFG Consulting. 2004. *Državna topografska karta Republike Slovenije 1 : 50.000. 53, Koper*. Kartografsko gradivo. Ljubljana: Geodetska uprava Republike Slovenije, Ministrstvo za okolje, prostor in energijo.

Geodetski zavod Slovenije. 1996. *Državna topografska karta 1 : 25.000. 195, Sočerga*. Kartografsko gradivo. Ljubljana: Ministrstvo za obrambo.

Geodetska uprava Republike Slovenije. 1996. *Temeljni topografski načrt 1:5.000, združen list C 19*. Ljubljana: Geodetska uprava republike Slovenije.

Gostinčar, Petra. 2013. »The Application of GIS Methods in Morphometrical Analysis of Dolines on Limestone and Dolomite Bedrock.« V *Proceedings, 16th International Congress of Speleology, Brno, Czech Republic, July 21–28, 2013*, ur. Michal Filippi in Pavel Bosák, 84–88. Brno: International Union of Speleology, Czech Speleological Society.

Grimaldi, Salvatore, Fernando Nardi, Francesco Di Benedetto, Erkan Istanbulluoglu in Rafael L. Bras. 2007. »A physically-Based Method

for Removing Pits in Digital Elevation Models.« *Advances in Water Resources* 30 (10): 2151–2158..

Grlj, Aleš. 2014. »Uporaba digitalnega modela višin in izbranih večspektralnih izdelkov daljinskega zaznavanja za iskanje kraških kotanj in brezstropih jam Podgorskega krasa.« Magistrsko delo, Univerza v Ljubljani.

Grlj, Aleš. 2020. »Omejevanje kraških kotanj z analizo polrezov.« *Dela* 53:5–22.

Grlj, Aleš, in Dejan Grigillo. 2014. »Uporaba digitalnega modela višin in satelitskega posnetka RapidEye za zaznavanje kraških kotanj in brezstropih jam Podgorskega krasa.« *Dela* 42:129–147.

Gunn, John. 1981. »Hydrological Processes in Karst Depressions.« *Zeitschrift für Geomorphologie* 25 (3): 313–331.

Hiller, Thomas, Douchko Romanov, Franci Gabrovšek in Georg Kaufmann. 2014. »The Creation of Collapse Dolines: A 3D Modeling Approach.« *Acta carsologica* 43 (2–3): 241–255.

Jennings, Joseph Newell. 1975. »Doline Morphometry as a Morphogenetic Tool: New Zealand Examples.« *New Zealand Geographer* 31 (1): 6–28.

Jenson, Susan K., in Julia O. Domingue. 1988. »Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis.« *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 54 (11): 1593–1600.

Kaufmann, Georg, in Douchko Romanov. 2016. »Structure and Evolution of Collapse Sinkholes: Combined Interpretation from Physico-Chemical Modelling and Geophysical Field Work.« *Journal of Hydrology* 540 (C): 688–698.

Kladnik, Drago, Franc Lovrenčak in Milan Orožen Adamič, ur. 2005. *Geografski terminološki slovar.* Ljubljana: Založba ZRC.

Kobal, Milan, Irena Bertoncelj, Francesco Pirotti in Lado Kutnar. 2014. »Lidar Processing for Defining Sinkhole Characteristics under Dense Forest Cover: A Case Study in the Dinaric Mountains.« *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* XL-7: 113–118.

Kovačič, Gregor, in Nataša Ravbar. 2013. »Analysis of Human Induced Changes in a Karst Landscape – The Filling of Dolines in the Kras Plateau, Slovenia.« *Science of the Total Environment* 447:143–151.

Kranjc, Andrej. 1981. »Prispevek k poznavanju razvoja krasa v Ribniški Mali gori.« *Acta carsologica* 9:26–85.

Lamelas, Maria Teresa, Oswald Marinoni, Andreas Hoppe in Juan De la Riva. 2008. »Doline Probability Map Using Logistic Regression and GIS Technology in the Central Ebro Basin (Spain).« *Environmental Geology* 54 (5): 963–977.

Liang, Fuyuan, Yunyan Du, Yong Ge in Ce Li. 2014. »A Quantitative Morphometric Comparison of Cockpit and Doline Karst Landforms.« *Journal of Geographical Sciences* 24 (6): 1069–1082.

Lipar, Matej, Uroš Stepišnik in Mateja Ferk. 2019. »Multiphase Breakdown Sequence of Collapse Doline Morphogenesis: An Example from Quaternary Aeolianites in Western Australia.« *Geomorphology* 327: 572–584.

Lyew-Ayee, Parris, Heather A. Viles in Gregory E. Tucker. 2007. »The Use of GIS-based Digital Morphometric Techniques in the Study of Cockpit Karst.« *Earth Surface Processes and Landforms* 32 (2): 165–179.

Miao, Xin, Xiaomin Qiu, Wu Shuo-Sheng, Luo Jun, Gouzie Douglas in Xie Hongjie. 2013. »Developing Efficient Procedures for Automated Sinkgole Extraction from Lidar DEMs.« *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 79 (6): 545–554.

Mihevc, Andrej. 1998. »Dolines, Their Morphology and Origin. Case Study: Dolines from the Kras, West Slovenia (the Škocjan Karst).« *Supplementi di Geografia fisica e dinamica quaternaria* 3 (4): 69–74.

Mihevc, Andrej. 2001. *Speleogeneza Divaškega krasa*. Ljubljana: Založba ZRC.

Mihevc, Rok. 2014. »Kraške vrtače Dinarskega krasa.« Diplomsko delo, Univerza v Ljubljani.

Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano. B. l. Javni pregledovalnik grafičnih podatkov MKGP-RKG. http://rkg.gov.si/GERK/WebViewer.

Ministrstvo za kulturo, Arhiv Republike Slovenije. B. l. »Franciscejski kataster za območje Slovenije D48.« https://gisportal.gov.si/portal/home/webmap/viewer.html?webmap=abdbadb9723f49bcb9219e020207fed6.

Novljan, Živa. 2019. »Vrtače na pobočjih.« Magistrsko delo, Univerza v Ljubljani.

Obu, Jaroslav. 2011. »Prepoznavanje kraških kotanj na podlagi digitalnega modela višin.« Diplomsko delo, Univerza v Ljubljani.

Obu, Jaroslav, in Tomaž Podobnikar. 2013. »Algoritem za prepoznavanje kraških kotanj na podlagi digitalnega modela reliefa.« *Geodetski vestnik* 57 (2): 260–270.

Orndorff, Randall C., David J. Weary in Kerry M. Lagueux. 2000. »Geographic Information Systems Analysis of Geologic Controls on the Distribution on Dolines in the Ozarks of South-Central Missouri, USA.« *Acta carsologica* 29 (2): 161–175.

Orožen Adamič, Milan, in Drago Perko, ur. 1998. *Slovenija: pokrajine in ljudje*. Ljubljana: Mladinska knjiga.

Pahernik, Mladen. 2012. »Prostorna gustoća ponikava na području Republike Hrvatske.« *Hrvatski geografski glasnik* 74 (2): 5–26.

Pardo-Igúzquiza, Eulogio, Juan José Durán Valsero in Peter A. Dowd. 2013. »Automatic Detection and Delineation of Karst Terrain Depressions and Its Application in Geomorphological Mapping and Morphometric Analysis.« *Acta Carsologica* 42 (1): 17–24.

Pardo-Igúzquiza, Eulogio, Antonio Pulido-Bosch, Manuel López-Chicano in Juan J. Durán. 2016. »Morphometric Analysis of Karst Depressions on a Mediterranean Karst Massif.« *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography* 98 (3): 247–263.

Parise, Mario, in Vincenzo Pascali. 2003. »Surface and Subsurface Environmental Degradation in the Karst of Apulia (Southern Italy).« *Environmental Geology* 44 (3): 247–256.

Planchon, Olivier, in Frédéric Darboux. 2001. »A Fast, Simple and Versatile Algorithm to Fill the Depressions of Digital Elevation Models.« *Catena* 46 (2–3): 159–176.

Pleničar, Mario, Anton Polšak in Dragurin Šikić. 1969. *Osnovna geološka karta SFRJ. L 33-88, Trst*. Beograd: Zvezni geološki zavod.

Pleničar, Mario, Anton Polšak in Dragurin Šikić. 1973. *Tolmač za list Trst: L 33-88. Socialistična federativna republika Jugoslavija, osnovna geološka karta, 1 : 100.000*. Beograd: Zvezni geološki zavod.

Radinja, Darko. 1969. »Doberdobski kras: morfogenetska problematika robne kraške pokrajine. *Geografski zbornik* 11:225–278.

Rahimi, Mina, in E. Calvin Alexander. 2013. »Locating Sinkholes in Lidar Coverage of a Glaciofluvial Karst, Winona County, MN.« V *Proceedings of the 13th Multidisciplinary Conference on Sinkholes and*

the Engineering and Environmental Impacts of Karst, National Cave and Karst Research Institute, ur. Lewis Land, Daniel H. Doctor in J. Brad Stephenson, 469–480. Carlsbad: National Cave and Karst Research Insititute.

Ravbar, Nataša, in Matija Zorn. 2003. »Some Characteristics of Dolines on the Kras Plateau in Southwestern Slovenia.« *Geomophologia Slovaca* 3 (2): 64–72.

Sauro, Ugo. 2000. »Morphogenetical Aspects of Collapse Dolines and Open Pits in the Karst of the Venetian Fore-Alps.« *Acta carsologica* 29 (2): 195–199.

Sauro, Ugo. 2003. »Dolines and Sinkholes: Aspects of Evolution and Problems of Classification.« *Acta carsologica* 32 (2): 41–52.

Senegačnik, Jurij. 2012. *Slovenija in njene pokrajine.* Ljubljana: Modrijan.

Shaw-Faulkner, Melinda, Kevin W. Stafford in Aaron W. Bryant. 2013. »Delineation and Classification of Karst Depressions Using Lidar: Fort Hood Military Installation, Texas.« V *Proceedings of the 13th Multidisciplinary Conference on Sinkholes and the Engineering and Environmental Impacts of Karst, National Cave and Karst Research Institute,* ur. Lewis Land, Daniel H. Doctor in J. Brad Stephenson, 459–467. Carlsbad: National Cave and Karst Research Insititute.

Siart, Christoph, Olaf Bubenzer in Bernhard Eitel. 2009. »Combining Digital Elevation Data (SRTM/ASTER), High Resolution Satellite Imagery (Quickbird) and GIS for Geomorphological Mapping: A Multi-Component Case Study on Mediterranean Karst in Central Crete.« *Geomorphology* 112 (1–2): 106–121.

Stepišnik, Uroš. 2004. »The Origin of Sediments Inside Collapse Dolines of Postojna Karst (Slovenia).« *Acta carsologica* 33 (1): 237–244.

Stepišnik, Uroš. 2008. »The Application of Electrical Resistivity Imaging in Collapse Doline Floor: Divača Karst, Slovenia.« *Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica* 42 (1): 41–51.

Stepišnik, Uroš. 2014. »Japage: The Collapse Dolines on Kupres olje, Bosnia and Herzegovina.« *Dela* 42:5–20.

Stepišnik, Uroš. 2017. *Udornice v Sloveniji.* Ljubljana: Znanstvena založba Filozofske fakultete.

Stepišnik, Uroš, in Petra Gostinčar. 2020. »Periodically Inundated Uvalas and Collapse Dolines of Upper Pivka, Slovenia.« *Acta geographica Slovenica* 60 (2): 91–105.

Stepišnik, Uroš, in Aleš Grlj. 2018. »Caves, Denuded Caves and Collapse Dolines as Past Hydrological Pattern Indicators of the Grabovica Plateau, the Dinaric Karst (Bosnia and Herzegovina).« *Dela* (49):95–111.

Šebela, Stanka, in Jože Čar. 2000. »Velika Jeršanova Doline – A Former Collapse Doline.« *Acta carsologica* 29 (2): 201–212.

Šegina, Ela. 2021. *Spatial Analysis in Karst Geomorphology: An Example from Krk Island, Croatia*. Springer Theses. Cham: Springer.

Šegina, Ela, Čedomir Benac, Josip Rubinić in Martin Knez. 2018. »Morphometric Analyses of Dolines: The Problem of Delineation and Calculation of Basic Parameters.« *Acta carsologica* 47 (1): 23–33.

Šušteršič, France. 1986. »Zaprte kraške globeli, problematika interpretacije in kartografskega prikaza.« *Acta carsologica* 14–15 (23): 89–98.

Šušteršič, France. 1994. »Klasične vrtače klasičnega krasa.« *Acta carsologica* 23 (10): 123–154.

Šušteršič, France. 2000. »Are Collapse Dolines Formed Only by Collapse?« *Acta carsologica* 29 (2): 213–230.

Telbisz, Tamás. 2010. »Morphology and GIS-Analysis of Closed Depressions in Sinjajevina Mts (Montenegro).« *Karst Development* 1 (1): 41–47.

Telbisz, Tamás, Hrvoje Dragušica in Balázs Nagy. 2009. »Doline Morphometric Analysis and Karst Morphology of Biokovo Mt (Croatia) Based on Field Observations and Digital Terrain Analysis.« *Hrvatski geografski glasnik* 71 (2): 5–22.

Telbisz, Tamás, Tamás Latos, Márton Deak, Balázs Szekely, Zsófia Koma in Tibor Standovar. 2016. »The Advantage of Lidar Digital Terrain Models in Doline Morphometry Compared to Topographic Map Based Datasets – Aggtelek Karst (Hungary) as an Example.« *Acta carsologica* 45 (1): 5–18.

Triglav Čekada, Mihaela. 2011. »Možnosti uporabe zračnega laserskega skeniranja (LIDAR) za geomorfoloke študije.« *Geografski vestnik* 83 (2): 81–93.

United States Environmental Protection Agency. 2002. *A Lexicon of Cave and Karst Terminology with Special Reference to Environmental Karst Hydrology*. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, National Center for Environmental Assessment.

Weary, David, J., in Randall C. Orndorff. 2001. »Physical Controls on Karst Features in the Ozark Plateaus of Missouri, U.S.A., as Determined by Multivariate Analyses in a Geographic Information Systems (GIS).« *Acta carsologica* 30 (2): 181–194.

Williams, Paul W. 2008. »The Role of the Epikarst in Karst and Cave Hydrogeology: A Review.« *International Journal of Speleology* 37 (1): 1–10.

Wu, Qiusheng, Chengbin Deng in Zuoqi Chen. 2016. »Automated Delineation of Karst Sinkholes from LiDAR-Derived Digital Elevation Models.« *Geomorphology* 266:1–10.

Zhu, Junfeng, Timothy P. Taylor, James C. Currens in Matt Crawford. 2014. »Improved Karst Sinkhole Mapping in Kentucky Using LiDAR Techniques: A Pilot Study in Floyds Fork Watershed.« *Journal of Cave and Karst Studies* 76 (3): 207–216.

Zhu, Qing, Tian Yixiang in Jie Zhao. 2006. »An Efficient Depression Processing Algorithm for Hydrologic Analysis.« *Computers and Geosciences* 32 (5): 615–623.

Zhu, Xuewen, in Tony Waltham. 2005. »Tiankeng: Definition and Description.« *Cave and Karst Science* 32 (2–3): 57–79.

Žiberna, Igor, Karel Natek in Darko Ogrin. 2004. »Naravnogeografska regionalizacija Slovenije pri pouku geografije v osnovni šoli.« V *Teorija in praksa regionalizacije Slovenije,* ur. Vladimir Drozg, 85–90. Maribor: Pedagoška fakulteta.

Značilnosti vrtač Rakitovsko-Movraškega krasa

Prispevek obravnava morfometrične značilnosti vrtač (obseg, površina, okroglost, dolžina krajše in daljše osi) in nekatere druge njihove značilnosti (raba tal, oblika prečnega preseka, sestava pobočij in dna, omejenost s suhim zidom, somernost tlorisa) na Rakitovsko-Movraškem krasu v slovenski Istri. Podatki o 276 vrtačah so bili pridobljeni s terenskim kartiranjem ter s pomočjo uporabe GIS. Na preučevanem območju prevladujejo po površini majhne (1245 m^2) ter plitve (3,1 m) vrtače, ki so po obliki tlorisa pretežno okrogle. 94 % vrtač je v prečnem preseku skledaste oblike, 83 % jih je obdanih s suhim zidom in večina jih je v zaraščanju. Gostota vrtač preučevanega območja je 72 na km^2, skupaj obsegajo 7 % površine. Oba podatka sta primerljiva sosednjimi kraškimi pokrajinami.

Ključne besede: vrtača, geomorfometrija, kras, GIS, Rakitovec, Movraž, slovenska Istra, geografija

Characteristics of Dolines in the Rakitovec-Movraž Kras Karst Plain

The paper discusses the morphometric characteristics of dolines (perimeter, area, circularity, length of the shortest and longest axes) and some other characteristics (land use, cross-sectional shape, composition of slopes and bottom, dry-stone wall boundary, ground plan symmetry) in the Rakitovec-Movraž kras karst plain in Slovene Istria. Data on 276 dolines have been obtained through field mapping and the use of GIS. In the study area, dolines of small planar areas (mean is 1245 m^2) and dolines of small depths (mean is 3.1 m) prevail. Most of the dolines have a circular planar shape, 94% of them are bowl-shaped in cross section. 83% of the dolines are surrounded by dry-stone walls, with most of the dolines being overgrown. The density of the dolines in the study area is 72 per km^2; together they cover 7% of the area. Both figures are comparable to those for the neighbouring karst regions.

Key words: doline, geomorphometry, karst, GIS, Rakitovec, Movraž, Slovene Istria, geography