

# Uporaba lidarskih posnetkov v geomorfologiji krasa na primeru brezstropih jam

Andrej Mihevc<sup>1</sup>

## Povzetek

Padavinska voda na krasu raztaplja kamnino in povzroča enakomerno ploskovno zniževanja površja. Ko površje pri zniževanju doseže in prereže vodoravne in navpične prazne ali s sedimenti zapolnjene jame se te izrazijo v površju kot poseben pojav, ki ga imenujemo brezstropne jame.

Brezstropne jame so ostanki najstarejših jam v nekem krasu, predstavljajo pa tudi pomemben del površinskih kraških oblik. Razprostranjenost, oblika in sedimentne zapolnitve nudijo pomembne informacije o razvoju krasa.

Za proučevanje lege, dimenzij in oblike brezstropih jam so lidarski podatki z veliko gostoto točk zelo uporabni. Na primerih brezstropne jam v Lipovih dolinah nad Škocjanskimi jamami, brezstropne jame v Lozi, brezstropne jame pri Povirju in brezstropih jam na Podgorskem krasu so prikazane različne reliefne oblike tega pojava ter njihova interpretacija, ki pa temelji predvsem na terenskem delu in analizi sedimentov.

**Ključne besede:** kras, geomorfologija, brezstropa jama, lidar.

**Key words:** karst, geomorphology, unroofed cave, lidar.

## Uvod

Padavinska voda na krasu izrabi svoj večino svojega korozijskega potenciala na površju ali tik pod njim. Voda raztaplja kamnino, ki jo v obliki raztopine skozi mrežo kraških kanalov odnaša navzdol in nato proti izviro. Raztapljanje kamnine na površju povzroča ploskovno zniževanje ali kraško denudacijo, ki znaša pri nas v sedanjih pogojih med 20 in 50 m na milijon let (Gams 1963, Cucchi et al. 2006). Podzemno pretakanje in raztapljanje kamnine pa oblikuje mrežo povezanih votlin. Če so dovolj velike jih imenujemo jame.

Kraška denudacija enakomerno znižuje površje saj so padavine razporejene enakomerno. Izrazite reliefne oblike pa lahko nastanejo, ko površje pri zniževanju doseže in prereže podzemne kraške oblike: vodoravne in navpične jamske rove ter korozijsko razširjene razpoke.

Brezstropne jame so jame ali deli jam, ki jim je kraška denudacija odstranila, to je raztopila kamenino nad njimi in s tem odstranila njihov strop. Tako se stare podzemne oblike vključijo in postanejo del današnjega kraškega površja. Brezstropne jame imenujemo tudi pojave, ko površje prereže s sedimenti zapolnjene jame. Te v morfologiji reliefa niso izražene, se pa na površju pojavijo v jami odloženi sedimenti. To so siga, pa tudi alohoni rečni sedimenti.

Brezstropne jame so rezultat interakcije starih jam in recentnih površinskih geomorfnihih procesov. Kjer uravnano površje preže bolj ali manj vodoravno jamo nastanejo razpotegnjene depresije, nekakšni jarki, podolgovate vrtače ali nizi vrtač. Če vodoravno jamo prereže pobočje pa dobimo kratko ovalno reliefno obliko ali pa jamski vhod. Površje reže tudi

---

<sup>1</sup> Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU, Trg 2, 6230 Postojna

navpične jamske rove, po katerih se je voda spuščala ali dvigovala. Ko površje prereže tako votlino nastane brezno, oziroma vhod v brezno.

Brezstrove jame so v preteklosti napak interpretirali kot geološke orgle ali pa kot korita površinskih rek, sedimente pa kot ostanke sedimentov površinsko tekočih rek iz časa pred razvojem krasa. Brezstrove jame moramo ločiti tudi od udornic, te nastanejo predvsem s preoblikovanjem sten in stropov in z rušenjem podzemnih votlin, kar pa spada med speleogenetske procese.

Brezstrove jame so za krasoslovje pomembne iz več vidikov. So ostanek najstarejših jam, v njih so lahko ohranjeni sedimenti, ki nudijo informacije o paleokolju in o času njihovega nastanka. So pa tudi pomemben del kraške površinske morfologije.

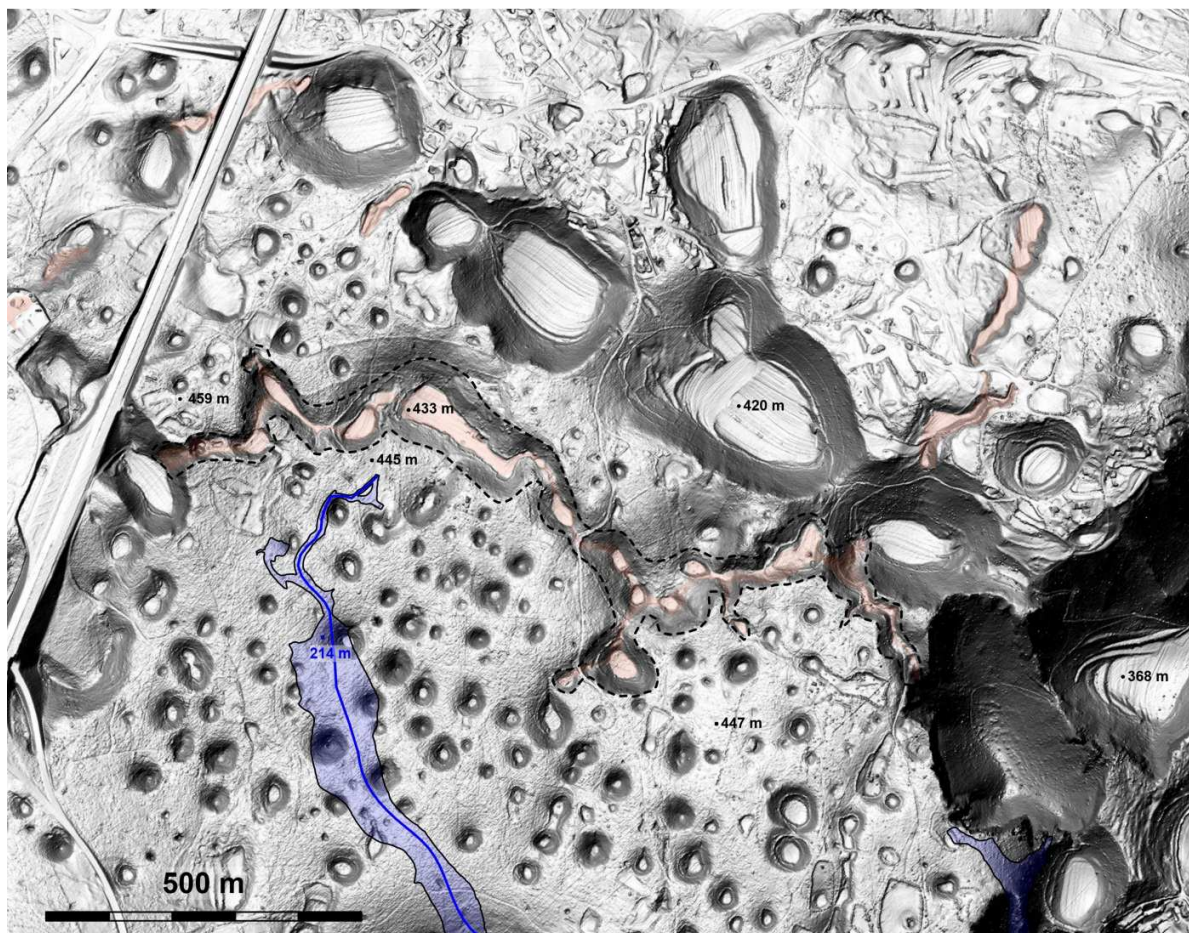
Za geomorfološka ali aplikativna proučevanja krasa sem brezstrove jame iskal in identificiral na terenu, le nekaj jih je bilo mogoče najti tudi na državnih topografskih kartah v merilu 1:5000, katastrskih kartah, na letalskih posnetkih v infrardeči tehniki (Mihevc 1996, 2001), ali na digitalnem modelu višin in s satelitskimi posnetki (Grlj & Grigillo 2014).

V zadnjem času pri geomorfološkem delu na krasu, kjer je poudarek predvsem na terenskem delu in proučevanju sedimentov uporabljamo tudi karte ali digitalne modele reliefa narejene na osnovi lidarskih posnetkov z gostoto mreže točk 1 m in vertikalno ločljivostjo okrog 0,1 m (vir podatkov sta Geodetski Inštitut RS in Ministrstvo za okolje in prostor). Ta gostota točk omogoča zelo dobro natančnost pri določanju lege in oblike tudi majhnih in v reliefu slabo izraženih oblik, kot so brezstrove jame. Uporaba lidarskih podatkov za prikazovanje reliefa olajša terensko delo omogoča pa tudi boljšo analizo in njihov prostorski prikaz. Na nekaj primerih bom prikazal rabo lidarskih podatkov pri iskanju in prikazovanju različno izraženih brezstropih jam.

### **Brezstropa jama v Lipovih dolinah**

Brezstropa jama leži nad Škocjanskimi jamami in je del najstarejših ohranjenih rogov, ki jih je oblikovala predhodnica Reke v nadmorski višini med 450 in 460 m (Mihevc 2001, 2007). V terenu je izražena kot 30-40 m širok in povečini okrog 10 m globok jarek. Jarek, ki poteka med točkama s koordinatami: 420355, 59269 in 421550, 58923, se na več mestih zoži in tudi skoraj prekine. Ponekod je bolj podoben nizu vrtač z nekoliko nižjimi prehodi med njimi. Brezstropa jama je s sigo in sedimenti potrjena v dolžini 1800 m. Prevladujejo peščene gline z primešanimi do nekaj cm velikimi nekarbonatnimi prodniki. V severnem delu so v brezstropi jami kopali kremenčev pesek, na tem mestu so peski odloženi izmenično s plastmi sige. Siga je diagnostični sediment za brezstrove jame. V brezstropi jami jo najdemo na številnih mestih v obliki masivnih sigovih kop, stalagmitov ali tanjših plasti odloženih med plastmi fluvialnih naplavin, podobno kot jih danes vidimo jamah vzdolž podzemnega toka Reke v Škocjanskih jamah ali v Kačni jami.

Lidarski posnetek površja dobro prikazuje obseg in obliko brezstrove jame. V severozahodnem delu je bil prvotni jamski rov širok okrog 30 m, visok pa preko 15 m. V osrednjem in vzhodnem delu je prvotni rov močnejše preoblikovan s pobočnimi procesi in z vrtačami ter udornicami, verjetno pa je tudi denudacija konzumirala več kamnine nad in okrog jame.



Slika 1 Brezstropa jama v Lipovih dolinah na kraškem površju nad Škocjanskimi jamami se jasno loči od številnih vrtáč in večjih udornic. Brezstropa jama je označena s črtkano črto, sedimenti, ki jo dokazujejo pa so označeni s svetlo rjavo bravo. Z modro barvo je označen obris Škocjanskih jam in podzemne reke. Na sliki so označeni še z jamski sedimenti potrjene brezstrope jam, nekatere podolgovate reliefne oblike v spodnjem delu slike pa so brez takih sedimentov, zato jih ne moremo genetsko opredeliti.

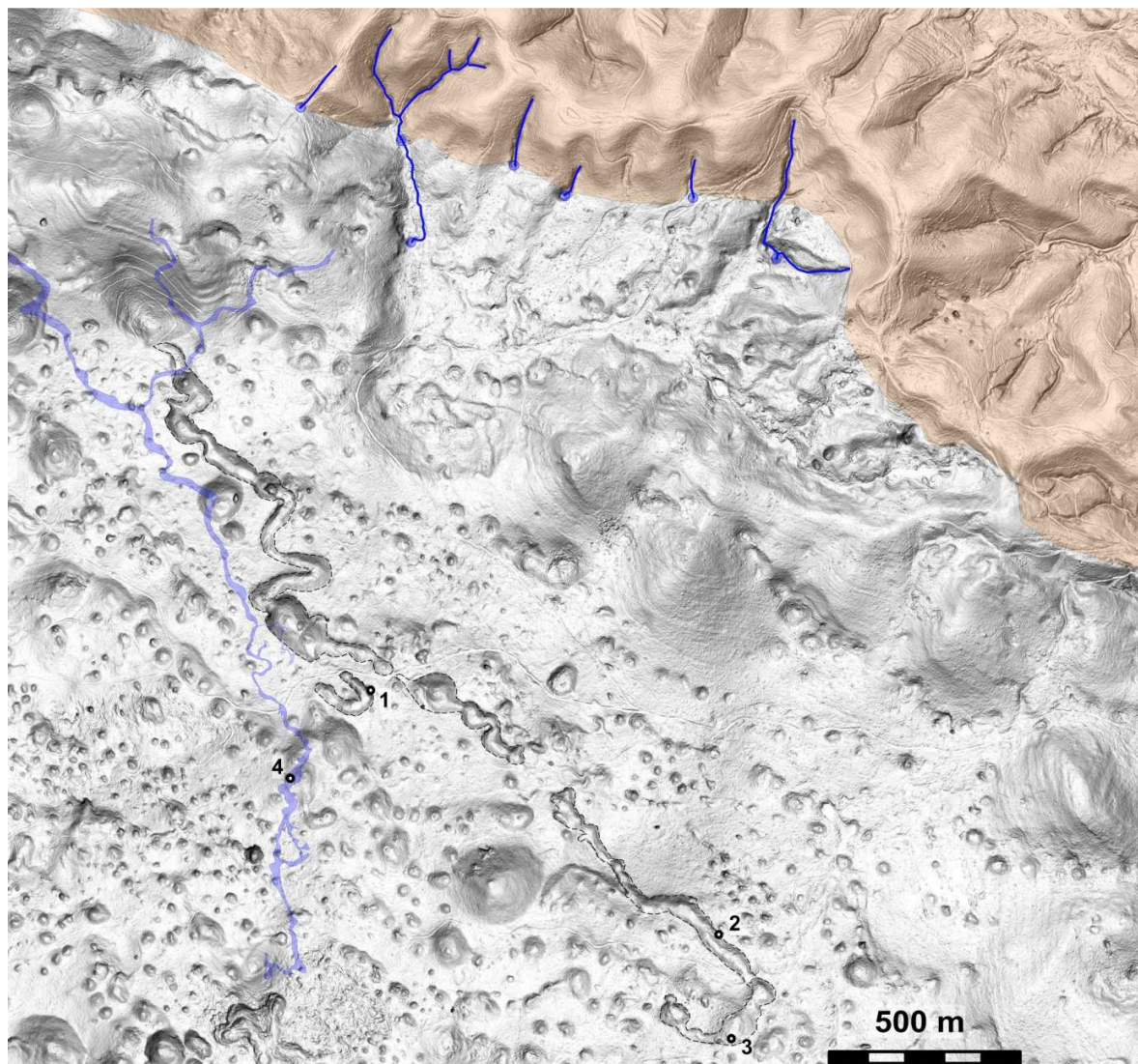
### Brezstropa jama v Lozi

Brezstropa jama leži na Slavenskem ravniku med južno od Sajeveč. Koordinate skrajnih točk jame so: 431433, 65102 in 432912, 63288. Reliefno zelo izrazito obliko sem našel na topografski karti v merilu 1:5000. Na terenu sem jo s sigo, alohtonimi sedimenti potrdil v skupni dolžini 3000 m (Mihevc 2005). Je najdaljša znana brezstropa jama v Sloveniji.

Rovi prvotne jame so bili široki okrog 20 m ter do 20 m visoki. Ponekod so ožji, ker površje reže rov tik pod njegovim vrhom, na nekaj mestih pa je površje jama že povsem konzumiralo. Brezstropa jama ima štiri segmente, ki jih ločijo krajši odseki, kjer je strop prvotne jame še ohranjen. Poleg tega se južni del brezstrope jame nadaljuje v jama Markendelov spodmol, v boku brezstrope jame pa se odpirata še Šimčev spodmol in Spodmol



ob Selški poti v Lozo. To kaže na dezintegracijo stropa nekdanje jame in njeno postopno prehajanje v brezstropo jamo. Ker je površje do različne mere



Slika 2 Brezstropa jama v Slavenskem ravniku. Deli brezstropne jame so označeni s črtkano črto. Ob njej so pomembne jame, 1 Spodmol ob Selški poti v Lozo, 2 Šimčev spodmol in 3 Markendelov spodmol. S fliša (označen je z rjavo barvo) pritekajo potoki (modre črte), ki ponikajo v ponorih na robu krasa (modri krogi). S svetlo modro barvo je označena Vodna jama v Lozi, ki leži 50-100 m pod površjem.

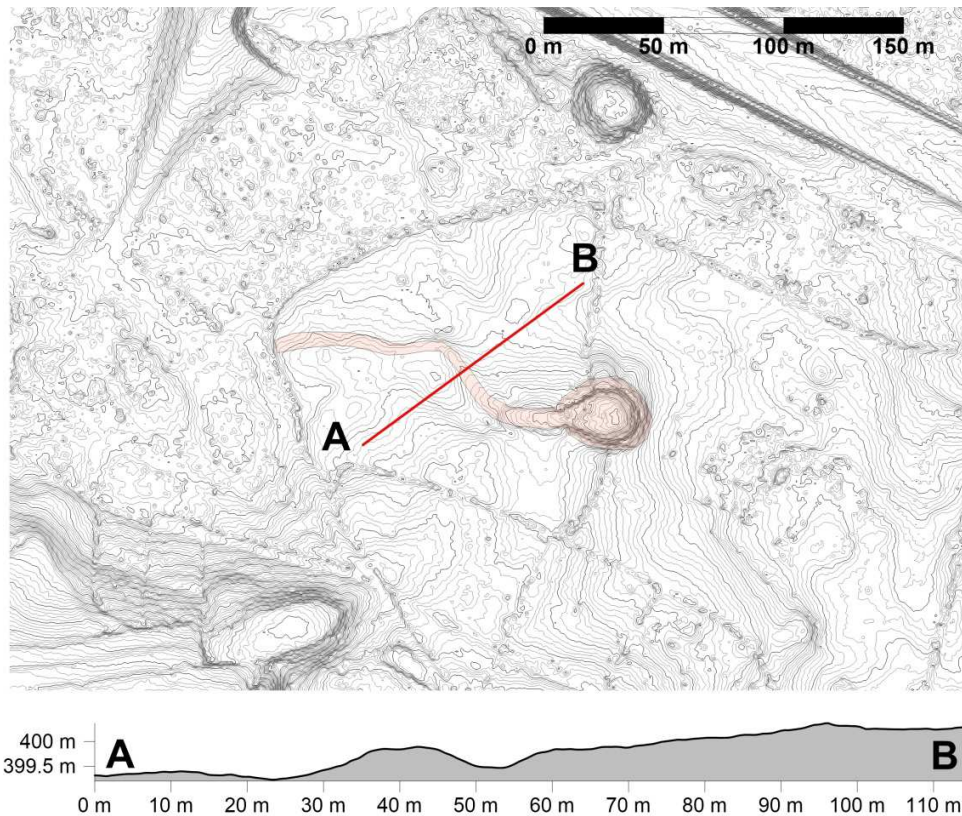
Brezstropa jama leži v nadmorskih višinah med 630 in 580 m nad morjem, zahodno ob nje pa potekajo v nadmorski višini okrog 530 m rovi 7,7 km dolge vodne jame v Lozi. Verjetno je brezstropo jamo oblikovala ista voda, ponikalnica z južnega roba Pivške kotline.

### Brezstropa jama pri Povirju

Pri zemeljskih delih AC na odseku Divača-Sežana so zaznali gradbeniki vzhodno od Povirja, v bližini današnjega počivališča v osi cestišča podolgovato območje s slabšimi geomehanskimi lastnostmi. Ko so izkopali hribino do nosilne skalne podlage se je izkazalo, da je bila to velika, s sedimenti zapolnjena, 350 m dolga brezstropa jama (Mihevc 1996).

Pri proučevanju brezstropne jame se je izkazalo, da je v bližini (med točkama s koordinatami: 418412, 62240 in 418558, 62213) ohranjena še ena brezstropa jama, ki je dobro izražena na letalskih posnetkih v infrardeči tehniki, sezonsko pa tudi z razlikami v vegetaciji. Kartiranje in analiza sedimentov je potrdila, da gre za 160 m dolgo in 5-15 m široko brezstropo jamo, ki pa je v terenu komaj izražena. Izrazita je le vrtača v kateri se na vzhodnem delu konča. Po večjih sigovih blokih sodeč je vrtača nastala s preoblikovanjem manjše dvorane.

Lidarski podatki kljub neizrazitemu reliefu brezstropo jamo zelo dobro pokažejo, severno od nje pa kažejo še nadaljevanje omenjene z avtocesto uničene brezstropne jame.



Slika 3 Brezstropa jama pri Povirju. Topografska karta in prečni prerez sta narejena na osnovi lidarskih podatkov. Izohipse so na 0,1 m. Z rjavo barvo je s sedimenti dokazana brezstropa jama.

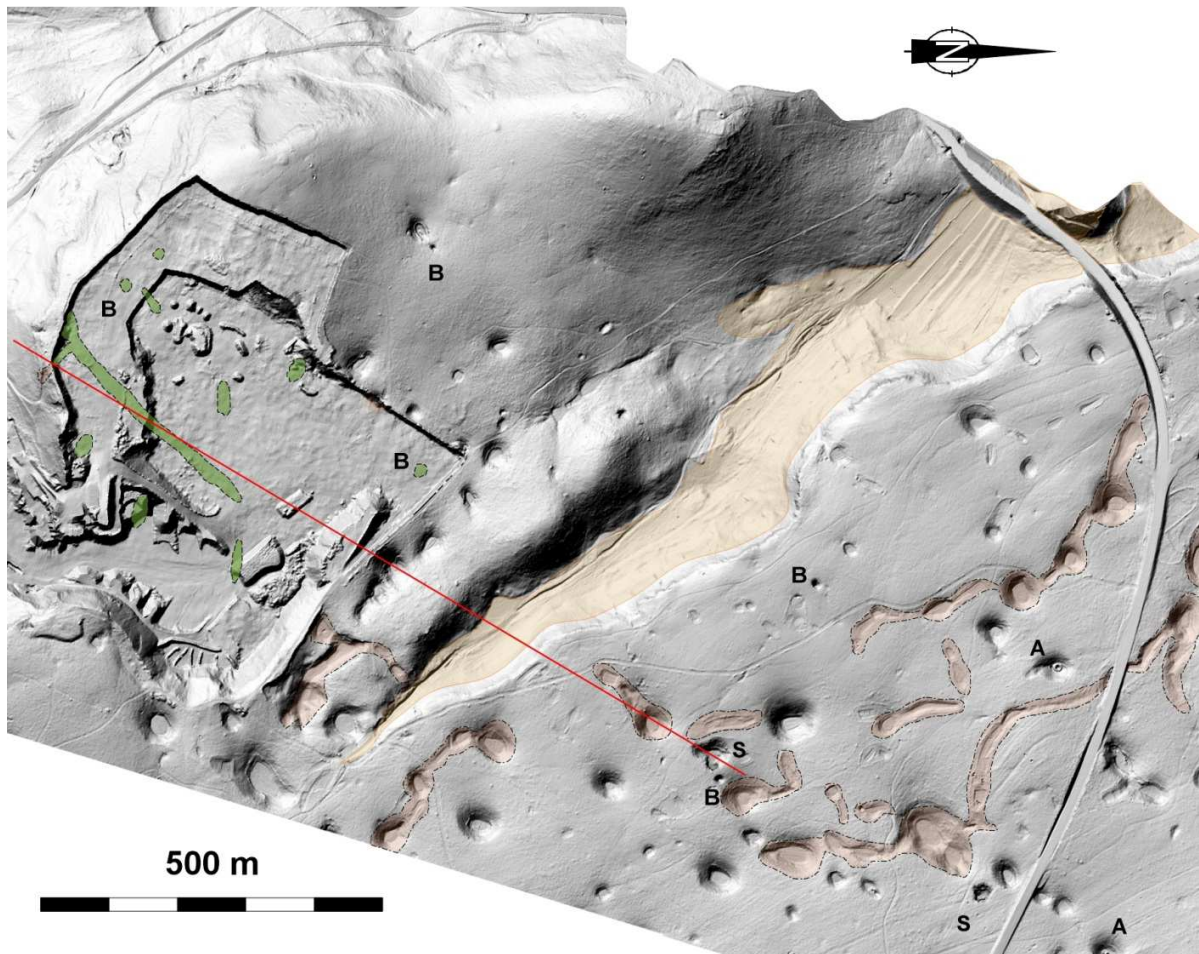


### Brezstrobe jame v podgorskem krasu

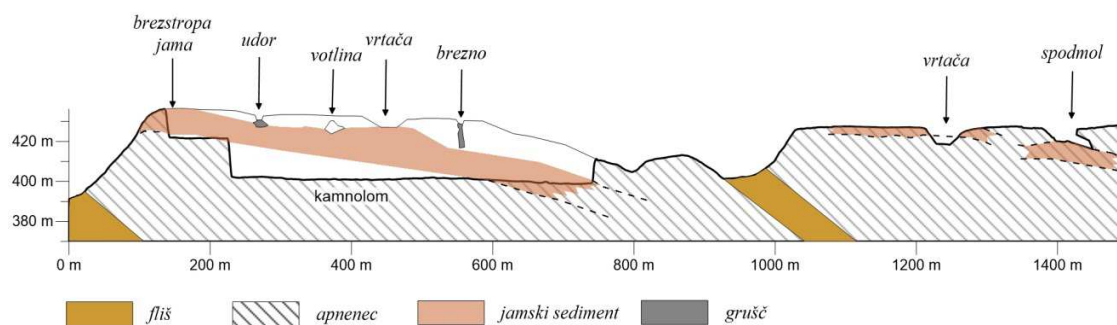
Na Podgorskem krasu, ki je veliko kraško uravnano površje v nadmorski višini okrog 450 m je pri Črnotičah velik kamnolom. V njem sem več let spremljal izkopna dela pri katerih so naleteli na več velikih jam, ki pa so bile povečini zapolnjene z alohtonimi sedimenti. Daticije sedimentov z različnimi metodami so pokazale starost jamskih zapolnitev 4-5 Ma (Bosak 2004, Hajna et al. 2008). Številne jame je že doseglo površje in so bile delno spremenjene v brezstrobe jame. Te so bile v površju izražene kot plitve uleknine ali zgolj pasovi sige ali alohtonih sedimentov, podolgovate vrtače, majhne vrtače ali kot spodmoli. Ko je jih je doseglo izkopno čelo kamnoloma je bilo v njih mogoče proučevati sedimente (Mihevc 2001, Horaček et al. 2007) in opazovati njihove prereze, ter sklepati na prehod votlin pod vplivom kraške denudacije in drugih površinskih procesov v brezstrobe jame (Mihevc 2011).



Slika 4 Prerezana brezstropa jama v črnotiškem kamnolomu. Profil je visok 17 m. Jama, ki je oblikovana v sivem paleogenskem apnencu je v celoti zapolnjena s sedimenti. V spodnjem delu predvsem z alohtonimi glinami in kremenovimi peski, v zgornjem delu pa z rdečkastimi sigami. Bloki, ki so se porušili iz profila so iz sige. Sediment je bil datiran z različnimi metodami na 3-4 Ma, na stenah jame pa so se ohranile cevčice jamske živali *Marifugia cavatica*.



Slika 5 Digitalni model reliefa dela Podgorskega krasa severno od črnotiškega kamnoloma. V uravnanem reliefu prepoznamo številne vrtače, poleg njih pa je v njem še vrsta podolgovatih plitvih uleknin, večino sem zaradi značilnih sedimentov interpretiral kot brezstropne jame. Velikost grida je 0,5 m. Legenda: z rumenorjavo barvo je označen fliš. Jame, ki jih je prerezal kamnolom so označene z zeleno barvo, brezstropne jame pa z rdečerjavo. S črkami so označene: A apnenice, ki so običajno zgrajene tam, kjer je veliko ilovice za pokritje vrha apnenice med žganjem, B brezna in S spodmoli.



Slika 6 Prečni prerez čez del Podgorskega krasa. Potek prereza je označen na prejšnji sliki. Na osnovi proučevanja prehajanja jam v površinske oblike lahko zanesljivo interpretiramo površinske oblike severno od kamnoloma.

V enakem površju Podgorskega krasa, nekaj sto m severno od kamnoloma so na digitalnem modelu reliefa vidne brezstropne jame, brezna in spodmoli. Velik del brezstropnih jam je v reliefu komaj izražen v obliki podolgovatih plitvih uleknin. V večini sem našel sigo in alohtone sedimente. V nekaterih brezstropnih jamah so nastale vrtače, vendar genetska zveza ni jasna. Dve brezstropni jami pa se nadaljujeta v spodmola.

## Zaključek

Brezstropne jame so kraški pojav v katerem se izraža recentna denudacija, obenem pa tudi stare jame, ki so nastale v povsem drugačnih geomorfnihih pogojih. Pri tem je treba povedati, da pojem brezstropa jama ne označuje le reliefne oblike, ampak pojav, oziroma način vključevanja in prehajanja kraških votlin v kraško površje zaradi denudacije.

Z izbranimi primeri sem skušal pokazati nekaj zelo različnih pojavnih oblik brezstropnih jam, od velikih preoblikovanih rogov do komaj zaznavnih uleknin v reliefu. Pri vseh primerih ugotavljam, da so na osnovi lidarskih posnetkov terena izdelani digitalni modeli reliefa zelo uporabni oziroma že nepogrešljivi. Omogočajo natančno kartografsko predstavitev površja z vsemi segmenti nekega starega jamskega sistema, ki ga je denudacija v različni meri iz podzemlja izpostavila v površju. Številnih delov tega tudi pri terenskem delu težko zaznamo.

## Literatura

- Bosák, P., Mihevc, A., Pruner, P. (2004). Geomorphological evolution of the Podgorski Karst, SW Slovenia: Contribution of magnetostratigraphic research of the Črnotiče II site with *Marifugia* sp., *Acta carsologica*, 33/1, 175-204.
- Cucchi, F., Forti, P., Furlani, S. (2006). Lowering rates on limestone along the Western Istrian shoreline and the Gulf of Trieste, *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria* 29, 61-69.
- Gams, I. (1963): Meritve korozijske intenzitete v Sloveniji in njihov pomen za geomorfologijo, *Geografski vestnik*, 34, 3-20.
- Grlj, A., Grigillo, D. (2014). Uporaba digitalnega modela višin in satelitskega posnetka RapidEye za zaznavanje kraških kotanj in brezstropnih jam Podgorskega krasa, *Dela* 42, 129-147.



- Horáček, I., Mihevc, A., Zupan Hajna, N., Pruner, P., Bosák, P. (2007): Fossil vertebrates and paleomagnetism update one of the earlier stages of cave evolution in the Classical Karst, Slovenia: Pliocene of Črnotiče II site and Račiška pečina, *Acta carsologica* 37/3, 451-466.
- Mihevc, A. (1996): Brezstropa jama pri Povirju, *Naše jame* 38, 92-101.
- Mihevc, A. (2001): Speleogeneza Divaškega krasa. Zbirka ZRC, 27, 180 pp., Ljubljana.
- Mihevc, A. (2005). "Brezstropa jama na Slavenskem ravniku" v J. Boštjančič, ur., *Slavenski zbornik. Kras* 73, 42-45.
- Mihevc, A. (2007): The age of karst relief in West Slovenia. *Acta carsol.*, 36, 35-44.
- Mihevc, A. (2011). "Evolution of dolines from caves: a case study from Kras Plateau, Western Slovenia". V: Summers Engel, A., ed., *Carbonate geochemistry: reactions and processes in aquifers and reservoirs: selected papers and abstracts of the symposium held August 6 through 9, 2011, Billings, Montana, Special publication 16, Leesburg (Virginia): Karst Water Institute, str. 56-59.*
- Zupan Hajna, N., Mihevc, A., Pruner, P., Bosák, P. (2008): Palaeomagnetism and Magnetostratigraphy of Karst Sediments in Slovenia, *Carsologica* 8, Založba ZRC, Ljubljana, 266.