

## KARTA RANLJIVOSTI KRASA VZDOLŽ AVTOCEST V SLOVENIJI

Stanka ŠEBELA

Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU, SI-6230 Postojna, Titov trg 2

## IZVLEČEK

V triletnem projektu "Karta ranljivosti krasa vzdolž avtocest v Sloveniji" smo predstavili vse kraške pojave, ki jih najdemo v trasah ali v neposredni bližini tras avtocest, potekajočih prek kraških terenov v Sloveniji. Vsi kraški pojavi (vrtače, udornice, jame brez stropa, žlebiči, griže, skraplje, kraške jame, kraški izviri), ki so bili znani že od prej ali pa so se razkrili med graditvijo avtocest, so dokumentirani v Katastru jam IZRK ZRC SAZU ter na topografskih kartah. Povzetek raziskav ponazarjata 2 karti ranljivosti krasa, ki zajemata avtocestno omrežje v JZ Sloveniji (Vrhnika-Kozina, Divača-Fernetiči). Na kartah so zbrani pomembnejši kraški izviri, smeri podzemeljskih vodnih tokov in večje kraške jame. Označena so odlagališča komunalnih odpadkov. V tabeli 1 pa so predstavljeni podatki števila vrtač na 1 km<sup>2</sup> ter število kraških jam na 1 km avtoceste glede na različne avtocestne odseke.

**Ključne besede:** krasoslovje, graditev avtocest čez kras, vrtače, kraške jame, denudirane jame

## MAPPA DELLA VULNERABILITÀ DEL CARSO LUNGO LE AUTOSTRADE IN SLOVENIA

## SINTESI

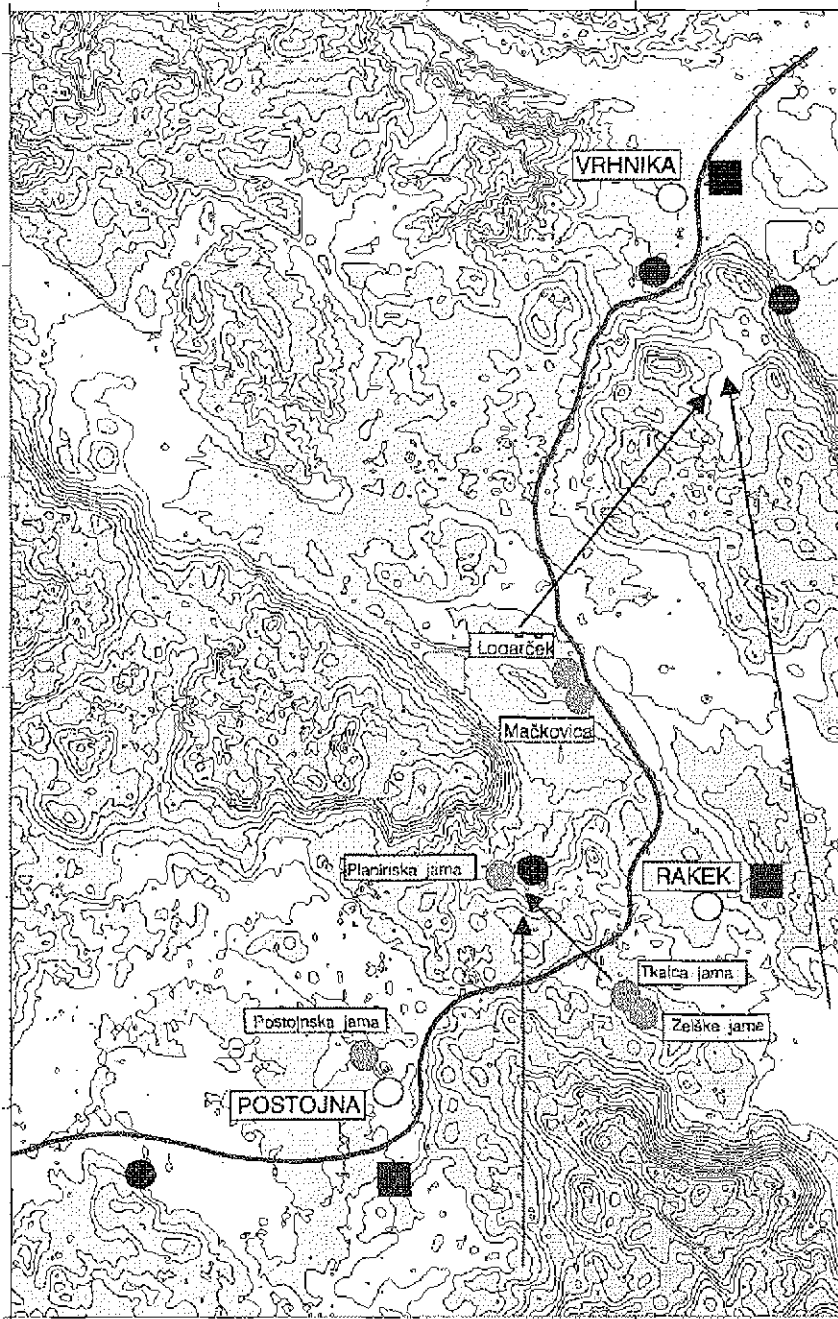
Con il progetto triennale "Mappa della vulnerabilità del Carso lungo le autostrade in Slovenia" gli autori hanno presentato tutti i fenomeni carsici riscontrabili in prossimità o su tracciati autostradali, che attraversano i terreni carsici in Slovenia. I fenomeni carsici (doline, doline di crollo, grotte scoperchiate, scanalature, piccoli crepacci, campi solcati, grotte carsiche e sorgenti carsiche), sia quelli conosciuti da tempo che quelli scoperti durante la costruzione di autostrade, sono documentati nel Catasto delle grotte dell'Istituto per la Ricerca del Carso ZRC SAZU e su mappe topografiche. Il sunto delle ricerche effettuate è rappresentato in due mappe sulla vulnerabilità carsica, che comprendono la rete autostradale della Slovenia sud-occidentale (Vrhnika-Kozina, Divača-Fernetiči). Nelle mappe vengono evidenziate le più importanti sorgenti carsiche, le direzioni dei corsi d'acqua sotterranei e le maggiori grotte carsiche. Sono inoltre segnate le discariche dei rifiuti urbani. Nella tabella 1 troviamo i dati inerenti il numero di doline per chilometro quadrato nonché il numero di grotte carsiche per chilometro di autostrada, in base ai diversi settori autostradali.

**Parole chiave:** carsologia, costruzione autostradale attraverso il Carso, doline, grotte carsiche, grotte scoperchiate

## UVOD

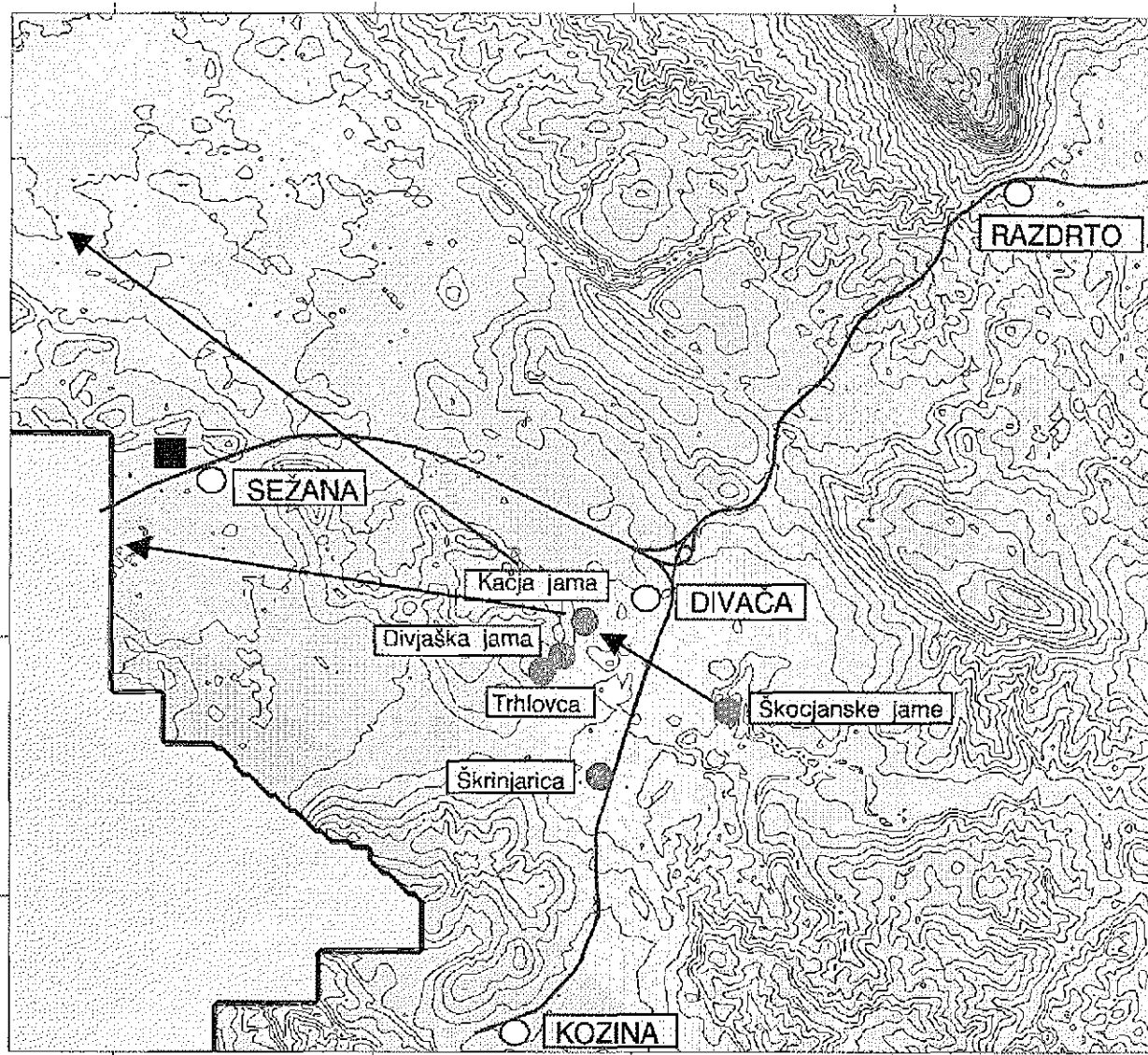
V obdobju od leta 1996 do začetka leta 1999 je bil Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU izvajalec aplikativno raziskovalnega projekta z naslovom "Karta ranljivosti krasa vzdolž avtocest v Sloveniji". Triletni projekt

sofinancirali Ministrstvo za znanost in tehnologijo RS, Krasoslovno društvo Anthron, Zavod za varstvo naravne in kulturne dediščine Nova Gorica, Kovod Vodovod Kanalizacija PO Postojna in Občina Postojna. Nosilka naloge je bila dr. Stanka Šebela, sodelavci pri projektu pa: dr. Tadej Slabe, dr. Andrej Kranjc, dr. Andrej Mi-



- TOWN - MESTO
  - KARST SPRING - KRAŠKI IZVIR
  - CAVE - JAMA
  - WASTE DEPOSIT - ODLAGALIŠČE KOMUNALNIH ODPADKOV
  - HIGHWAY - AVTOCESTA
  - UNDERGROUND WATER FLOW - PODZEMELJSKI VODNI TOK
- 5 km

Sl. 1. Trasa avtoceste Vrhniko-Postojna. Izohipse so na 40 m.  
 Fig. 1. The Vrhniko-Postojna motorway. Contour lines are for 40 m.



Sl. 2. Trasa avtoceste Razdrto-Kozina in Divača-Fernetiči. Izohipse so na 40 m.  
 Fig. 2. The Razdrto-Kozina and Divača-Fernetiči motorways. Contour lines are for 40 m.

hevc, mag. Nadja Zupan-Hajna, mag. Janja Kogovšek, mlada raziskovalca Tanja Pipan in Franci Gabrovšek ter tehnična sodelavca Franjo Drole in Jure Hajna. Inštitut za raziskovanje kraša ZRC SAZU ima že tridesetletne izkušnje v kraškem nadzoru ob graditvi avtocest v Sloveniji. Že leta 1969 so sodelavci Inštituta sodelovali pri graditvi avtoceste Vrhnika-Postojna (Habič & Kranjc, 1969). Kasneje smo opravljali predhodne kraške raziskave načrtovane trase avtoceste Kozina-Rupa (Habič et al., 1990), po osamosvojitvi Slovenije leta 1991 pa so se naše raziskave usmerile v JZ Slovenijo, v zadnjih letih tudi na Dolenjsko.

Glavne raziskave so bile usmerjene v identifikacijo vseh kraških površinskih oblik (vrtač, udornic, jam brez

stropa, zlebičev, griž, škrapelj) in podzemeljskih kraških oblik (kraške jame). Nekatere kraške oblike, predvsem vrtače in včasih jame brez stropa, lahko identificiramo še pred začetkom graditve avtoceste, to je iz originalne kraške morfologije. Večina kraških jam se odpre med graditvijo avtoceste, nekaj pa je tudi primerov, ko se je kraška jama odprla, v neposredni bližini voznih pasov, ko je promet po cesti že stekel.

Več raziskav je bilo opravljenih tudi glede spremljanja kakovosti vode, odtekajoče z avtoceste (Kogovšek, 1995).

Preden se graditev avtoceste začne, opravijo geoelektrične in geofizikalne raziskave. Na predelih, kjer bodo gradili viadukte, mostove, nadvoze in podvoze, pa

opravijo tudi geomehanske raziskave stabilnosti kamnine. V samostojni Sloveniji od leta 1994 opravljamo krasoslovni nadzor pri graditvi avtocest čez kraške terene. Nekateri krasoslovni nadzori so bili opravljeni kot predhodne raziskave, še pred graditvijo avtoceste, večina nadzorov pa poteka sočasno z graditvijo. Glavni namen krasoslovnega nadzora je predvideti in raziskati kraške pojave, ki se odkrijejo pred, med ali po graditvi avtocest. Naše študije kažejo, da je predvidevanje kraških pojavov pred graditvijo zadovoljivo le za vrtače, udornice in deloma jame brez stropa. Sklepanje na pojavljanje neznanih kraških jam je mnogo manj zadovoljivo. Ko je trasa avtoceste že asfaltirana, opravijo georadarske raziskave. V primerih, kjer sklepajo na javljanje praznih prostorov v nevarni bližini trase avtoceste, pa opravijo tudi testna vrtnanja. Nenadni udori na krasu niso nenavadni in tudi avtoceste čez kras so izpostavljene takšnim možnostim. Temeljite raziskave geologije, geomorfologije, stabilnosti terena, kraških pojavov so osnovna naloga, s katero lahko ocenimo nevarnosti nenadnih udorov.

#### IZKUŠNJE IZ 27-LETNEGA OBRATOVANJA AVTOCESTE VRHNIKA-POSTOJNA

Na avtocesti Vrhnika-Postojna (Sl. 1), ki so jo zgradili leta 1972, so na 29 km odkrili 22 novih kraških jam, kar pomeni 7 jam na 1 km<sup>2</sup> (Kranjc, 1983). Kasneje je na dveh mestih prišlo do nenadnega udara. Pri Postojni je bilo že kmalu po odprtju avtoceste opaziti udor nad kraško jamo na kontaktu med apnencem in nekarbonatnimi kamninami. Dvajset let po obratovanju avtoceste pa se je na zelenici, med voznima pasovoma, pri Verdu udrla okrog 10 m<sup>3</sup> velika kraška jama zaradi nepravilnega spiranja voda s cestišča.

Neposredno pod avtocesto pa najdemo več globljih brezen, kot so: Jama Medvednica (globina 38 m), Brezno II pod železniško postajo (globina 13 m), Avanzova jama (globina 28 m), Škantlovo brezno (globina 10 m). Položaji vseh jam, ki danes ležijo v trasi avtoceste, so označeni na topografski karti 1:5.000, jame so sanirane, vhodi oziroma brezna so danes nedostopni.

Pri Uncu poteka naravnost pod avtocesto rov jame Logarček. Dolžina jame je 2.285 m in globina 83 m (Gams, 1963). Debelina stropa med Severnim rokavom in avtocesto na površju je 50 m, debelina stropa med Podorno dvorano in avtocesto pa le 13 m. Glede na 27-letno obratovanje avtoceste in le 2 nenadna udara zunaj voznih pasov lahko sklepamo na zadovoljivo stabilnost avtoceste.

Avtocesta Vrhnika-Postojna poteka čez 470 vrtač. Premer vrtač je 20-80 m, globina 5-15 m. Povprečje vrtač je 250-300 na 1 km<sup>2</sup> (Tab. 1).

**Tab. 1: Osnovna statistika števila kraških jam in vrtač na avtocestah v Sloveniji.**

**Tab. 1: Principal statistics of karst caves and doline numbers on Slovene motorways.**

avtocesta / motorway	dolžina / length	število jam na 1 km / No. of caves per 1 km	število vrtač na 1 km <sup>2</sup> / No. of doline per 1 km <sup>2</sup>
Čebulovica-Dane	14 km	76	5,0-11,0
Dane-Fernetiči	4,8 km	72	7,44
Divača-Kozina	6,7 km	50	271,6
Vrhnika-Postojna	29 km	22	250-300

#### AVTOCESTA ČEBULOVICA-DANE

Pri Divači je povprečna gostota 11 vrtač na 1 km<sup>2</sup>, med Divačo in Sežano pa le 5 vrtač na 1 km<sup>2</sup> (Sl. 2). Najgloblja vrtača, ugotovljena z vrtnjem, je globoka 27,5 m (Habič, 1974).

Na 14 km dolgi avtocesti smo odkrili 76 kraških jam. Večinoma so to manjše jame, saj jih je le 6 daljših od 5 m. Dve jami sta bili znani že pred graditvijo avtoceste. Med novo odkritimi jamami je 57 starih jam in 19 brezen. Med starimi jamami je 24 praznih in 33 zaplnjenih s sedimenti (Slabe, 1996).

#### AVTOCESTA DANE-FERNETIČI

Odsek Dane-Fernetiči meri 4,8 km. Skupno je bilo odkritih 72 novih jam, od teh je bilo 46 brezen. Blizu avtoceste so izmerili 110 m globoko jamo. Vhod v jamo se odpira v vrtači, ki so jo predvideli za zajetje odpadnih voda z avtoceste. Vhod v jamo so sanirali, saj pomeni vsako nekontrolirano izplakovanje odpadnih voda v kraški sistem onesnaženje kraške podtalnice. Na tem odseku avtoceste je 7,44 vrtač na 1 km<sup>2</sup> (Tab. 1).

#### AVTOCESTA DIVAČA-KOZINA

S predhodnimi krasoslovnimi raziskavami trase avtoceste Divača-Kozina (6,7 km; Sl. 2) smo identificirali 4 jame brez stropa (Šebela, 1996), kasneje, ob začetku gradbenih del, pa so odkrili še 2 jami brez stropa. Na 6,7 km dolgi avtocesti je bilo 6 kraških jam znanih že od prej, 9 jam smo odkrili s predhodnimi raziskavami, končno število 50 jam je bilo določenih sočasno z gradbenimi deli. Povprečje vrtač je 271,6 vrtač na 1 km<sup>2</sup>.

Tik ob trasi avtoceste je vhod v jamo Škrinjarico (dolžina je 270 m in globina 130 m), debelina stropa

med avtocesto in horizontalnim rovom je 85 m. Jama je zavarovana kot naravni spomenik št. 882 in vpisana v naravno dediščino Slovenije.

V globini okrog 200 m pod traso avtoceste južno od Divače poteka neznan rov s tokom podzemeljske Reke, ki ponika v Škocjanskih jamah. Martelova dvorana v Škocjanskih jamah leži okrog 450 m zračne razdalje JV od avtoceste in zajema prostornino 2.000.000 m<sup>3</sup> (Mihevc, 1995).

### HITRA CESTA SELO-VIPAVA

Hitra cesta skozi Vipavsko dolino se večinoma gradi v flišnih kamninah, ki pa tudi vsebujejo do 10 m debele plasti kalkarenita, ki je lahko zakrasel. Med graditvijo so odkrili več manjših jam, eno od brezen globine 9 m leži v neposredni bližini mostovnih betonskih nosilcev.

Četudi nekatere kamnine, kot npr. neprepustni fliš, niso tako zakrasele kot npr. apnenci, pa lahko znotraj karbonatnih plasti pričakujemo tudi kraške jame in podzemeljsko kraško pretakanje vode.

### AVTOCESTA V JV DELU SLOVENIJE

Tudi na Dolenjskem gradijo avtoceste, ki v veliki meri potekajo čez kras. Dolenjski kras je v nasprotju z Notranjskim prekrit z debelejšo plastjo pliocenskih in kvartarnih glin in aluvija. Naplavina in preperina na krasu pa pomenita še večjo nevarnost nenadnih udorov.

### POMEN APLIKATIVNIH KRAŠKIH ŠTUDIJ ZA REŠEVANJE TEORETIČNIH KRAŠKIH PROBLEMOV

Aplikativno raziskovalni projekt nam je pomagal tudi pri reševanju teoretičnih kraških problemov. Prav s krasoslovnimi raziskavami tras avtocest v JZ Sloveniji smo odkrili nov geomorfološki pojem "jame brez stropa ali denudirane jame" (Mihevc *et al.*, 1998), ki se uveljavlja tudi v svetovnem kraškem izrazoslovju.

Glede na podatke meritev z mikrometrom (Cucchi *et al.*, 1994) je zniževanje površja na Krasu 0,02 mm na

leto ali 20 m v 1.000.000 letih. Analize starosti sige z U/Th in paleomagnetne analize klastičnih sedimentov kažejo, da so jame brez stropa starejše od 730.000 let, v nekaterih primerih ocenjujejo starost celo na več milijonov let (Bosak *et al.*, 1998).

### ZAKLJUČEK

Ker bomo v prihodnosti avtoceste čez kras v Sloveniji še gradili, npr. čez Kraški rob ali na Dolenjskem, je triletna študija le stanje do konca leta 1998. V prihodnosti bi veljalo projekt nadaljevati na novih trasah, ob sočasnem spremljanju avtocest v obratovanju. Vsi opisani kraški pojavi ob avtocestah so dokumentirani. Načrti jam so vneseni v Kataster jam IZRK ZRC SAZU, položaji vrtač, udornic in kraških izvirov so dokumentirani na topografskih kartah. Sodelavci pri projektu so rezultate svojega dela predstavili javnosti na mednarodnih in domačih srečanjih ter v znanstvenih in strokovnih publikacijah (Šebela & Mihevc, 1995; Šebela *et al.*, 1999).

Ob konkretnem terenskem delu se je odprlo tudi pomembno vprašanje, ki zajema novi teoretski pristop k razvoju kraškega površja. To so tako imenovane jame brez stropa ali denudirane jame. Gre za stare rove, ki so zaradi dviganja terena in procesov erozije in korozije danes brez nekdanjega stropa in jim na površju lahko sledimo kot morfološke depresije, zapolnjene s sedimenti. Še v začetku leta 1994 so take ostanke kraških jam pripisovali površinskim vodnim tokovom. Prav graditev avtocest v JZ Sloveniji je razkrila takšne jame in nam omogočila njihovo temeljito študijo. Termin denudiranih jam se uveljavlja tudi v svetovnem merilu, v letu 1999 je Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU priredil že 7. mednarodno krasoslovno šolo "Klasični kras", tokrat na temo "denudirane jame".

### ZAHVALA

Zahvaljujem se Juretu Hajna in Franju Drole (IZRK ZRC SAZU) za pomoč pri izdelavi slik 1 in 2.

## THE VULNERABILITY MAP OF THE KARST ALONG HIGHWAYS IN SLOVENIA

Stanka ŠEBELA

Karst Research Institute, Scientific Research Centre of the Slovene Academy of Sciences and Arts, SI-6230 Postojna, Titov trg 2

## SUMMARY

With a three-year project "The vulnerability map of the karst along highways in Slovenia", all karst phenomena that can be found on or near highways crossing the karst areas in Slovenia were introduced. All karst features (dolines, collapse dolines, denuded caves, grooves, grikes, karren, karst caves, karst springs), which had been known before or were discovered during the construction of highways, are documented in the Cave Cadastre of the Karst Research Institute ZRC SAZU and on topographic maps. The summary of the project investigations is represented by 2 vulnerability maps of the karst regarding highways in SW Slovenia (Vrhnika-Kozina, Divača-Fernetiči). On the maps, important karst springs, directions of underground water flow, waste deposit sites and important larger karst caves are presented. In table 1, data for numbers of doline per 1 km<sup>2</sup> and numbers of karst caves per 1 km are presented in view of different highway sections.

**Key words:** karstology, highway construction across the karst, dolines, karst caves, denuded caves

## LITERATURA

- Bosak, P., P. Pruner & N. Zupan Hajna (1998):** Palaeomagnetic research of cave sediments in SW Slovenia. Acta carsologica SAZU, Ljubljana, XXVII/2, 151-179.
- Cucchi, F., F. Forti & F. Ulcigrai (1994):** Zniževanje kraškega površja zaradi korozije. Acta carsologica SAZU, XXIII, 55-62.
- Gams, I. (1963):** Logarček. Acta Carsologica SAZU, 3, 5-84.
- Habič, P. (1974):** Poročilo o kraških pojavih na AC Senožeče-Divača-Sežana. Elaborat IZRK ZRC SAZU, Postojna, 20 str.
- Habič, P. & A. Kranjc (1969):** Preiskave vrtač v trasi avtoceste Vrhnika-Postojna. Elaborat IZRK ZRC SAZU, Postojna, 11 str.
- Habič, P., M. Knez, J. Kogovšek, A. Kranjc, A. Mihevc, T. Slabe, S. Šebela & N. Zupan (1990):** Kraški pojavi v trasi avtoceste Kozina-Rupa. Elaborat IZRK ZRC SAZU, Postojna, 3-24.
- Kataster jam IZRK ZRC SAZU.** Postojna.
- Kogovšek, J. (1995):** Podrobno spremljanje kvalitete vode, odtekajoče z avtoceste in njen vpliv na kraško vodo. Annales, 7, 149-154.
- Kranjc, A. (1983):** Speljava hitrih cest čez kras. Obzornik, 4, 316-319.
- Mihevc, A. (1995):** New surveys in the Martel Hall, Škocjanske jame. Naše jame, 37, 39-44.
- Mihevc, A., T. Slabe & S. Šebela (1998):** Denuded caves - An inherited element in the Karst Morphology; The case from Kras. Acta Carsologica SAZU, XXVII/1, 165-174.
- Slabe, T. (1996):** Karst features in the motorway section between Čebulovica and Dane. Acta Carsologica SAZU, 25, 221-240.
- Šebela, S. (1996):** Predhodne krasoslovne raziskave trase avtoceste Divača-Kozina. Annales, 9, 103-106.
- Šebela, S. & A. Mihevc (1995):** The problems of constructions on karst - The examples from Slovenia. V: Beck, B. F. (ed.): Karst geohazards. A.A. Balkema, Brookfield, Rotterdam, 475-479.
- Šebela, S., A. Mihevc & T. Slabe (1999):** The vulnerability map of karst along highways in Slovenia. V: Beck, B. F., A. J. Pettit & J. Gayle Herring (eds.): Hydrogeology and engineering geology of sinkholes and karst - 1999. A. A. Balkema, Brookfield, Rotterdam, 419-422.