

# PLENENJE EVRAZIJSKEGA RISA (*LYNX LYNX*) IN MIKROHABITATNE RELIEFNE ZNAČILNOSTI: PRIMER ANALIZE MORFOMETRIJE IN MORFOLOGIJE VRTAČ KOT LOKACIJ UPLENITEV PARKLJARJEV

**Špela Čonč**

ZRC SAZU, Geografski inštitut Antona Melika

spela.conc@zrc-sazu.si, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2110-8542>

**Urša Fležar**

Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire in Zavod za gozdove Slovenije

ursa.flezar@bf.uni-lj.si, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5865-948X>

**Lan Hočevar, Teresa Oliveira, dr. Miha Krofel**

Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire

lan.hocevar@bf.uni-lj.si, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2346-1390>

nteresoliveira92@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9751-5198>

miha.krofel@bf.uni-lj.si, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2010-5219>

DOI: [https://doi.org/10.3986/9789610506683\\_10](https://doi.org/10.3986/9789610506683_10)

UDK: 911.2:551.435.82:591.52(497.4)

599.742.734:591.52(497.4)

## IZVLEČEK

**Plenjenje evrazijskega risa (*Lynx lynx*) in mikrohabitatne reliefne značilnosti: primer analize morfometrije in morfologije vrtač kot lokacij uplenitev parkljarjev**

Plenjenje je temeljna ekološka funkcija plenilcev. Ključnega pomena je razpoložljivost plena, na uspešno uplenitev pa lahko vplivajo tudi značilnosti habitata in mikrolokacije. Namen prispevka je na območju Dinarskega gorstva v Sloveniji uporabiti metodo za zaznavanje vrtač na podlagi digitalnega modela višin (DMV), določiti njihove morfometrične in morfološke značilnosti, ugotoviti delež uplenitev parkljarjev v vrtačah pri evrazijskem risu (*Lynx lynx*) in podrobneje analizirati lastnosti tistih vrtač, kjer smo našli ostanke risovega plena. Kot ostanke plena smo upoštevali le parkljarje, saj uplenitve manjšega plena težko zaznamo. Ugotovili smo, da se 32,2 % ( $n = 65$ ) ostankov plenov nahaja v vrtačah ali v njihovi bližini ter da so vrtače, kjer so risi uplenili svoj plen, glede na morfometrične značilnosti nekoliko večje od povprečja in srednjih vrednosti vseh vrtač na območju Dinarskega gorstva. Največji naklon pobočij v teh vrtačah je med 20,4 in 56,3°, kar nakazuje na strma pobočja in potencialno izoblikovanost manjših sten, škraplišč ali večjih kamnitih blokov na površju. Čeprav ima metoda zaznavanja vrtač nekaj pomanjkljivosti, je primerna za prepoznavanje, splošne prostorske analize razporejenosti in računanje morfometričnih ter morfoloških značilnosti vrtač. Prav tako se je metoda izkazala za uspešno pri preučevanju mikrohabitatnih značilnosti lokacij uplenitev. Visok delež uspešnih uplenitev v vrtačah nakazuje, da imajo vrtače lahko vpliv na plenjenje pri risu.

## KLJUČNE BESEDE

geomorfologija, kraške kotanje, GIS, LiDAR, evrazijski ris (*Lynx lynx*), lokacije uplenitev, mikrohabitatne značilnosti, Dinarsko gorovje

ABSTRACT

***Microhabitat relief characteristics of the Eurasian lynx (*Lynx lynx*): an example of analysis of morphometry and morphology of dolines as kill sites***

*Predation is a basic ecological function of predators. Prey abundance is crucial, and successful capture may also be influenced by habitat and microsite characteristics. The main objectives of the research are to: 1) apply doline detection method based on the digital elevation model (DEM) in the Dinaric Mountains, Slovenia, 2) determine their morphometric and morphological characteristics, 3) determine the proportion of ungulate kill sites by Eurasian lynx (*Lynx lynx*) in dolines and 4) to analyse what characteristic are typical for those dolines where lynx killed ungulates. Only ungulates were considered as prey remains due to difficult detection of prey remains from smaller animals. We found that 32.2% ( $n = 65$ ) of the prey remains were located in or near dolines and that these dolines had larger mean and median values of morphometric characteristics than all dolines in the Dinaric Mountains. The maximum slope in these dolines ranges from 20.4 to 56.3°, which could indicate on steep slopes and potential formation of smaller walls, karren fields and rocky outcrops. Although the doline detection method has some drawbacks, it is suitable for identification, general spatial analysis of distribution, and calculation of morphometric and morphological characteristics of dolines. The results have also proven useful in studying the microhabitat characteristics of kill sites based on LiDAR-DTM. The high proportion of successful prey in dolines suggests that they may have an impact on predation by lynx.*

KEY WORDS

*geomorphology, karst depressions, GIS, LiDAR, Eurasian lynx (*Lynx lynx*), kill sites, microhabitat characteristics, Dinaric mountains*

## 1 Uvod

Plenjenje je temeljna ekološka funkcija plenilcev, lovna uspešnost pa je dejavnik, ki pomembno vpliva na preživetje in reprodukcijski uspeh oziroma zmožnost preživetja osebkov (Pyke, Pulliam in Charnov 1977; Belotti s sodelavci 2013; Walton s sodelavci 2016). Na plenjenje in uspešno uplenitev vplivajo številni dejavniki. Ključnega pomena je tako razpoložljivost plena (»hipoteza o razpoložljivosti plena«; Hopcraft, Sinclair in Packer 2005), na uspešno uplenitev pa med drugim vplivajo tudi značilnosti habitata in mikrolokacije (»pokrajinska hipoteza«; Hopcraft, Sinclair in Packer 2005). Pri plenjenju je pomembno, da habitat plenilcu zagotavlja tako kritje kot tudi dober pregled nad območjem in plenom (Sunquist in Sunquist 1989; Krofel, Potočnik in Kos 2007; Podgórski s sodelavci 2008; Belotti s sodelavci 2013).

Evrazijski ris (*Lynx lynx*; v nadaljevanju ris) je, podobno kot ostale mačke, visoko specializiran plenilec, ki večinoma pleni manjše vrste parkljarjev (Krofel, Huber in Kos 2011). Ris in tudi ostale velike zveri potrebujejo velike domače okoliše z dobro povezljivostjo habitata, kar je nujno tudi za disperzijo, ki omogoča pretok genskega materiala med različnimi populacijami (Premier s sodelavci 2021). Posledično se večina ekoloških študij o preučevanju habitatnih značilnosti, modeliranju primernosti prostora ali povezljivosti habitatov živalskih vrst navezuje na prostorsko analizo celotnih držav ali večjih sklenjenih naravnih območij. V analizo so poleg prostorskih podatkov o prisotnosti vrste vključeni tudi različni okoljski in antropogeni dejavniki (na primer pokrovnost tal, fragmentiranost habitata, razdalja do cest). Okoljski dejavniki pa so pogosto omejeni le na splošne značilnosti reliefa, kot so nadmorska višina, razgibanost, naklon pobočij in druge (na primer Zimmermann in Breitenmoser 2007; Filla s sodelavci 2017; Ripari s sodelavci 2022). Pristopi, ki se osredotočajo na študije velikih območij, posledično ne zajemajo tudi vpliva mikrohabitatnih značilnosti, kot so posamezne reliefne oblike, ki pa lahko pomembno vplivajo na ekologijo oziroma specifična vedenja plenilcev, kar je še posebej izrazito pri prostoživečih mačkah (na primer Podgórski s sodelavci 2008; Ironside s sodelavci 2018; Farhadinia s sodelavci 2019). Nekatere pretekle raziskave o ekologiji risa nakazujejo, da je interpretacija mikrohabitatnih značilnosti, kot sta rastlinstvo in izoblikovanost reliefa, pomembna tako za podrobnejše razumevanje njihove ekologije, kot tudi za njihovo ohranjanje in upravljanje (na primer Podgórski s sodelavci 2008; Belotti s sodelavci 2013; Signer s sodelavci 2019; Hočevar, Oliveira in Krofel 2021; Čonč s sodelavci 2022). V prihodnje je zato bistveno, da se pozornost nameni tudi preučevanju podrobnih habitatnih zahtev in značilnosti posameznih vrst.

Ris na območju Evrope naseljuje predvsem območja večjih strnjjenih gozdnih zemljišč. Na izbiro habitata vpliva več dejavnikov, najpomembnejši so: razpoložljivost plena, odsotnost človeka in njegovih dejavnosti, gozdnatost in reliefna nedostopnost (Filla s sodelavci 2017; Ripari s sodelavci 2022). Na območju Slovenije mu še posebej ustrezajo obsežni dinarski jelovo-bukovi gozdovi (*Omphalodo-Fagetum*), ki pokrivajo razčlenjen kraški relief, značilen za Dinarsko gorovje. Podatki različnih načinov spremljanja risov (zimsko sledenje, GPS telemetrija, VHF telemetrija, fotopasti) in raziskave z območja Dinarskega gorovja v Sloveniji kažejo določene vzorce, ki nakazujejo povezanost med izbiro lokacij za gibanje, označevanje teritorija, dnevna počivališča in plenjenje ter določenimi kraškimi reliefnimi oblikami, kot so skalni bloki, jame, spodmoli, skalnati previsi, stene, slemena, skalnate police, vrtče (Krofel s sodelavci 2006; Krofel, Potočnik in Kos 2007; Krofel, Skrbinšek in 2013; Krofel 2010; Allen s sodelavci 2017; Hočevar, Oliveira in Krofel 2021; Čonč s sodelavci 2022).

Na območju Dinarskega gorovja predstavlja srnjad 80 % prehrane risa, s 7 % sledijo polhi, ris pa občasno pleni tudi jelenjad, gamse in druge kopenske vretenčarje (Krofel, Huber in Kos 2011). Ker ris za plenjenje večinoma izbira večji plen, je za uspešno uplenitev potrebna učinkovita tehnika lova in čim hitrejša usmrnitev. Pri lovu ris uporablja dve tehniki ali kombinacijo obeh: zalezovanje plena ali napad iz zasede, s čimer plen preseneti (Skrbinšek in Potočnik 2005; Krofel, Potočnik in Kos 2007). Na lovno uspešnost vplivajo tudi mikrohabitatne reliefne in vegetacijske značilnosti, ki jo, zaradi možnosti dobrega kritja in zalezovanja plena, lahko celo povečajo (Krofel, Potočnik in Kos 2007; Podgórski

s sodelavci 2008). Zaradi zakraselosti je površje Dinarskega gorovja ponekod izrazito kamnito. Na teh območjih so najpogostejše reliefne oblike škrapljišča in skalni bloki, ki jih pogosto prerašča mah. Na podlagi zimskega sledenja so ugotovili, da ris za gibanje pogosto uporablja prav kamnito površje, kar mu omogoča kritje in tišje gibanje (Krofel, Potočnik in Kos 2007). Pretekle raziskave iz Slovenije kažejo na pogostost plenjena risa v kraških kotanjah ali njihovi bližini (Krofel s sodelavci 2006; Krofel, Potočnik in Kos 2007; Krofel 2010; Čonč s sodelavci 2022).

Napredek v tehnologiji, tako na področju zajemanja (na primer lasersko skeniranje površja – LiDAR) kot tudi obdelave podatkov (na primer geografski informacijski sistemi – GIS), omogoča vse bolj podrobne analize zemeljskega površja (Tarolli in Mudd 2020). Natančno lasersko skeniranje površja zagotavlja vpogled tudi v 3R fizično strukturo ekosistemov, od reliefa do vegetacijskih struktur (Davis in Asner 2014) in omogoča preučevanje reliefa tudi pod rastlinstvom (Triglav Čekada 2011). Na področju daljinskega zaznavanja se zato razvijajo številne metode in tehnologije za daljinsko ter stroškovno učinkovito kartiranje in zaznavanje ter analize reliefnih značilnosti in oblik. Tako kot za ostale oblike je bilo tudi za zaznavanje in omejevanje kraških kotanj razvitih ter apliciranih že več različnih metod, ki so se izkazale kot uspešne pri prostorskih, morfometričnih in ostalih analizah (na primer Obu 2011; Doctor in Young 2013; Obu in Podobnikar 2013; Grlj in Grigillo 2014; Kobal s sodelavci 2015; Telbisz s sodelavci 2016; Wu, Deng in Chen 2016; Kim, Nam in Youn 2019; Verbovšek in Gabor 2019; Grlj 2020; Mihevc in Mihevc 2021; Čonč s sodelavci 2022). Visoko ločljivostni LiDARski podatki in metode za zaznavanje reliefnih oblik so še posebej uporabne za analizo reliefnih značilnosti na večjih, oddaljenih, z rastlinstvom poraslih in težko dostopnih območjih, kot je Dinarsko gorovje (Davis in Asner 2014; Telbisz s sodelavci 2016; Breg Valjavec s sodelavci 2018).

GIS-ovska orodja ter metode za zaznavanje reliefnih oblik in preučevanje značilnosti površja predstavljajo inovativen, stroškovno ter časovno učinkovit pristop pri preučevanju mikrohabitatskih značilnosti in ekologije prostoživečih živali kot so risi (Čonč s sodelavci 2022). Podrobnejše poznavanje značilnosti (mikro)habitata je pomembno za boljše razumevanje ekologije, prihodnjega upravljanja in tudi ohranjanja te vrste.

Glavni cilji raziskave so: 1) na območju Dinarskega gorstva v Sloveniji uporabiti metodo za zaznavanje vrtač na podlagi digitalnega modela višin (DMV), 2) določiti njihove morfometrične in morfološke lastnosti, 3) ugotoviti delež uplenitev parkljarjev v vrtačah pri evrazijskem risu in 4) podrobneje analizirati lastnosti tistih vrtač, kjer smo našli ostanke risovega plena. Kot ostanke plena smo upoštevali le parkljarje, saj uplenitve manjšega plena težko zaznamo. Poskušali bomo odgovoriti tudi na vprašanje ali risi izbirajo vrtače kot lokacije plenjenja z namenom, da si povečajo možnosti uspešnega lova na večji plen, ki hkrati ponuja največje prednosti v smislu porabe energije pri plenjenju.

## 2 Metode

Glede na Perkovo (1998) regionalizacijo Slovenije smo kot testno območje izbrali tiste mezoregije Dinarskega gorovja, ki se večinoma ali v celoti nahajajo vzhodno od avtoceste Ljubljana–Koper in hkrati sovpadajo tudi z ekološko pomembnim območjem Osrednje območje življenjskega prostora velikih zveri (Ekološko ... 2022) (slika 1). To območje smo izbrali na podlagi stalne prisotnosti risa (Fležar s sodelavci 2022) in razpoložljivosti podatkov o lokacijah njihovih plenov.

Za zaznavanje vrtač smo uporabili znano metodo, ki temelji na omejevanju kotanj na podlagi navideznega zapolnjevanja DMV (Obu 2011; Obu in Podobnikar 2013; Bauer 2015; Kobal s sodelavci 2015; Telbisz s sodelavci 2016; Čonč s sodelavci 2022). Kot vhodni podatek smo uporabili DMV z ločljivostjo celice  $1 \times 1$  m, ki smo ga pridobili iz podatkovnega oblaka točk tal. Podatkovni oblaki so na voljo iz zračnih laserskih skeniranj, izvedenih v letih 2011, 2014 in 2015 (Triglav Čekada in Bric 2015; LiDAR 2022). Za uporabo metode, izračun značilnosti in analizo tistih vrtač, kjer so risi uplenili svoj plen, smo uporabili ESRI-jevo programsko opremo *ArcGIS Pro 2.8.1*.

Za zaznavanje vrtač smo uporabili enak postopek, kot so ga uporabili Čončeva in sodelavci (2022) in temelji na treh fazah dela: 1) izračun porečij kraških kotanj, 2) omejevanje kraških kotanj, 3) izračun morfometričnih in morfoloških značilnosti ter izločanje kraških kotanj, ki ne ustrezajo velikostnemu kriteriju (globina večja ali enaka 2 m in premer večji ali enak 10 m).

Ker se na kraškem reliefu v podatkih laserskega skeniranja površja pogosto pojavljajo lokalni šumi oziroma napake, so visoko ločljivostni podatki pri zaznavanju kraških kotanj lahko problematični. Zaradi prevladujočega podzemnega odtoka padavinske vode, se na površju pogosto pojavljajo šumi oziroma ponori (angleško *sink*) v obliki točk in manjših kotanj, kamor se steka voda. Tovrstni šumi se pojavljajo tudi v rečnem reliefu, kjer pa so zaradi sklenjenosti rečne mreže redkejši. Šumi v podatkih so lahko tudi posledica laserskega skeniranja nad območji z gostim rastlinstvom ali nastanejo pri obdelavi oziroma filtriranju podatkov oblaka točk laserskega skeniranja zaradi odstranjevanja rastlinstva. Šum v praksi pomeni napako, ki ovira natančne geomorfometrične analize, zato ga je treba odstraniti (Obu in Podobnikar 2013; Telbisz s sodelavci 2016). Da bi bilo med zaznanimi kotanjami čim manj napačno zaznanih in ker se je pri raziskavi Telbisza in sodelavcev (2016) predobdelava DMV izkazala kot primerna za odpravljanje manjših napak, smo DMV pred analizo obdelali tudi v naši raziskavi. Z orodjem *Focal statistics* smo za vsako celico izračunali povprečno vrednost celic v izbranem lokalnem oknu (radij 5 m). Na ta način smo vhodni sloj povprečili oziroma zgladili in znotraj lokalnega okna zmanjšali variabilnost vrednosti. Nato smo manjše kotanje, ki so verjetno posledica napake v podatkih, z orodjem *Fill* navidezno zapolnili do višine 1 m od dna ter tako iz nadaljnje analize odstranili vse tiste, ki so plitvejšje od 1.

V prvi fazi smo izračunali prispevne površine kraških kotanj (*watershed*) na podlagi smeri odtoka (*flow direction*) in ponorov (*sink*). V drugi fazi smo z ukazom *Zonal Fill* omejili kotanje, ki na podlagi prispevnih površin in vhodnega DMV poišče najnižjo robno celico, kjer bi se ob teoretičnem zapolnjevanju voda prelila iz kotanje. Da bi kotanje lahko izdvojili, smo uporabili matematično operacijo odštevanje (*minus*) in od sloja *Zonal Fill* odšteli vhodni DMV. Določili smo, da so kotanje vsa območja, ki imajo vrednost odštevanja večjo kot 0. Pri vektorizaciji končnega sloja smo uporabili možnost *Simplify Polygons*, ki posploši vektorski prikaz poligonov iz prikaza po celicah v zglajeno linijo.

Morfometrične značilnosti vrtač smo izračunali s pomočjo ukazov in funkcij *Calculate Geometry*, *Calculate Field*, *Zonal Statistics as Table* in *Zonal Geometry as Table*. Izračunali smo površino, obseg, premer, globino, podolgovatost, dolžino, širino in nadmorsko višino roba. Za vse značilnosti smo podali njihove najnižje in najvišje vrednosti ter povprečno in srednjo vrednost s standardnim odklonom (SO) (preglednica 1). Glede na vrednosti podolgovatosti so vrtače razdeljene v štiri skupine: okroglaste ali subokroglaste ( $Re \leq 1,21$ ), elipsaste ( $1,21 < Re \leq 1,65$ ), subelipsaste ( $1,65 < Re \leq 1,8$ ) ali podolgovate ( $Re > 1,8$ ) (Kobal s sodelavci 2015).

Na podlagi literature, ki določa, da so vrtače tiste kotanje, ki imajo globino večjo ali enako 2 m in premer večji ali enak 10 m (Gams 2004; Obu 2011; Obu in Podobnikar 2013; Kobal s sodelavci 2015), smo izločili preplitve in premajhne vrtače.

Morfografske značilnosti vrtač smo opredelili z izračunom razgibanosti površja (*vector ruggedness measurment*; Sappington, Longshore in Thompson 2007) in naklonom pobočij (*slope*). Vrednosti razgibanost površja smo glede na Jenksove naravne razrede razvrstili v tri razrede, ki prikazujejo območja z nizko, srednjo in visoko razgibanostjo površja. Vrednosti naklona pobočij vrtač pa smo razdelili v štiri naklonske razrede, ki predstavljajo določene morfološke značilnosti vrtač. Za naše potrebe smo glede na literaturo prilagodili meje naklonskih razredov, ki predstavljajo ločnice med geomorfološkimi oblikami, ki jih definira aktivnost pobočnih procesov (Obu 2011; Stepišnik 2010). Prvi naklonski razred smo opredelili med 0 in 3° (ravnine), drugega med 3,1 in 10° (blaga pobočja), tretjega med 10,1 in 25° (uravnotežena pobočja) in četrtega med 25,1 in 60° (aktivna pobočja).

Pri odkrivanju lokacij uplenitev smo uporabili podatke s telemetričnih ovratnic 13 risov z območja Dinarskega gorovja. Potencialne lokacije uplenitev smo najprej zaznali z analizo grušč GPS lokacij (*GPS location clusters*). Metoda se je v preteklih raziskavah že izkazala za primerno pri prepoznavanju lokacij uplenitev parkljarjev (Krofel, Skrbinšek in Kos 2013). Pri določanju potencialnih lokacij uplenitev

se zanaša na vedenje risov, ki po uplenitvi večjega plena za več dni omejijo svoje gibanje na bližnjo okolico plena, kar je iz podatkov razvidno kot gruča GPS lokacij (Krofel, Skrbinšek in Kos 2013). Natančne lokacije uplenitev so bile naknadno na terenu potrjene in zabeležene z ročno GPS napravo. Upoštevali smo tudi lokacije uplenitev, ki so bile najdene s sledenjem risov v snegu. Za lokacije, kjer smo našli ostanke plena domnevamo, da je bil plen uplenjen v neposredni bližini in ga ris ni preveč premikal. Poleg popisa lokacije, se je na terenu zabeležilo tudi nekatere ostale informacije o lokaciji, med drugim tudi ali se je plen nahajal v vrtači oziroma v njeni neposredni bližini. Zaradi potencialne napake GPS naprave pri zajemu lokacije plena (GPS accuracy 2021), smo okoli točke lokacij plenov ustvarili 15-metrski radij (*buffer*). S funkcijo *Select by Location* smo ugotovili, katere vrtače in 15-metrski radiji se prekrivajo in jih podrobneje analizirali glede na izračunane morfometrične ter morfološke značilnosti. Za vse lokacije plena smo določili število vrtač v 50-metrskem radiju od lokacije plena. Vrednost 50 m smo izbrali na podlagi dejstva, ki ga navajata Skrbinšek in Potočnik (2005), in sicer da, v kolikor napad risu ne uspe v približno 20–50 m, odneha.

### 3 Rezultati

Z metodo zaznavanja smo na celotnem območju Dinarskega gorovja (4507,2 km<sup>2</sup>) prepoznali 151.398 vrtač s povprečno gostoto 33,6 vrtač/km<sup>2</sup>. Gostota (46,6 vrtač/km<sup>2</sup>) in delež (79,0 %, n = 119.581) sovpadata s kamninsko zgradbo (slika 1), saj se vrtače najpogosteje pojavljajo na območju apnencev (2568,2 km<sup>2</sup>), na dolomitu (1173,9 km<sup>2</sup>) pa sta delež (17,8 %, n = 27.007) in gostota (23,0 vrtač/km<sup>2</sup>) občutno nižja. Najnižji delež (3,2 %, n = 4810) in gostota (6,3 vrtač/km<sup>2</sup>) sta na območjih, ki jih gradijo ostale kamnine (765,1 km<sup>2</sup>).

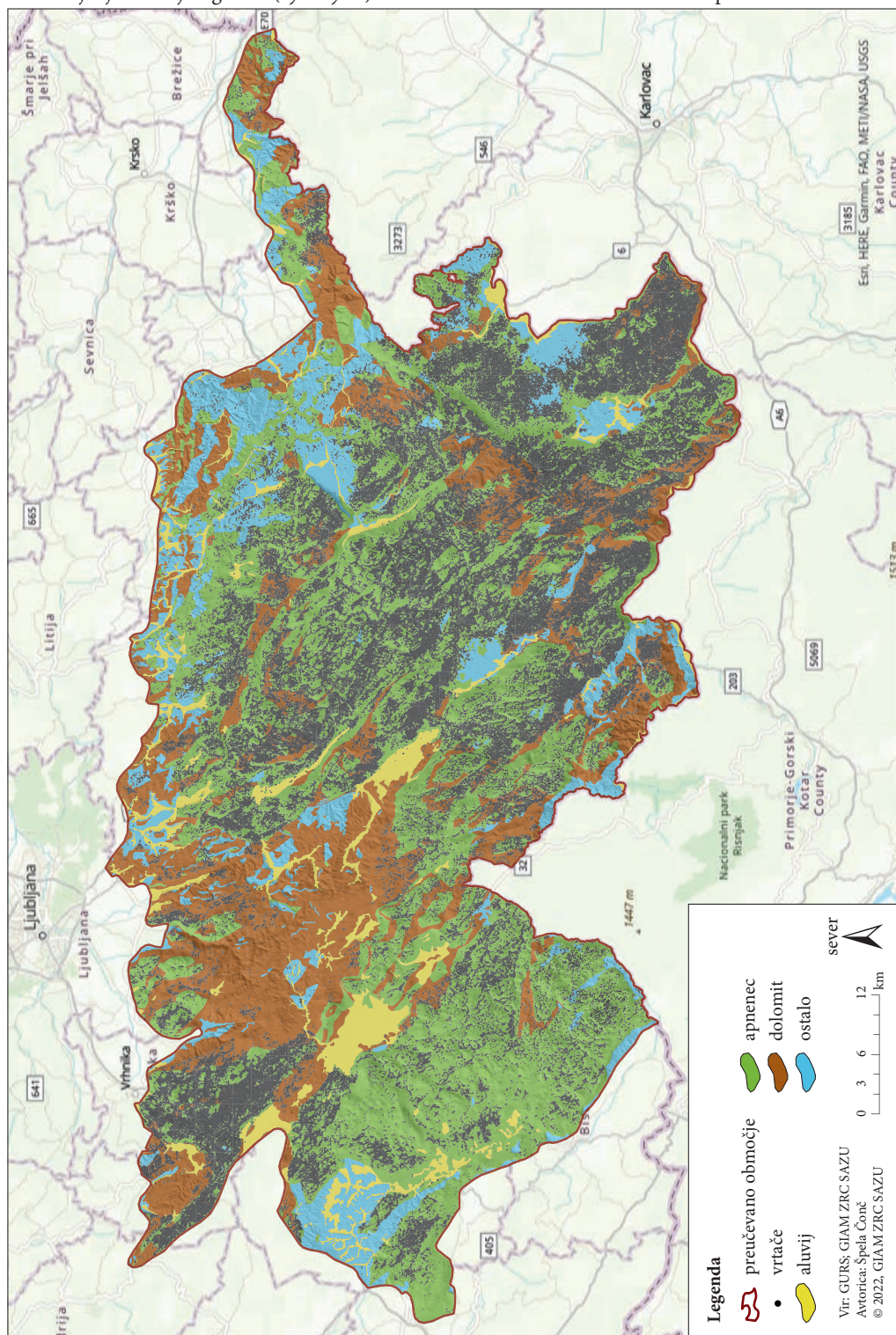
Na preučevanem območju smo našli 202 lokaciji risovih uplenitev, med katerimi je bilo med terenskimi pregledom za 32,2 % (n = 65) lokacij potrjeno, da se nahajajo v ali neposredni bližini vrtače (slika 2). V primerjavi z vrtačami, ki so bile zaznane z metodo na podlagi navideznega zapolnjevanja DMV, je bilo 67,7 % (n = 44) lokacij neposredno v vrtačah, od tega jih je bilo 41,5 % (n = 27) v vrtačah, ki so ustrezale velikostnemu kriteriju (premer ≥ 10 m in globina ≥ 2 m), 26,2 % (n = 17) pa jih je bilo v vrtačah, ki so bile izločene na podlagi velikostnega kriterija. Z metodo zaznavanja vrtač ni bilo prepoznanih 32,3 % (n = 24) vrtač, čeprav so bile na terenu te lokacije uplenitev opredeljene kot vrtača. Visok delež neprepoznanih vrtač z metodo zaznavanja lahko pripišemo dejstvu, da je bila na terenu zavedena informacija o tem ali se je ostanek plena nahajal v oziroma v bližini vrtače, zato smo za vse lokacije uplenitev izračunali srednjo vrednost s standardnim odklonom oddaljenosti do vrtač. Srednja vrednost s standardnim odklonom oddaljenosti lokacij vseh uplenitev do vrtače je 81,4 ± 392,6 m, tistih lokacij, ki pa so bile na terenu prepoznane kot vrtače, pa je 18,4 ± 195,3 m. V 50-metrskem radiju okoli vseh lokacij uplenitev (n = 202) je 147 vrtač, ki ustrezajo velikostnemu kriteriju, ob upoštevanju tudi tistih vrtač,

*Preglednica 1: Najnižje, najvišje, povprečne in srednje vrednosti s standardnim odklonom (SO) nekaterih morfometričnih značilnosti vseh vrtač na območju Dinarskega gorovja.*

	površina (m <sup>2</sup> )	premer (m)	globina (m)
najnižja vrednost	78,8	10,0	2,0
najvišja vrednost	89.733,3	338,0	84,6
povprečna vrednost	1221,1	36,7	4,3
srednja vrednost ± SO	895,4 ± 1318,6	33,8 ± 14,3	3,6 ± 2,6

*Slika 1: Zemljevid pojavljanja vrtač in kamninska zgradba preučevanega območja. ► (str. 135)*

Plenjenje evrazijskega risa (*Lynx lynx*) in mikrohabitatne reliefne značilnosti: primer analize ...



ki smo jih izločili, pa je v okolici lokacij uplenitev 251 vrtač. V radiju 50 m od vrtač je 39,6% (n = 80) lokacij uplenitev.

Podrobnejšo analizo morfometričnih in morfoloških značilnosti vrtač (preglednici 2 in 3) smo naredili za tiste vrtače (n=27), ki so bile v 15-metrskem radiju od lokacije uplenitve in so ustrezale velikostnemu kriteriju. Glede na povprečne in srednje vrednosti (preglednica 2) so te vrtače po površini nekoliko večje od povprečja in srednjih vrednosti vseh vrtač na območju Dinarskega gorovja, prav tako sta večja tudi povprečje in srednja vrednost premera in globine (preglednica 1). Srednja vrednost površine vrtače, kjer je ris uplenil svoj plen je  $1141,4 \pm 703,2 \text{ m}^2$ , ima premer  $38,8 \pm 11,3 \text{ m}$  in je globoka  $5,2 \pm 1,9 \text{ m}$ .

Najnižja nadmorska višina roba vrtače, kjer je ris uplenil svoj plen, je 498,1 m (območje Logaško-begunjskega ravnika), najvišja pa 1082,0 m (območje Snežnika).

Delež okroglastih ali subokroglastih vrtač, kjer je ris uplenil svoj plen, je 40,7% (n = 11), elipsaste oblike pa je 59,3% (n = 16) vrtač. Nobena vrtača, kjer je ris uplenil svoj plen ni subelipsaste ali podolgovate oblike.

Največji delež, 71,2%, med naklonskimi razredi pobočij v vrtačah, kjer je bil plen, predstavljajo uravnotežena pobočja. S 13,9% jim sledijo aktivna pobočja in s 13,8% blaga pobočja. Najmanjši delež predstavljajo ravnine v vrtačah, ki jih je le 1,1%. Pri razgibanosti površja z 89,9% prevladuje razred z nizko razgibanostjo, sledi srednja razgibanost z 9,9%, najmanjši delež, 0,2%, pa obsegajo območja z visoko razgibanostjo.

Razpon med najnižjimi in najvišjimi vrednostmi vseh morfometričnih značilnosti močno variira (preglednica 3).

## 4 Razprava

Uporaba metode za zaznavanje vrtač na podlagi LiDAR-DMR nam je omogočila učinkovito prepoznavanje in računanje značilnosti zelo velikega števila (približno 150.000) reliefnih oblik na razgibanem kraškem območju Dinarskega gorovja. To poudarja potencial tovrstne metodologije za obsežne ekološke raziskave, kot je analiza mikrohabitatnih značilnosti prostora, ki ga uporabljajo prostoživeče živali. Kljub temu ima metoda tudi nekaj pomanjkljivosti. Z metodo ni bilo prepoznanih 32,3% (n = 24) vrtač, ki so bile na terenu opredeljene kot vrtača. Visok delež neprepoznanih vrtač lahko pripišemo dejstvu, da je bila na terenu zavedena informacija o tem ali se je plen nahajal v oziroma v bližini vrtače, zato ne moremo z gotovostjo trditi ali gre za neuspešno prepoznavanje ali na terenu napačno zaveden podatek. Čončeva in sodelavci (2022) so namreč ugotovili, da je uspešnost metode pri prepoznavanju vrtač 83,5%. Problem metode je tudi, da rob vrtače pripiše celicam na tisti nadmorski višini, kjer bi se

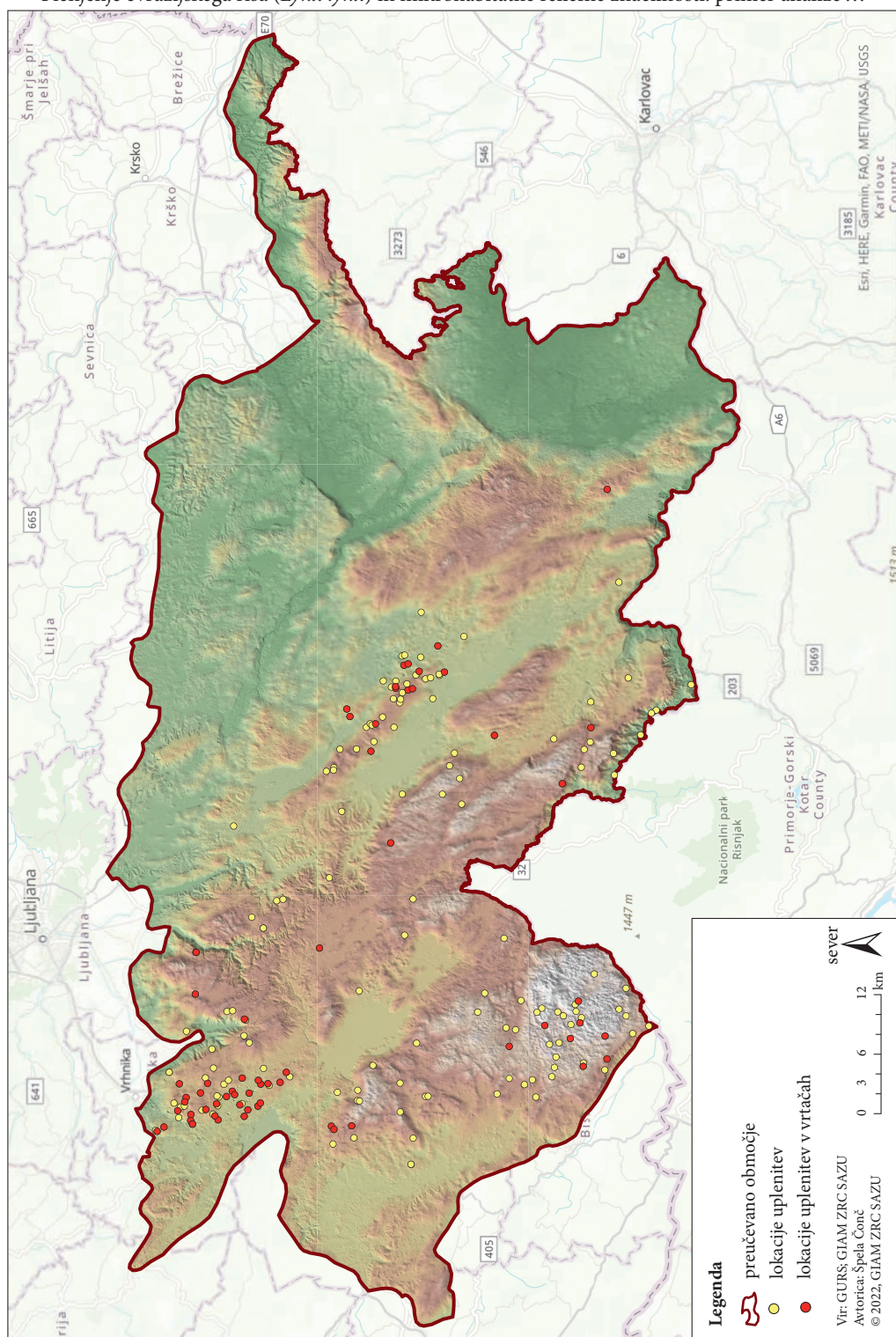
*Preglednica 2: Povprečne in srednje vrednosti s standardnim odklonom (SO) morfometričnih značilnosti tistih vrtač, ki so bile prepoznane tako z metodo zaznavanja kot tudi s terensko potrditvijo prisotnosti plena v vrtačah.*

	površina (m <sup>2</sup> )	obseg (m)	premer (m)	globina (m)	najvišja nadmorska višina (m)	dolžina (m)	širina (m)
povprečje	1276,7	128,4	38,8	5,2	653,9	21,7	17,4
srednja vrednost ± SO	1141,4 ± 703,2	126,7 ± 37,7	38,1 ± 11,3	5,2 ± 1,9	598,1 ± 156,3	21,7 ± 6,7	16,8 ± 5,0

*Slika 2: Zemljevid lokacij uplenitev in lokacij uplenitev v vrtačah. ► (str. 137)*



Plenjenje evrazijskega risa (*Lynx lynx*) in mikrohabitatsne reliefne značilnosti: primer analize ...



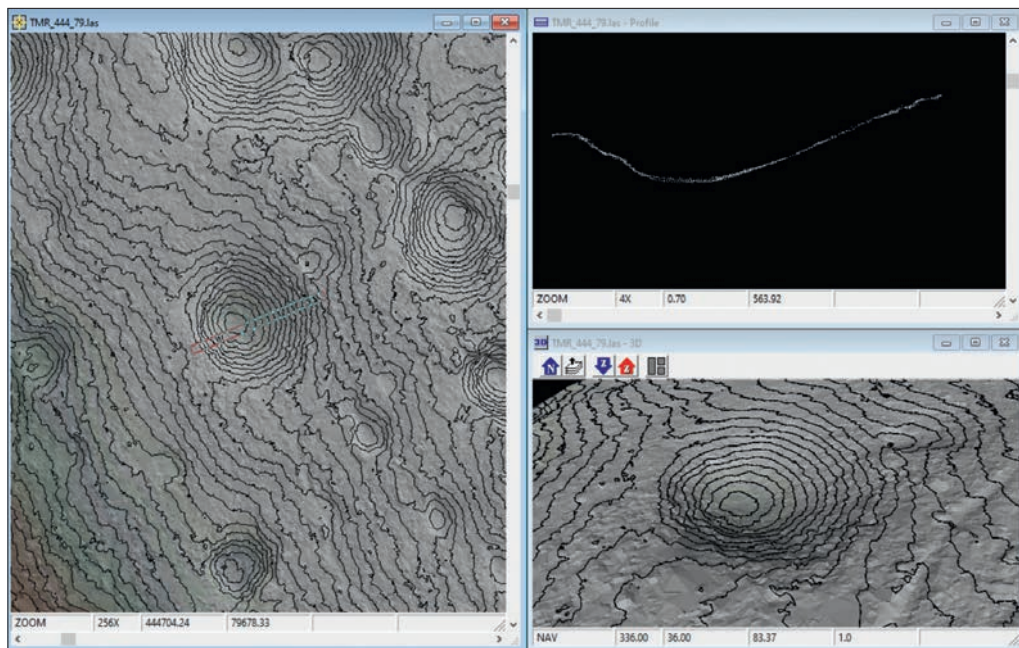
Preglednica 3: Vrednosti morfolometričnih značilnosti tistih vrtač ( $n = 27$ ), ki so bile prepoznane tako z metodo zaznavanja kot tudi s terensko potrditvijo prisotnosti plena v vrtačah.

vrtača	površina (m <sup>2</sup> )	obseg (m)	premer (m)	globina (m)	najnižja nadmorska višina (m)	najvišja nadmorska višina (m)	podolgovatost	dolžina (m)	širina (m)	najmanjši naklon (°)	največji naklon (°)
1	239,6	58,4	17,5	2,4	539,4	541,7	elipsasta	9,9	7,8	0,5	35,4
2	826,5	105,2	32,4	6,2	556,7	562,9	okroglasta ali subokroglasta	17,7	14,9	1,2	32,2
3	1338,9	132,2	41,3	5,0	585,6	590,7	okroglasta ali subokroglasta	20,9	20,4	0,3	22,6
4	819,7	105,6	32,3	4,5	610,5	615,0	elipsasta	18,4	14,2	0,0	22,0
5	830,7	105,8	32,5	4,1	494,0	498,1	elipsasta	18,5	14,4	1,7	28,2
6	2701,2	195,8	58,6	5,5	703,2	708,7	elipsasta	34,9	24,6	0,2	31,0
7	486,1	81,6	24,9	3,7	658,7	662,4	okroglasta ali subokroglasta	13,3	11,6	0,4	24,5
8	674,3	95,7	29,3	3,6	700,7	704,4	okroglasta ali subokroglasta	15,0	14,4	2,4	34,7
9	1392,6	135,3	42,1	6,1	511,8	517,9	okroglasta ali subokroglasta	21,7	20,5	1,6	29,6
10	2414,0	180,3	55,4	8,2	531,4	539,6	elipsasta	30,9	24,9	0,9	29,0
11	1141,4	161,8	38,1	2,7	616,4	619,1	elipsasta	23,3	15,6	0,3	23,9
12	911,7	109,6	34,1	3,3	539,9	543,2	okroglasta ali subokroglasta	17,2	16,8	0,3	42,6
13	1732,6	149,5	47,0	7,4	565,8	573,2	okroglasta ali subokroglasta	24,7	22,4	0,1	20,4
14	2562,4	183,3	57,1	8,3	551,5	559,8	okroglasta ali subokroglasta	31,0	26,4	0,3	27,5
15	711,8	100,0	30,1	2,7	634,9	637,7	elipsasta	16,9	13,4	0,1	56,3
16	1923,1	160,9	49,5	6,7	660,7	667,4	okroglasta ali subokroglasta	26,4	23,2	0,1	37,8
17	1192,4	126,7	39,0	5,2	533,1	538,3	elipsasta	22,2	17,2	0,4	30,4
18	1426,0	141,4	42,6	4,6	545,7	550,4	elipsasta	25,1	18,1	0,3	24,2
19	1779,3	154,2	47,6	6,9	564,5	571,4	elipsasta	27,5	20,6	0,1	21,7
20	1856,4	161,3	48,6	5,2	593,0	598,1	elipsasta	28,5	20,7	0,1	37,0
21	441,6	77,3	23,7	3,5	528,4	531,9	okroglasta ali subokroglasta	12,7	11,2	0,2	25,0
22	711,7	97,0	30,1	6,1	749,9	756,0	okroglasta ali subokroglasta	15,8	14,3	0,3	21,8
23	480,5	86,1	24,7	3,8	952,9	956,6	elipsasta	15,8	9,7	0,4	31,3
24	2160,9	177,0	52,5	10,3	1048,9	1059,2	elipsasta	30,0	22,9	0,9	29,8
25	2008,9	170,5	50,6	6,5	1075,5	1082,0	elipsasta	31,0	20,6	0,3	37,9
26	580,3	87,9	27,2	3,1	788,2	791,3	elipsasta	15,0	12,3	0,1	30,5
27	1126,5	125,4	37,9	5,5	671,7	677,3	elipsasta	22,2	16,2	0,2	20,4

ob teoretičnem zapolnjevanju voda prelila preko roba. Posledično so lahko območja vrtač izpuščena, kar je še posebej vidno pri tistih vrtačah, ki imajo izrazit rob (na primer udorne vrtače). Ta problem je bil prepoznan že prej in je povezan tudi s pomanjkanjem jasnega soglasja v krasoslovnini in geomorfološki literaturi o tem, kaj predstavlja rob vrtače, zlasti če je ta na pobočju (Šegina s sodelavci 2018). Dokler se to vprašanje ne razreši, se bo z metodami za avtomatsko ali polavtomatsko zaznavanje težko bolje približati stanju v naravi. Kljub temu se je metoda izkazala za uspešno pri prepoznavanju in računanju morfometričnih ter morfoloških značilnosti, pridobivanju podatkov o gostoti vrtač in njihovi prostorski razporeditvi. Z metodo zaznavanja smo na celotnem območju Dinarskega gorovja prepoznali 151.398 vrtač s povprečno gostoto 33,6 vrtač/km<sup>2</sup>. Gostota in število sovpadata kamninsko zgradbo, saj se vrtače najpogosteje pojavljajo na območju apnencev. Na dolomitu sta število in gostota občutno nižja.

Ugotovili smo, da se je med vsemi najdenimi ostanki parkljarjev, ki so jih uplenili risi (n = 202), 32,2 % (n = 65) plenov nahajalo v vrtačah ali njihovi neposredni bližini. Že v preteklih raziskavah na območju Dinarskega gorovja so ugotovili, da je 39 % (Krofel, Potočnik in Kos 2007) oziroma 58 % (Čonč s sodelavci 2022) lokacij uplenitev v vrtačah oziroma njihovi bližini. Mogoče je, da enake značilnosti reliefa privlačijo plen zaradi kritja in iskanja hrane, risi pa posledično izbirajo te lokacije zaradi večjih možnosti srečanja s plenom in na takšnih lokacijah plen čakajo v zasedi (Haglund 1966; Krofel, Potočnik in Kos 2007; Belotti s sodelavci 2013).

Ugotovili smo, da so vrtače, kjer so risi uplenili svoj plen, glede na povprečje in srednje vrednosti površine, globine ter premera nekoliko večje od povprečja in srednjih vrednosti vseh vrtač na območju Dinarskega gorovja. Večina vrtač (n = 24), kjer so risi uplenili plen, ima globino manjšo od 8 m.



Slika 3: Primer ptičje perspektive (levo), prečnega prereza (zgoraj desno) in 3R pogleda (spodaj desno) ene od vrtač, kjer je ris uplenil plen. Na sliki prečnega prereza lahko vidimo, da je na levi strani vrtače pobočje bolj strmo, z manjšim skokom v naklonu, kar lahko kaže na škrapljišče, manjšo steno oziroma prisotnosti večjih kamnitih blokov. Neenakomeren, razgiban teren lahko negativno vpliva na plen pri razvoju najvišje hitrosti pri pobegu in pozitivno na risa, saj na takšnem terenu lahko izkoristi svojo agilnost in plen lažje naskoči.

Predvidevamo, da risi za plenjenje raje izbirajo plitvejša vrtača (do 10 m), saj lahko globina vrtače vpliva na uspešen naskok plena. V številnih vrtačah so izoblikovana tudi škrapljišča in manjše stene, kar vpliva na njihov naklon in razgibanost površja. Naklon vrtač lahko vpliva na to, da plen na takšnem terenu ne uspe razviti najvišje hitrosti, ris pa izkoristi svojo agilnost (Krofel, Potočnik in Kos 2007).

Pri analiziranju mikrohabitatnih reliefnih značilnosti lokacij uplenitve si lahko pomagamo tudi z različnimi 2R ali 3R vizualizacijami DMV. Eno takšnih programskih orodij je *Fugro Viewer 3.4*, ki omogoča izdelavo prereзов in 3R pogledov. Pregledovalniki DMV nam lahko dodatno pomagajo pri interpretaciji morfoloških značilnosti vrtač. Pozimi se na dnu vrtač nabira sneg, kar še dodatno upočasni plen. Ris plena ne preganja dlje od 20–50 m (Skrbinšek in Potočnik 2005), zato lahko na uspešnost lova vpliva tudi število vrtač v okolici lokacije uplenitve.

Poleg mikrohabitatnih značilnosti na lovni uspeh vpliva tudi razpoložljivost plena. Pretekle raziskave o lovni uspešnosti na Švedskem (Haglund 1966) kažejo, da je lovna uspešnost na srnjad 65 %. Lovna uspešnost pri manjšem plenu je med 29 % (zajci) in 35 % (ptice). Na območju Dinarskega gorovja nimamo podatkov o lovni uspešnosti, vendar lahko glede na prehranske analize sklepamo, da ris tudi v Sloveniji raje pleni večji plen (Krofel, Huber in Kos 2011), kar mu omogoča največje ugodnosti glede na energetsko porabo, vloženo pri plenjenju. Pretekle raziskave iz Nemčije dodatno nakazujejo na to, da ris izbira plen glede na velikost, medtem ko vedenje plena vpliva na pogostost srečanja z risom in na uspešnost pri zalezovanju (Haglund 1966; Krofel s sodelavci 2011; Heurich s sodelavci 2016). Za celostno razumevanje plenjenja (izbire plena, zalezovanja, uplenitve) in lovne uspešnosti bi potrebovali natančne podatke o razpoložljivosti plena ter podatke o neuspešnih poskusih plenjenja (Haglund 1966; Heurich s sodelavci 2016), kar pa za naše raziskovalno območje ni na voljo. Zaradi pomanjkanja podatkov o lovni uspešnosti je tudi težko trditi, da vrtače vplivajo na večji lovni uspeh. Pri interpretaciji rezultatov moramo upoštevati, da je za nekatere dele preučevanega območja značilna zelo visoka gostota vrtač (ponekod preko 45 vrtač/km<sup>2</sup>), kar bi lahko zmanjšalo njihovo privlačnost za rise glede na razpoložljivost. V prihodnje bi bilo zato zanimivo ločeno obravnavati lokacije uplenitev glede na ozemlje posameznih risov, kjer so ponekod gostote vrtač manjše, da bi preizkusili potencialni funkcionalni odziv (tj. razlike v izbiri habitata kot funkcija razpoložljivosti habitata) (Mysterud in Ims 1998).

Pretekle raziskave kažejo, da rise privlači razgiban relief, kamnito površje in izrazitejše reliefne oblike, na primer za počitek, markiranje in plenjenje (Krofel 2010; Krofel, Potočnik in Kos 2007; Allen s sodelavci 2017; Signer s sodelavci 2019; Hočevar, Oliveira in Krofel 2021), vendar je pomanjkanje rezultatov podrobnih GIS analiz in slojev na večjih območjih preprečevalo naprednejše študije. Količina podatkov je bila pogosto omejena z logističnimi in stroškovnimi omejitvami za izvajanje terenskega dela.

Naša študija dokazuje prednost združevanja daljinskega zaznavanja, orodij GIS, metod za zaznavanje reliefnih oblik, računanje reliefnih značilnosti s podatki lokacij o prisotnosti vrst za raziskave mikrohabitatnih značilnosti pri prostoživečih živalih. Poleg preučevanja mikrohabitatnih reliefnih značilnosti pa so LiDAR podatki primerni tudi za ugotavljanje vpliva mikrovegetacijskih značilnosti (Lone s sodelavci 2014). Ugotovitve izboljšujejo naše razumevanje značilnosti risovega mikrohabitata in njihove ekologije s poudarkom na plenjenju. Rezultati lahko prispevajo k izboljšanju upravljanja in ohranjanja vrste, na primer pri izvajanju monitoringa. Vrtače in robovi vrtač bi bili lahko še posebej primerni za nameščanje fotopasti pri ocenjevanju gostote populacije ali pasti za odlov risov za namen telemetrije (Fležar s sodelavci 2022).

## 5 Sklep

Metoda za zaznavanje vrtač, ki temelji na omejevanju kotanj na podlagi navideznega zapolnjevanja DMV, je primerna za prepoznavanje, splošne prostorske analize ter izračun morfometričnih in morfoloških lastnosti vrtač. Postopek je delno avtomatiziran in omogoča preprosto uporabo na drugih

območjih. Metoda ima več prednosti pred ročnim kartiranjem, zlasti če upoštevamo časovne napore in stroške terenskega dela. Še posebej pa je uporabna na obsežnih, z rastlinstvom poraslih, težko prehodnih in dostopnih območjih. Kljub težavam pri določevanju roba vrtač menimo, da ima metoda precejšen potencial za uporabo v obsežnih analizah na številnih področjih geomorfologije in krasoslovja, vključno z geologijo, botaniko, zoologijo, turizmom, prostorskim načrtovanjem, ohranjanjem narave, ustvarjanjem novih geoparkov ter razvojem nacionalnih ali lokalnih akcijskih načrtov za varstvo geodiverzitete. Naš primer o analizi mikrohabitatnih značilnosti na primeru vrtač kot lokacij uplenitve parkljarjev pri risu dokazuje takšno potencialno uporabnost. Rezultati kažejo, da risi pogosto ujamejo svoj plen znotraj vrtač ali v njihovi bližini, kar kaže, da je poznavanje mikrohabitatnih reliefnih značilnosti pomembno za boljše poznavanje rabe habitata in ekologije risov.

*ZAHVALA: Študija je bila finančno podprta s strani Javne agencije za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije (raziskovalni program Geografija Slovenije (P6-0101), raziskovalni program Gozd, gozdarstvo in obnovljivi gozdni viri (P4-0059), financiranje mlade raziskovalke (MR-54767) ter raziskovalni projekt InterMuc (N1-0163)), Evropske komisije (projekt LIFE Lynx LIFE16NAT/SL/000634), Evropske unije (Program pobude skupnosti Sosedskega programa Slovenija–Madžarska–Hrvaška 2004–2006, projekt INTERREG IIIA DinaRis) ter Portugalske fundacije za znanost in tehnologijo (SFRH/BD/144110/2019). Za pomoč pri terenskem delu se zahvaljujemo mnogim študentom in sodelavcem Univerze v Ljubljani ter Zavoda za gozdove, veterinarjem in upravljavcem lovišč.*

## 6 Viri in literatura

- Allen, M. L., Hočevar, L., de Groot, M., Krofel, M. 2017: Where to leave a message? The selection and adaptive significance of scent-marking sites for Eurasian Lynx. *Behavioral Ecology and Sociobiology* 71. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00265-017-2366-5>
- Bauer, C. 2015: Analysis of dolines using multiple methods applied to airborne laser scanning data. *Geomorphology* 250. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.08.015>
- Belotti, E., Červený, J., Šustr, P., Kreisinger, J., Gaibani, G., Bufka, L. 2013: Foraging sites of Eurasian lynx *Lynx Lynx*: Relative importance of microhabitat and prey occurrence. *Wildlife Biology* 19-2. DOI: <https://doi.org/10.2981/12-077>
- Breg Valjavec, M., Ciglič, R., Oštir, K., Ribeiro, D. 2018: Modelling habitats in karst landscape by integrating remote sensing and topography data. *Open Geosciences* 10-1. DOI: <https://doi.org/10.1515/geo-2018-0011>
- Čonč, Š., Oliveira, T., Portas, R., Černe, R., Breg Valjavec, M., Krofel, M. 2022: Dolines and cats: Remote detection of karst depressions and their application to study wild felid ecology. *Remote Sensing* 14-3. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs14030656>
- Davis, B. A., Asner, P. G. 2014: Advances in animal ecology from 3d-LiDAR ecosystem mapping. *Trends in Ecology and Evolution* 29-12. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tree.2014.10.005>
- Doctor, D., Young, J. 2013: An evaluation of automated GIS tools for delineating karst sinkholes and closed depressions from 1-meter lidar-derived digital elevation data. *Proceedings of the Thirteenth Multidisciplinary Conference on Sinkholes and the Engineering and Environmental Impacts of Karst*. Carlsbad. DOI: <https://doi.org/10.5038/9780979542275.1156>
- Ekološko pomembna območja. Agencija Republike Slovenije za okolje. Ljubljana, 2022. Medmrežje: [https://podatki.gov.si/dataset/ekolosko-pomembna-obmocja?resource\\_id=9f4efa8a-7ec6-45ca-b6ec-3b98cd04c2db](https://podatki.gov.si/dataset/ekolosko-pomembna-obmocja?resource_id=9f4efa8a-7ec6-45ca-b6ec-3b98cd04c2db) (16. 2. 2022).
- Farhadinia, M. S., Heit, D. R., Montgomery, R. A., Johnson, P. J., Hobeali, K., Hunter, L. T., Macdonald, D. W. 2019: Vertical relief facilitates spatial segregation of a high density large carnivore population. *Oikos* 129-3. DOI: <https://doi.org/10.1111/oik.06724>

- Filla, M., Premier, J., Magg, N., Dupke, C., Khorozyan, I., Waltert, M., Bufka, L., Heurich, M. 2017: Habitat selection by Eurasian Lynx (*Lynx Lynx*) is primarily driven by avoidance of human activity during day and prey availability during night. *Ecology and Evolution* 7-16. DOI: <https://doi.org/10.1002/ece3.3204>
- Fležar, U., Hočevar, L., Sindičić, M., Gomerčić, T., Konec, M., Slijepčević, V., Bartol, M., Hočevar, Š., Črtalič, J., Jeleničič, M., Kljun, F., Molinari-Jobin, A., Pičulin, A., Gotar, T., Javornik, J., Portas Perez, R., Potočnik, H., Rot, A., Skrbinšek, T., Topličanec, I., Blašković, S., Molinari, P., Černe, R., Krofel, M. 2022: Surveillance of the reinforcement process of the Dinaric - SE Alpine lynx population in the lynx-monitoring year 2020-2021. Tehnično poročilo, LIFE Lynx. Ljubljana.
- Gams, I. 2004: Kras v Sloveniji v prostoru in času. Ljubljana.
- GPS accuracy. Garmin. Medmrežje: <https://support.garmin.com/en-US/?faq=aZc8RezeAb9LjCDpJplTY7> (6. 12. 2021).
- Grlj, A. 2020: Omejevanje kraških kotanj z analizo polrezov. Dela 53. DOI: <https://doi.org/10.4321/dela.53.5-22>
- Grlj, A., Grigillo, D. 2014: Uporaba digitalnega modela višin in satelitskega posnetka RapidEye za zaznavanje kraških kotanj in brezstropih jam Podgorskega krasa. Dela 42. DOI: <https://doi.org/10.4312/dela.42.129-147>
- Haglund, B. 1966: Winter habits of the Lynx (*Lynx lynx* L.) and Wolverine (*Gulo gulo* L.) as revealed by tracking in snow. *Viltrevy* 4-3.
- Heurich, M., Zeis, K., Küchenhoff, H., Müller, J., Belotti, E., Bufka, L., Woelfing, B. 2016: Selective predation of a stalking predator on ungulate prey. *PLoS ONE* 11-8. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0158449>
- Hočevar, L., Oliveira, T., Krofel, M. 2021: Felid bedrooms with a panoramic view: Selection of resting sites by Eurasian Lynx (*Lynx Lynx*) in a karstic landscape. *Behavioral Ecology and Sociobiology* 75-2. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00265-021-02977-7>
- Hopcraft, J. G. C., Sinclair, A. R. E., Packer, G. 2005: Planning for success: Serengeti lions seek prey accessibility rather than abundance. *Journal of Animal Ecology* 74-3. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2656.2005.00955.x>
- Ironside, K. E., Mattson, D. J., Arundel, T., Theimer, T., Holton, B., Peters, M., Edwards, Jr., C. T., Hansen, J. 2018: Geomorphometry in landscape ecology: Issues of scale, physiography, and application. *Environment and Ecology Research* 6-5. DOI: <https://doi.org/10.13189/eer.2018.060501>
- Kim, Y. J., Nam, B. H., Youn, H. 2019: Sinkhole detection and characterization using LiDAR-derived DEM with logistic regression. *Remote Sensing* 11-13. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs11131592>
- Kobal, M., Bertoncej, I., Pirotti, F., Dakskobler, I., Kutnar, L. 2015: Using lidar data to analyse sinkhole characteristics relevant for understory vegetation under forest cover—case study of a high karst area in the Dinaric Mountains. *PLoS ONE* 10-3. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0122070>
- Krofel, M. 2010: Winter observations of Eurasian Lynx (*Lynx lynx*) inspecting karst caves and dolines in the Northern Dinaric Mountains, Slovenia. *Natura Sloveniae* 12-2.
- Krofel, M., Huber, D., Kos, I. 2011: Diet of Eurasian lynx *Lynx lynx* in the northern Dinaric Mountains (Slovenia and Croatia). *Acta Theriologica* 56-4. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13364-011-0032-2>
- Krofel, M., Potočnik, H., Kos, I. 2007: Topographical and vegetational characteristics of lynx kill sites in Slovenian Dinaric mountains. *Natura Sloveniae* 9-1.
- Krofel, M., Potočnik, H., Skrbinšek, T., Kos, I. 2006: Spremljanje gibanja in predacije risa (*Lynx lynx*) na območju Menišije in Logaške planote. *Veterinarske novice* 32-1.
- Krofel, M., Skrbinšek, T., Kos, I. 2013: Use of GPS location clusters analysis to study predation, feeding, and maternal behavior of the Eurasian Lynx. *Ecological Research* 28-1. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11284-012-1005-x>
- LiDAR. Agencija Republike Slovenije za okolje. Ljubljana, 2015. Medmrežje: [http://gis.arso.gov.si/evode/profile.aspx?id=atlas\\_voda\\_Lidar@Arso](http://gis.arso.gov.si/evode/profile.aspx?id=atlas_voda_Lidar@Arso) (1. 2. 2022).

- Lone, K., Loe, L. E., Gobakken, T., Linell, J. D. C., Odden, J., Remmen, J., Mysterud, A. 2014: Living and dying in a multi-predator landscape of fear: roe deer are squeezed by contrasting pattern of predation risk imposed by lynx and humans. *Oikos* 123-6. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2013.00938.x>
- Mihevc, A., Mihevc, R. 2021: Morphological characteristics and distribution of dolines in Slovenia, a study of a lidar-based doline map of Slovenia. *Acta Carsologica* 50-1. DOI: <https://doi.org/10.3986/ac.v50i1.9462>
- Mysterud, A., Ims, R. A. 1998: Functional responses in habitat use: Availability influences relative use in trade-off situations. *Ecology* 79-4.
- Obu, J. 2011: Prepoznavanje kraških kotanj na podlagi digitalnega modela višin. Diplomsko delo, Filozofska fakulteta Univerze v Ljubljani. Ljubljana.
- Obu, J., Podobnikar, T. 2013: Algorithm for karst depression recognition using digital terrain models. *Geodetski vestnik* 57-2. DOI: <https://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2013.02.260-270>
- Perko, D. 1998: The regionalization of Slovenia. *Geografski zbornik* 38.
- Podgórski, T., Schmidt, K., Kowalczyk, R., Gulczyńska, A. 2008: Microhabitat selection by Eurasian lynx and its implications for species conservation. *Acta Theriologica* 53-2. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF03194243>
- Premier, J., Kramer-Schadt, S., Fickel, J., Heurich, M. 2021: Effects of fragmentation and connectivity of lynx habitats on population genetics in continental Europe. *CATnews Special Issue* 14.
- Pyke, G. H., Pulliam, H. R., Charnov, E. L. 1977: Optimal foraging: a selective review of theory and tests. *Quarterly Review of Biology* 52-2.
- Ripari, L., Premier, J., Belotti, E., Bluhm, H., Breitenmoser-Würsten, C., Bufka, L., Červený, J., Drouet-Hoguet, N., Fuxjäger, C., Jędrzejewski, W., Kont, R., Koubek, R., Kowalczyk, R., Krofel, M., Krojerová-Prokešová, J., Molinari-Jobin, A., Okarma, H., Oliveira, T., Remm, J., Schmidt, K., Zimmermann, F., Kramer-Schadt, S., Heurich, M. 2022: Human disturbance is the most limiting factor driving habitat selection of a large carnivore throughout Continental Europe. *Biological Conservation* 266. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2021.109446>
- Sappington, J. M., Longshore, K. M., Thompson, D. B. 2007: Quantifying landscape ruggedness for animal habitat analysis: A case study using bighorn sheep in the Mojave Desert. *Journal of Wildlife Management* 71-5. DOI: <https://doi.org/10.2193/2005-723>
- Signer, J., Filla, M., Schoneberg, S., Kneib, T., Bufka, L., Belotti, E., Heurich, M. 2019: Rocks rock: The importance of rock formations as resting sites of the Eurasian lynx *Lynx lynx*. *Wildlife Biology* 1. DOI: <https://doi.org/10.2981/wlb.00489>
- Skrbinšek, T., Potočnik, H. 2005: Morfološke, fiziološke in etološke značilnosti risa. Ris v Sloveniji: Strokovna izhodišča za varstvo in upravljanje. Ljubljana.
- Stepišnik, U. 2010: Udornice v Sloveniji. E-GeograFF 1. Ljubljana.
- Sunquist, M. E., Sunquist, F. C. 1989: Ecological constraints on predation by large felids. *Carnivore Behaviour, Ecology, and Evolution*. New York.
- Šegina, E., Benac, Č., Rubinič, J., Knez, M. 2018: Morphometric analyses of dolines - the problem of delineation and calculation of basic parameters. *Acta Carsologica* 47-1. DOI: <https://doi.org/10.3986/ac.v47i1.4941>
- Tarolli, P., Mudd, S. M. 2020: Introduction to remote sensing of geomorphology. *Remote Sensing of Geomorphology*. Amsterdam. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64177-9.09992-6>
- Telbisz, T., Látos, T., Deák, M., Székely, B., Koma, Z., Standovár, T. 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. DOI: <https://doi.org/10.3986/ac.v45i1.4138>
- Triglav Čekada, M. 2011: Možnost uporabe zračnega laserskega skeniranja (LIDAR) za geomorfološke študije. *Geografski vestnik* 83-2.
- Triglav Čekada, M., Bric V. 2015: Končan je projekt laserskega skeniranja Slovenije. *Geodetski vestnik* 59-3.

- Verbovšek, T., Gabor, L. 2019: Morphometric properties of dolines in Matarsko podolje, SW Slovenia. *Environmental Earth Sciences* 78. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12665-019-8398-6>
- Walton, Z., Mattisson, J., Linell, J. D. C., Stien, A., Odden, J. 2016: The cost of migratory prey: seasonal changes in semi-domestic reindeer distribution influences breeding success of Eurasian lynx in northern Norway. *Oikos* 126-5. DOI: <https://doi.org/10.1111/oik.03374>
- Wu, Q., Deng, C., Chen, Z. 2016: Automated delineation of karst sinkholes from LiDAR-derived digital elevation models. *Geomorphology* 266. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.05.006>
- Zimmermann, F., Breitenmoser, U. 2007: Potential distribution and population size of the Eurasian lynx *Lynx lynx* in the Jura Mountains and possible corridors to adjacent ranges. *Wildlife Biology* 13-4. DOI: [https://doi.org/10.2981/0909-6396\(2007\)13\[406:PDAPSO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.2981/0909-6396(2007)13[406:PDAPSO]2.0.CO;2)