

## STRUCTURAL POSITION OF VERTICAL KARST OBJECTS ON POSTOJNSKA GMAJNA<sup>3</sup>

## STRUKTURNA LEGA VERTIKALNIH KRAŠKIH OBJEKTOV NA POSTOJNSKI GMAJNI<sup>3</sup>

JOŽE ČAR<sup>1</sup> & STANKA ŠEBELA<sup>2</sup>

Izvleček

UDK 551.442(497.4)

**Jože Čar & Stanka Šebela: Strukturna lega vertikalnih kraških objektov na Postojnski gmajni**

Ob podrobnem tektonsko-litološkem kartiranju Postojnske gmajne so bili preučevani tektonsko-strukturni elementi. Pri tem so bile zabeležene udorne vrtače, jame, brezna in spodmoli. Upoštevani so tudi podatki iz Katastra jam. Postojnsko gmajno sekajo dinarsko usmerjene (SZ-JV) prelomne cone s spremljajočimi deformacijami po teoriji možnih deformacij ob zmičnih prelomih. Večina vhodov v brezna in udornih vrtač leži v strukturah vzdolž desnozmičnih prelomov, ki so nastali pri nateznih napetostih. Navpični vhodi v kraške objekte so v osnovnih strukturnih položajih.

**Ključne besede:** geologija, tektonika, speleologija, geomorfologija, speleomorfologija, prelomna deformacija, kinematski model, udorna vrtača, Slovenija, Postojna.

**Abstract**

UDC 551.442(497.4)

**Jože Čar & Stanka Šebela: Structural position of vertical karst objects on Postojnska Gmajna**

During detailed tectonico-lithological mapping of Postojnska Gmajna attention was paid to tectonic-structural elements. Collapse dolines, caves, shafts and rock-shelters were noted and the data in the Cave Register considered. Postojnska Gmajna is cut by a Dinaric (NW-SE) trending fault zone with accompanying deformations according to theory of probable deformations along strike-slip faults. Most entrances to shafts and collapse dolines lie in structures along dextral strike-slip faults due to tension. Vertical entrances into karst objects are in basic structural locations.

**Key words:** geology, tectonics, speleology, geomorphology, speleomorphology, fault deformation, kinematic model, collapse doline, Slovenia, Postojna.

<sup>1</sup> Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Odsek za geologijo, Aškerčeva 12, SI - 1000 LJUBLJANA, SLOVENIJA

<sup>2</sup> Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU, Titov trg 2, SI - 6230 POSTOJNA, SLOVENIJA

<sup>3</sup> At 4th International karstological School the paper of "Geological structures and location of shafts in Postojnska gmajna" was presented. This article represents a supplemented and rewritten presentation.

## INTRODUCTION

In 1980 detailed geological mapping began anew in the area between the SW border of Planinsko Polje up to Strmica and Studenške Ponikve to the north; and Postojnska Gmajna, Magdalena Gora, a part of the Postojna gap between Unec and Ravbarkomanda and the wider vicinity of Rakov Škocjan to the south. The mapping was carried out at 1:5.000 scale, having a lithologic-structural character. A considerable part of the field data was published in 1984 (Čar & Gospodarič 1984), while a lithologic-structural map between Sovič and Nemčji Vrh is prepared for print (Šebela 1994). Not only lithological and macroscopical petrographic changes and structural elements, but also various karstological properties of the mapped area were noted. More than a thousand dolines and collapse dolines were checked (Čar 1982) and their genetic relation to various geologic elements stated (Čar, in press). In addition, all the cave entrances were located and structurally defined. It was shown that most of the vertical entrances into caves lie in genetically related tension tectonic structures. The location of some shaft entrances and some collapse dolines on Postojnska Gmajna are commented upon without considering the genesis of single objects.

### General Geological Data

Placer (1981, 1996) explained the Tertiary geometrical model, the origin of thrust structure from a kinematics point of view and the general tectonic complex with principal thrust and strike-slip tectonic elements of the western Slovenia. From a structural point of view a vast area of Postojna and Javorniki belongs to Snežnik thrust sheet (Placer 1981). Recent mapping has shown that in the area of Unec and Ivanje Selo there is a series of thrust units which are not yet included into a general thrust model of this part of Slovenia (Čar 1982). In addition numerous fault systems with complicated mutual relations have been ascertained (Čar 1982; Čar & Gospodarič 1984). To date Gospodarič and Čar reported on meso deformations in rocks related to thrust and strike-slip faults in the area of Postojna and Unec (Gospodarič 1965, 1976; Čar 1982; Čar & Gospodarič 1984). However it must be stressed that not all the criteria needed to distinguish deformations related to thrusting in the rocks from those due to disjunctive tectonics were worked out. So far the model for unequivocal distinguishing of both systems does not exist; this is why the present paper deals only with those karstological objects that are clearly related to strike-slip tectonics.

For further discussion the most important conclusions of the previous studies (Čar & Gospodarič 1984) must be mentioned also. The area between Postojna, Unec and Cerknica belongs to the transitional area between the Idrija fault, at the north-eastern part of Planinsko Polje, and the Predjama

fault, at the eastern border of Pivka basin. Crushed, broken and fissured zones (Fig. 1) were determined in the field according to procedures and criteria

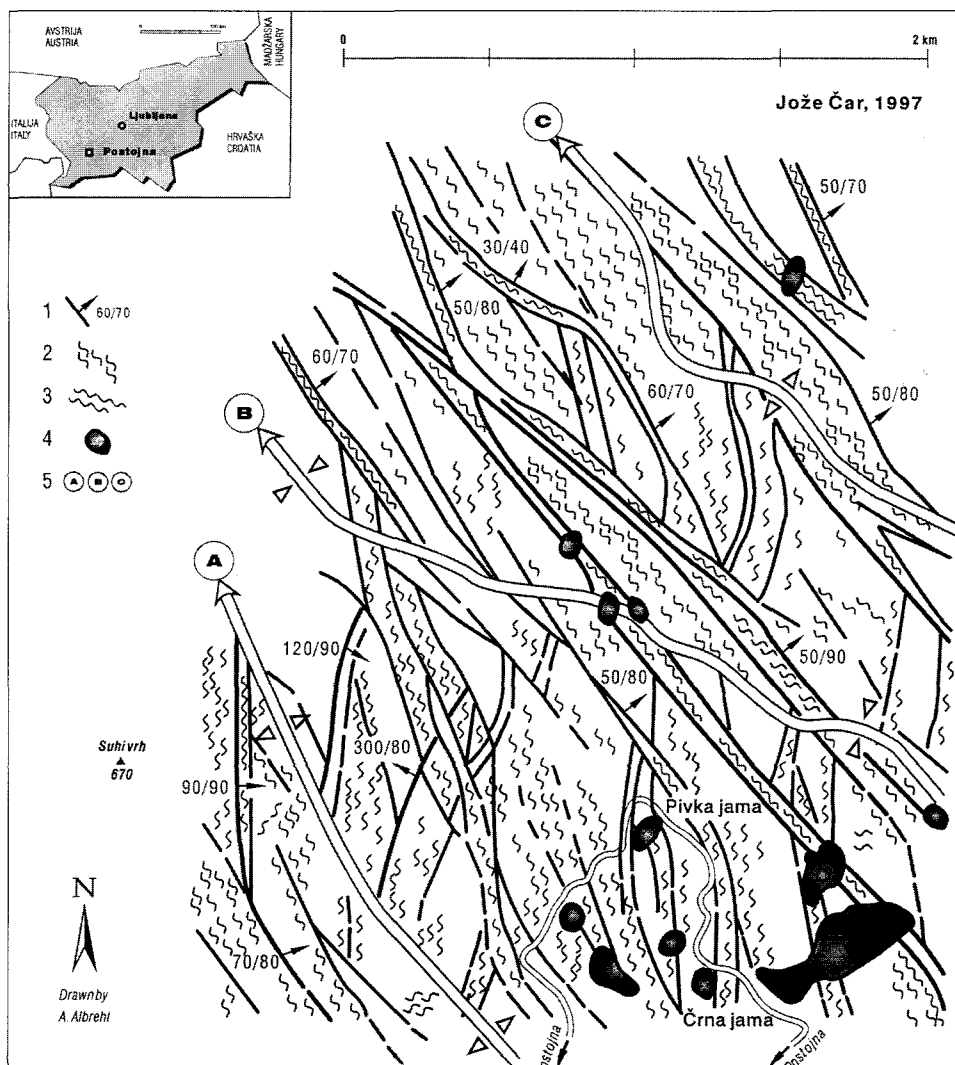


Fig. 1: Structural conditions in Postojnska Gmajna area. Mapped by J. Čar. 1-strike and dip of fault zone, 2-fissured zones, 3-broken zones, 4-bigger collapse dolines, 5- A=Postojnska anticline, B=Studeno syncline, C=Bukovje anticline.

Sl. 1. Strukturne razmere na področju Postojnske gmajne. Kartiral J. Čar. 1-slemenitev in vpad prelomnih ploskev, 2-razpoklinske cone, 3-porušene cone, 4-večje udornice, 5-A=Postojnska antiklinala, B=Studenska sinklinala, C=Bukovška antiklinala.

defined in 1982 (Čar 1982) and later supplemented (Čar & Pišljar 1993). It must be remembered that different tectonic zones drawn in figures represent more or less crushed rocks without explaining their kinematics meaning. In the area between Unec and Postojna four periods of disjunctive movements were established, probably within the same tectonic phase (Čar & Gospodarič 1984), and the same might surely be applied for the treated area of Postojnska Gmajna.

The vicinity of Magdalena Gora and Postojnska Gmajna is folded into the rather distinctive Postojna anticline (Gospodarič 1976; Čar & Gospodarič 1984). East of Nemčji Vrh (633 m) the anticline crest is less distinct than to the south of Magdalena Gora. Near Nemčji Vrh the axis plane is dipping of 7 to 14° towards SW (Šebela 194).

The area of Vodni Dol and Magdalena Gora consists of light grey to white organic limestones passing to lumachelle; near Črna Jama and Suhi Vrh (680 m) one finds grey to light grey thick-bedded organic limestones of Upper Cretaceous age (Čar & Gospodarič 1984).

Nemčji Vrh (633 m) consists of white massive limestone extremely rich in chondrodonta (Šebela 1994). According to Šribar (1995) the horizon with chondrodontas belongs to the Upper Cenomanian and at least to the Lower Turonian. To the south of Nemčji Vrh grey to light grey, thick-bedded or massive limestones prevail; they belong to the Turonian and the Senonian. NE of Nemčji Vrh, thinner bedded grey to dark grey Turonian limestones prevail including some chert inliers. The same lithological links may be seen in the cave system of Postojnska Jama (Gospodarič 1965; Šebela 1994).

### **Strike-slip faults and associated deformations**

Regional Idrija and Predjama faults of a strike-slip character are, in addition to vast thrusts, the basic structural elements of the tectonic setting in northern Primorska and Notranjska. The area of Postojnska Gmajna, the wider vicinity of Magdalena Gora and Pivka Jama that geographically lies between both regional faults, is intersected by numerous fault zones parallel to the Idrija and Predjama faults (Čar & Gospodarič 1984; Šebela 1994). Consequently they are trending NW-SE; they are predominantly of strike-slip character and displacements are mostly subhorizontal. According to displacements of lithological contacts and structural lines between the Snežnik thrust sheet and the Hrušica nappe to the north, near Strmica, displacements are at utmost 10 m or less. Hence the faults of smaller dimensions were involved. At Dinari-cally-trending strike-slip faults several, differently oriented related fault zones developed. The size of displacement, the geometry of deformations and the rate of crushed rock may be clearly defined by a method of detailed lithologic-structural mapping at a scale of 1:5000 and at smaller scales (Čar, in preparation).

Along strike-slip faults and related fault deformations different types of crushed rocks occur depending on the length of displacement and the energy involved. There are crushed, broken and fissured zones connected by longitudinal and transverse passages (Čar 1981; Čar & Pišljar 1993). As is known, similar changes may be observed in the vertical direction also (Šebela & Čar 1991; Šebela 1994). This is important in studying the changes of karst superficial morphology depending on corrosion-erosion processes in time. About the deformation geometry and tension conditions that controlled them one may say that along the faults almost all the features, supposed by a general theory of possible deformations along strike-slip faults, developed (Twiss & Moores 1992; Ramsay & Huber 1987; Davison 1994 in Hancock/Ed.; Woodcock & Schubert 1994 in Hancock/Ed.). Due to local lithological setting and structure properties of the rocks (for example non-bedded, thin-bedded etc.) and also due to gradual changing of local stress field, the strike-slip faults are almost never entirely straight. Often the direction of faults is inclined to the direction of displacement. Beside usual fissured zones typical of strike-slip faults, defined by a model of Riedel, there are also the areas of tension and releasing bends or compression and extension conditions. In the area under discussion some local faults end and others start and overlap partly. All this causes corresponding deformations manifested in smaller local folds, shorter and weak reverse faults and thrusts, or shorter normal faults and variously shaped uplifted and subsided parts. Thus in some places developed a very complex, sometimes complicated system of deformations either blurred or accentuated by corrosion processes.

### **Geographical location and speleological data**

The studied area covers the topographic maps Postojna-33 and part of Postojna-43 at a scale of 1:5.000. Postojnska Gmajna is depicted on the map as a wide area reaching in the SE to Postojnska Vrata (Ravbarkomanda); in the SW it is delimited by Otoška Gmajna which is a belt about 500 m wide consisting of limestones at the contact with Eocene flysch. In the north, Postojnska Gmajna is delimited by Bukovec.

According to the Cave Register of the Karst Research Institute ZRC SAZU there are 21 caves known in the area covering about 6,8 km<sup>2</sup>. During detailed geological researches in the field (Čar 1983) another 5 entrances to caves were discovered; they were not speleologically explored. The average density of karst caves in this area is 3,8 cave/km<sup>2</sup>. The deepest shaft is Brezno v Hrenovških Talih (cad.no. 930), 104 m deep. The longest horizontal cave is the system of Postojnska Jama, 19.555 m long and 115 m deep; there are also the entrances into Črna Jama and Magdalena Jama, being a part of the Postojnska Jama system.

Tabela 1. Osnovne speleološke značilnosti obravnavanih in omenjenih jam na območju Postojnske gmajne in Magdalene gore (vir Kataster jam IZRK ZRC SAZU).

kat. št. cad. no	VG reg. no.	ime name	tip type	dolž. (m) length (m)	glob. (m) depth (m)	karta map 1:5.000
42	562	Ruglovica	5.5	52	52	Postojna-33
471	80	Črna jama	5.3	3294	39	Postojna-33
472	314	Pivka jama	4.2	794	77	Postojna-33
747	108	sistem Postojnskih jam	4.2	19555	115	Postojna-43
820	110	Magdalena jama	4.2	1395	89	Postojna-33
930	3041	Brezno v Hrenovških talih	5.3	165	104	Postojna-33
1608	1614	Kotova jama	5.3	322	45	Postojna-33
1629	1591	Medvedja jama	5.3	122	28	Postojna-33

5.5-brezno (shaft)  
5.3-poševna jama (horizontal cave)  
4.2-jama s stalnim tokom (cave with permanent water flow)

## Structural location of chosen karst objects

### *Shafts in tension fractured zones*

Many entrances into the shafts of Postojnska Gmajna lie en echelon or in braided tension subvertical fractured systems. They are at an angle from 35 to 45° to the direction of displacement of Dinarically (NW-SE) trending faults, either in their outer fault zone or in wide fractured zones having approximately the same direction between two faults. Transverse to them are older Dinaric (NW-SE) trending fissures of compressed character. Near strike-slip fault zones the fractured en echelon are usually rather dense, at a distance they are scarcer and in alternating. Braided fractured systems are usually less clearly defined on the flanks, they are shorter with atypical ends.

To illustrate the described conditions two cave entrances (Fig. 2) are drawn, located about 900 m north from Pivka Jama. These are two karst caves that were discovered in 1983 (Čar 1983) but are not yet registered in Cave Cadaster. The caves are not speleologically explored; probably they are only short. The kinematics model is shown in Fig. 2B.

### *Karst objects related to wedge-shaped depressions*

Numerous local faults in the treated area fork. The faults sheered off may join again, but most frequently they associate with a nearby fault. In intermediary block compression or extension conditions, it may occur thus that wedge-shaped block may either uplift or subside (Woodcock & Schubert 1994). The area treated in Fig. 3 displays extension conditions. Block subsidence and a group of weak normal faults related to tension joints occurred. Although the faults are weak and cause relatively small displacements they shaped a typical shallow wedge-shaped basin. Corrosion processes partly transformed this and elongated it along broken and fissured zones at the main fault and the fissured zone that forks northwards. The entrance into Kotova Jama (cad.no. 1608) opens in the middle of normal fault group (Fig. 3).

Kotova Jama consists of a 45 m deep entrance shaft (Fig. 4) and a 227 m long horizontal passage. It is located about 650 m NW from Magdalena Gora and is only about 150 m SW of the Postojna anticline crest. 200 m to the north of it there is a smaller cave, similarly developed in an open fissured zone, trending from N to S. The cave is small, an inclined cave about 4 m long; the bottom is covered by breakdown blocks.

It must be stressed that only the genesis of the entrance shaft of Kotova Jama is associated with the fissured system while its horizontal passage is due to different genesis.

### *Vertical karst objects in releasing bends of strike-slip faults*

Most of the mapped Dinaric (NW-SE) faults in the area of Postojnska Gmajna with the dextral strike-slip are bending. In left bends (a bend towards the east) compression conditions occur and thus uplifting of the terrain. In right bends (bends towards south-east) tension regions and smaller depression occur which may be, if the displacements were bigger, initial structures for pull-apart basins. It is typical of right bending, dextral strike-slip areas with a very complicated relation between single crushed zones. The rocks in the lowered parts are intersected by numerous fault planes, parallel to main bend trending and related tension fissured or broken zones. Karstification in such areas is very strong.

To illustrate these conditions we selected the area of Postojnska Gmajna with a system of collapse dolines (Fig. 5).

### *Cave entrances in overlap zones of two en echelon dextral strike-slip faults*

From a structural point of view the cave entrances of Pivka Jama, Ruglovica and Črna Jama and several collapse dolines are located in the area of 400 to 500 m overlap of two dextral strike-slip Dinarically (NW-SE) trending faults

(Fig. 6). The one more to the north comes from the area of Globušaki. Its narrow fault zone is relatively narrow, and rocks are crushed to the stage of being broken. North of the entrance of Pivka Jama the fault zone starts to widen and gradually bends southwards to be lost to the south of the entrance into Črna Jama in a wide fissured zone. The south-western fault passes two collapse dolines on the east from Magdalena Gora northwards. Southwest from the entrance into Pivka Jama the rather wide fault zone in a strict sense becomes less defined and it slowly gets lost along a slight bending towards north. In a releasing stepover between the both faults there is a less distinctive extension situation which could represent, if the displacements were bigger, the beginning of a pull-apart basin (Woodcock & Schubert 1994). The subsided area was additionally reshaped by corrosion and lowered. The map (Fig. 6) shows that the area is extremely complicated in its structure. It is intersected by numerous normal faults and wide tension fractured zones. During the development of the subsided area a secondary strike-slip fault occurred cutting the structure and connecting both main faults. Along it and along normal faults wedge-shaped basins developed, contributing their part to the diversity of this area. Explaining the origin of karst poljes Vrabc (1994) stressed the mechanism of pull-apart tectonics along the Idrija fault.

The collapse doline of Pivka Jama is 77 m deep; it is located in the NE limb of the Postojna anticline. The active water flow of the Pivka river obtained a direct connection with the surface by development of this collapse doline.

Similar circumstances may be met near the entrance into Medvedja Jama (Cad.no. 1629), only that in this case the tension conditions occurred in a bridge, releasing stepover between the final parts of two faults. Medvedja Jama consists of an inclined entrance shaft, 28 m deep, and a horizontal passage, 94 m long.

## CONCLUSIONS

After 1980 the area between the south-western border of Planinsko Polje and Pivka basin was geologically mapped anew at a scale 1:5000 having lithologic-structural character. Not only lithological and macroscopical petrographic changes and structural elements were noted but also various karstological properties of the mapped area. In addition all the cave entrances were located and structurally defined.

With rare exceptions all the entrances into vertical karst objects (collapse dolines, shafts and vertical entrance parts of the caves) open in a sphere of tension conditions that locally occur at Dinarically (NW-SE) trending strike-slip faults as follows:

- in subvertical tension fissured systems at angles from 30 to 45° according to the direction of displacement of dextral strike-slip Dinarically (NW-SE)



- trending faults, in the outer fault zone, in the inner fault zone or between the two faults (Fig. 2),
- in subsided diverged wedge-shaped depressions (Fig. 3),
  - in releasing bends of dextral strike-slip faults (Fig. 5),
  - in releasing bends between the final parts of two en echelon strike-slip faults or in their overlap area (Fig. 6).

## REFERENCES

- Čar, J., 1982: Geološka zgradba požiralnega obrobja Planinskega polja.- *Acta carsologica* 10 (1981), 75-105, Ljubljana.
- Čar, J., 1983: Vpliv geoloških elementov na razvoj kraških pojavov na širšem območju Pivke in Črne jame.- *Fazno poročilo za leto 1983*, 14 str. in 3 priloge, Razvojno projektivni center Idrija.
- Čar, J. & Gospodarič, R., 1984: O geologiji krasa med Postojno, Planino in Cerknico.- *Acta carsologica* 12 (1983), 91-106, Ljubljana.
- Čar, J. & Pišljari, M. 1993: Presek Idrijskega preloma in potek doline Učje glede na prelomne strukture.- *Rudarsko-metalurški zbornik*, št. 1-2, vol. 40, 79-91, Ljubljana.
- Davison, I., 1994: Linked fault systems; extensional, strike-slip and contractional.- In *Continental Deformation* (urednik Paul L. Hancock), Pergamon Press, 1-421, Oxford.
- Gospodarič, R., 1965: Tektonika ozemlja med Pivško kotlino in Planinskim poljem ter njen pomen za sistem Postojnskih jam.- 179 str. in 38 prilog, postojna (elaborat. Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU, Postojna).
- Gospodarič, R., 1976: Razvoj jam med Pivško kotlino in Planinskim poljem v kvartarju.- *Acta carsologica* 7, 8-135, Ljubljana.
- Kataster jam IZRK ZRC SAZU
- Placer, L., 1981: Geološka zgradba jugozahodne Slovenije.- *Geologija* 25/1, 1-208, Ljubljana.
- Placer, L., 1996: O zgradbi Soviča nad Postojno.- *Geologija* 37,38 (1994/95), 551-560, Ljubljana.
- Ramsay, J.G. & Huber, M.I., 1993: *The Techniques of Modern Structural Geology*.- Volume 1, Strain Analysis, 307 pp., Academic Press, London.
- Šebela, S., 1994: Vloga tektonskih struktur pri nastajanju jamskih rogov in kraških površinskih oblik.- Univerza v Ljubljani, FNT, 1-129 str. in 19 prilog, Ljubljana (doctorat thesis).
- Šebela, S. & Čar, J., 1991: Geološke razmere v podornih dvoranah Vzhodnega rova Predjame.- *Acta Carsologica* 20, 205-222, Ljubljana.
- Šribar, L., 1995: Evolucija gornjekredne Jadransko-Dinarske karbonatne platforme u JZ Sloveniji.- magistarski rad, Sveučilište u Zagrebu, 87 str., Zagreb.

- Twiss, R. J. & Moores, E. M., 1992: Structural Geology.- 1-532, W.H. Freeman and Company, New York.
- Vrabc, M., 1994: Some Thoughts on the Pull-apart Origin of Poljes along the Idrija Strike-Slip fault zone in Slovenia.- *Acta Carsologica* 23, Proceedings of 1st International Karstological School "Classical Karst", Lipica, September 20-23, 1993, 155-167, Ljubljana.
- Woodcock, N. H. & Schubert, C., 1994: Continental strike-slip tectonics.- In *Continental Deformation* (urednik Paul L. Hancock), 1-421, Pergamon Press, Oxford.

## **STRUKTURNA LEGA VERTIKALNIH KRAŠKIH OBJEKTOV NA POSTOJNSKI GMAJNI**

### **Povzetek**

#### **UVOD**

Po letu 1980 smo na novo podrobno geološko kartirali ozemlje med jugozahodnim obrobjem Planinskega polja tja do Strmca in Studenskih ponikev na severu, Postojnsko gmajno, Magdaleno goro, del Postojnskih vrat med Uncem in Ravbarkomando ter širšo okolico Rakovega Škocjana. Kartiranje je potekalo v merilu 1:5000 in je imelo litološko-strukturni značaj. Dobršen del terenskih podatkov smo objavili leta 1984 (Čar & Gospodarič 1984). Litološko-strukturna karta med Sovičem in Nemčjim vrhom pa še čaka na objavo (Šebela 1994). Poleg litoloških in makroskopskih petrografskih sprememb ter tektonsko-strukturnih elementov smo beležili tudi različne krasoslovne značilnosti kartiranege ozemlja. Pregledano je bilo čez tisoč vrtač in udornih vrtač (Čar 1982) ter ugotovljena njihova genetska povezanost z različnimi geološkimi elementi (Čar v pripravi). Poleg tega so bili zabeleženi vsi najdeni jamski vhodi, ki so bili tudi strukturno opredeljeni. Pokazalo se je, da se velika večina vertikalnih vhodov v kraške objekte nahaja v genetsko sorodnih, nateznih tektonskih strukturah. V prispevku komentiramo lega nekaterih vhodov v brezna in udorne vrtače na Postojnski gmajni, ne da bi se lotevali geneze posameznih objektov.

V 90-ih letih so bile raziskave financirane v okviru akcije 2.000 mladih raziskovalcev Ministrstva za znanost in tehnologijo RS ter v okviru temeljnih raziskovalnih projektov Inštituta za raziskovanje krasa ZRC SAZU Kras v Sloveniji I in II, ki jih financira Ministrstvo za znanost in tehnologijo RS.

#### **Splošni geološki podatki**

Terciarni geometrijski model, nastanek narivne zgradbe s kinematskega vidika ter splošni tektonski sklop z glavnimi narivnimi in zmičnimi tektonskimi elementi zahodne Slovenije je razložil Placer (1981, 1996). Obsežno postojnsko

- javorniško ozemlje, pripada v strukturnem pogledu Snežniški narivni grudi (Placer 1981). Novejša kartiranja so pokazala, da najdemo na območju Unca in Ivanjega Sela vrsto narivnih enot, ki še niso natančneje vključena v splošni narivni model tega dela Slovenije (Čar 1982). Poleg tega so bili ugotovljeni številni prelomni sistemi z zapletenimi medsebojnimi povezavami (Čar 1982; Čar & Gospodarič 1984). O mezo in mikro deformacijah kamnin, ki spremljajo narivanje in zmikanje na postojnskem in unškem prostoru sta doslej poročala Gospodarič in Čar (Gospodarič 1965, 1976; Čar 1982; Čar & Gospodarič 1984). Poudariti je potrebno, da pri tem niso bili izdelani kriteriji za ločevanje na narivanje vezanih spremljajočih deformacij v kamninah od tistih, ki so nastale zaradi disjunktivne tektonike. Ker doslej še nimamo izdelanih modelov za nedvoumno ločevanje obeh sistemov, obravnavamo v tem prispevku le tiste kraške objekte, za katere je bilo mogoče jasno ugotoviti njihovo navezanost na zmično tektoniko.

Za naše nadaljnje razpravljanje moramo omenit nekaj najpomembnejših zaključkov dosedanjih raziskav (Čar & Gospodarič 1984). Ozemlje med Postojno, Uncem in Cerknico prištevamo k prehodnemu območju med Idrijskim prelomom, ki poteka po severovzhodnem delu Planinskega polja in Predjamskim prelomom na vzhodnem obrobju Pivške kotline. Zdrobljene, porušene in razpoklinske cone (Slika 1) so terensko opredeljene po postopkih in kriterijih, ki so bili definirane leta 1982 (Čar 1982) in kasneje še dopolnjeni (Čar & Pišljar 1993). Pri tem moramo opozoriti, da predstavljajo na prilogah izrisane različne tektonske cone bolj ali manj pretrte kamnine, ni pa razložen njihov morebitni kinematski pomen. Na ozemlju med Uncem in Postojno so bila ugotovljena štiri obdobja disjunktivnega premikanja, verjetno v okviru iste tektonske faze (Čar & Gospodarič 1984), kar gotovo veljala tudi za obravnavano območje Postojnske gmajne.

Okolica Magdalene gore in Postojnske gmajne je previta v dokaj izrazito postojnsko antiklinalo (Gospodarič 1976; Čar & Gospodarič 1984). Vzhodno od Nemčjega vrha (633 m) je teme antiklinale manj izrazito, kot južno od Magdalene gore. V okolici Nemčjega vrha vpada osna ravnina proti JZ za 7-14° (Šebela 1994).

Območje Vodnega dola in Magdalene gore gradijo svetlo sivi do beli organogeni apnenec s prehodi v lumakelo, v okolico Črne jame in Suhega vrha (680 m) pa najdemo sive do svetlo sive debeloplastnate organogene apnenice zgornje kredne starosti (Čar & Gospodarič 1984).

Nemčji vrh (633 m) gradi bel masiven apnenec izredno bogat z ostanki hondrodont (Šebela 1994). Po Šribarju (1995) uvrščamo hondrodontni horizont v zg. cenoman in vsaj sp. turon. Južno od Nemčjega vrha pa prevladujejo sivi do svetlo sivi apnenci, ki so lahko debeloplastnati ali masivni. Prištevamo jih turoniju in senoniju. SV od Nemčjega vrha prevladujejo tanjše plastnati sivi do temno sivi turonijski apnenci, ki vsebujejo vložke rožencev. Prav take litološke člene lahko sledimo tudi v sistemu Postojnskih jam (Gospodarič 1965; Šebela 1994).

## Zmični prelomi in deformacije ob njih

Regionalna Idrijski in Predjamski prelom zmičnega značaja sta poleg obsežnih narivov temeljna strukturna elementa tektonske zgradbe severne Primorske in Notranske. Ozemlje Postojnske gmajne, širšo okolico Magdalene gore in Pivke jame, ki se geografsko nahaja med obema regionalnima prelomoma, sekajo številne idrijskemu in predjamskemu prelomu vsopredne prelomne cone (Čar & Gospodarič 1984; Šebela 1994). Imajo torej smer severozahod-jugovzhod, so v splošnem zmičnega značaja, premiki pa predvsem subhorizontalni. Kinematika ob njih sicer ni natančneje študirana. Po premikih litoloških kontaktov in narivnice med Snežniško narivno grudo in Hrušičkim pokrovom severno od tod pri Strmci pa so premiki največ nekaj 10 metrov in manj. Gre torej za prelome manjših dimenzij. Med dinarsko usmerjenimi zmiki so razvite številne različno usmerjene spremljajoče prelomne cone. Velikosti premikov, geometrijo deformacij in stopnjo pretrtosti kamnin lahko jasno opredelimo z metodiko detajlnega litološko-strukturnega kartiranja v merilu 1:5000 in manjših merilih (Čar v pripravi).

Ob zmičnih prelomih in spremljajočih prelomnih deformacijah so razviti različni tipi pretrtih kamnin odvisno od dolžine premika in energije, ki se je pri tem sprostila. Opazujemo zdrobljene, porušene in razpoklinske cone z medsebojnimi vzdolžnimi in bočnimi prehodi (Čar 1981; Čar & Pišljarič 1993). Kot je znano, bi podobne spremembe opazovali tudi v vertikalni smeri (Šebela & Čar 1991; Šebela 1994). To je pomembno pri študiju spreminjanja kraške površinske morfologije v odvisnosti od korozijsko-erozijskih procesov skozi čas. Glede geometrije deformacij in napetostnih razmer ob katerih so nastale lahko zapišemo, da so ob prelomih razvite skoraj vse oblike, ki jih predvideva splošna teorija možnih deformacij ob zmičnih prelomih (Twiss & Moores 1992; Ramsay & Huber 1987; Davison 1994, v Hancock, /urednik/, 1994; Woodcock & Schubert 1994, v Hancock, /urednik/, 1994). Zaradi lokalne litološke zgradbe in teksturnih posebnosti kamnin (npr. neplastnatosti, tanko plastnatosti, itd.) kot tudi postopnega časovnega spreminjanja regionalnih napetostnih razmer, zmični prelomi skoraj nikdar niso povsem ravni. Dostikrat potekajo trase prelomov poševno na smer premika. Poleg običajnih, za zmične prelome značilnih, spremljajočih razpoklinskih con, ki so definirane z Riedlovim modelom, se v odvisnosti od smeri prevojev pojavljajo še območja tlačnih in nateznih razmer oziroma transpresijske in transtenzijske razmere. Poleg tega se tudi na obravnavanem ozemlju nekateri lokalni prelomi zaključujejo, drugi začenjajo, pa tudi delno prekrivajo. Vse to povzroča ustrezne deformacije v obliki manjših lokalnih gub, krajših in šibkih reverznih prelomov in narivov, oziroma krajše normalne prelome ter različno oblikovane vzdignjene in spuščene dele. Tako je nastal na nekaterih območjih zelo kompleksen, včasih težko pregleden splet deformacij, ki jih korozijski procesi zabrišejo ali pa poudarijo.

## Geografska lega in speleološki podatki

Raziskovani teren leži na topografski karti 1:5.000 Postojna-33, deloma pa tudi Postojna-43. Kot Postojnska gmajna je na topografskih kartah označen širok predel, ki na JV sega vse do Postojnskih vrat (Ravbarkomande). Na JZ je Postojnska gmajna omejena z Otoško gmajno, ki predstavlja do 500 m širok pas v apnencu, tik ob meji z eocenskim flišem. Na severu je Postojnska gmajna omejena z Bukovcem.

Po Katastru jam IZRK ZRC SAZU je na okrog 6,8 km<sup>2</sup> velikem terenu znanih 21 jam. Ob podrobnih terenskih geoloških raziskavah (Čar 1983) pa je bilo najdenih še 5 vhodov v kraške jame, ki pa niso bile speleološko raziskane. Povprečna gostota kraških jam na tem ozemlju je torej 3,8 jam na 1 km<sup>2</sup>. Najgloblje brezno je Brezno v Hrenovških talih (kat. št. 930), ki doseže globino 104 m. Najdaljša vodoravna jama pa je sistem Postojnskih jam, ki meri 19.555 m, globina 115 m, na obravnavanem terenu (Slika 1) pa lahko sledimo tudi vhodom v Črno jamo, Pivko jamo, Magdaleno jamo (tabela 1), ki so del sistema Postojnskih jam.

## Strukturna lega izbranih kraških objektov

### *Brezna v nateznih razpoklinskih conah*

Veliko vhodov v brezna na Postojnski gmajni se nahaja v ešaloniranih ali prepletajočih nateznih subvertikalnih razpoklinskih sistemih. Potekajo pod kotom 35 do 45° na smer premika dinarsko potekajočih (SZ - JV) prelomov bodisi v njihovi zunanji prelomni coni ali v širokih razpoklinskih conah približno z isti smerjo med dvema prelomoma. Prečno na njih potekajo starejše dinarsko usmerjene razpoke tlačnega značaja. Ešalonirane razpoke so v bližini zmičnih prelomnih con največkrat precej goste, z oddaljenost od prelomov pa postajajo redkejše in izmenične. Prepletajoči razpoklinski sistemi so običajno bočno manj jasno definirani, so krajši in se neznačilno končujejo.

Za ilustracijo opisanih razmer smo izrisali dva jamska vhoda (Slika 2), ki ležita okrog 900 m severno od vhoda v Pivka jamo. Gre za dve neregistrirani kraški jami, ki smo ju našli leta 1983 (Čar 1983). Jami nista speleološko raziskani, verjetno pa gre le za krajše jamske objekte. Na sliki 2 podajamo še kinematski model.

### *Kraški objekti v območjih klinastih divergentnih jarkov*

Številni lokalni prelomi na obravnavanem območju se cepijo. Odcepljeni prelomi se lahko ponovno združijo, največkrat pa se priključujejo na sosednji prelom. V vmesnem bloku se lahko ustvarijo stiskajoče (transpresijske) ali sproščujoče (transtenzijske) razmere, tako da se zaklinjeni blok dvigne (izsti-

sne) ali spusti (pogrezne) (Woodcock & Schubert 1994). Na območju, ki ga obravnavamo na sliki 3, so se oblikovale sproščujoče razmere. Blok se je pogrezal in nastal je snop šibkejših normalnih prelomov s spremljajočimi nateznimi razpokami. Čeprav gre za šibke prelome in zato sorazmerno majhne premike, se je oblikoval značilen plitev klinast jarek. Korozijski procesi so ga delno preoblikovali in razpotegnili vzdolž porušenih in razpoklinskih con ob glavnem prelomu in razpoklinski coni, ki se odceplja proti severu. Vhod v *Kotovo jamo, kat. št. 1608* se odpira sredi snopa normalnih prelomov (Slika 3).

Kotova jama je sestavljena iz 45 metrov globokega vhodnega brezna (Slika 4) in 277 metrov dolgega horizontalnega rova. Leži okrog 650 m SZ od Magdalene gore in le okrog 150 m JZ od poteka temena Postojnske antiklinalne. 200 metrov severno zasledimo manjšo jamo, ki je prav tako kot Kotova jama razvita v odprti razpoklinski coni smeri N-S. Ta jama nima katastrske številke, gre pa le za manjšo, okrog 4 m dolgo, poševno jamo, katere dno je prekrito s podornimi bloki.

Pri tem moramo opozoriti, da je na razpoklinski sistem vezana le geneza vhodnega brezna Kotove jame. Horizontalni rov je nastal na drugačni genetski osnovi.

#### *Vertikalni kraški objekti v nateznih območjih prevojev zmičnih prelomov*

Velika večina kartiranih tras dinarskih prelomov z desnimi zmiki na območju Postojnske gmajne povija. V levih prevojih (prevoj proti vzhodu) nastajajo tlačne razmere in zaradi tega dviganje terena. V desnih prevojih (prevoj proti jugovzhodu) pa se oblikujejo natezna območja in manjše depresije, ki bi bile v večjih razmerah lahko tudi inicialne strukture za nastanek razpornih (pull-apart) bazenov. Za desno prevojna, desno zmična natezna območja so značilni zelo zapleteni odnosi med posameznimi pretrtimi conami. Kamnine v znižanih delih preprezajo številne, glavnima prevojnima trasama vsporedne prelomne ploskve normalnih prelomov s spremljajočimi nateznim razpoklinskimi ali porušeni conami. Zakrasevanje je v takih območjih zelo intenzivno.

Za prikaz opisanih razmer smo izbrali območje Postojnske gmajne s sistemom udornih vrtač (Slika 5).

#### *Jamski vhodi v območjih prekrivanja dveh ešaloniranih desnozmičnih prelomov*

Jamski vhodi v Pivko jamo, Ruglovice in Črno jamo ter več udornih vrtač se nahajajo v strukturnem pogledu v območju 400 do 500 meterskega prekrivanja dveh desnozmičnih dinarsko usmerjenih prelomov (Slika 6). Severnejši poteka iz območja Globošakov. Njegova ožja prelomna cona je sorazmerno ozka, kamnine so pretrte do stopnje porušenosti. Severno od vhoda v Pivko jamo se začne prelomna cona širiti, postopno previjati proti jugu in se južno od vhoda v Črno jamo izgublja v široki razpoklinski coni. Jugozahodni prelom

sledimo mimo udornih dolin vzhodno od Magdalene gore proti sever. Jugoza-hodno od vhoda v Pivko jama postaja sicer precej široka ožja prelomna cona manj definirana, nato pa se ob rahlem povijanju proti severu postopno izgublja. V premostitvenem območju med obema prelomoma je nastalo izrazito natezno (sproščujoče) stanje, ki bi pri večjih premikih lahko predstavljalo zasnovno razporega bazena (Woodcock & Schubert 1994). Pogreznjeno ozemlje je bilo dodatno korozijsko preoblikovano in znižano. Iz priložene karte (slika 6) vidimo, da je območje strukturno izjemno zapleteno zgrajeno. Preprezajo ga številni normalni prelomi s širokimi nateznimi razpoklinskimi conami. Pri nadaljnem razvoju pogreznjenega območja se je oblikoval sekundarni zmični prelom, ki seka strukturo in povezuje oba glavna preloma. Ob njem in normalnih prelomih so nastali še klinasti jarki, ki povečujejo strukturno pe-strost ozemlja. Pri razlagi nastanka kraških polj je Vrabc (1994) izpostavil mehanizem razporne tektonike ob Idrijskem prelomu.

Udornica Pivka jama je globoka 77 metrov. Leži v SV krilu Postojnske antiklinale. Z nastankom in oblikovanjem udornice je jamski rov z aktivnim tokom reke Pivke dobil direktno povezavo s površjem.

Podobne razmere imamo tudi v okolici vhoda v Medvedjo jama (kat. št. 1629), le da so v tem primeru natezne razmere nastale na premostitvenem terenu med zključkoma dveh prelomov. Medvedja jama ima poševno vhodno brezno globine 28 m ter vodoravni rov dolžine 94 m.

## ZAKLJUČKI

Po letu 1980 je smo na novo geološko kartirali ozemlje med jugozahodnim obrobjem Planinskega polja in Pivško kotlino. Kartiranje je potekalo v merilu 1:5000 in je imelo litološko-strukturni značaj. Poleg litoloških in makroskopskih petrografskih sprememb ter tektonsko-strukturnih elementov smo beležili tudi različne krasoslovne značilnosti kartiranega ozemlja. Zabeleženi in geološko opredeljeni so bili vsi najdeni jamski vhodi.

Razen redkih izjem se vsi vhodi v vertikalne kraške objekte (udornice, udorne vrtače, brezna in vertikalna vhodna brezna v jame) odpirajo v območjih nateznih razmer, ki nastajajo lokalno ob dinarsko usmerjenih zmičnih prelomih in sicer:

- v subvertikalnih nateznih razpoklinskih sistemih pod kotom 30 do 45 stopinj na smer premika desnozmičnih dinarsko potekajočih prelomov, v njihovi zunanji prelomni coni, v notranji prelomni coni ali med dvema prelomoma (Slika 2),
- v spuščeni divergentni klinasti jarki (Slika 3),
- v nateznih prevojnih območjih ob desnozmičnih prelomih (Slika 5),
- v nateznih območjih med zaključkoma dveh ešaloniranih zmičnih prelomov ali v območju njunega prekrivanja (Slika 6).

Fig. 2: A. Position of two unregistered vertical cave entrances in tension fissured zones on Postojnska Gmajna north from the entrance of Pivka Jama. B. Kinematics model

Sl. 2: A. Lega dveh doslej še neregistriranih navpičnih jamskih vhodov v nateznih razpoklinskih conah na Postojnski gmajni sverno od vhoda v Pivko jamo. B. Kinematski model. Skupna legenda za slike 2, 5 in 6 je prikazana na sliki 3.

Fig. 3: A. Entrance to Kotova Jama, NE from Magdalena Gora lies in area of tension conditions within a wedge-shaped depressions. North from there lies an unregistered (in Cave Cadaster) cave entrance in tension fissured zone.

1-strike and dip of bedding planes, 2-strike and dip of fault zone, 3-strike-slip fault, 4-normal fault, 5-tension deformations, 6-broken zone, 7-compression fissures, 8-doline, 9-collapse doline, 10-corrosional lowered area, 11-direction of mechanical deformations, 12-relative direction of movement, 13-vertical entrance of registered cave, 14-vertical entrance of unregistered cave in Cave Cadaster.

B. Kinematics model.

Sl. 3: A. Vhod v Kotovo jamo severovzhodno od Magdalene gore se nahaja v območju nateznih deformacij klinastega divergentnega jarka. Severno od tod leži doslej še neregistriran jamski vhod v natezni razpoklinski coni.

B. Kinematski model.

1-slemenitev in vpad plasti, 2-slemenitev in vpad prelomne cone, 3-zmični prelom, 4-normalni prelom, 5-natezne razpoke, 6-porušena cona, 7-tlačne razpoke, 8-vrtača, 9-udornice in udorne vrtače, 10-korozijsko znižano območje, 11-smer mehanskih napetosti, 12-relativna smer zmika, 13-navpični jamski vhod registrirane jame, 14-navpični jamski vhod doslej še neregistrirane jame.



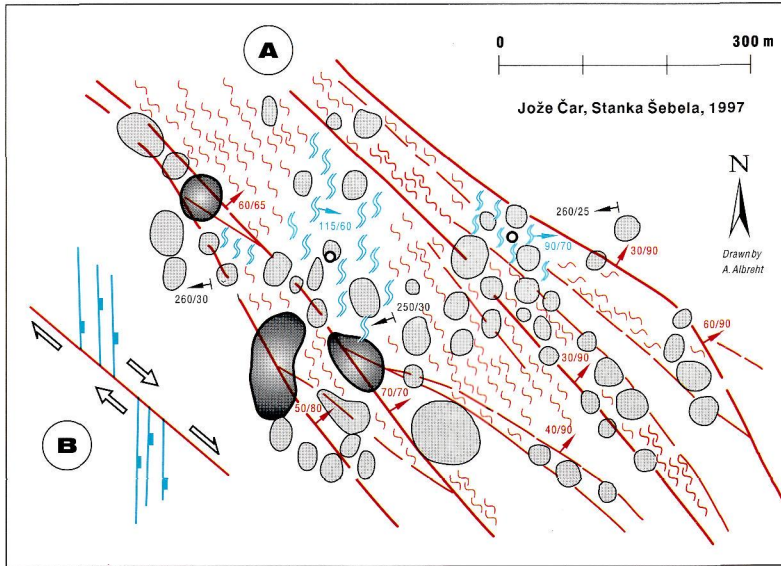


Fig. 2 - Sl. 2.

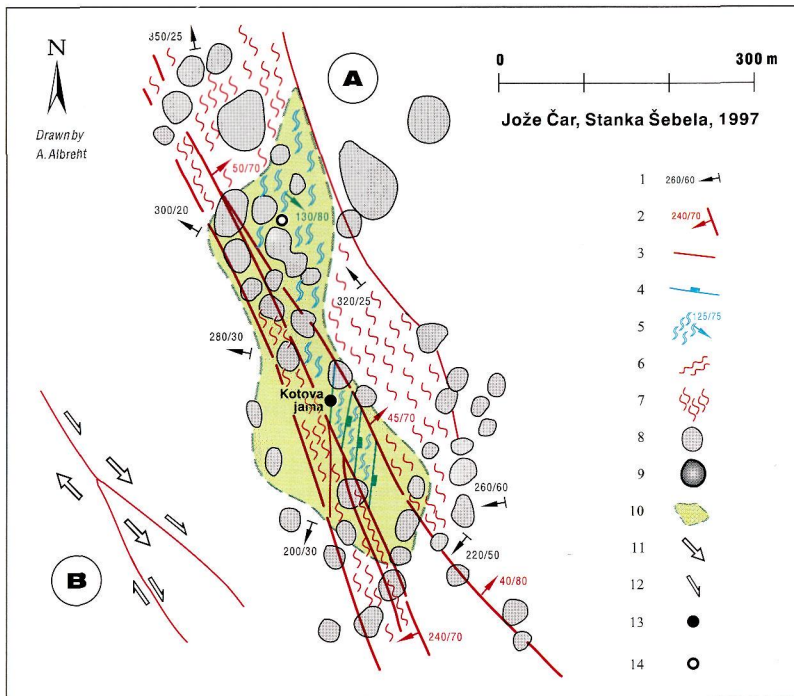
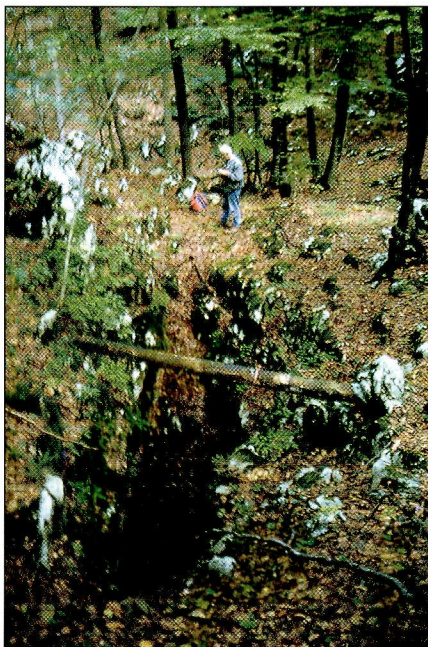


Fig. 3 - Sl. 3.



*Fig. 4: Entrance shaft of Kotova Jama (photo by S. Šebela)*

*Sl. 4: Vhodno brezno v Kotovo jamo (foto S. Šebela)*

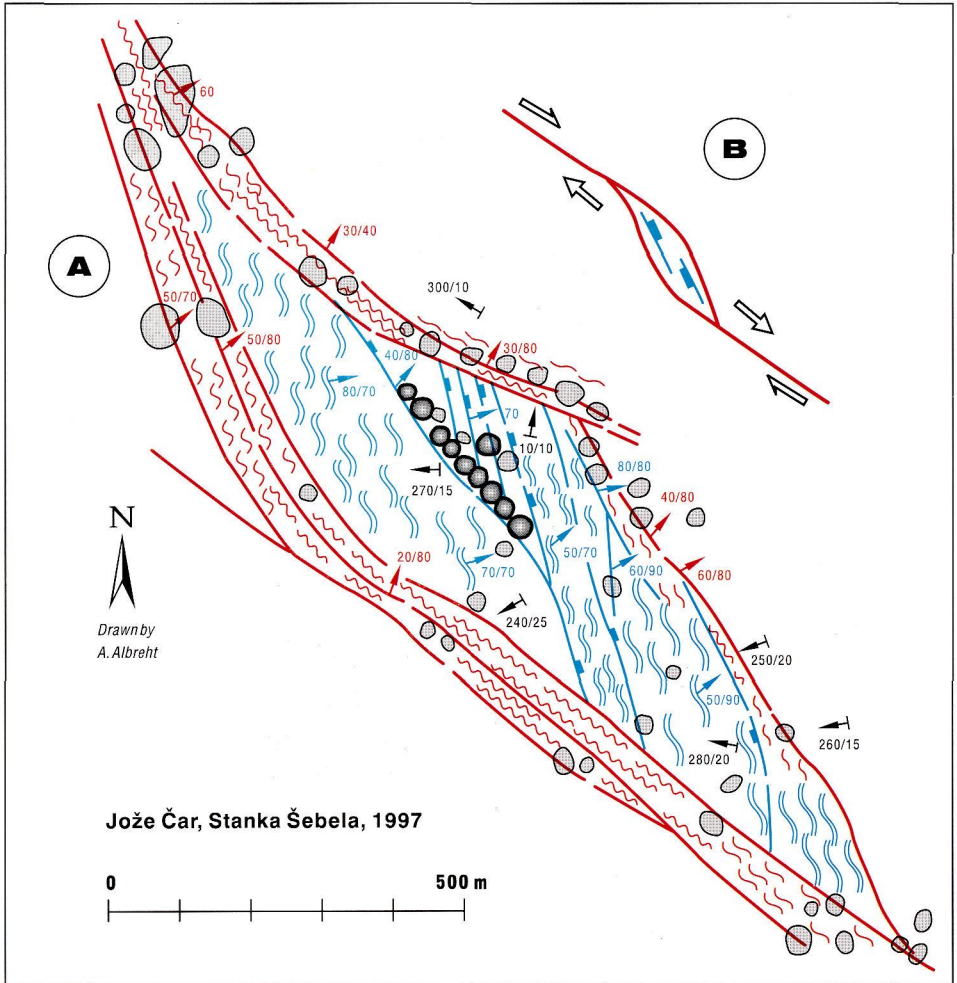


Fig. 5: A. Example of system of collapse dolines in extension area along the bend of a strike-slip fault in Postojnska Gmajna. B. Kinematics model.

Sl. 5: A. Primer niza vrtač v relaksacijskem prevojnem območju zmičnega preloma na Postojnski gmajni. B. Kinematski model.

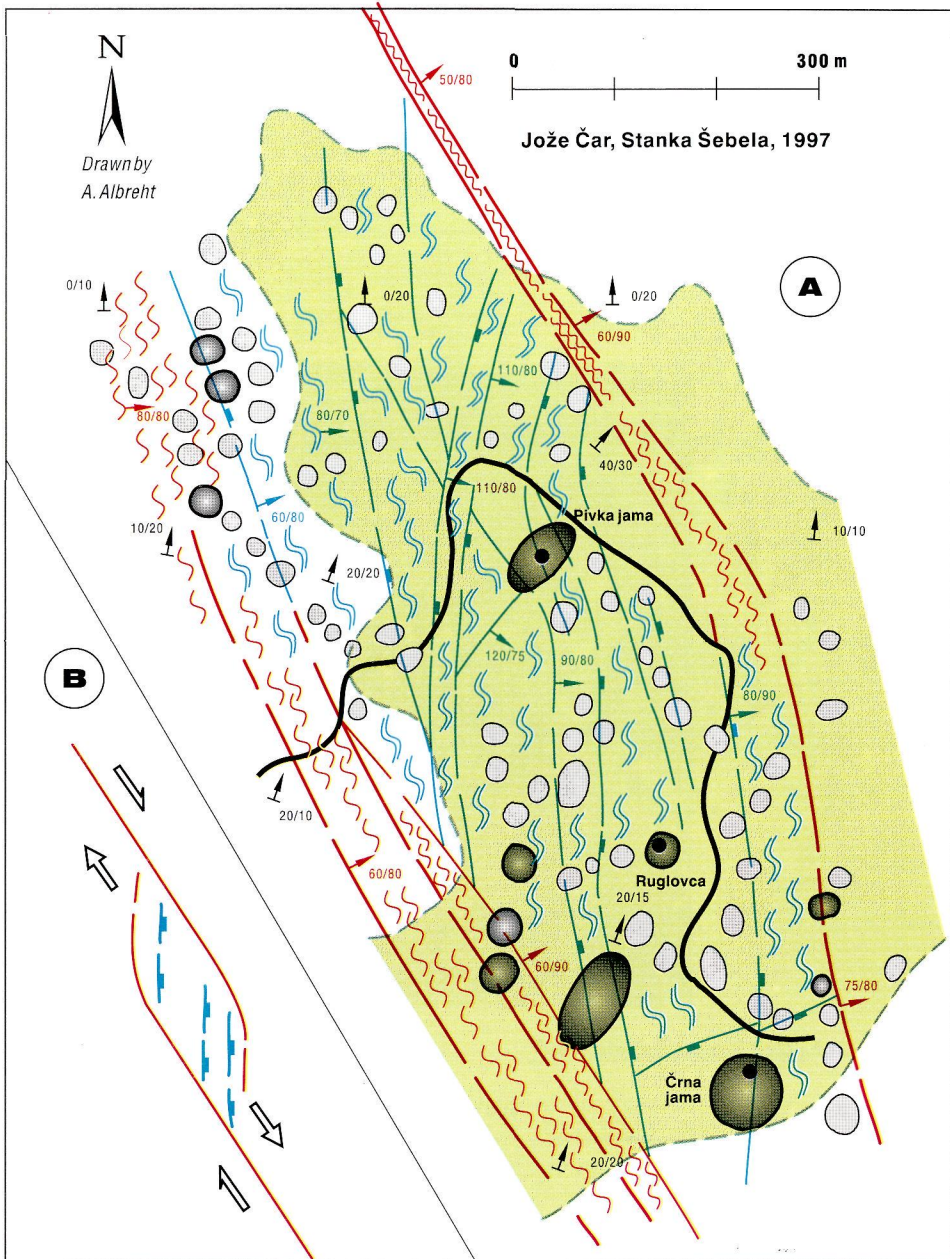


Fig. 6: A. Entrances of Pivka Jama and Črna Jama lie in corrosional lowered tension area in the sphere of overlap of two en echelon faults. B. Kinematics model.  
 Sl. 6: A. Vhoda v Pivko in Črno jamo ležita na korozijsko znižanem nateznem območju prekrivanja dveh ešaloniranih prelomov. B. Kinematski model.