

GEOL. CROAT.	52/2	153 - 189	26 Figs.	1 Tab.		ZAGREB 1999
--------------	------	-----------	----------	--------	--	-------------

## Tectonics of Part of the Vinodol Valley Within the Model of the Continental Crust Subduction

Ivan BLAŠKović

**Key words:** Continental subduction, Folds, Faults, Structural relations, Vinodol, Croatia.

**Ključne riječi:** kontinentalna subdukcija, bore, rasjedi, strukturni odnosi, Vinodol, Hrvatska.

### Abstract

The Vinodol valley is analysed as an example of one of the united zones of shallow continental subduction. The structural analysis together with the interpretation of structural dynamics of the central part of the valley is performed in that sense. The structural model that accompanies the subduction process is constructed. These structures are found to be largely dependent on the subduction plane geometry.

### Sažetak

Vinodol je razmatran kao primjer jedne od udruženih zona plitke kontinentalne subdukcije. U tom smislu obavljena je u središnjem dijelu doline rekonstrukcija struktura i interpretacija njihovog postanka. Izrađen je i model pratećih struktura procesa subdukcije, koje velikim dijelom ovise o obliku plohe podvlačenja.

### 1. INTRODUCTION

The Vinodol valley, with its distinctive morphology, is also characterised by a very complex structural fabric (Fig. 1). The Upper Palaeogene flysch deposits are found in a synclinal position and are compressed by the Lower Palaeogene and Upper Cretaceous carbonates. In this way a narrow valley is formed with a NW-SE strike. The contacts between the flysch and carbonate rocks are mainly tectonic with a markedly developed reverse character of displacement. The carbonate rocks that separate Vinodol from the sea, form an asymmetric anticline with a more steeply inclined north-eastern limb. The core of this anticline is composed of Upper Cretaceous (Cenomanian) limestone and dolomite deposits, while limbs that are in contact with flysch, are formed of foraminiferal limestones of Lower and partly Middle Palaeogene age (Figs. 2 and 3). The north-eastern slopes of Vinodol, also composed of Upper Cretaceous limestones and dolomites together with the Palaeogene foraminiferal limestones, exhibit the more complex tectonic structure. In the north-western part of Vinodol, in the area between Križišće and Tribalj, the slopes in fact comprise the more or less inclined south-western limb of the Cretaceous-Palaeogene anticline. In the area to the southeast of Tribalj, the north-eastern slope is stepped into vertical cliffs. These cliffs were formed by destruction of the crest of the Cretaceous-Palaeogene anticline that was overturned in a south-

westerly direction. The aforementioned anticline has a reverse fault contact with the Palaeogene flysch of the Vinodol valley.

The folded structure of Vinodol initially appears to be simple, but is complicated by numerous phenomena that have not yet been unambiguously explained (STACHE, 1889; KADIĆ, 1913; KORMOS, 1914; KOCH, 1924; MATOUŠEK, 1927; ČUBRILović, 1938; SALOPEK, 1960). These are:

- the normal and reverse faults of dinaric strike found along the contacts between the carbonate rocks and flysch deposits;
- in the middle of the valley, the high relief of the Drivenik hill composed of the Upper Cretaceous limestones, that crops out of the Palaeogene flysch deposits;
- the anticlinally folded Palaeogene foraminiferal limestones at Humac hill (peak 107) that are also cropping out of the Palaeogene flysch deposits and are connected to the outcrops of foraminiferal limestones in the Kamenjak area and in the area to the east of the Badanj ruin, and lead to the presumption (ČUBRILović, 1938) of secondary isoclinal folding within the flysch deposits.

The already known, together with newly acquired data on the composition and structure of Vinodol, lead to certain interpretations of the method and timing of structural formation and also of the palaeogeography of the area. The more detailed data are either given in illustrations or will be explained in the description of stratigraphic and structural characteristics of tectonic changes and palaeogeographic evolution.

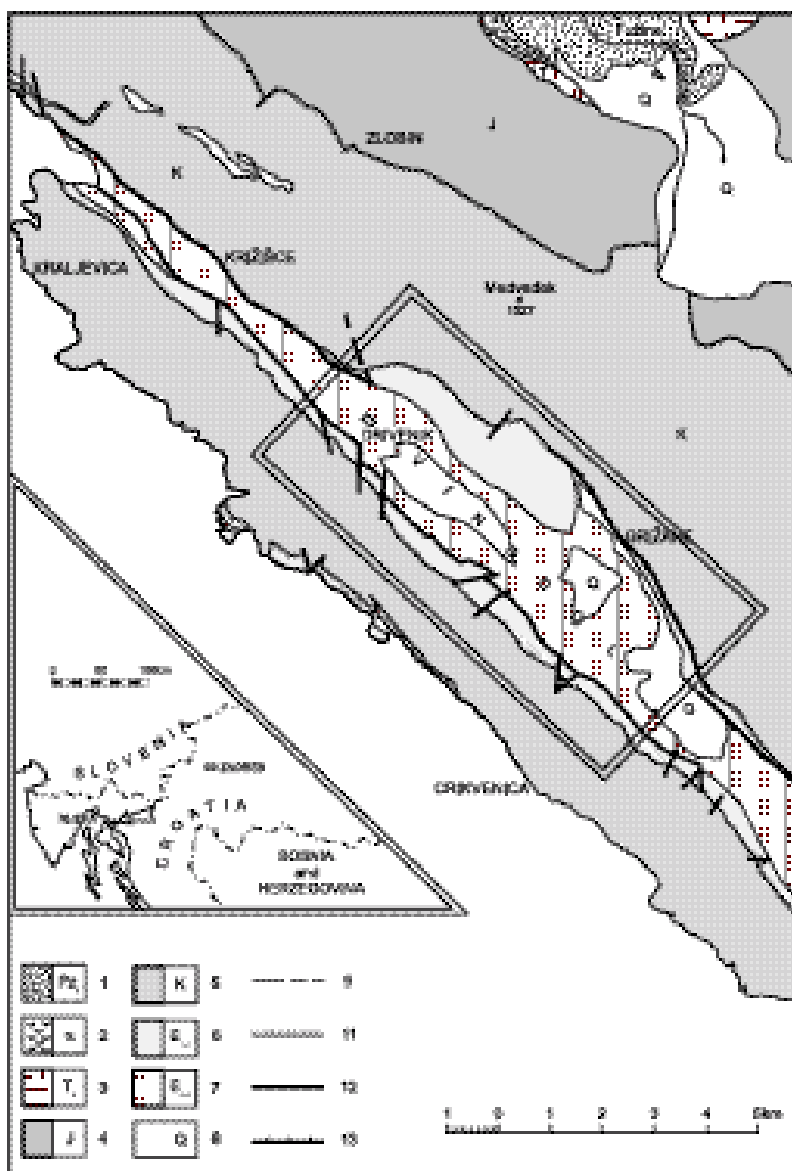


Fig. 1 Geographic-geological map (simplified after ŠUŠNJAR et al., 1970). Legend: 1) Upper Palaeozoic clastics; 2) Amphibolic porphyrite; 3) Upper Triassic dolomite; 4) Jurassic limestones and dolomites; 5) Cretaceous limestones, dolomites and breccias; 6) Palaeogene foraminiferal limestones; 7) Eocene flysch; 8) Quaternary sediments; 9) normal contact; 10) transgressive contact; 11) fault; 12) reverse fault.

Sl. 1 Geografsko-geološka položajna karta (pojednostavljeno prema ŠUŠNJAR et al., 1970). Legenda: 1) klastiti mladeg paleozoi-ka; 2) amfibolski porfirir; 3) gornjotrijajski dolomit; 4) vapnenci i dolomiti jurske starosti; 5) kredni vapnenci, dolomiti i breče; 6) paleogenski foraminiferski vapnenci; 7) eocenski fliš; 8) kvartarne taložine; 9) normalna granica; 10) transgresivna granica; 11) rasjed; 12) reverzni rasjed.

There follows a short list of the most important data.

- Thin Palaeocene limestones, with characteristics of Kozina layers, were determined exclusively on the north-eastern side of Vinodol (KADIĆ et al., 1912; ČUBRILOVIĆ, 1938).
- The broadness of the area of the Vinodol Palaeogene flysch deposits changes in a step-like manner. In the part between Križišće and Drivenik the zone is 350-750 m wide, it broadens up in the area of Drivenik and Tribalj where it reaches close to 1,500 m. To the Southeast of the line Sopalj-Bašunje there is an abrupt increase and the zone reaches 2,250-2,500 m in width.
- The Palaeogene clastic sediments in Vinodol valley can be subdivided into two units. The older one, continuously distributed throughout the whole valley, is the flysch complex of Middle to Upper Eocene age (GRIMANI et al., 1973). The younger unit is repre-

sented by more coarse-grained clastics - conglomeratic-sandy-marly sediments that were determined in the area south-east of Drivenik, in ravines named Vira and Pihlja and also along the Antovo-Belgrad-Grizane line (BLAŠKOVIĆ & TIŠLJAR, 1983).

- The more complicated tectonic relations are confirmed by findings of the younger unit of flysch sandstones in the Cretaceous-Palaeogene limestones of the north-eastern margin of the valley (Pihlja and Vira), and by the deep ingression of flysch deposits in the Diran area, to the east of Tribalj.
- The Upper Pliocene sediments are found in areas of the most intense tectonics where they were preserved from erosional processes (KOCH, 1922; ČUBRILOVIĆ, 1938). Observance of the reverse fault contact between the Palaeogene limestones and the Upper Pliocene clastics in the area of the Badanj ruin (BLAŠKOVIĆ, 1983) indicates the time of tectonic events and character of faulting.

- Additional data for reconstruction of tectonic activity are found in the thickness, hypsometric level and position of Quaternary rockfall breccias along both margins of the valley.
- The tectonic elements also highlight the structural complexity. The opposite vergence of the basic structural units in Vinodol is clearly observable, as well as vergence of the reverse faults within the Vinodol valley itself.

## 2. STRATIGRAPHIC AND STRUCTURAL CHARACTERISTICS OF THE EXPLORED AREA

The north-eastern side of Vinodol, is characterised by the complexity of tectonic framework (Fig. 4). Along part of the slope between the Križišće and Grižane the valley can be subdivided into semi-autonomous second-order structural units. Their borders mostly coincide with the fault zones of the diagonal system (Fig. 5).

To the north-west of the Ropci-Dedomir fault (2) lies the Križišće-Petrinovići structural unit. The Palaeogene and Upper Cretaceous limestones dipping in a SW direction, have a general characteristic that dip angle decreases north-easterly toward the plateau which makes a core of an asymmetric anticline.

Between the Ropci-Dedomir fault (2), and Kozak fault (3) lies the Ropci-Malić structural unit. The slope mostly consists of strata dipping to the south-west. In a narrow strip of the highest cliffs on the north-east there is an abrupt change in shape of a flexural bend. It is characterised by very steep bedding planes with a dip range of 60-80°, some of them even in vertical position. The connected plateau is marked by differently positioned strata dipping in a north-easterly direction at angles between 20-25°.

The flexural bend of strata becomes more and more expressed in the south-east, where it is also documented by metre-size structures (Fig. 6a). The south-eastern extension of the flexure gradually passes into a synclinal structure that is partly preserved in the area called Diran, namely in the reverse fault with a south-western vergence that has the same name. The carbonate sediment complex on the south-western side of the flexure (Malić hill, peak 298), has an anticlinal position (Figs. 7 and 8).

The third structural unit is named Belgrad-Grižane and lies on the eastern side of the reverse fault Kozak (3). The unit is characterised by overturned strata of Upper Cretaceous and Palaeogene limestones, forming an isoclinal anticline that is overturned toward the south-west.

All three structural units are delimited by faults, mostly with reverse displacement. Apart from the usual indications of the reverse character of faulting (Fig. 10), some details observed in the Vitra and Pihlja localities deserve to be mentioned.

In both of these gorges, coarse-grained sandstones and marls were found that pertain to the younger part of the Palaeogene clastics and are compressed by a fault within the carbonate complex (Fig. 4 - cross-section J, Fig. 9). These findings are located approximately 150 m higher than the highest point of the flysch deposits in the corresponding section of the valley.

The common characteristic of the marginal faults of structural units (Fig. 11), is their helicoidal shape (BLAŠKOVIĆ, 1997). The strike of the faults marks a sigmoidal contour. They have a Dinaric strike on a plateau north-east of Vinodol which passes into a diagonal one on the carbonate slope. Two or more of the faults on the slope then merge into a single fault of Dinaric strike that follows the contact between the carbonate complex and the Vinodol flysch. The inclination of the fault planes changes accordingly, which facilitates their identification. From the initial vertical position, the fault planes gradually obtain a north-eastern dip while the reduction of the fault plane inclination is followed by more pronounced reverse faulting.

The valley itself consists mostly of Eocene flysch deposits. A typical sand-shale sequence comprises the older part of the flysch sediments, with marls as a dominant component, containing a rich fauna of large foraminifera. In the immediate vicinity of Drivenik hill there is a rich littoral fauna with numerous specimens of anthozoans, echinoids, brachiopods, lamellibranchiats and gastropods (VOGL, 1912).

The younger part of the flysch-type sediments unconformably overlies the older sediments (BLAŠKOVIĆ & TIŠLJAR, 1983). It is composed of conglomerates, conglomeratic and coarse-grained biocalcarenes and lithic arenites. These sediments have an autochthonous fossil fauna of gastropods and lamellibranchs. The younger part of the Vinodol valley clastics is interpreted to be of Upper Eocene age.

The tectonic setting of the older flysch sediments in Vinodol is determined by marginal reverse faults, following the contact with carbonate rocks. The strata measured in the valley itself serve as the basis for reconstruction of folded structures ranging from upright to isoclinal folds.

The morphological and geological significance of Vinodol is represented by marked solitary uplifts, either of Upper Cretaceous limestones (Drivenik hill) or of foraminiferal limestones (Humac hill, peak 101 east of Tribalj), that are found in the partially peneplaned flysch terrain. In the Kamenjak and Badanj areas, the foraminiferal limestones also appear in the cores of anticlines.

Drivenik hill mostly consists of Upper Cretaceous rudist limestones and is encircled by Eocene flysch deposits (Fig. 12). It is interpreted as an anticlinal structure marked by the tectonic elements and basal transgressive Palaeogene breccias on both the south-western and north-eastern slope of the hill. Together with a very rich fossil community in the older part of the flysch deposits that was identified as characteristic of the lit-

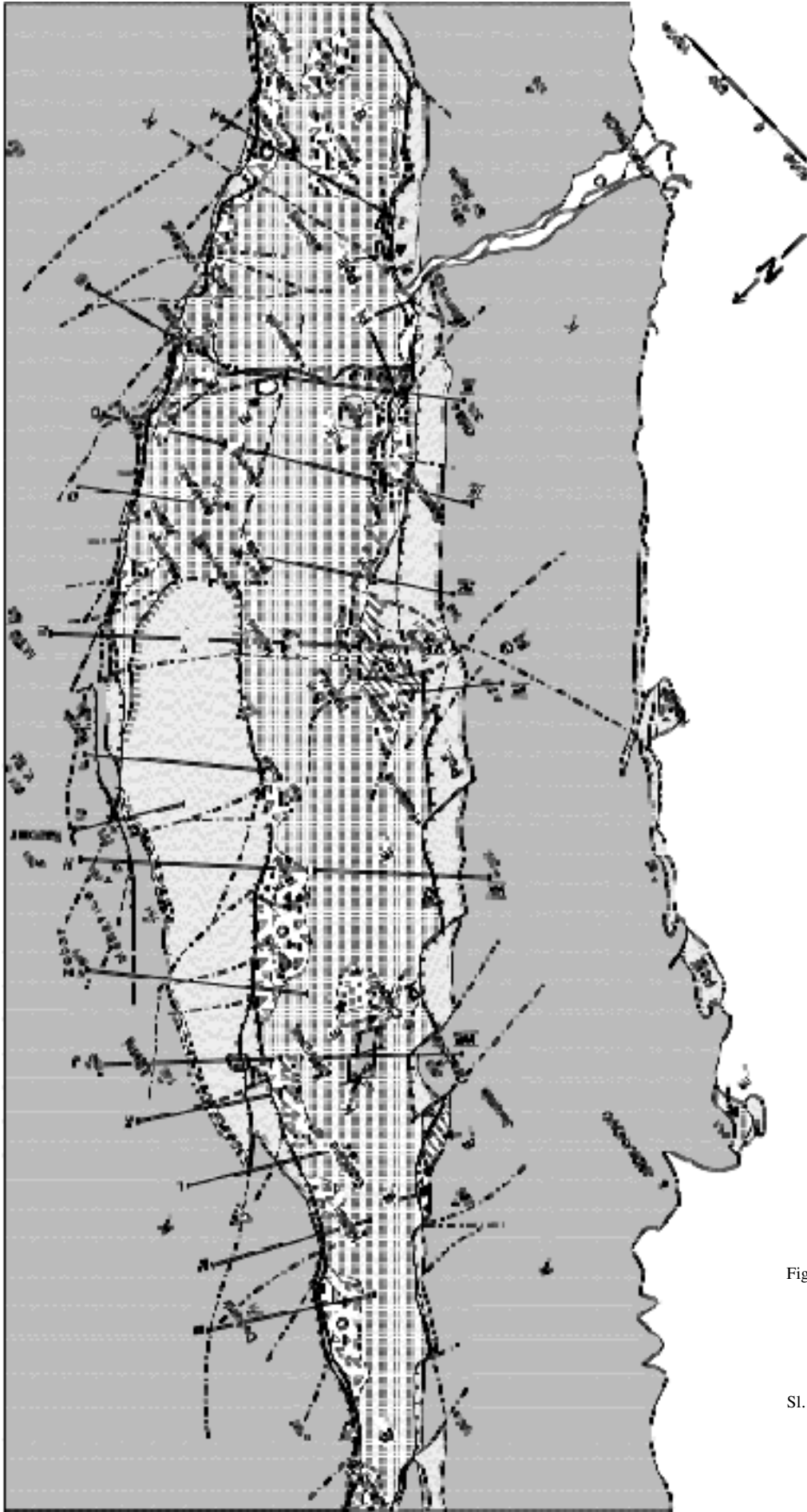


Fig. 2 Geological map of part of Vinodol between the Križišće and Grižane (after ŠUŠNJAR et al., 1970 - partly modified). Legend as in Fig. 3.

Sl. 2 Geološka karta dijela Vinodola između Križišća i Grižana (prema ŠUŠNJAR et al., 1970, dijelom dopunjeno). Legenda: vidi sl. 3.

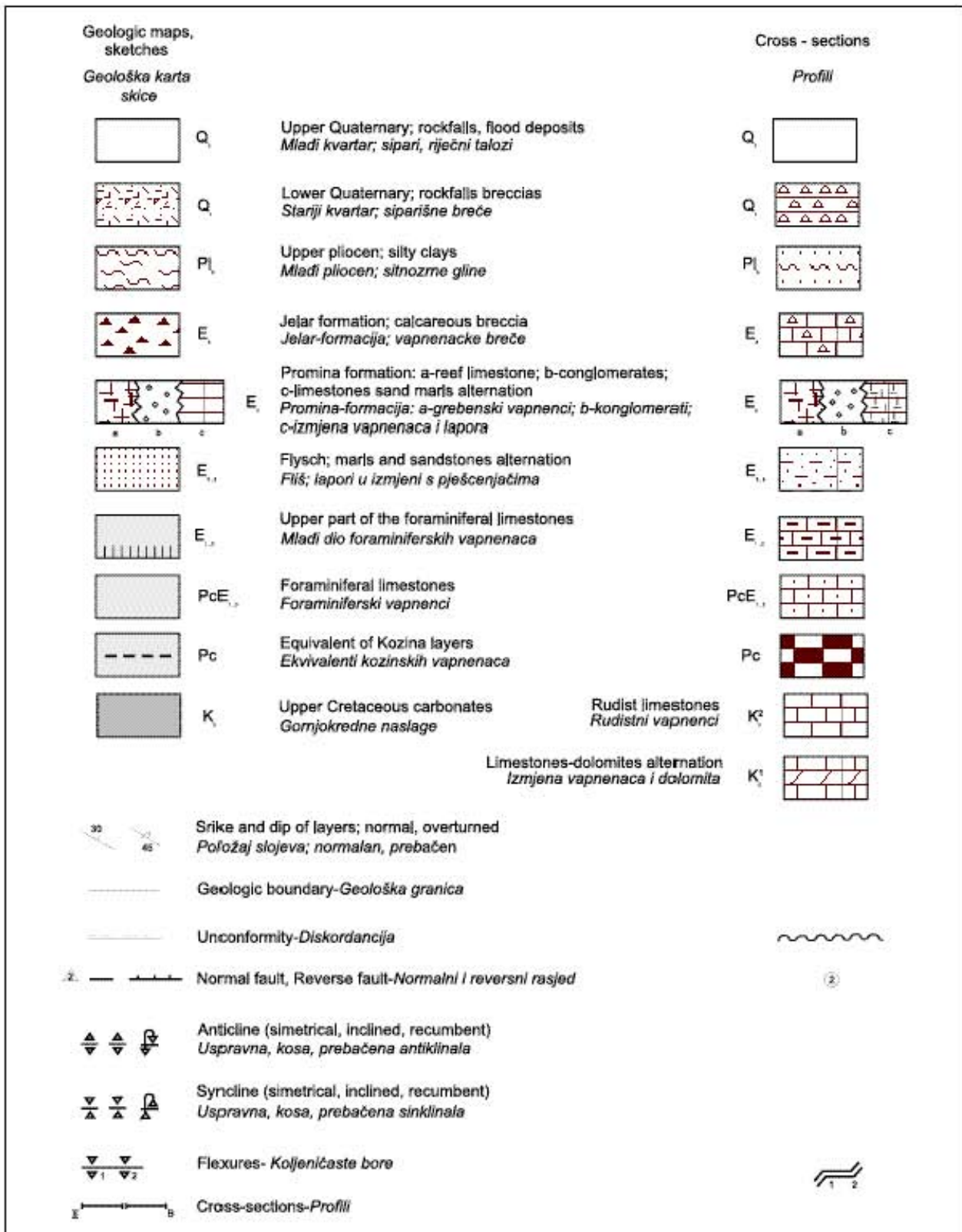


Fig. 3 Legend of the symbols and abbreviations used in geological maps, sketches and cross-sections.

Sl. 3 Legenda simbola i oznaka na geološkim kartama, skicama i profilima.

toral environment (VOGL, 1912), the reefal limestones and nummulite breccias of the younger part of the clastics (BLAŠKOVIĆ & TIŠLJAR, 1983) that are found on the south-eastern slopes of the hill, speak in favour of its palaeogeographic uplift.

The morphologically expressed Humac uplift consists of foraminiferal limestones. It is surrounded by flysch deposits. Based on the limestone strata measurements, a normal anticline is reconstructed (SALOPEK, 1960).

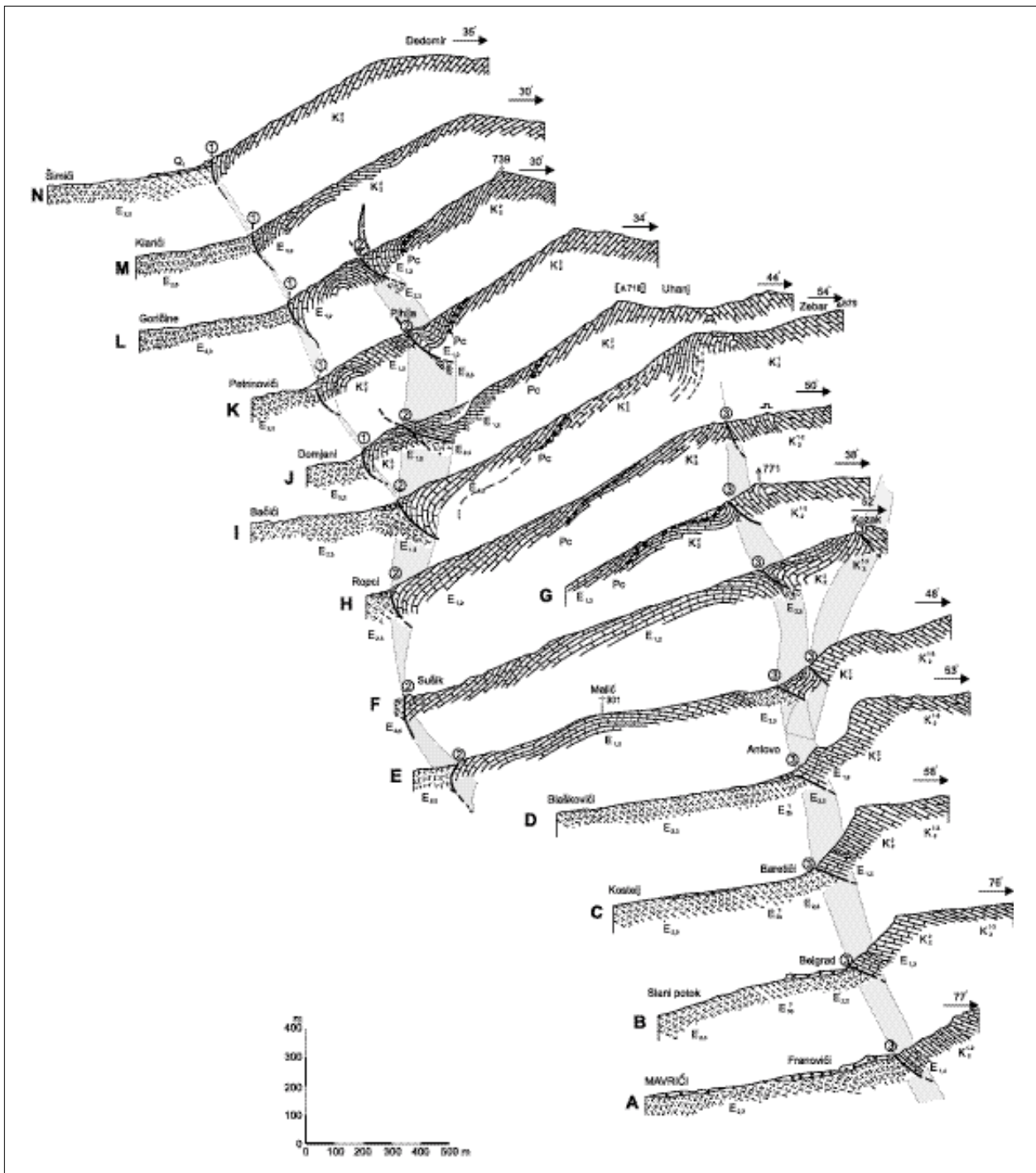


Fig. 4 North-eastern slope of Vinodol. The construction of the cross-sections A-N is adapted to the graphical possibilities of illustration. The helicoidal shapes of faults and the possibility of their merging into a single system are marked by raster. Legend as in Fig. 3.

Sl. 4 Sjeveroistočna padina Vinodola. Konstrukcija profila (A-N) kulisnog dijagrama prilagođena je grafičkoj mogućnosti prikaza. Rasterom su označeni helikoidalni oblici rasjednih ploha i prikazana mogućnost njihovog stapanja u jedinstveni sustav. Legenda: vidi sl. 3.

Foraminiferal limestone outcrops surrounded by flysch sediments were determined in the area south-west of Kamenjak. They were explained in the literature as a core of an overturned isoclinal anticline (ČUBRILović, 1938). Near the Badanj quarry, the foraminiferal limestones have the structural position of a core of an overturned isoclinal anticline (Fig. 13).

The clayey-silty sediments of Pliocene age were determined in restricted areas of the south-western part

of the valley (KOCH, 1922; ČUBRILović, 1938; BLAŠKOVIĆ, 1983). These sediments are mostly situated in areas of minor closed tectonic subsidence where they were protected from erosion.

The Quaternary rockfall breccias, in accordance to the intensity of the carbonate slope deformation, cover a larger area and are much thicker on the north-eastern margin of the Vinodol. A structure of coarse oblique bedding is clearly observable at larger outcrops. The

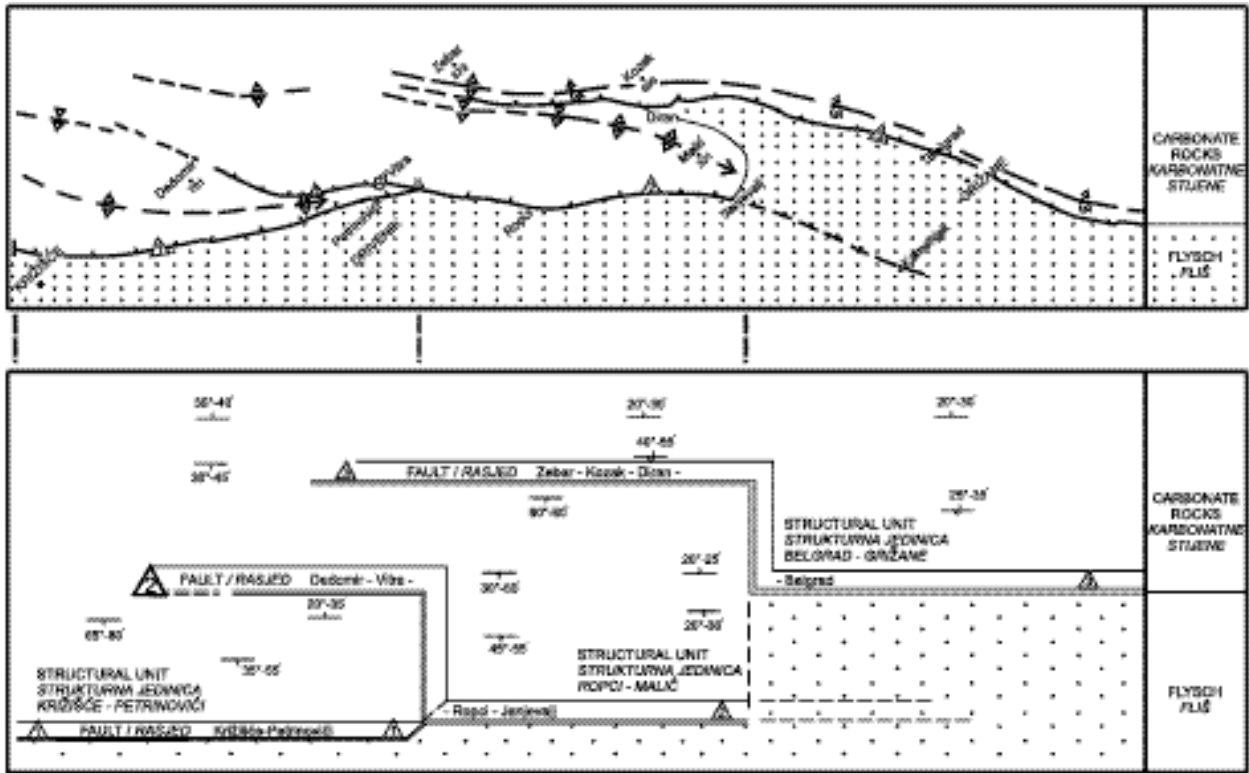


Fig. 5 Schematic illustration of the separated structural units and marginal faults in the north-eastern part of Vinodol. Symbols as in Fig. 3.

Sl. 5 Shematski grafički prikaz izdvojenih strukturalnih jedinica i graničnih rasjeda u sjeveroistočnom dijelu Vinodola. Značenje simbola vidi na sl. 3.

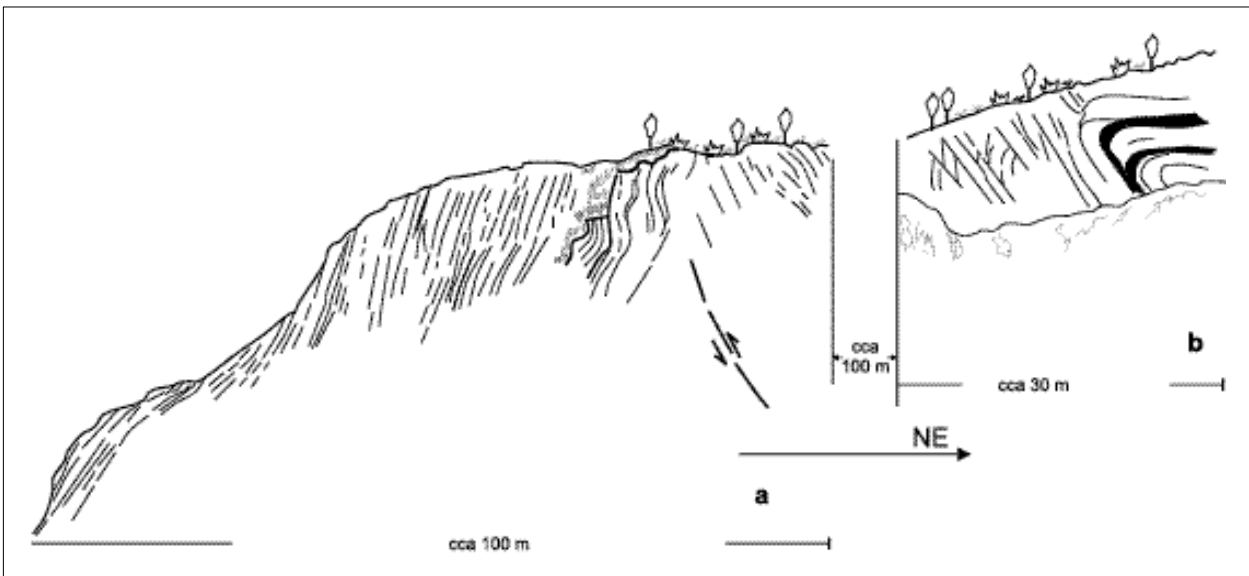


Fig. 6 Photo-sketches of the structures in the Upper Cretaceous limestones and dolomites on the north-eastern Vinodol slope, in the Zabar-Razromir area (cross-section H, Fig. 4): a) structures of anticlinal bend (flexures); b) overturned anticline.

Sl. 6 Fotoskice struktura unutar gornjokrednih vapnenaca i dolomita sjeveroistočnog oboda Vinodola u predjelu Zabar-Razromir (Profil H, sl. 4): a) strukture koljeničastog savijanja (fleksure), i u zaleđu b) prebačena antiklinala.

rockfall breccias dip gently to the south-west, at an angle of 15-20°. Occasionally, in a much larger wild quarry (near Franovići) the rockfall breccia layers are almost horizontal or very gently inclined in the direction of the valley, or even to the north-east. Similar breccias along the south-western margin of the Vinodol are less thick and are also found at a smaller number of

localities. The coarse bedding is measured, with a north-eastern dip and inclination in the range of 38-44°.

The prominent asymmetric ridge between the Vinodol valley and the sea also has an asymmetric geological structure. The ridge is composed of Upper Cretaceous limestones and dolomites and of Palaeogene foraminiferal limestones. Structurally it is an asymmet-

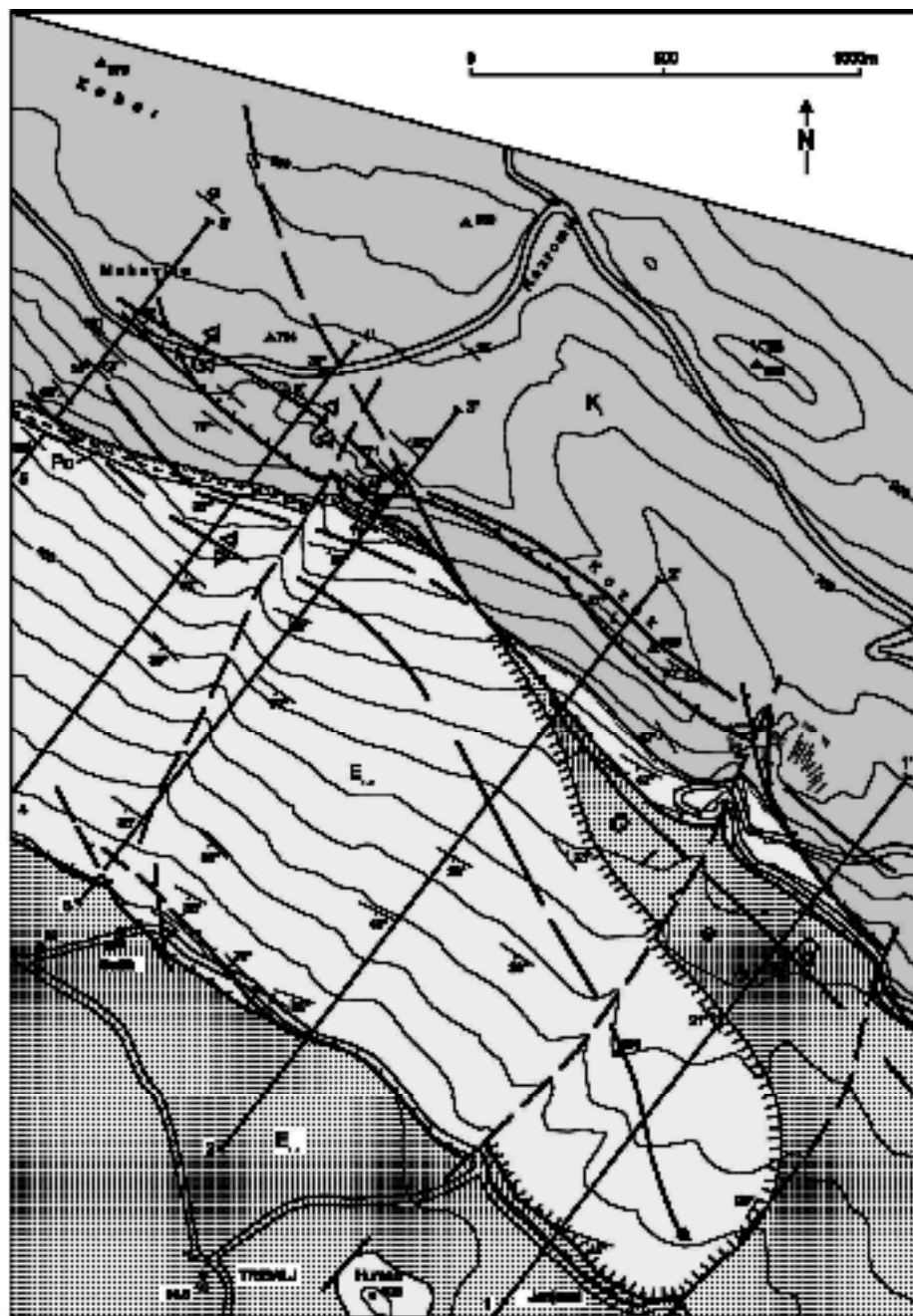


Fig. 7 Detailed geological map of the Mahavice-Kozak-Malić area. The merging of the faults is shown and a lateral transition of a flexure into an anticlinal structure. Legend as in Fig. 3.

Sl. 7 Detaljna geološka karta predjela Mahavice-Kozak-Malić, s prikazom stapanja rasjeda i prijelaza fleksure u antiklinalnu strukturu. Legenda: vidi sl. 3.

ric anticline with north-eastern vergence. The north-eastern part of the structure (actually the north-eastern slope of the ridge) predominantly consists of foraminiferal limestones which form the south-western margin of the Vinodol valley. The margin in its entire length follows a marked fault contact (the South-western Vinodol fault - 4) mostly between the foraminiferal limestones and the flysch of the valley (Fig. 4).

Near the Badanj quarry, on the Grižane - Crikvenica road (Fig. 14, Sect. I, Fig. 13) the convergence of two opposing structures can be observed; the south-western margin of the valley and the valley itself (Fig. 13). The change in the inclination of the fault plane must be highlighted. The tectonic striations oriented in the dip direction determine the vertical tectonic displacement on the fault plane. The curvature of the fault plane is

indicative for future considerations. The plane is most steeply inclined in its hypsometrically most elevated part ( $82^\circ$ ). While descending, the fault plane inclination becomes reduced to  $50^\circ$ . A small lateral shift of no more than 100 m would even give measurements close to  $10^\circ$ .

Following the South-western Vinodol fault, the reverse fault contact is clearly observable in the foothills of the Badanj ruin. Along this contact, the foraminiferal limestones overlie the clayey-silty Upper Pliocene deposits (BLAŠKOVIĆ, 1983).

In the area of the Sopalj uplift, south-west of Tribalj, some additional data have been recorded. Sopalj is a prominent uplift, separated from the valley by steep cliffs (Fig. 15). It appears to have shifted to the north-east, from the carbonate ridge that separates Vinodol



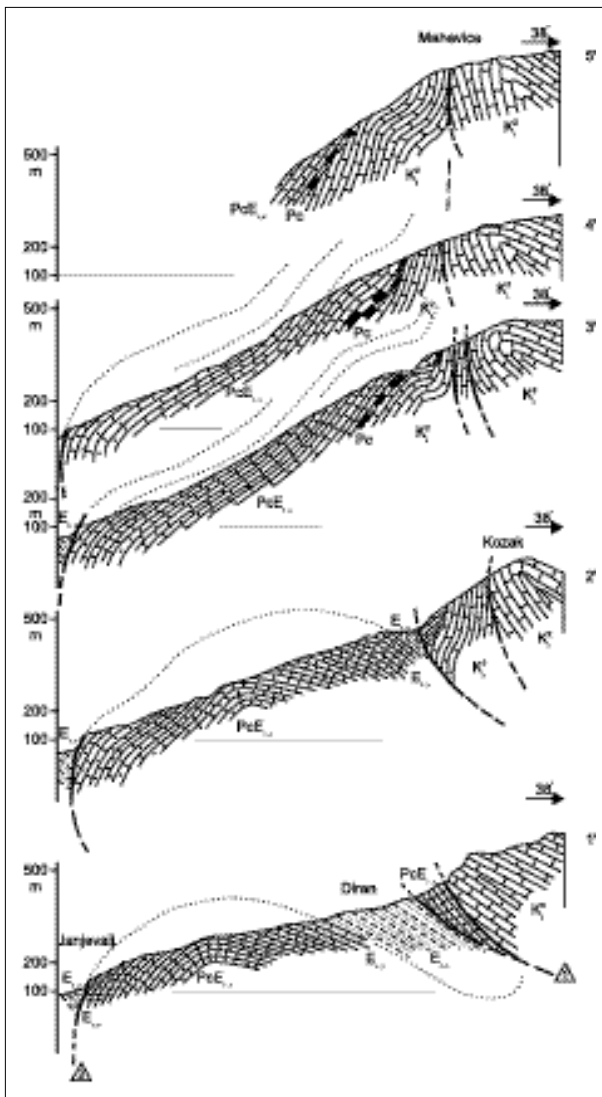


Fig. 8 Series of parallel cross-sections in the Mahavice-Kozak-Malić area, the variation of folded and faulted structures in direction of strike is shown. Legend as in Fig. 3.

Sl. 8 Niz paralelnih profila predjela Mahavice-Kozak-Malić s prikazom promjene boranih i rasjednih struktura po pružanju. Legenda: vidi sl. 3.

from the sea, and in the valley. The uplift is bound by transverse faults and behind it, towards the sea, in the intersection of these fault zones, clayey-silty sediments were found. The aforementioned build-ups have the characteristics of fresh-water sediments. These rocks closely resemble the Upper Pliocene clayey-silty sediments found in the aforementioned Vinodol localities.

These transverse faults extend in the direction of Tribalj, more precisely the Janjevalj hamlet. The maximum thickness of the Upper Pliocene sediments is found in the zone between these two faults - in the foothills of Sopalj (KOCH, 1922). Discordantly overlying flysch deposits, they were preserved in this setting due to convergence of synclinally placed flysch (layers with south-western dip) with the almost vertical plane of the South-western Vinodol fault (4).

A somewhat similar tectonic setting, namely the protrusion of part of a carbonate ridge separating the Vinodol from the sea in the direction of the valley (marked by tectonic transport along transversal faults) is found in the area named Gračišće (peak 289, Fig. 12). Consequently it is not only the Eocene foraminiferal limestones that exhibit a direct fault contact with Eocene flysch, but also the Upper Cretaceous rudist limestones.

The fault plane of the South-western Vinodol fault (4) generally dips toward the NE at angles between 50-85°. The fault plane with south-western dip was found in two localities, the Badanj ruin with a dip angle of 50° and the Sopalj uplift where it has an angle of 72°. The changes in dip direction and angle of the fault plane are most commonly located close to the intersections with transverse and diagonal faults which disturbed the continuity of strike of the South-western Vinodol fault.

These characteristics of the geological composition and structure of certain Vinodol areas provide the basis for the reconstruction of structural development; the distribution of chronostratigraphic units and of the timing of events. This reconstruction is given below based on a mobilistic approach where the Vinodol is presumed to be one of the zones of shallow subduction of continental crust (A-type subduction) (HERAK, 1980; BLAŠKOVIĆ & ALJINOVIĆ, 1981; BLAŠKOVIĆ, 1991).

### 3. SUBDUCTION MODEL AS A BASIS FOR STRUCTURAL DEVELOPMENT AND ITS INTERPRETATION

#### 3.1. FUNDAMENTALS OF THE MODEL

The subduction model (Fig. 16) is based on the analysis of microtectonic elements in the area of Mt. Čićarija (BLAŠKOVIĆ & ALJINOVIĆ, 1981) as well as on the analysis of geological relations in a broader area, combined with the results of seismic survey (ALJINOVIĆ & BLAŠKOVIĆ, 1981). In this model, movement and subduction of a plate in direction of north-east (recent orientation) is postulated in such a way that it has a broader zone with domination of a horizontal displacement component, and a more narrow zone where the vertical component prevails (the subduction zone).

The first phase of structural deformation (the collision phase) is characterised by folding of the sedimentary complex and formation of the areas of synclinal and anticlinal structures (BLAŠKOVIĆ & ALJINOVIĆ, 1981). In this phase, the morphology coincides with the structures. The continuation of displacement, followed by deformation of primary structures into more and more asymmetric folds (mostly of SW vergence), resulted in the formation of reverse dislocations. This is the beginning of the subduction process, primarily in less stable synclinal structures that are favourable for subsidence (Fig. 17).

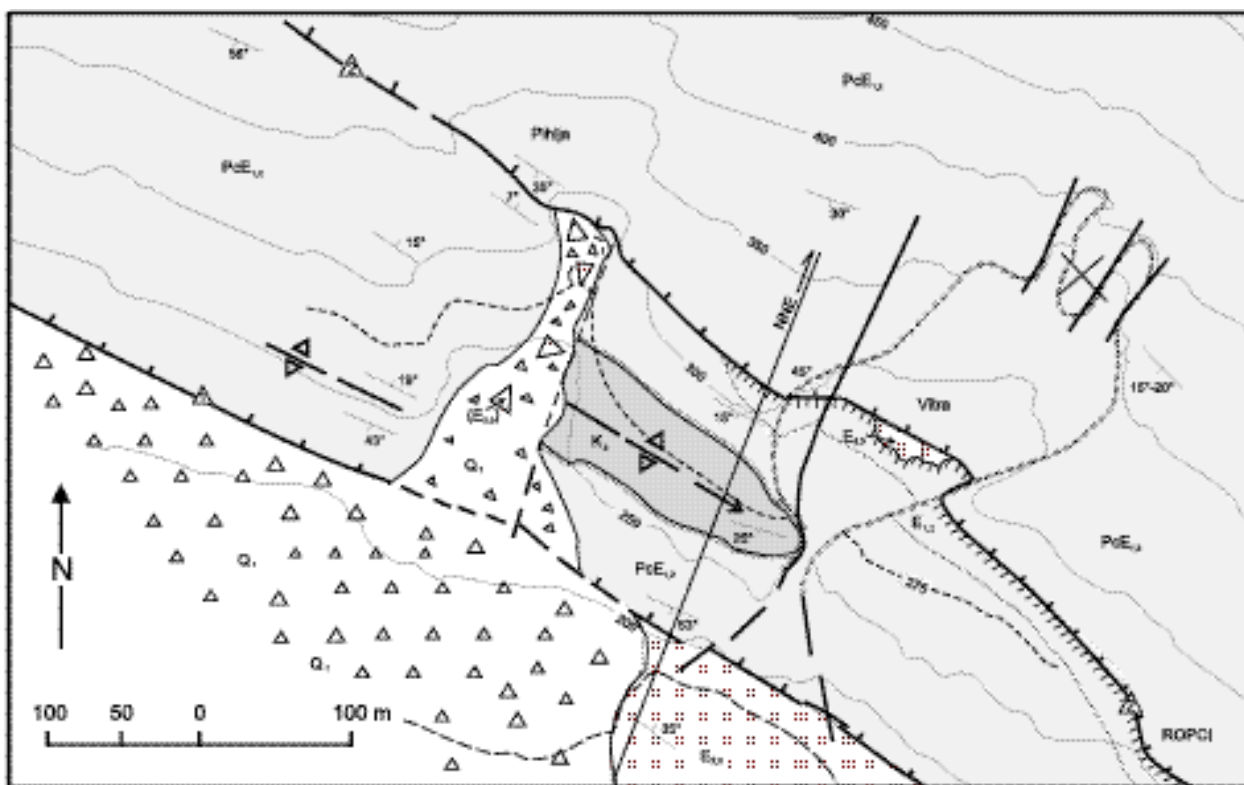


Fig. 9 Detailed geological situation of the Vitra and Pihlja gorge area. Legend as in Fig. 3.

Sl. 9 Detaljna geološka situacija predjela Vitra i Pihlja. Legenda: vidi sl. 3.

The active section of continental crust that moves horizontally and subducts is defined as the **action foot-wall - A**, that has particular general structural and facial

characteristics in common. These are the mostly plicative deformations and domination of, predominantly concordant, shallow-marine sediments. The regular, zonal distribution of lithofacies is to be expected.

The relatively passive section of continental crust is defined as the **resistant (reaction) hanging wall - R**. In the initial phase this is the more stable, antiform structure that during the discontinuous subduction process provides the resistance. It is thus exposed to significant structural deformation of the plicative and especially of disjunctive characteristics, with a general uplifting trend. During sedimentation, this results in more frequent emersions, irregular distribution of lithofacies, confinement and reduced thickness of more varied lithofacies, as well as in a greater proportion of clastics, especially coarse clastic sediments.

The notional **more narrow zone of subduction - S** pertains to the relatively narrow contact belt separating the two plates (A and R) where their antagonistic vertical displacement takes place. This zone of active subduction corresponds to a primary unstable synform structure (syncline, synclorium). The structural deformations in this zone, which occurred during periods of more intensive subduction, exhibit plicative and fault characteristics of compression, accompanied by pronounced horizontal and vertical lithofacies variation. Clastic sediments characteristic of flysch deposits predominate together with those with mollasse characteristics.

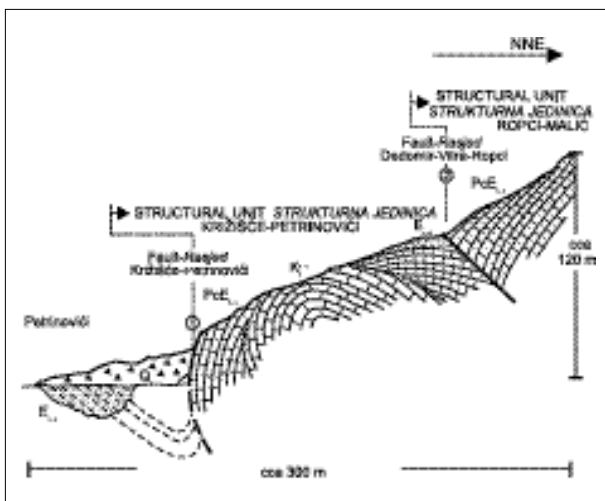


Fig. 10 Detailed sketch of folded and faulted structures in the area between the Vitra and Pihlja gorges. The character of the contact between the limestone complex of the north-eastern Vinodol slope and the flysch deposits in the valley. Legend as in Fig. 3.

Sl. 10 Skica detalja boranih i rasjednih struktura u predjelu između Vitre i Pihlje, te karakter kontakta vapnenačkog kompleksa sjeveroistočne padine Vinodola i flišnih naslaga doline. Legenda: vidi sl. 3.

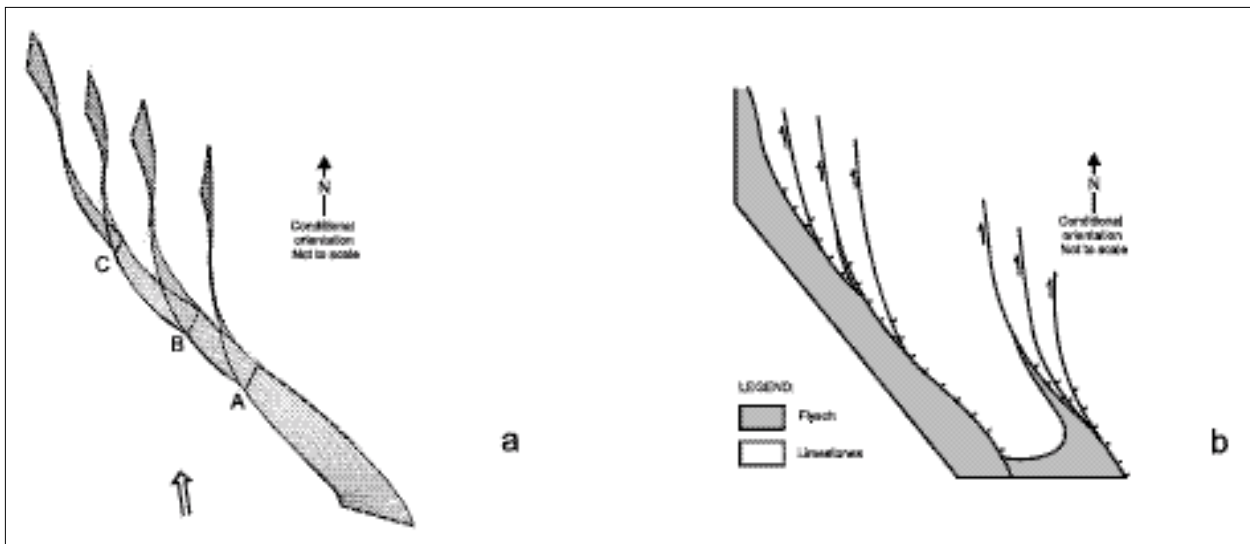


Fig. 11 Helicoidal shapes of the fault planes (a) and the faults merging into a single fault (b) (BLAŠKOVIĆ, 1997).

Sl. 11 Helikoidalni oblici rasjednih ploha (a) i stapanje rasjeda u jedinstvene rasjede (b) (BLAŠKOVIĆ, 1997).

### 3.2. APPLICATION AND DEVELOPMENT OF THE MODEL TO THE VINODOL AREA

The area of the Vinodol valley, being one of the more prominent zones of shallow subduction, contains the majority of underthrusting (shallow subduction) characteristics of a broader area on a small scale. The characteristics of such underthrusting are shown in Fig. 17. The tectonic subdivision of Vinodol is also performed in accordance with the subduction model. The carbonate ridge between the Vinodol and the sea is thus defined as the marginal part of the action footwall - A, the north-eastern carbonate slopes of Vinodol as part of the resistant (reaction) hanging wall - R, and the valley itself, mostly filled with flysch, as the more narrow zone of subduction - S.

The initial collision movements happened in the Laramian tectonic phase by the end of Cretaceous (Fig. 17, I). Gentle folds were formed, providing conditions for emersion, respectfully for the deposition of Kozina limestones and their facies equivalents in the deepest parts of the palaeorelief, i.e. in the synclinal structures (Phase I).

The period of comparatively stable deposition of foraminiferal limestones is excluded here.

The interval of intense clastic deposition is further encompassed by the scheme (Fig. 17, II). The subduction process continues. In the narrow zone of subduction (S), the intensification of subduction causes counter-clockwise rotation on the horizontal axis. The marginal part of the action footwall (A), in shape of an anticline or a monocline, is subsided and subducted, while the opposing anticlinal structure, part of the resistant (reaction) hanging wall (R), undergoes a gradual uplift. The result of this opposing movement is observable in the shifting of the syncline axis (axis of the narrow zone of subduction) in a direction opposite to the main move-

ment, which is reflected in the asymmetric distribution of the Kozina layers.

The continuation and intensification of the subduction process influences the predominantly clastic deposition. Changes in depositional environment result in various lithofacies (flysch, Promina formation, and Jel-ar formation).

The final phase (Fig. 17, III) is connected to phase II. According to the data in the study area, there is probably a time-link between this phase and deposition of the Jel-ar-layers and also with later deposition of the Quaternary rockfall breccias. This phase is also recently active, when discontinuous but intensive underthrusting is assumed. The result of the subduction process is reflected in the significant width reduction of the narrow zone of subduction (S), and in the intensive structural deformation of rocks in both this zone and the neighbouring ones (A and R).

Within the zones, deformation is not identical across the zones, and the differing character and intensity is shown by examples from the studied area. They primarily depend on the older structures, physical characteristics of the rock and on the mode of tectonic displacement.

The action footwall complex (A) is mostly exposed to plicative deformations whereby folds with vergence in the direction of movement are formed, and also occasionally those with the opposite vergence of both the folds and reverse faults. On the contact with the zone of subduction (S), an anticline is formed. In some cases a monocline can be formed instead (Fig. 17, alternative IIIa).

The more narrow zone of subduction (S) with a clastic complex is exposed to the action of two opposing forces. Part of the subduction zone sedimentary complex is being underthrust together with the rocks of the action footwall. Due to the width reduction, the

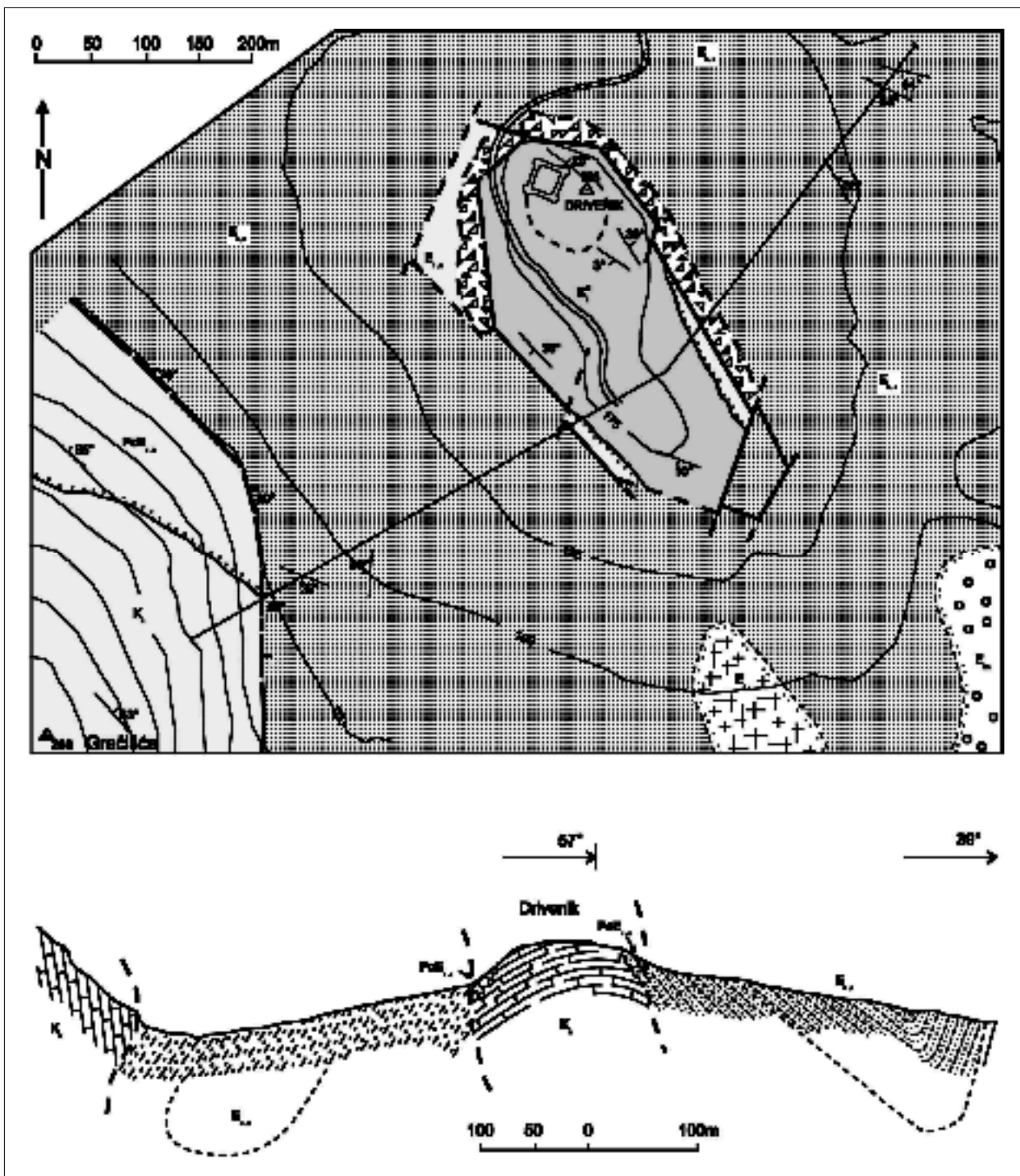


Fig. 12 Detailed geological map and cross-section of the Gračišće-Drivenik area. Legend as in Fig. 3.

Sl. 12 Detaljna geološka karta i profil predjela Gračišće-Drivenik. Legenda: vidi sl. 3.

higher parts of the sedimentary complex are pushed up, accompanied by formation of various secondary tangential structures. The vergence of structures is mostly opposite to the direction of the main movement. The elevation of this part of the complex is asymmetric and, is especially well expressed along the contact with rocks of the resistant (reaction) hanging wall (R).

The zone of the reaction hanging wall (R) resists the horizontal component of the main movement, and be-

comes an area of uplift characterised by intense tangential plicative and, especially disjunctive deformation. As a rule, the vergence of structures is opposite to the direction of the main movement.

The borders between the aforementioned zones (A - S - R), in this case separating the anticlinal from synclinal structures, are mostly tectonic contacts. They all have a characteristic shape of the fault planes, which in a vertical section look more or less like a stretched invert-

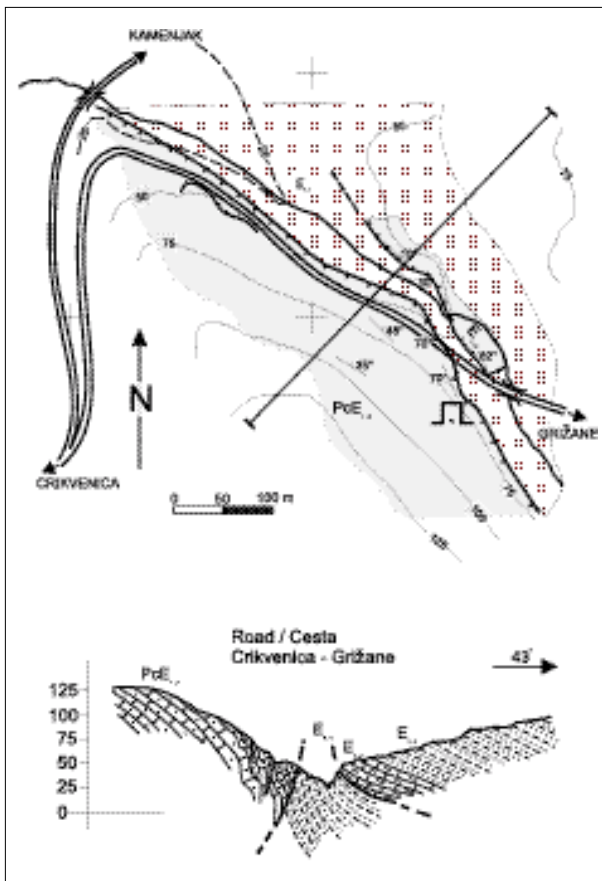


Fig. 13 Detailed geological map and cross-section of the Badanj quarry on the road Crikvenica-Grižane. Legend as in Fig. 3.

Sl. 13 Detaljna geološka karta i profil okolice kamenoloma Badanj uz cestu Crikvenica-Grižane. Legenda: vidi sl. 3.

ed picture of a letter “S” (BLAŠKOVIĆ & ALJINOVIĆ, 1981). Due to compression, in final consequence, they all exhibit a reverse character of displacement.

#### 4. INTERPRETATION OF THE STRUCTURAL EVOLUTION OF THE AREA OF VINODOL

The asymmetric ridge separating the Vinodol valley from the sea is interpreted as the marginal part of the action footwall (A) that belongs to the transitional zone between the horizontal and vertical component of movement, i.e. the subduction itself. Interpretation of this direction of movement is corroborated by the shift of the part of the ridge towards the Vinodol valley along the diagonal faults (peak 327, the Sopalj uplift). An attempt to simulate the tectonic evolution of such a structure (Fig. 18) illustrates the character of movement, and gives an explanation of the distribution and position of dominant open fissures on the ridge. It also explains the change in dip angle of the plane of the South-western Vinodol fault (4) on the contact with the Upper Pliocene clastic deposits in the valley itself.

The subduction is accompanied by rotation which causes the relative uplift of the ridge and subsidence of

the contact part of the clastic sediments in the more narrow zone of subduction (S) - i.e. in the valley. The vertical displacement is confirmed by findings of the time-equivalent Upper Pliocene sediments at different altitudes. Behind the Sopalj uplift they are located 225 m above the sea-level, and on the foothills of the same carbonate ridge on the valley-side at 100-155 m. The geological situation and reconstruction of the primary conditions is illustrated in Fig. 19.

The south-western margin of the Vinodol is interpreted as a contact zone between the action footwall (A) and the more narrow zone of subduction (S). Its field expression is found in the South-western Vinodol fault (4). The most important structural changes are connected to this fault.

The dip angle of the helicoidal plane of the South-western Vinodol fault (4) varies from  $48^\circ$  in the north-east, through the vertical position and is finally overturned, dipping at  $50^\circ$  toward the south-west. The angle of dip causes different structural deformations of rocks in the valley, i.e. in the more narrow zone of subduction (S) (Figs. 14 and 20).

The gentle dip of a fault plane, in a north-eastern direction, produces relative uplift of the hanging wall where the older rocks crop out (west of Piline). There are no traces of more extensive deformations of flysch deposits in the north-eastern extension of the cross-section.

The steeper dip of a fault plane, between the  $65^\circ$  and  $80^\circ$ , that is characteristic for a major part of the South-western Vinodol margin, marks the contact between the Palaeogene limestones and flysch deposits. The more significant horizontal extent of plicative deformations in the flysch deposits of the valley is presumed here.

The vertical, or nearly vertical, position of the fault plane (near Podsopalj) influences the anticlinal formation, with contemporary relative uplift, of the hanging wall rock complex, namely a tectonic block in direction of compression. It also causes the more pronounced folding of a larger horizontal extent.

The steeply overturned position of a fault plane (the Sopalj peak, Fig. 19) causes both the synclinal bend and the more intense subsidence of the flysch and younger sediments (Pliocene). This increases the potential for their preservation from erosion. The deeper subsidence along the south-western fault is compensated by secondary folding of the flysch deposits of a broader area in the direction of the cross-section line, and, partly by the uplift and anticlinal formation of the foraminiferal limestones (the Humac hill, peak 104).

The more gentle dip of the overturned fault plane, partly inferred in the area of the Gračišće-Drivenik cross-section (Fig. 12) and determined in the area of the Badanj quarry as  $30^\circ$  overturned (Fig. 14), corresponds to the more significant structural changes in a smaller area, but with bigger vertical extent. A tectonically bounded structure is formed where the rocks of the

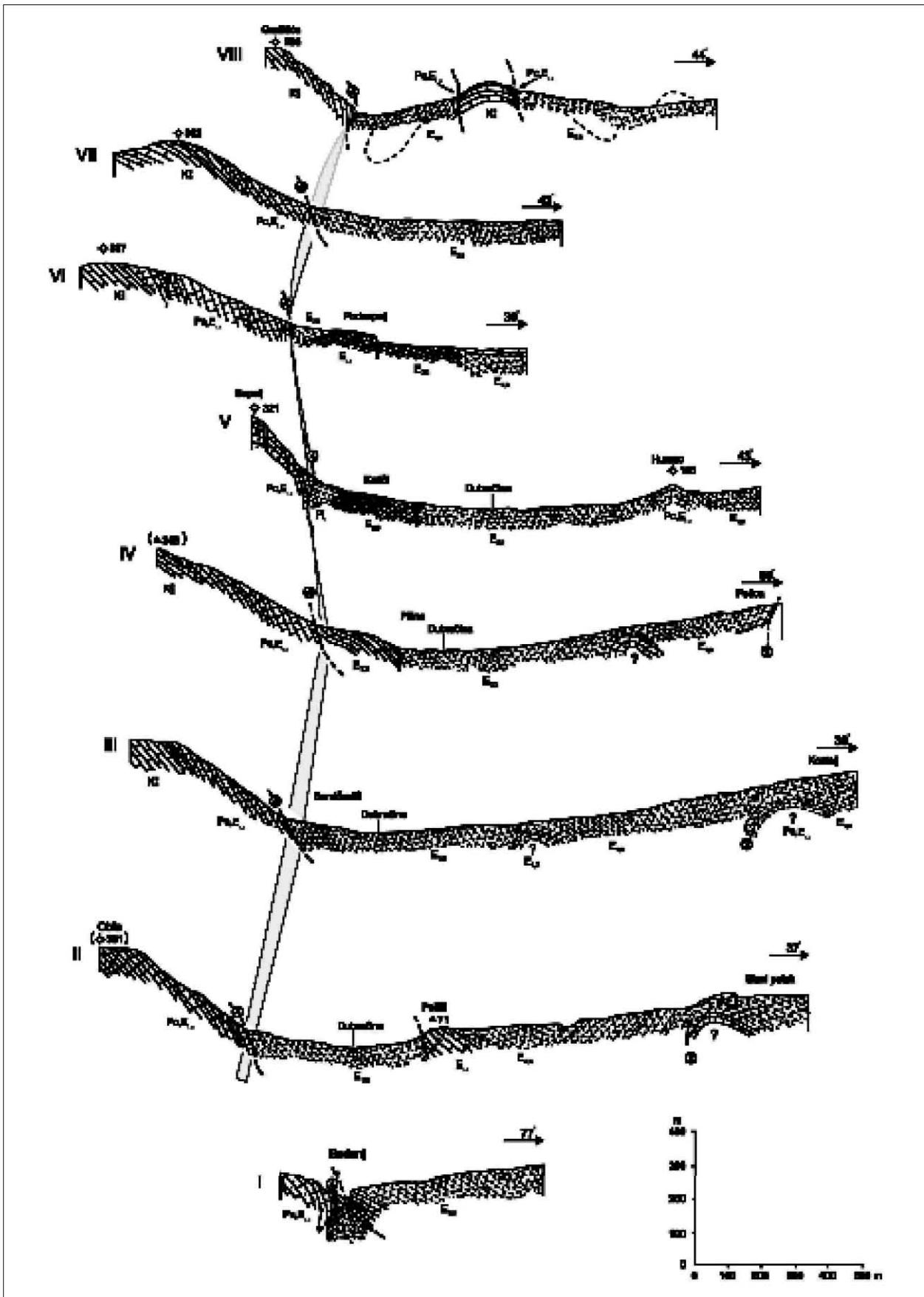


Fig. 14 South-western Vinodol fault. The helicoidal shapes of the fault planes are marked by raster. The construction of the cross-sections I-VIII is adapted to the graphical possibilities of illustration. Legend as in Fig. 3.

Sl. 14 Jugozapadni Vinodolski rasjed - rasterom označeni helikoidalni oblici rasjednih ploha. Konstrukcija profila (I-VIII) kulisnog dijagrama prilagođena je grafičkoj mogućnosti prikaza. Legenda: vidi sl. 3.

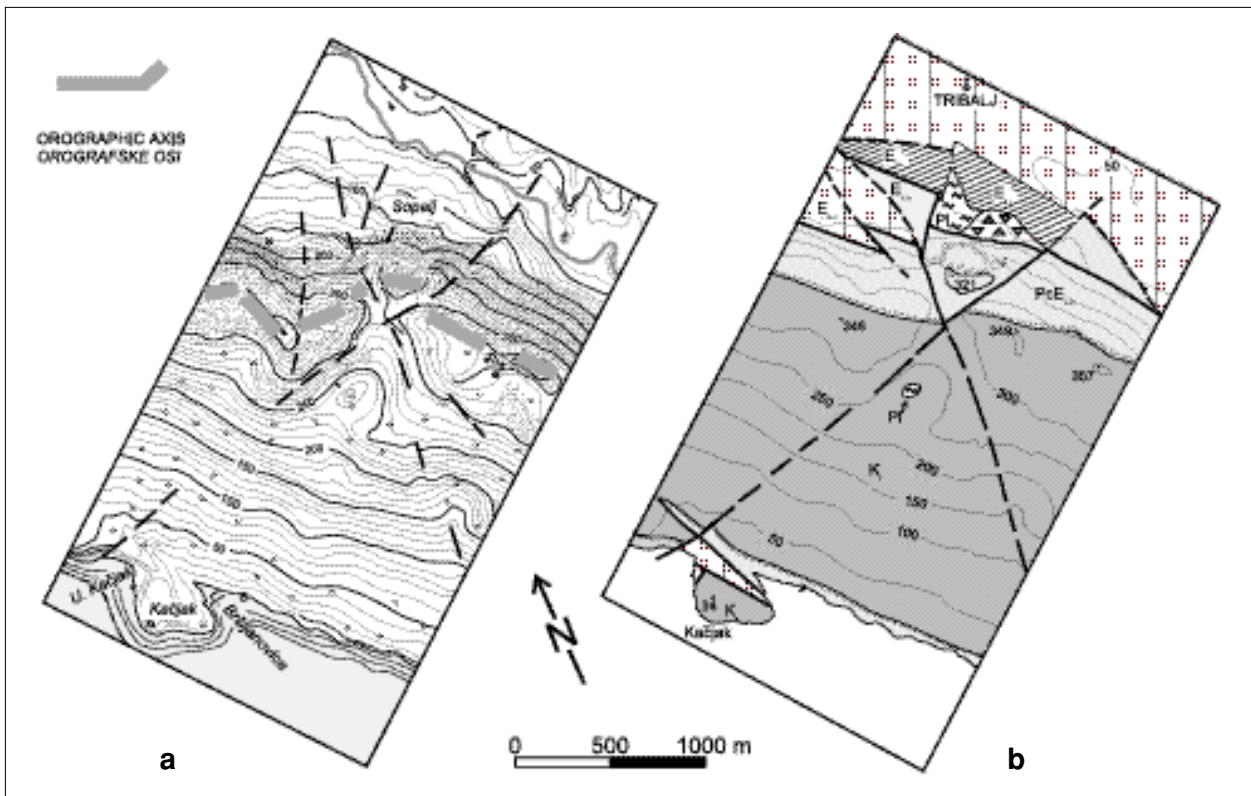


Fig. 15 Geomorphological (a) and geological (b) situation in the Kačjak-Tribalj area. Legend as in Fig. 3.

Sl. 15 Geomorfološka (a) i geološka situacija (b) predjela Kačjak-Tribalj. Legenda: vidi sl. 3.

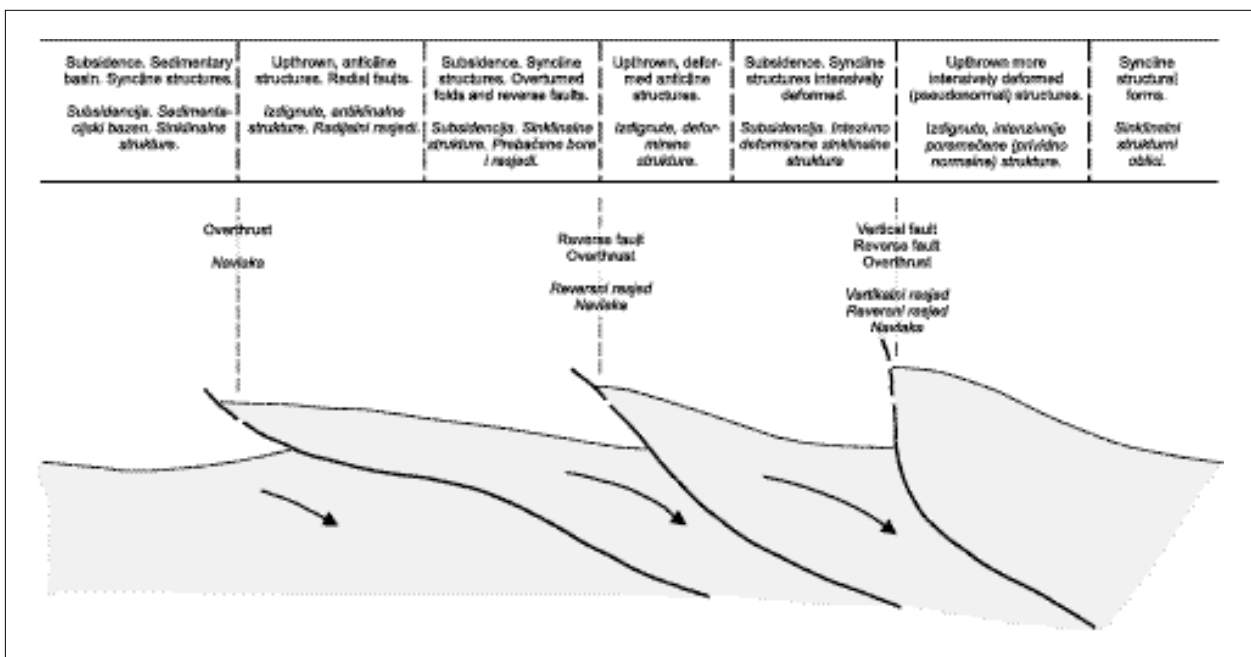


Fig. 16 The united subduction zone model (BLAŠKOVIĆ & ALJINOVIĆ, 1981).

Sl. 16 Model udruženih zona podvlačenja (BLAŠKOVIĆ & ALJINOVIĆ, 1981).

basement of flysch complex, i.e. the Palaeogene foraminiferous limestones (in the Badanj quarry) or even of older, Upper Cretaceous limestones, crop out. They formed as a consequence of a deeper penetration of the stress caused by subduction, transferred by the position

and inclination of the fault plane. An alternative method of formation of such structures is due to inherited positive and negative palaeostructures that influenced the final shape of structures. An example of this kind of structure is found on Drivenik hill.

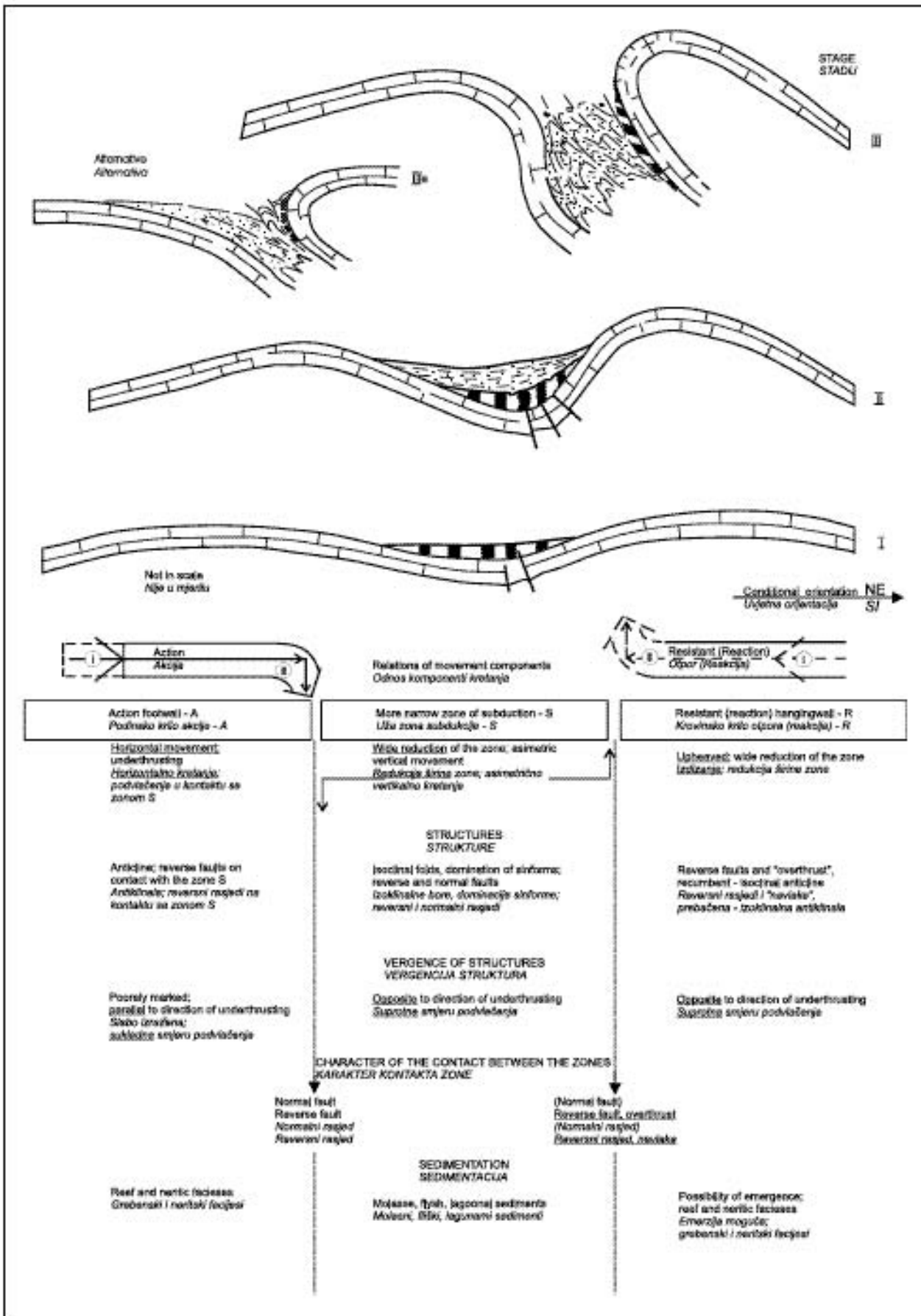


Fig. 17 Stages in development of the Vinodol subduction zone and the accompanying manifestations (the fault character is defined on the position of the hanging wall and footwall).

Sl. 17 Stadiji razvoja zone podvlačenja u Vinodolu i popratne manifestacije procesa (definiranje karaktera rasjeda je prema poziciji krila).



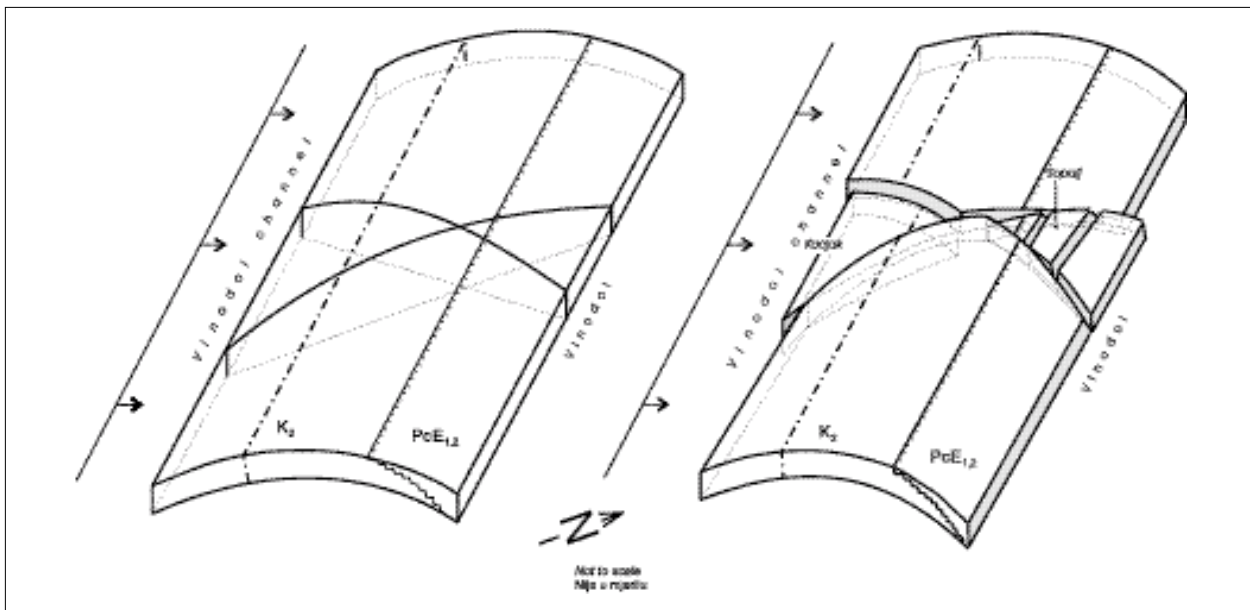


Fig. 18 Explanation of the destruction process along the diagonal faults, affecting an anticlinal structure in the Kačjak-Sopalj area (see Fig. 15).  
 Sl. 18 Objašnjenje procesa destrukcije antiklinalne strukture uz dijagonalne rasjede, na području Kačjak-Sopalj (vidi sl. 15).

Narrowing of the structures is characterised by more intense deformations, occurring because of the reduction of inclination of the overturned fault plane, e.g. as observed at the Badanj quarry (Fig. 14). This can go as far as cluching of the synclinally formed flysch deposits and the establishment of a tectonic contact between the foraminiferal limestones of the two anticlinal structures with opposing vergences (Fig. 20, inferred section). The real situation of such a cross-section is found in the area of the Vitra gorge on the north-eastern slope of Vinodol (Fig. 4, sections J and K). This path of tectonic evolution can be explained by folding and faulting within the scope of the subduction process (Fig. 21). The terrain recognition of faults and determination of structures can be very difficult in such a case, because the tectonic contact can be formed between the two limbs with similar orientation that belong to the two different, but originally parallel anticlinal structures.

Based on the discussed examples, certain conclusions of a broader significance can be drawn.

Depending on the shape of the longitudinal fault planes, namely on the inclination of the relevant part of the plane, which can vary significantly along the strike, and also on the physical characteristics of the contact rocks as well as on the character of the main movement, differently shaped secondary structural deformations will be formed in the more narrow zone of subduction (S), characterised by differences in both the horizontal extent and vertical reach. These structures are rarely found in the action footwall (A) for it acts as a structurally united complex, dislocated in blocks only by the transverse and diagonal faults.

By analysis of variation in the dip direction and angle of the relevant part of the fault plane having the same characteristic shape, and with mostly similar res-

ulting force of the rotary subduction of the action footwall (A), a supposed model of deformation can be constructed (Fig. 20). It can be observed from the model that by an increase in the inclination of the fault plane segment to the vertical position, the deformations in the more narrow zone of subduction (S) are intensified in respect to the shape of structures, the width of the deformed complex as well as its depth or thickness. A further inclination "increase" over the 90° (in the overturned part of the segment, where the dip direction changes and angle is reduced), causes an increase of the intensity of structural changes in respect to the shape and vertical reach, but at the same time with marked reduction of their horizontal extent.

Within the more narrow zone of subduction (S), along the strike of the bordering longitudinal fault, the structures with different characteristics and extension would have had the continuous evolutionary path were it not for the numerous transverse and diagonal faults. These, mostly radial, faults (as a rule with horizontal displacement) that cut through the primary structures (A and R) or through their parts, are formed as a consequence of subduction. Taking into account a certain degree of autonomy in the movement and reaction of the rocks in marginal zones (A and R), the separate fault systems in the action footwall zone (A) and in the zone of the resistant hanging wall (R) are assumed. The central, more narrow zone of subduction (S) becomes the area of their interference. It is exactly because of displacement along such, mostly vertical, faults that the main subduction movements are intensified in their reach, together with significant contemporaneous change in the positions of the fault planes on the contact with the more narrow zone of subduction (S).

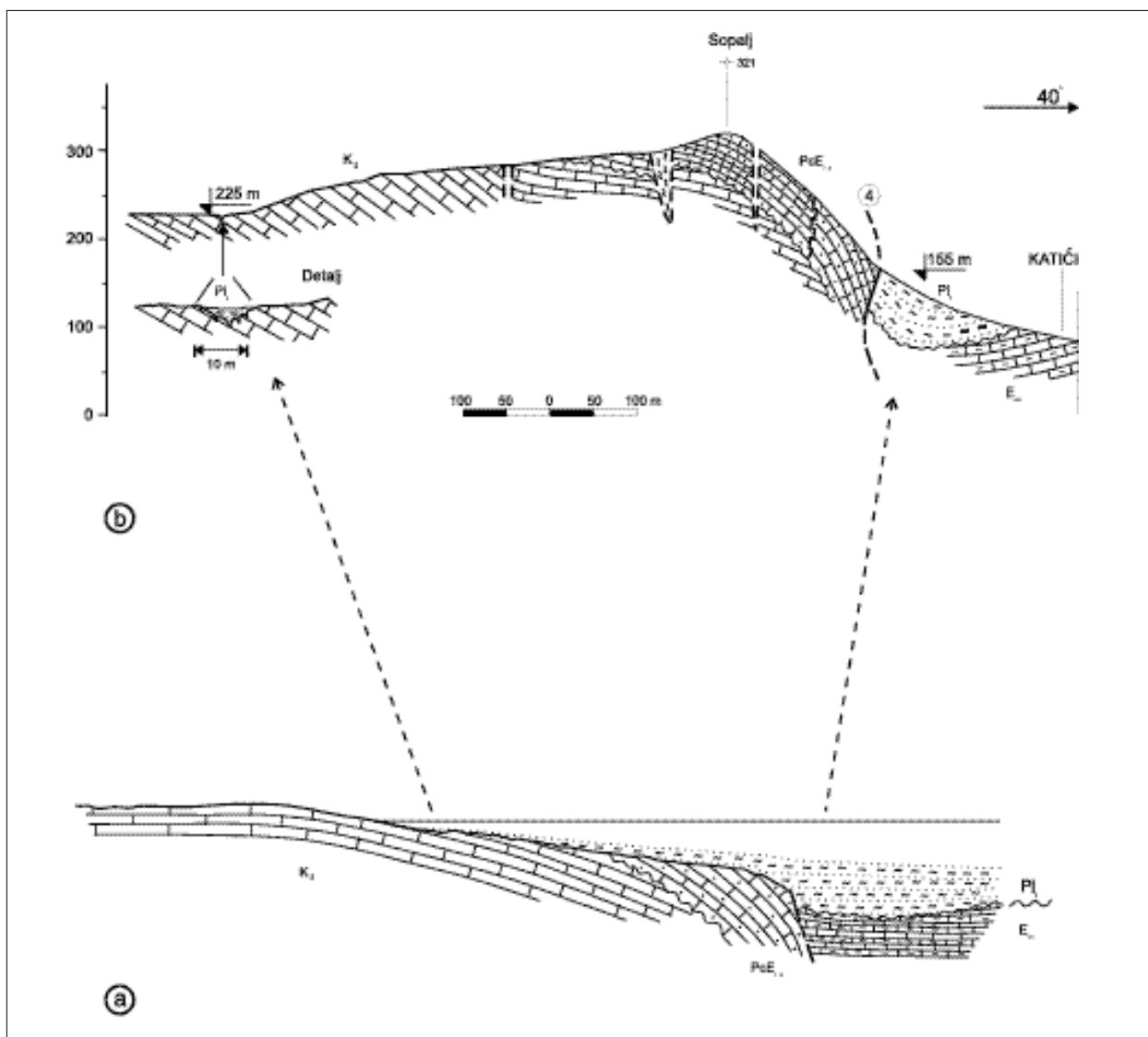


Fig. 19 Pliocene sediments: a) the hypsometric and structural position of Pliocene sediments in the Sopalj area; b) inferred palaeogeographical and palaeostructural relations of the Sopalj area in the Upper Pliocene. Legend as in Fig. 3.

Sl. 19 Pliocenske naslage: a) hipsometrijski i strukturni položaj pliocenskih naslaga u predjelu Sopalj; b) pretpostavljeni paleogeografski i paleostrukturni odnosi u gornjem pliocenu u predjelu Sopalj. Legenda: vidi sl. 3.

The similar analysis and interpretation of the evolution and characteristics of structures in the contact area between the more narrow zone of subduction (S) and the resistant hanging wall (R), as well as within the hanging wall itself, i.e. in the flysch valley and on its north-eastern carbonate slope, isn't entirely possible. Although similar tectonic elements are encountered here, differences also exist, the most important of which is the inhomogeneity of the fault contact and various intensity of tectonic deformation, producing alternative shapes of structural deformations and their different vertical and horizontal extent.

These differences primarily resulted from the palaeostructural and consequent palaeogeomorphological high relief of what initially appeared to be a united complex consisting of the resistant hanging wall (R) and the more narrow zone of subduction (S). Data sug-

gests that the initial folded structures existed within the tectonically narrowed flysch valley and carbonate rocks on both of its sides (Fig. 22).

Many examples of direct evidence can be given:

- the Belgrad-Grižane structural unit is an overturned isoclinal anticline;
- in the Diran area, partly with synclinal structure, the flysch layers are drawn deep into the carbonate rocks;
- on the Malić uplift, the foraminiferal limestones strata have an anticlinal shape;
- in the Vitra and Pihlja gorges a younger unit of Eocene clastics is found;
- the Upper Cretaceous anticline is to the west of Vitra;
- the Upper Cretaceous and foraminiferal limestones of Drivenik hill, primarily an anticlinal structure, are

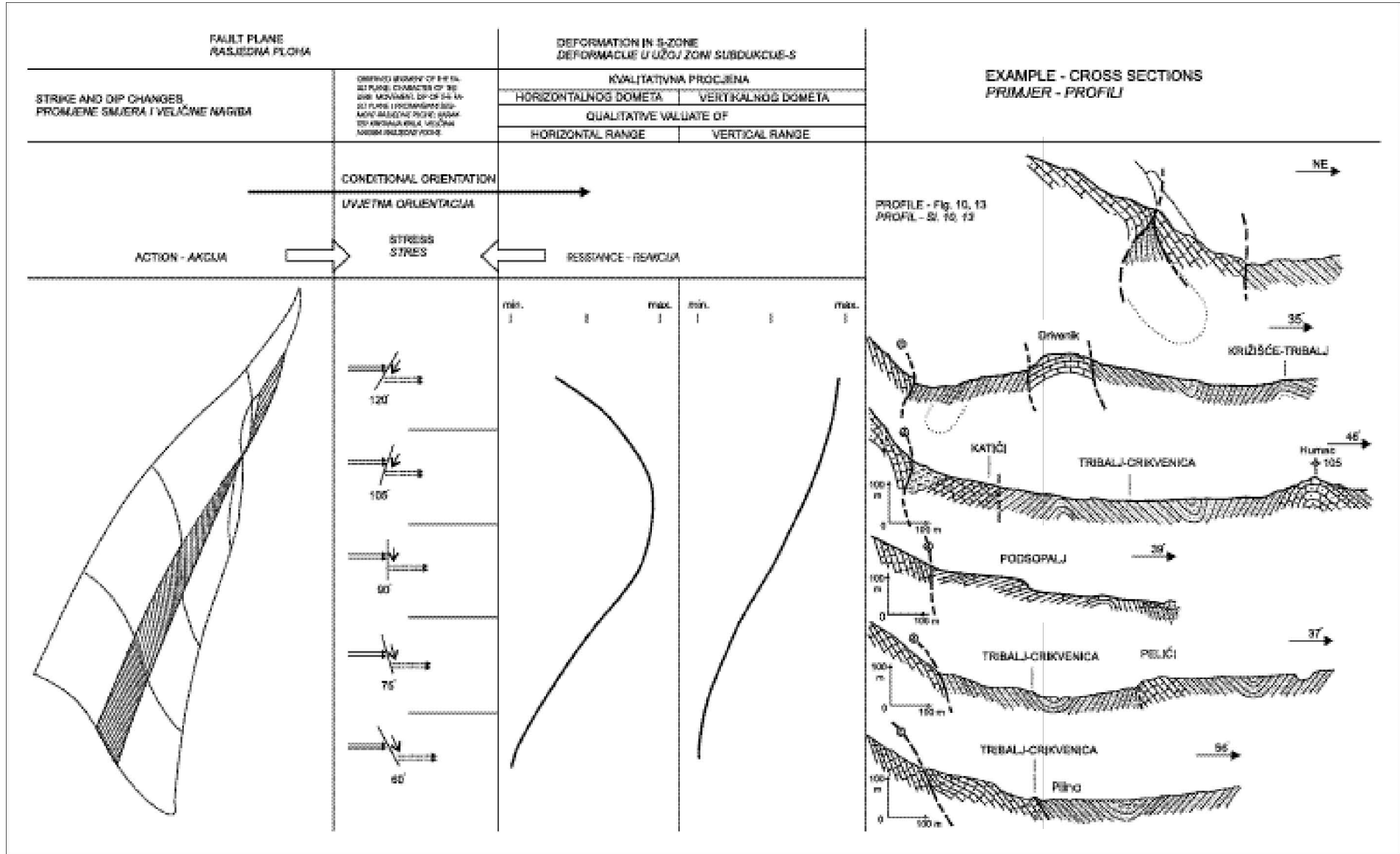


Fig. 20 The fault plane geometry and extent of deformation in the more narrow zone of subduction. Legend of cross-sections in Fig. 3.

Sl. 20 Oblik rasjedne plohe i stupanj deformacija u užoj zoni subdukcije. Legenda za profile: vidi sl. 3.

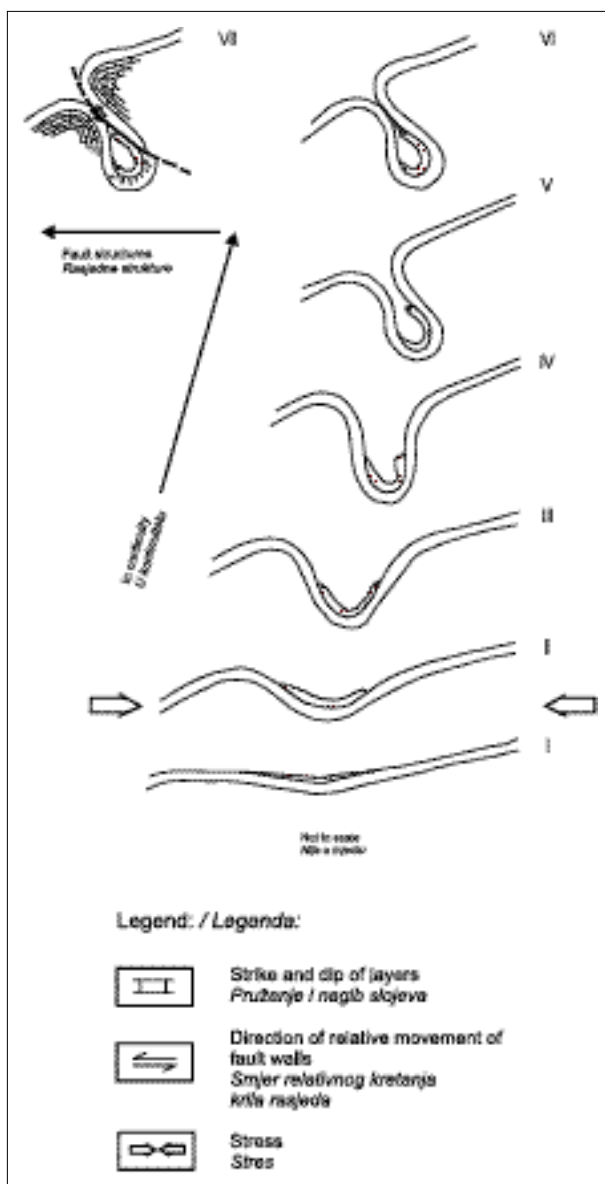


Fig. 21 Model showing the closure of a synclinal structure and the reverse faulting in the course of the subduction process.

Sl. 21 Model zatvaranja sinklinalne strukture i reverznog rasjedanja u procesu podvlačenja.

surrounded by the synclinally shaped Eocene flysch from both the eastern and western side;

- in the broader area of Tribalj, anticlinal structures of foraminiferal limestones were determined (the Humac hill, peak 102) as well as anticlines of carbonate-marly Eocene sediments (near Podsopalj). Isoclinal folding explains the outcropping of foraminiferal limestone in the Kamenjak area (ČUBRILOVIĆ, 1938) together with those to the north-east from the Badanj quarry.

There are also the indirectly obtained data. The indicated synclines in the area between the Pihlja and Vitra gorges and in the extension of the Diran area across the villages Antovo, Belgrad and Grižane, contain the younger unit of Eocene clastics. This location becomes log-

ical if the synclinal structures are taken to have been palaeogeomorphological troughs in a certain time-interval, when they served as channels of intensive and directed transport of material.

Taking into account the discussed data, a synclinorial structural shape of a Middle Eocene flysch basin in the Vinodol area can be presumed. A sequence of brachyanticlines and brachysynclines in parallel and partly in "en echelon" position is reconstructed. The noses of brachystructures are mostly not preserved. The south-south-eastern parts are degraded by the rotary subduction of the action footwall along the South-western Vinodol fault (4) and the north-north-eastern noses of mostly synclinal structures are hidden by the tectonic contacts with the neighbouring anticlines.

The schematic palinspastic reconstruction shows the distribution of brachystructures (Fig. 23). The structures differing in the thickness of the flysch sediments are marked, as well as the areas with a supposed domination of carbonate rocks. The reconstruction is limited in the time-interval between the Eocene flysch deposition and the deposition of the younger unit of coarse Eocene clastics.

If the distribution of primary plicative structures in subduction conditions and the reaction of the resistant hanging wall (R) and the connected part of the narrow zone of subduction (S), is taken as a starting-point (Fig. 23), it enables the explanation of solitary structures. Such an explanation has to account for the physical characteristics of clastic and carbonate rocks, and their susceptibility to a certain type of structural change as well as for the thickness of rock units and their initial structure.

A thicker clastic complex with a structure of either one or many parallel synclines, exposed to the subduction movement in a direction perpendicular to the strike of structures, in contact with the more stable anticlinal carbonate complex of the resistant hanging wall (R), will result in the formation of a unique, simple tectonic contact. This contact will have a form of a gently inclined reverse fault or an overthrust, such as the Kozak fault (3) that separates the Belgrad-Grižane structure from the widest flysch part of the valley. The opposite example, including a thinner clastic complex, is characterised by shallower synclines and is connected to the reverse tectonic contacts formed with steeply inclined to almost vertical fault planes, where the synclinal parts of structures lie in the footwall.

A gradual transition exists between these two extreme cases, manifested in the gradual change of the reverse faults inclination and in their throw.

In the case of "en echelon" distribution of the initial anticlinal noses in the direction of the synclinorial area, the merging of two or more faults into a single reverse fault is to be expected. Alternatively, the nose closure of the synclinal structure can produce a reverse fault, which can pass into a vertical one, to gradually disappear or pass into a flexure that becomes less and less expressed in horizontal extension (Fig. 7).



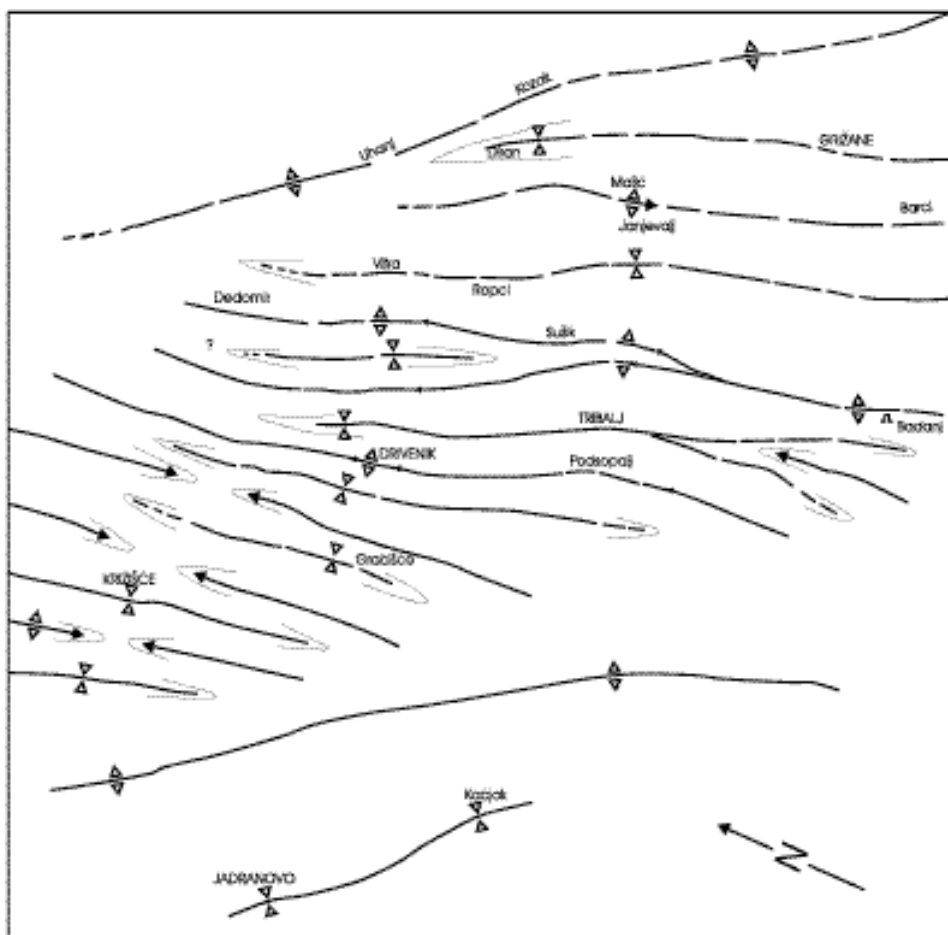


Fig. 23 Schematic palinspastic illustration of folded structures in the initial phase of the Pyrenean tectonic movements.

Sl. 23 Shematizirani palinspastički prikaz boranih struktura u početnoj fazi pirenejskih pokreta.

In the valley of Vinodol, the markedly asymmetric distribution of some chronostratigraphic units, structures and their hypsometric position, confirms the subduction of the south-western part of Vinodol (A) and the upthrow of the north-eastern side (R).

The Upper Pliocene sediments are located only along the south-western margin of Vinodol. They can be found within the tectonically closed structures and mostly in their hypsometrically lowest parts.

The tectonic contacts between the predominantly Eocene flysch and carbonate rocks on the valley sides have different hypsometric positions. The contact is notably higher close to the reverse faults of the north-eastern Vinodol margin in respect to the contact along the reverse South-western Vinodol fault (Table 1).

The Quaternary rockfall breccias are also located along the same fault contacts (Table 1). The minimal thickness (1-5 m) and distribution of breccias along the South-western Vinodol fault (4), as well as the dip angle of the weakly expressed layers (38-44°, Fig. 24a), are a consequence of the partly rotational subduction of the south-western tectonic block - the action footwall (A). The opposite side of the valley, close to the north-eastern faults, shows a greater thickness (10-25 m) and spreading of the rockfall breccias. This reflects the intensity of tectonic changes and the character of displacement. The upthrow of the carbonate com-

plex is accompanied by upthrow of the north-eastern part of the flysch valley complex. This is corroborated by the hypsometric position of the tectonic contact(-s) and especially by the dip angle (15-20°) of the Quaternary rockfall breccias. The layers can also be horizontal or even gently dipping toward the north-east (Fig. 24b).

An illustration of the development of these relationships is shown in Fig. 25.

## 5. STRUCTURAL EVOLUTION

The initial deformations are placed in the frame of the Laramian tectonic movements on the Cretaceous-Tertiary boundary. These movements were an introduction to disintegration of the carbonate platform in this part of the Dinarides. They caused the formation of gentle anticlinal and synclinal structures and a consequent relief together with emersion. The following mobility during part of the Palaeocene is manifested in the lability of the more pronounced synclinal structures, and is documented by deposition of the Kozina layers and similar sediments in depressions. Foraminiferal limestone deposition represents the relatively calm time-period that mostly corresponds to the Lower Eocene.

The deposition of clastic flysch sediments marks tectonic reactivation. This generally occurred in the

SW margin of - Vinodol SW rub- Vinodola			Profil Profil	NE margin of Vinodol- NE rub- Vinodola		
Rockfall breccias Spama breča		Limestones / flysch contact		Limestones / flysch contact	Rockfall breccias Spama breča	
Rockfall Aktivni sipar	Thickness m Debljina m				Rockfall Aktivni sipar	Thickness m Debljina m
	-	240	Krizišće	300	>5	+
	-	200	Doj Mali	280	>10	+
	-	170	Ožlak - Doj Veli	300	>10	+
	-	130	Goričine	210	>10	
	-	95	Gračišće - Drivenik	190	>10	
	-	120	Cerovići - Plešići	160	>8	
	<1	130	Kakanj - Ropoci	120	>8	
	<2	120	Rudenice - Belobrajčići	100	>5	
+	-	65?	Podsopalj- Sušik	90	-	+
+	-	150?	Sopalj - Janjeval	130	-	+
	-	50	Pijline - Pečca - Bušunje	350	>5	+
	<5	90	Staricevo - Belgrad	380	>10	+
	<5	60	Kamenjak - Grižane	300	>10	+
	<2	20-50	Badanj - Marušići	300	>10	+
	-	90	Barci - Franovići	340	>15	+
	-	120	Šarari - Papići	350	>25	+

Table 1 An overview of the above-sea-elevation of the flysch-limestone contact, active rockfalls and the thickness of the Quaternary rockfall breccias on the margins of the Vinodol valley.

Tablica 1 Pregled nadmorske visine kontakta fliš - vapnenci, aktivnih sipara i debljine kvartarnih siparišnih breča uz rubove Vinodola.

Lutetian, but in some areas was much earlier. The initial phase of this tectonic movement is interpreted as the continuation in plicative deformation of the existing fold structures. It is noted that the very subsidence of the unstable synclinal parts of folds had characteristics of subduction movement even in this initial phase. The subsidence of the unstable zone is asymmetric (the recent position of the Kozina layers), causing the translation of the depositional flysch basin maximal axis in a direction opposite to the main movement.

The younger unit of conglomeratic-sandy deposits in Vinodol unconformably overlies the flysch sediments (BLAŠKOVIĆ & TIŠLJAR, 1983) and marks the preceedingly increased tectonic activity. This activity is found to have had a clearly expressed subduction movement - the asymmetric upthrow of the anticlinal structure behind, i.e. of the resistant hanging wall - R,

and subsidence of the synclinal structures (more narrow zone of subduction - S) followed by structural changes.

The continuation of tectonic evolution can be traced in the data connected to the younger Pliocene and Quaternary sediments. Downhill of the Badanj ruin, the Pliocene sediments have a reverse tectonic contact with the Palaeogene foraminiferal limestones thus proving the post-Pliocene tectonics.

Interpretation of the time, and especially of the character of tectonic movements, was facilitated by the discovery of Upper Pliocene deposits in a "doline" south-west of the Sopalj uplift (peak 321) at an altitude of 225 m. The outcrops of the Pliocene deposits in the valley (Podsopalj) are at a level of 100-155 m above the sea. The difference in hypsometric position is interpreted to be a consequence of the subsequent movements - subsidence of the south-western part of the val-

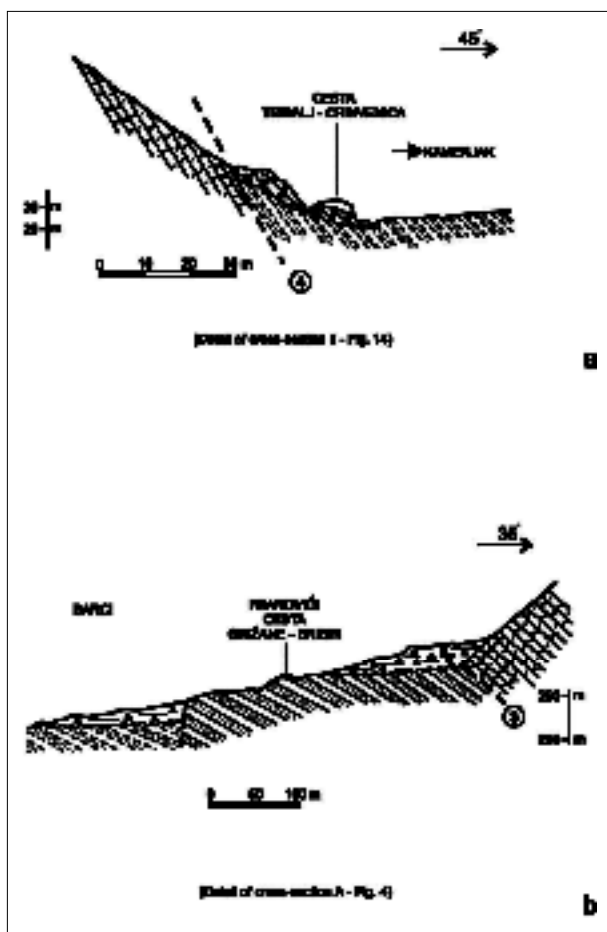


Fig. 24 Distribution of the Quaternary rockfall breccias: a) along the south-western margin of Vinodol; b) along the north-eastern margin of Vinodol. Legend as in Fig. 3.

Sl. 24 Položaj kvartarnih siparnih breča: A) uz jugozapadni rub Vinodola; B) uz sjeveroistočni rub Vinodola. Legenda: vidi sl. 3.

ley accompanied by the uplift, asymmetric folding and transversal faulting of the Cretaceous-Palaeogene anticline between the Vinodol and the sea. The mountain saddle that separates the two Pliocene outcrops is 60 m higher than the Pliocene deposits in the "doline" which means that post-Pliocene asymmetric folding and uplift also took place.

Characteristics of the Quaternary rockfall breccia, such as their composition, thickness, location and especially the structural peculiarities, provided data for reconstruction of Quaternary tectonic activity.

The interpretation of tectonic changes favours a constant character for the main movement (Fig. 25). The lesser amount of the rockfall breccias along the south-western Vinodol slope, together with their steep dip angle, confirm the rotary movement in the subsidence of the action footwall (A), as well as the tendency of subsidence of the valley flysch deposits in the immediate vicinity of the contact. On the opposite valley side, in the narrow zone of contact, the upthrow of the north-eastern Vinodol carbonate slope - the resistant hanging wall (R), conditions the upthrow, or the "pop-up" of the plastic, mostly marly flysch deposits. Conse-

quently, the pop-up of the flysch bedrock caused the reduction in dip angle of the rockfall breccias.

Therefore, the most intensive tectonic movements occurred during the Quaternary period, subsequent to deposition of the Upper Pliocene sediments.

The presently active tectonic movements are manifested in the frequency of earthquakes, and in intensive erosion (in the Slani potok area). Their expression in the field is shown in Fig. 26.

## 6. CONCLUSION

The paper has an emphasis on tectonic relations and reconstruction of tectonic evolution. The reconstruction is performed by means of the continental subduction processes. The Vinodol area is, at the same time, treated as one of the subduction zones, and as a unit that bears the characteristics of the shallow subduction process on a broader scale. Three elements are distinguished in reconstruction: action footwall (A), reaction hanging wall (R) and the more narrow zone of subduction (S). They coincide with both the palaeogeographical and palaeostructural units. The action wall corresponds to the uplifted anticlinal or monoclinical structure that is being subducted, and the reaction wall is the uplifted anticlinal structure under which the subduction takes place. Between these two zones, a markedly unstable, primarily synclinal or synclinal structure with a consequent relief is named the more narrow zone of subduction. A basic characteristic of the subduction process is the opposing vertical rotation of the two marginal parts - the subsidence of the action wall and the reaction wall uplift. The more narrow zone of subduction that lies between is characterised by a continuation of the same tendency.

The kinematic process results in formation of the structures of various types and of different intensity of deformation. In this way, the shape as well as both the vertical and horizontal extent of structural deformation in the area of tectonic contact between the action footwall (A) and the more narrow zone of subduction (S), depend on the fault plane geometry (its angle and direction of dip). On the other side, the area of contact between the reaction hanging wall (R) and the more narrow zone of subduction (S), that in this specific case has complex palaeostructural relations, is dominated by helicoidal fault systems of the reverse and even of overthrust character, arranged "en echelon" or merged. The variations in intensity of structural deformations along the both contacts are not gradual. The changes take place on intersections with the transverse and diagonal faults that have markedly horizontal displacement. In the marginal zones involved in the subduction process, these faults are mostly autonomous, but their activity in most cases ceases in the more narrow zone of subduction. Traces of the transverse and diagonal faults are often conditioned by the noses of the "en echelon" anticlinal structures.



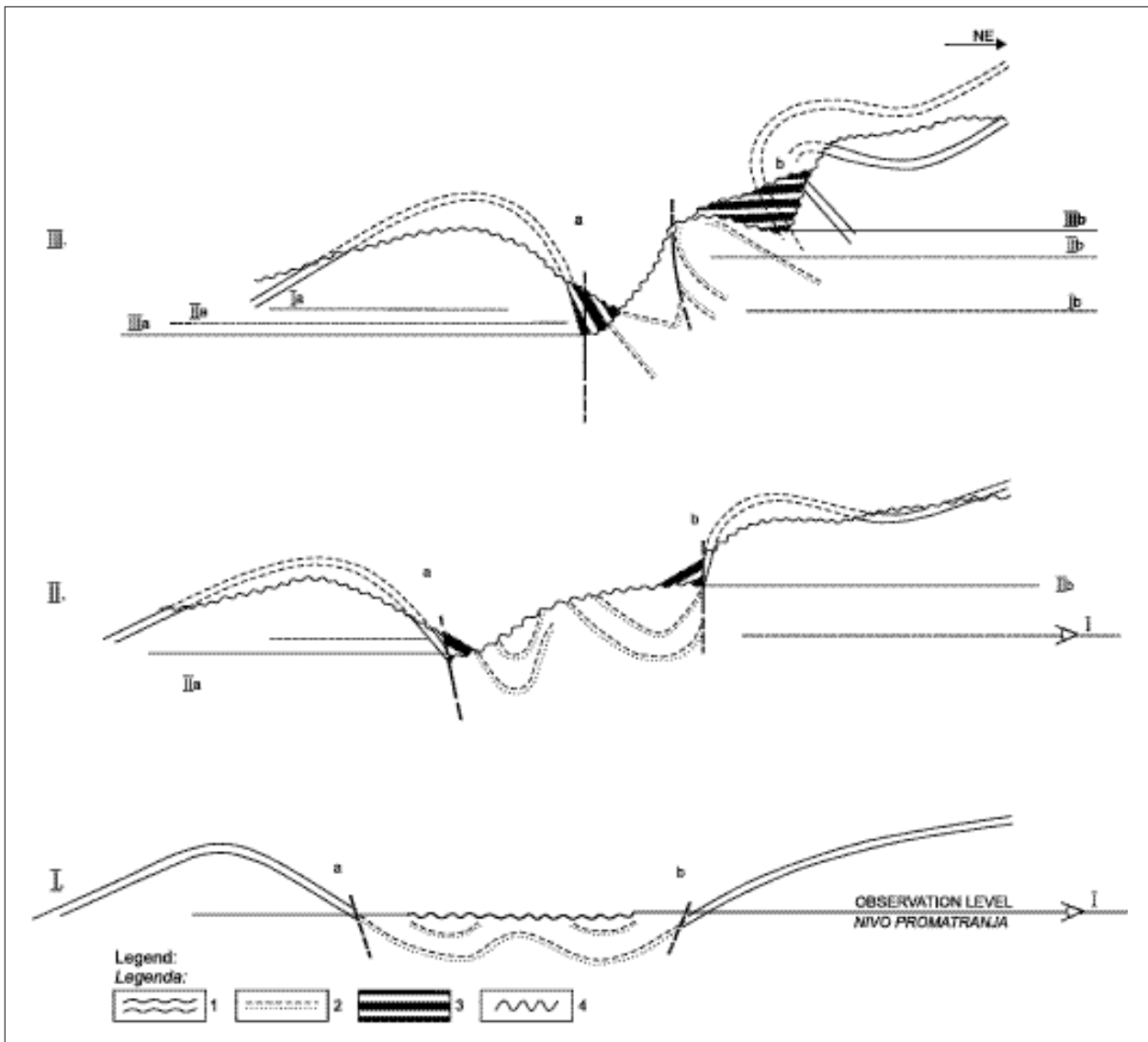


Fig. 25 Schematic and simplified succession of the structural development and changes in position of the rockfall breccias. Not to scale. Cross-section oriented SW-NE. Legend: 1) limestones; 2) flysch; 3) rockfall breccia; 4) relief.

Sl. 25 Shematski i karikirani slijed razvoja struktura i promjena položaja slojeva siparnih breča. Nije u mjerilu. Orijentacija profila SW-NE. Legenda: 1) vapnenci; 2) fliš; 3) siparna breča; 4) reljef.

The geodynamic processes have been subdivided in the three time-defined phases: 1) the gentle folded structures and a consequent relief were formed in the Laramian movements, 2) the Eocene Pyrenean movements together with subsequent ones caused formation of the tangential folded and faulted structures, and 3) they obtain a final shape by tectonic reactivation, especially in the Quaternary.

#### Acknowledgements

I would like to gratefully acknowledge the support and critical remarks that were given by Dr. Ivo VELIĆ as well as the review and useful advice from the sides of Prof. Dr. Giovanni Battista CARULLI. Assist. Prof. Dr. Bruno SAFTIĆ helped me remarkably in prepara-

tion and corrections of English text. Figures were drawn by a young colleague Jasmina OBHOĐAŠ and her effort is much appreciated. I would also like to express my thanks to my neighbour in Antovo (Vinodol), Mr. Miho JERČINOVIĆ who accompanied me during the fieldwork.

#### 7. REFERENCES

ALJINOVIĆ, B. & BLAŠKOVIĆ, I. (1981): O plohi dubokih seizmičkih horizonata sjeveroistočnog Jadrana (About the deep seismic horizon in the NE offshore Adriatic area).- Zbornik radova simp. "Kompleksna naftno-geološka problematika podmorja i priobalnih dijelova Jadranskog mora", Split (1981), 1, 363-380, Zagreb.

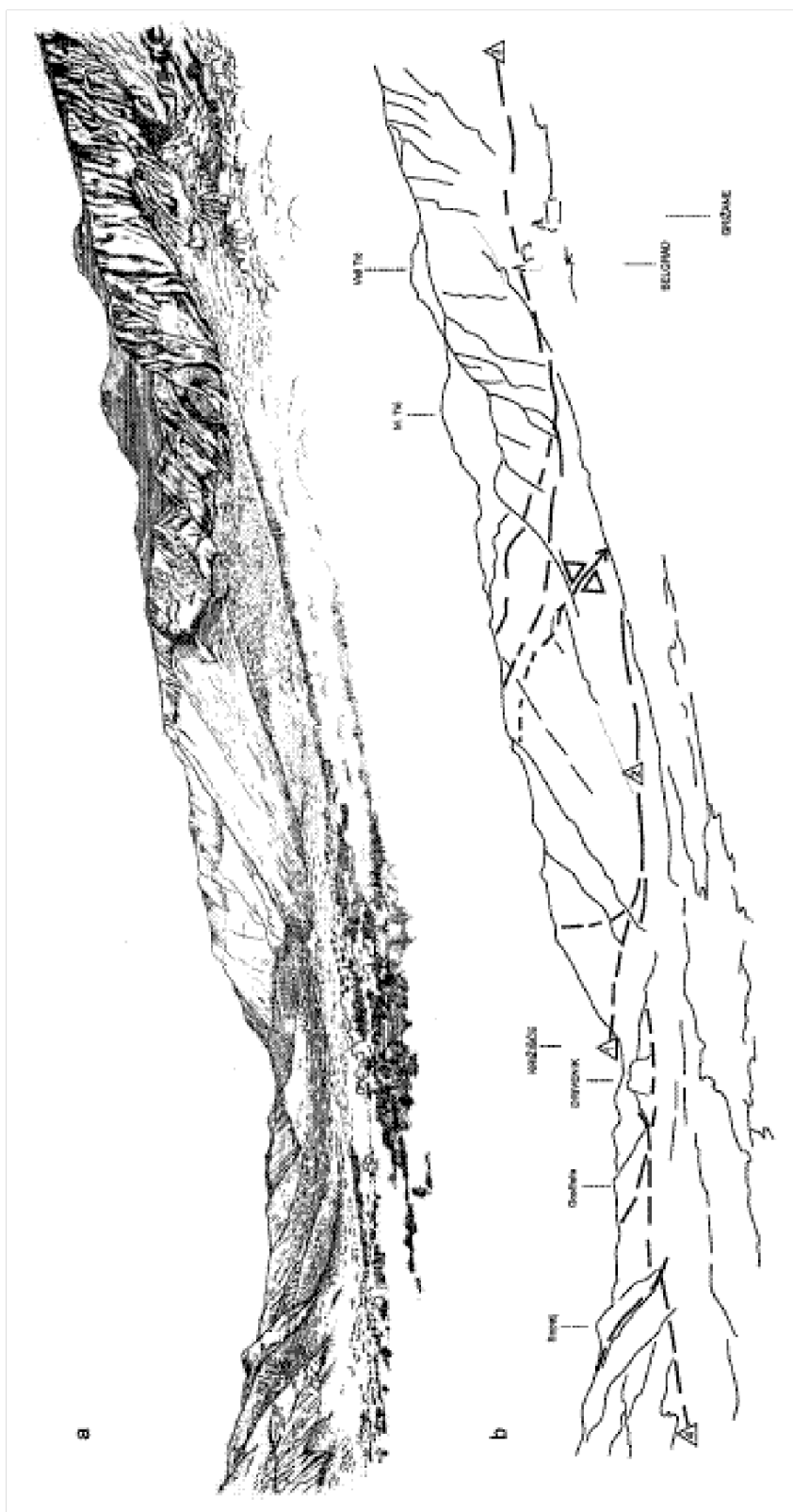


Fig. 26 a) Photo-sketch of part of the Vinodol valley study area (drawn by acad. painter S. Matić). b) Traces of the major longitudinal faults of Vinodol (1-4).

Sl. 26 a) Fotoskica dijela istraživanog područja Vinodola (izradio akad. slikar S. Matić); b) smještaj osnovnih longitudinalnih rasjeda Vinodola (1-4).

BAHUN, S. (1963): Geološki odnosi okolice Donjeg Pazarišta u Lici (Trijas i tercijarne Jelar-naslage) (Geological relations of the surroundings of Donje Pazarište in Lika (Croatia)).- Geol. vjesnik, 16, 161-170.

BAHUN, S. (1974): Tektogeneza Velebita i postanak Jelar-naslaga (The tectogenesis of Mt. Velebit and

the formation of Jelar-deposits).- Geol. vjesnik, 27, 35-51.

BLAŠKOVIĆ, I. (1983): O rasprostranjenosti i položaju pliocenskih i kvartarnih taložina u Vinodolu (About distribution and position of Pliocene and Quaternary sediments at Vinodol).- Geol. vjesnik, 36, 27-35.

- BLAŠKOVIĆ, I. (1991): Raspored uzdužnih, reversnih i normalnih rasjeda i konstrukcija oblika i dubina ploha podvlačenja (Disposition of the longitudinal, reverse and normal faults and the construction of the forms and depths of the underthrusting surfaces).- *Geol. vjesnik*, 44, 247-256.
- BLAŠKOVIĆ, I. (1997): The helicoidal fault systems of Vinodol and their genesis.- *Geol. Croatica*, 50/1, 49-56.
- BLAŠKOVIĆ, I. & ALJINOVIĆ, B. (1981): Mikrotektonski elementi kao osnova za model tektonske građe šireg područja Kvarnera (Microtectonic elements as a basis for tectonic model of the broader Kvarner area).- *Zbornik radova simpozija "Kompleksna naftogeološka problematika podmorja i priobalnih dijelova Jadranskog mora"*, Split (1981), 1, 87-100, Zagreb.
- BLAŠKOVIĆ, I. & TIŠLJAR, J. (1983): Prominske i Jelar naslage u Vinodolu (Hrvatsko primorje) (Promina and Jelar deposits in the Vinodol area).- *Geol. vjesnik*, 36, 37-50.
- ČUBRILOVIĆ, V. (1938): Geološki sastav Vinodola i okoline (Geologischer Bau des Vinodol und Umgebung).- *Vesn. geol. istr. kralj. Jug.*, VII, 115-33, Beograd.
- DRAGIČEVIĆ, I., BLAŠKOVIĆ, I., TIŠLJAR, J. & BENIĆ, J. (1992): Stratigraphy of Paleogene strata within the Mesihovina-Rakitno area (Western Herzegovina).- *Geol. Croatica*, 45, 25-52.
- GRIMANI, I., ŠUŠNJAR, M., BUKOVAC, J., MILAN, A., NIKLER, L., CRNOLATAC, I., ŠIKIĆ, D. & BLAŠKOVIĆ, I. (1973): Osnovna geološka karta SFRJ, 1:100.000, Tumač za list Crikvenica L33-102 (Geology of the Crikvenica sheet 1:100.000).- *Institut za geološka istraživanja, Zagreb (1963), Savezni geološki zavod, Beograd*, 47 p.
- HERAK, M. (1980): Sustav navlaka između Vrbovskog i Delnica u Gorskom Kotaru - Hrvatska (The nappe-system between Vrbovsko and Delnice in Gorski Kotar - Croatia).- *Acta geol.*, 10/2, 35-51, Zagreb.
- KADIĆ, O. (1913): Bericht über die im Jahre 1911 im Kroatischen Karst ausgeführten Kartierungen.- *Jahresbericht Ungar.-geol. R.A. (1911)*, 87-92, Budapest.
- KADIĆ, O. KORMOS, I. & VOGL, V. (1912): Die geologische Verhältnisse des ungarisch-kroatischen Küstenlandes zwischen Fiume and Novi.- *Jahresbericht Ungar. Geol. RA. (1910)*, 78-83, Budapest.
- KOCH, F. (1922): Pliocenske paludinske naslage Vinodola u Hrvatskom primorju (Die pliozänen Paludinen-schichten im Vinodol im kroat. Küstengebiet).- *Glasn. hrv. prir. društva*, 34, 2, 187-193, Zagreb.
- KOCH, F. (1924): Geotektonische beobachtungen im Alpino-Dinarischen grenzgebiete.- *Zbornik radova posv. J. Cvijiću*, 341-358, Beograd.
- KORMOS, T. (1914): Die der Küste zugewendete Lehne der Grossen Kapella zwischen Novi und Stalak.- *Jahresbericht. Ungar. geol. Ges.*, (1913), 69-79, Budapest.
- MATOUŠEK, O. (1927): Problems of thrust-folding on the northern islands in the Adriatic sea.- *Compte-Rendu*, 14, Congr. géol. intern. (1926), 3-5, Madrid.
- SALOPEK, M. (1960): Prilog poznavanju geološke građe Vinodola (Beiträge zur Kenntnis des geologischen Baues von Vinodol (im kroatischen Küstenland)).- *Acta geol.*, II, 139-161, Zagreb.
- STACHE, G. (1889): Die Liburnische Stufe und deren Grenzhorizonte.- *Abhandl. geol. Reichsanst.*, 13, 1-170, Wien.
- ŠUŠNJAR, M., BUKOVAC, J., NIKLER, L., CRNOLATAC, I., MILAN, A., ŠIKIĆ, D., GRIMANI, I., VULIĆ, Ž. & BLAŠKOVIĆ, I. (1970): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. List Crikvenica, L33-102 (Basic geological map SFRJ, Crikvenica sheet).- *Inst. geol. istraž. Zagreb (1961-1969), Savez. geol. zavod, Beograd*.
- VOGL, V. (1912): Die Fauna Eozänen Mergel im Vinodol in Croatien.- *Jahrb. Ungar. geol. R.A.*, 20/2, 81-114, Wien.

Manuscript received November 10, 1997.

Revised manuscript accepted November 12, 1999.

## Tektonika dijela Vinodola u svjetlu subdukcije kontinentalne kore

Ivan BLAŠKOVIĆ

### 1. UVOD

Morfološki vrlo upečatljiva Vinodolska dolina privlači pažnju geologa kroz više od 100 godina. Stratigrafski i tektonski obrađena, u tektonskom smislu različito je tretirana, osobito u pojedinim detaljima. I sada još pruža nove podatke o geološkom sastavu i građi koji dopuštaju daljnje interpretacije (sl. 1).

Već u radovima starijih geologa (STACHE, 1889; KADIĆ, 1913; KORMOS, 1914 i dr.) istaknuta je osnova geološkog sastava i građe. Sinklinalno položene mlađe paleogenske flišne naslage stiješnjene su vapnenačkim stijenama starijeg paleogena i gornje krede u usku dolinu pružanja sjeverozapad-jugoistok. Kontakti između flišnih i vapnenačkih stijena su najvećim dijelom rasjedni, s izraženim reverznim karakterom rasjedanja uz dio sjeveroistočnog oboda, osobito u jugoistočnom dijelu doline. Vapnenačke stijene između Vinodola i mora formiraju asimetričnu antiklinalu sa strmijim sjeveroistočnim krilom. U jezgri antiklinale su cenomanske vapnenačko-dolomitne naslage, a na krilima, u kontaktu s flišom, foraminiferski vapnenci starijeg i dijelom srednjeg paleogena (sl. 2 i 3). Sjeveroistočne padine Vinodola, također izgrađene od gornjokrednih vapnenaca i dolomita te paleogenskih foraminiferskih vapnenaca, kompleksnije su tektonske građe. U sjeverozapadnom dijelu Vinodola, između Križišća i Triblja, predstavljene su strmije ili blaže položenim jugozapadnim krilom kredno-paleogenske antiklinale. Jugoistočno od Triblja, preko Grižana i dalje prema Novom, strme do okomite vrleti sjeveroistočne padine rezultat su razorenog tjemena prema jugozapadu prebačene krednopaleogenske antiklinale. Ona je u reversnom rasjednom kontaktu s paleogenskim flišom Vinodola. Vapnenačke naslage sjeveroistočnih padina nastavljaju se prema sjeveroistoku u mezozojski kompleks Gorskog Kotara.

Na prvi pogled jednostavnu sinklinalno-antiklinalnu strukturnu shemu Vinodola kompliciraju mnoge pojave, do sada nejednoznačno objašnjene. To su u prvom redu normalni i reverzni rasjedi dinarskog pružanja, najočitiiji uz kontakte vapnenačkih stijena i flišnih naslaga. Zbog njih je Vinodol u dijelu literature tretiran kao tektonska graba (KOCH, 1924; SALOPEK, 1960).

Kompleksnosti struktura pridonose i manje pojave unutar same Vinodolske doline. Morfološki istaknuto brdo Drivenik, izgrađeno od gornjokrednih vapnenaca, izbija iz flišnih paleogenskih naslaga usred doline. Sâm postanak Drivenika tretiran je u tektonskom smislu različito: od strukture horsta do fragmenta navlake (KOCH, 1924; MATOUŠEK, 1927; SALOPEK, 1960). Nadalje, pojava antiklinalno svijenih paleogenskih foraminiferskih vapnenaca istočno od Triblja (Humac, kota 101), koja izbija iz flišnih paleogenskih naslaga, a podsjeća na Drivenik, nije posebno objašnjavana (SALOPEK, 1960).

Položaj flišnih naslaga u neposrednoj okolini Drivenika, te jugoistočnije u predjelu Kostelj-Kamenjak, a u vezi s izbijanjem na površinu foraminiferskih vapnenaca u predjelu Kamenjaka i istočno od građine Badanj, povod je za pretpostavku o sekundarnim izoklinalnim borama unutar flišnih naslaga (ČUBRILOVIĆ, 1938). O sekundarno boranom fliš-

nom kompleksu Vinodola svjedoče i podaci o položaju slojeva dobiveni bušenjem u predjelu Sušik-Tribalj.

I drugi podaci o sastavu i građi Vinodola, šireg značaja ili u pojedinim detaljima, od prije poznati kao i novi, proširuju saznanja i povećavaju interes za daljnjim istraživanjima u cilju odgovora na neriješena pitanja, upućujući na određena objašnjenja načina i vremenskog slijeda formiranja struktura i paleogeografskih odnosa.

Evo ukratko tih podataka.

- Paleocenski vapnenci, s osobitostima kozinskih naslaga, utvrđeni su u maloj debljini na niz lokaliteta isključivo na sjeveroistočnoj strani Vinodola (KADIĆ et al., 1912; ČUBRILOVIĆ, 1938).
- Širina pojasa paleogenskih flišnih naslaga Vinodola skokovito se mijenja; između Križišća i Drivenika iznosi 350-750 m, povećava se u području Drivenika i osobito između Drivenika i Triblja do približno 1500 m. Jugoistočno od linije Sopalj-Janjevalj-Bašunje naglo je povećanje na 2250-2500 m.
- Unutar paleogenskih klastičnih sedimenata Vinodola moguće je izdvojiti dvije razine; starija, rasprostranjena u cijeloj dolini, tipični je kompleks flišnih naslaga srednjeg do gornjeg eocena (GRIMANI et al., 1973). Mlada je predstavljena krupnozrnastijim klastitima, konglomeratično-pješčano-laporovitim sedimentima i odgovara Prominskim naslagama (BLAŠKOVIĆ & TIŠLJAR, 1983). Utvrđena je jugoistočno od Drivenika, u dubokim provalijama Vitra i Pihlja, te na potezu Antovo-Belgrad-Grižane. Kao vremenski ekvivalent mlađih klastita, pretpostavljeni su i drugi litotipovi, kao što su lapori u izmjeni s vapnencima, fosiliferi vapnenci s grebenskom faunom, te dijelom i vapnenačke breče Jelar-naslaga.
- Nalazi mlađeg nivoa flišnih pješčenjaka, duboko unutar kredno-paleogenskih vapnenaca sjeveroistočnog oboda doline (Pihlja i Vitra), uz strukturne elemente, jasno govore o znatno kompliciranijim tektonskim odnosima. U prilog kompleksnijih tektonskih odnosa govori i duboko uvlačenje flišnih naslaga unutar vapnenačkih stijena u predjelu Diran, istočno od Triblja.
- Gornjopliocenski sedimenti smješteni su i sačuvani od erozije uz jugozapadni rub Vinodola (KOCH, 1922; ČUBRILOVIĆ, 1938), u tektonski najintenzivnije poremećenim predjelima. To, kao i podatak o reverznom rasjednom kontaktu paleogenskih foraminiferskih vapnenaca i paludinskih gornjopliocenskih klastičnih naslaga u predjelu građine Badanj (BLAŠKOVIĆ, 1983) govori o vremenu i karakteru rasjedanja. Ovom potonjem pridonosi i nalaz pliocenskih naslaga u ponikvi jugozapadno od vrha Sopalj, na primorskoj strani grebena između Vinodola i mora.
- Daljnji prilog za poznavanje tektonske aktivnosti predstavljaju i podaci o različitoj debljini, hipsometrijskoj razini te položaju slojeva kvartarnih siparnih breča sjeveroistočnih i jugozapadnih strana doline.
- I tektonski elementi upućuju na kompleksnost struktura. Jasno su izražene suprotne vergencije osnovnih strukturnih jedinica Vinodola (kredno-paleogenskih antiklinala sjevero-

roistočnih i jugozapadnih padina), kao i vergencije reverznih rasjeda unutar samog Vinodola.

Navedeni podaci su odredili i predjele detaljnijeg istraživanja. To je šire područje Vinodola između Križišća i Bribira, odnosno uži dio doline između Drivenika i Grižana. Prirodno, pri tome su obuhvaćeni i predjeli između Vinodola i mora, kao i sjeveroistočne padine.

## 2. STRATIGRAFSKE I STRUKTURNE ZNAČAJKE ISTRAŽIVANOG PODRUČJA

Sjeveroistočna strana Vinodola izgrađena od gornjokredno-paleogenih karbonata. Oni su u kontaktu s flišnim sedimentima doline. Detaljnija analiza položaja slojeva, posebno nagiba, karbonatnih stijena ukazuje na kompleksnost tektonske građe (sl. 4). Na potezu padine od Križišća do Grižana i dalje jugoistočno, moguća je podjela na dijelom autonomne strukturne jedinice nižeg reda. Granice između njih uglavnom su na dijagonalnim rasjednim zonama (sl. 5).

Dio padine Vinodola, sjeverozapadno od rasjeda Ropci-Dedomir (2), označen je kao strukturna jedinica **Križišće-Petrinovići**. Paleogeni i gornjokredni vapnenci nagnuti su prema jugozapadu pod kutem od 45-60°, s tim da veličina nagiba opada idući prema vrhu padine odnosno zaravni sjeveroistočno. Na samom platou, prema podacima o položaju slojeva smještena je jezgra kose antiklinale, sa strmijim jugozapadnim krilom.

Srednji dio sjeveroistočne padine, između rasjeda Ropci-Dedomir (2) i rasjeda Kozak (3), te Bašunje-Janjevalj, označen je kao strukturna jedinica **Ropci-Malić**. U najvećem dijelu karbonatne padine nagib slojeva prema jugozapadu je između 25-30°, iznimno do 50°. Minimalni nagibi slojeva su uz dio kontakta s flišnim naslagama doline. U uskom pojasu hipsometrijski najviših litica sjeveroistočnog oboda nagli je prijelaz u obliku koljeničastog svijanja; maksimalni je nagib slojeva 60-80° pa i 90°. Na pripadajućem platou se na maloj udaljenosti zapaža promjena položaja slojeva; nagnuti su prema sjeveroistoku pod kutem od 20-25°.

Spomenuto fleksurno svijanje slojeva sve je izrazitije idući u smjeru jugoistoka. Dokumentirano je i metarskim strukturama (sl. 6a). U nastavku pružanja prema jugoistoku fleksura prelazi u sinklinalnu strukturu dijelom sačuvanu u području Diran, odnosno u istoimeni reverzni rasjed jugozapadne vergencije. Kompleks karbonatnih sedimenata jugozapadno od fleksure, na području brda Malić (kota 298), zauzima antiklinalni položaj (sl. 7 i 8).

Treća strukturna jedinica sjeveroistočne padine Vinodola, **Belgrad-Grižane**, nastavlja se i dalje prema jugoistoku. Smještena je istočno od reverznog rasjeda Kozak (3). Karakterizirana je prebačenim slojevima gornjokrednih i paleogenih vapnenaca koji su nagnuti prema sjeveroistoku pod kutem od 25-30°. S obzirom na inverzan slijed naslaga rekonstruirana je prema jugozapadu prebačena izoklinalna antiklinala. Razoreno tjeme antiklinale tvori vrlo strme do okomite vrleti sjeveroistočne padine na pružanju te strukturne jedinice. Samo prebacivanje antiklinalne strukture zapaženo je mnogo sjeverozapadnije. U starom kamenolomu, na platou između Razromira i vrha Zebur, cenomansko-turonski vapnenci i dolomiti izgrađuju prebačenu antiklinalu dekameterskih dimenzija (sl. 6b).

Granice između tih strukturnih jedinica su rasjedne, uglavnom s reverznim karakterom rasjedanja.

**Rasjed Križišće-Petrinovići (1)** je između vapnenaca gornje krede i dijelom paleogena i srednjoeocenskog fliša. Jasno je uočljiv izrazitom stepenicom u reljefu, uglavnom

pravocrtnog pružanja. Rasjedna ploha strmo je nagnuta prema jugozapadu ili pak okomita u dostupnom dijelu promatranja. Nagibi slojeva fliša prema sjeveroistoku te uglavnom prebačeni slojevi pretežno gornjokrednih vapnenaca na potezu Križišće-Veli Dol, nagnuti u istom smjeru, nedvojbeno potvrđuju reverzni karakter rasjedanja.

**Rasjed Ropci-Dedomir (2)** je označen, osim promjenom položaja slojeva u strukturnim jedinicama i drugim pokazateljima (sl. 4, 5 i 9). To su značajna translacija transgresivne granice između gornjokrednih i paleogenih vapnenaca, formiranje dviju "provalija" Pihlja i Vitra s nizom relevantnih podataka, te utvrđena gornjokredna antiklinala jugozapadno od Vitre.

Spomenute provalije Pihlja i Vitra su u foraminiferskim vapnencima sjeveroistočnog oboda Vinodola. Morfološki su jasno označene: Pihlja, kao duboko urezana dolina na rasjednoj zoni, i posebno Vitra kao provalija poligonalnog tlocrta s dubinom od 20-30 metara. Okomito odrezanim stijenama - zidovima, zaštićena od vjetrova, karakterizirana je izvanredno bujnom vegetacijom, neuobičajenom za krško područje. Pretežno je zastupljena hrastova šuma sa zavidnim dimenzijama jedinki s obzirom na visinu i obujam.

U Vitri, na okomitim je zidovima dostupna promatranju i sama rasjedna ploha. Nagnuta je prema istoku pod kutem od 45°. Markirana je promjenom položaja slojeva u foraminiferskim vapnencima podinskog i krovinskog krila rasjeda kao i njihovim litološkim osobitostima. Naime, više razine foraminiferskih vapnenaca karakterizirane su znatnim povećanjem glinovite komponente i prelaze u lapore sa čestom pojavom rožnjaka. Upravo pojas takvih laporovitih vapnenaca s rožnjacima, kao podinsko krilo rasjeda reverznog karaktera, utvrđen je na potezu od Pihlje preko Vitre sve do kontakta s flišom Vinodola jugoistočno od Vitre. Na reverzni rasjed upućuju i drugi podaci prikupljeni u Pihlju i Vitri. U njima su, na nadmorskoj visini od 320 odnosno 340 metara, utvrđeni sekundarno krupnozrnasti pješčenjaci i lapori, a u Vitri i primarni lapori uz pojavu vode, identični onima iz mlađe razine paleogenih klastita (BLAŠKOVIĆ & TIŠLJAR, 1983). Ti nalazi su smješteni oko 150 metara iznad najviše točke fliških naslaga pripadajućeg dijela doline.

O karakteru i pružanju rasjeda, te kompleksnosti strukturnih odnosa sjeveroistočne padine Vinodola, govori i pojava gornjokrednih vapnenaca u uskom pojasu jugozapadno od Vitre. Utvrđena je sekundarna antiklinalna struktura, u pružanju presječena poprečnim i dijagonalnim rasjedima. Tom pojavom narušena je slika kontinuiteta foraminiferskih vapnenaca u građi jugozapadnog krila antiklinalne strukture sjeveroistočne padine Vinodola, kao i cjelovitost same strukture.

Utvrđeni reverzni rasjed Ropci-Dedomir, u produženju pružanja prema jug-jugoistoku jasno je uočljiv kao granični kontakt između karbonatnih stijena strukturne jedinice Ropci-Malić i fliša Vinodola. Prema sjever-sjeverozapadu se ne može pratiti u monotonom gornjokrednom karbonatnom kompleksu na platou iznad Vinodola.

Na relaciji Mahavice-Diran odnosno Kozak, dva rasjeda istog karaktera stapaju se u predjelu Bašunje u jedinstveni reverzni rasjed Kozak (3). Oni odjeljuju strukturne jedinice Ropci-Malić i Belgrad-Grižane (sl. 5 i 7). U nastavku prema jugoistoku rasjed Kozak je znatno izrazitiji i predstavlja granicu između gornjokredno-paleogenih vapnenaca strukturne jedinice Belgrad-Grižane i srednjoeocenskog fliša Vinodola. U najvećem dijelu njegova pružanja, osobito jugoistočno od Dirana, jasno je izražen reverzni karakter rasjedanja. Uglavnom prebačeni gornjokredni i paleogeni vapnenci nagnuti su na srednjoeocenski fliš. Sjeverozapadno od Dirana

odnosno Kozaka do predjela Mahavice evidentno je ustrmjivanje rasjedne plohe do okomitog položaja, pa i prebacivanje.

**I jugozapadna granica** karbonatne padine Vinodola, na potezu Križišće-Janjevalj, prema fliškim naslagama doline je rasjedna s reverznim karakterom kretanja. Rasjedni kontakt je na mnogim mjestima pokriven siparnim brečama i nije u svim strukturnim jedinicama jasno definiran. Na prvi pogled jedinstven za strukturne jedinice Križišće-Petrinovići i Ropci-Malić, predstavlja stopljen produžetak dijagonalnih graničnih rasjeda Križišće-Petrinovići i Dedomir-Ropci (sl. 5). Na mjestima gdje je dostupan promatranju, rasjedni kontakt je morfološki istaknut u obliku oštre i visoke stepenice. Slojevi flišnih pješčenjaka nagnuti su prema sjeveroistoku, a foraminiferski vapnenci karbonatne padine prema jugozapadu. Indikativno je i povijanje slojeva foraminiferskih vapnenaca: približavajući se kontaktu slojevi su sve većeg nagiba (sl. 10). Nasuprot tome, na potezu Sušik-Janjevalj, u direktnom su kontaktu, s gotovo sukladnim položajem slojeva, najmlađi članovi foraminiferskih vapnenaca i flišnih lapora. Kontakt djeluje kao normalni konkordantni slijed. No, i ovdje se pretpostavlja rasjedni kontakt, iako nije obavljena detaljnija stratigrafska analiza sa ciljem utvrđivanja vremenskog kontinuiteta. Osnova za tu pretpostavku nalazi se u činjenici da je ta granica u širem prostoru Vinodola karakterizirana reverznim rasjedom i drugo, u prilog takovog rasjeda govori i povijanje slojeva foraminiferskih vapnenaca neposredno uz kontakt, kako je i gore opisano. Sukladan položaj slojeva obaju krila rasjeda može biti i posljedica karaktera strukturnih deformacija, o čemu će još biti riječi.

Nakon opisa graničnih rasjeda strukturnih jedinica, a i pregleda sličnih ističu se njihove zajedničke karakteristike (sl. 11), t.j. helikoidalni oblik (BLAŠKOVIĆ, 1997). Pružanje rasjeda je sigmoidalnog ocrta. Na platou sjeveroistočno od Vinodola je dinarsko s prijelazom u dijagonalno na karbonatnoj padini, te stapanjem dva ili više rasjeda u jedinstveni rasjed dinarskog pružanja na granici karbonatnog kompleksa s flišom Vinodola. Istim smjerom odvija se i promjena nagiba paraklaza te mogućnost njihova identificiranja: od gotovo vertikalnog položaja paraklaze se postupno naginju prema sjeveroistoku sve do 60-50°, odnosno 30-25°. Sa smanjenjem nagiba paraklaza raste intenzitet reverznog rasjedanja.

Poprečni rasjedi, s pružanjem sjeveroistok-jugozapad, su brojni i uglavnom su to rasjedi s vertikalnom paraklazom i horizontalnim kretanjem krila. Od njih se ističu oni u predjelima Pihlja i Vitra, te osobito rasjed Bašunje-Janjevalj, koji dijelom predstavlja i jugoistočnu granicu strukturne jedinice Ropci-Malić.

Sama dolina je izgrađena pretežno od flišnih naslaga eocenske starosti. Valja istaknuti i neke detalje krono- i litostratigrafskih kao i tektonskih osobitosti tih sedimenata u drugih stijena u dolini.

Stariji dio flišnih sedimenata je predstavljen tipičnom izmjenom pješčenjaka i znatno više zastupljenih lapora. Sadrži bogatu fosilnu faunu velikih foraminifera, dijelom identičnu onoj iz foraminiferskih vapnenaca. No, u neposrednoj blizini Drivenika unutar krupnozrnastih pješčenjaka i manje lapora, uz pretaložene alveoline, numulite i asiline, bogata je fauna litoralnog područja s brojnim primjercima antozoa, ehinida, brahiopoda, lamelibranchiata i gastropoda (VOGL, 1912).

Mlađi dio sedimenata flišnog tipa diskordantno leži na starijoj razini (BLAŠKOVIĆ & TIŠLJAR, 1983). Sastoji se od konglomerata, konglomeratičnih i krupnozrnastih biokalkarenita te litičnih arenita. Bogati su fosilima. Osim brojne pretaložene makrofaune i foraminifera iz starijeg fliša sadrže i

autohtonu fosilnu faunu gastropoda i lamelibranchiata. Na temelju fosilnog sadržaja pretpostavlja se gornjoeocenska starost mlađeg dijela klastita Vinodola.

Tektonski položaj starijih flišnih sedimenata Vinodola određen je rubnim, reverznim rasjedima na dodiru s vapnenačkim stijenama sjeveroistočne i jugozapadne padine. U samoj dolini su izmjereni položaji slojeva nagnuti prema sjeveroistoku ili jugozapadu, s veličinom nagiba od 30-60°. Oni daju osnovu za rekonstrukciju boranih struktura: antiklinala i sinklinala od uspravnih i kosih, odnosno prebačenih te normalnih do izoklinalnih.

Posebnost u morfologiji i geologiji Vinodola predstavljaju istaknute i osamljene pojave uzvišenja izgrađenih iz gornjokrednih (Drivenik) i foraminiferskih vapnenaca (Humac kota 101, istočno od Triblja), u dijelom zaravnjenom, flišnom, reljefu. Foraminiferski vapnenci pojavljuju se i kao jezgre antiklinala u predjelima Kamenjak i Badanj.

Male površine, ali uočljiv visinom i oblikom, Drivenik je jedan od središnjih, različito objašnjavanih geoloških osobitosti Vinodola (sl. 12). Izgrađen je uglavnom od gornjokrednih rudistnih vapnenaca i okružen eocenskim flišnim naslagama. Oštre i strme padine Drivenika i tektonske breče ukazuju na rasjedne kontakte vapnenaca i fliša. Iako je sigurno određivanje položaja slojeva onemogućeno mnogobrojnim pukotinama i ograničenim površinama promatranja, na jugoistočnim padinama Drivenika, podno ograde groblja, nazire se blago antiklinalno svijanje slojeva rudistnih vapnenaca. Potkrijepljeno je i identičnim položajem sloja tamnije smeđe boje unutar gotovo bijelih rudistnih vapnenaca. Na antiklinalnu strukturu još jasnije upućuju nalazi baznih transgresivnih paleogenskih breča na jugozapadnoj, i gotovo bijelih alveolinskih vapnenaca uz transgresivne breče na sjeveroistočnoj padini Drivenika. U prilog i paleogeografski izdignutog oblika indirektno govore spomenuti podaci, bogata fosilna zajednica litoralne sredine (VOGL, 1912), u vrijeme taloženja flišnih naslaga starijeg nivoa, te grebrenski vapnenci i numulitne breče mlađeg nivoa klastičnih naslaga (BLAŠKOVIĆ & TIŠLJAR, 1983) na jugoistočnim padinama Drivenika.

Morfološki istaknuto uzvišenje Humac, stožastog oblika, istočno od Triblja (kota 101), izgrađeno je iz foraminiferskih vapnenaca. Okruženo je flišnim naslagama. Položaj slojeva vapnenaca omogućuje rekonstrukciju normalne antiklinalne (SALOPEK, 1960). Bez elemenata čela strukture, i s obzirom na dimenzije i flišno okruženje, to uzvišenje predstavlja fragmente antiklinalne dinarskog pružanja, izdignut uz poprečne rasjede.

Izdanci foraminiferskih vapnenaca u flišnom okruženju utvrđeni su i u predjelu jugozapadno od naselja Kamenjak. Tektonski su poremećeni i nejasnog položaja, no u literaturi su tretirani kao jezgra prebačene izoklinalne antiklinalne (ČUBRILOVIĆ, 1938). Formiraju zamjetljivu stepenicu u reljefu.

U vododerini potoka Malenica uz kamenolom Badanj, foraminiferski vapnenci s krovinskim flišnim sedimentima nagnuti su prema sjeveroistoku kao jezgra prebačene izoklinalne antiklinalne (sl. 13).

Glinovito-siltozne taložine pliocenske starosti utvrđene su na manjim površinama u jugozapadnom dijelu doline, kod lokaliteta Katići, Cerovići i Badanj (KOCH, 1922; ČUBRILOVIĆ, 1938; BLAŠKOVIĆ, 1983) Sačuvane su od trošenja zahvaljujući uglavnom tektonski formiranim, zatvorenim udubljenjima, u kojima su smještene.

Kvartarne siparišne breče, osobito one smještene uz rubove doline, uz kontakt fliša Vinodola i vapnenačkih padina zaslužuju posebno isticanje. Površinski i debljinom znatnije su zastupljene uz sjeveroistočni rub Vinodola, prateći intenzitet

poremećaja karbonatne padine. Na mjestima većih izdanaka jasno je izražena gruba kosa slojevitost. U blizini naselja Ropci i Petrinovići, siparišne breče su blago nagnute prema jugozapadu, pod kutom od 15-20°. Na znatno većem pozajmištu materijala (Franović) slojevi siparišnih breča su gotovo horizontalni ili vrlo blago nagnuti prema dolini ili čak sjeveroistoku. Uz jugozapadni rub Vinodola istovrsne breče, u znatno manjoj debljini, ustanovljene su kod naselja Katići i Stranča te ispod gradine Badanj. Gruba uslojenost, pokazuje nagib prema sjeveroistoku pod kutom od 38-44°.

Istaknuti greben između Vinodola i mora je asimetričnog oblika i strukturne građe. S prosječnim visinama od 300-350 metara, blago je nagnut prema moru te sa strmim padinama prema Vinodolu. Izgrađen je pretežno iz gornjokrednih vapnenaca i dolomita te paleogenskih foraminiferskih vapnenaca. U strukturnom pogledu predstavlja kosu antiklinalu sjeveroistočne vergencije, s blago nagnutim jugozapadnim krilom od 25-35° te strmije položenim sjeveroistočnim krilom, od 30-55°. Sjeveroistočno krilo strukture odnosno padine grebena izgrađene su pretežno iz foraminiferskih vapnenaca. Oni tvore jugozapadnu stranu odnosno rub Vinodola.

Duž cijelog ruba markantan je rasjedni kontakt (Jugozapadni vinodolski rasjed - 4) između pretežno foraminiferskih vapnenaca i fliša doline (sl. 14), no mjestimično s interesantnim detaljima.

Tako pažnju zaslužuju odnosi u usjeku ceste Grižane-Crikvenica u kanjonskom dijelu potoka Malenica, gdje dolazi do sukobljavanja struktura suprotnih vergencija, jugozapadnog ruba doline i same doline (sl. 13). Rasjedna ploha kontakta između foraminiferskih vapnenaca jugozapadne padine i fliša Vinodola nagnuta je prema zapad-jugozapadu pod kutom od 50° s okomitim tektonskim prutanjem. Foraminiferski vapnenci krovinskog krila rasjeda, leže na tektonski oštećenim flišnim laporima. Istočno-sjeveroistočno, skoro paralelno ovom rasjedu, na maloj udaljenosti, utvrđen je reverzni rasjed suprotne vergencije, s promjenljivim elementima položaja po pružanju (od 26°/82° do 35°/10°). Tim rasjedom u kontaktu su flišni sedimenti kao podinsko krilo i na njima mlađi, numulitni nivo foraminiferskih vapnenaca, kao vjerojatni izbojak antiklinalnog niza izoklinalne serije unutar flišnih naslaga Vinodola (Kamenjak-Kostelj), u smislu shvaćanja struktura prema ČUBRILOVIĆU (1938).

Ovdje valja istaknuti detalje rasjedne plohe, odnosno promjene veličine njezinog nagiba. Sukladno smjeru nagiba orijentirana tektonska prutanja, određuju vertikalno kretanje u paraklazu. Za naknadna razmatranja indikativna je zaobljenost paraklaze: nagnuta prema sjeveroistoku, u hipsometrijski najvišem dijelu najstrmije je položena (82°). Spuštajući se do razine ceste nagib paraklaze postupno se smanjuje sve do 50°, a lateralno, i na maloj udaljenosti (cca 100 m) po pružanju prema sjever-sjeverozapadu, i do 10°.

Prateći dalje jugozapadni rub Vinodola, u zasjeku ceste Tribalj-Crikvenica, podno gradine Badanj, jasno je vidljiv reverzni rasjedni kontakt, uz koji foraminiferski vapnenci leže na glinovito-siltoznim naslagama mlađeg pliocena. Rasjedna ploha je nagnuta prema sjever-sjeveroistoku pod kutom od 53° (BLAŠKOVIĆ, 1983).

U širem predjelu uzvišenja Sopalj (kota 327), jugozapadno od Triblja, zabilježeni su daljnji indikativni podaci. Sopalj je istaknuto uzvišenje sa strmim liticama prema dolini (sl. 15). Djeluje kao da je izbačen prema sjeveroistoku, u dolinu, iz cjeline vapnenačkog grebena između Vinodola i mora. U zaleđu uzvišenja, prema moru, formirana je zaravan trokutaste površine, otvorena prema jugozapadu, i s pojavom vode u jednoj od "ponikva". I geološki podaci sukladni su geomorfološ-

kim osobitostima. Znatni pomaci transgresivne granice između gornjokrednih i paleogenskih vapnenaca nesumnjivo ukazuju na poprečne rasjede. Njima je i obrubljena spomenuta trokutasta zaravan. Označeni su i širokim zonama milonitiziranih i brečastih vapnenaca. Na sjecištu tih rasjednih zona, u udubljenju s vodom, utvrđeni su glinovito-siltozni, dijelom limonitizirani sedimenti. Mikropaleontološkom analizom uzoraka, za koju zahvaljujem dr Ani SOKAČ, utvrđeno je da te tvorevine nose obilježja slatkovodnih taloga i vjerojatno pripadaju mlađem neogenu ili starijem kvartaru. Od fosilnih ostataka određeni su *Candona cf. neglecta* SARS, *Typhlocypris* sp., i *Ilyocypris* sp. Sedimentološko-petrografskom analizom, izrađenom ljubaznošću dr Josipa TIŠLJARA, uzorak tih stijena je određen kao kalcitom bogati lapor, izgrađen od kriptokristalastog kalcita i gusto, pahuljasto grupirane smjese minerala glina. Samo sporadično sadrži vrlo sitna zrnca kvarca i rijetke pojedinačne listiće sericita. S obzirom na sastav i strukturu uzorak ove stijene je vrlo sličan gornjopliocenskim glinovito-siltoznim sedimentima na spomenutim lokalitetima u Vinodolu. I navedeni rezultati analize mikropaleontološkog sadržaja ne osporavaju takav zaključak.

Spomenuti poprečni rasjedi, u svom produženju prema sjeveroistoku, obrubljuju sa sjeverozapadne i jugozapadne strane uzvišenje Sopalj i nastavljaju se u dolini prema Triblju odnosno zaseoku Janjevalj. I ovdje dovode do promjena opće slike geološkog sastava i građe jugozapadnog ruba doline. Između njih, a podno Soplja (zaseok Katići), smješteni su gornjopliocenski sedimenti u najvećoj debljini (KOCH, 1922). Diskordantno položeni na flišne naslage, sačuvani su u uvjetima sukobljavanja sinklinalnog položaja fliša (slojevi nagnuti prema jugozapadu) i gotovo okomitog položaja paraklaze Jugozapadnog vinodolskog rasjeda (4). Okruženje gornjopliocenskih naslaga, iako velikim dijelom pokrivenih siparima, kao i morfologija terena, upućuju na rasjedne kontakte.

Foraminiferski vapnenci zapadno od Pilina predstavljaju daljnju posebnost ovog dijela Vinodola. Morfološki uočljivi, u obliku asimetrično izdignutog reljefa, trokutaste površine, duboko se uvlače u flišne naslage doline. Oslonjeni su na strme sjeveroistočne padine grebena Haldin, ali sa zamjetljivo blažim reljefom. Na sjeverozapadnoj i jugozapadnoj strani rasjedima su ograničeni: uz rasjed Sopalj-Janjevalj od pliocenskih naslaga, te od foraminiferskih vapnenaca grebena Haldin Jugozapadnim vinodolskim rasjedom (4). Istočna granica foraminiferskih vapnenaca Pilina označena je konkordantnim prijelazom u flišne naslage Vinodola.

Donekle sličnu situaciju "izbacivanja" dijela vapnenačkog grebena između Vinodola i mora prema dolini, uz poprečne rasjede i uz popratno kompleksnije strukturne odnose u flišnom dijelu doline (Drivenik), susrećemo u predjelu Gračišće (kota 289) (sl. 12). Kao posljedica toga su u direktnom rasjednom kontaktu uz eocenske foraminiferske vapnence i gornjokredni rudistni vapnenci s eocenskim flišnim naslagama.

Jugozapadni vinodolski rasjed (4) je jedna od struktura s morfološki naglašenom stepenicom u reljefu, te geološki, kontaktom kontrastnih flišnih naslaga i foraminiferskih vapnenaca. Sâm rasjedni kontakt, kao i rasjedna ploha pokriveni su aktivnim siparima i rijetko dostupni snimanju. Međutim, i u takvim uvjetima utvrđen je položaj paraklaze na niz mjesta. Ona je uglavnom nagnuta prema sjeveroistoku s nagibom od 50-85°, a na dva lokaliteta (Badanj, Sopalj) utvrđen je i nagib paraklaze prema jugozapadu pod kutem od 50 odnosno 72°. Do promjena u veličini i smjeru nagiba paraklaze dolazi najčešće uz brojne poprečne i dijagonalne rasjede, kojima je narušen kontinuitet u pružanju Jugozapadnog vinodolskog rasjeda.

Svi navedeni detalji geološkog sastava i građe pojedinih predjela u području Vinodola predstavljaju poticaj i osnovu za rekonstrukciju načina postanka struktura, rasprostranjenosti pojedinih kronostratigrafskih jedinica i vremenskog slijeda zbivanja. U nastavku je izložen pokušaj takve rekonstrukcije. Osniva se na mobilističkom pristupu, u kojem se Vinodol smatra jednom od zona plitke subdukcije kontinentalne kore (A-tip subdukcije), odnosno podvlačenja (HERAK, 1980; BLAŠKOVIĆ & ALJINOVIĆ, 1981; BLAŠKOVIĆ, 1991).

### 3. MODEL PODVLAČENJA KAO OSNOVA ZA POSTANAK I INTERPRETACIJU STRUKTURA

#### 3.1. TEMELJNE POSTAVKE MODELA

Model podvlačenja (sl. 16) je temeljen na analizi mikrotektonskih elemenata iz područja Čićarije (BLAŠKOVIĆ & ALJINOVIĆ, 1981), te geoloških odnosa šireg područja uz rezultate dobivene metodama seizmičkog istraživanja (ALJINOVIĆ & BLAŠKOVIĆ, 1981). Njime se pretpostavlja kretanje i podvlačenje ploče prema sjeveroistoku (recentna orijentacija) sa širom zonom horizontalne i užom zonom vertikalne komponente kretanja (samim podvlačenjem odnosno subdukcijom).

U prvoj fazi (kolizijskog procesa) dolazi do boranja sedimentnog kompleksa. Time su određeni predjeli sinklinalnih odnosno antiklinalnih struktura (BLAŠKOVIĆ & ALJINOVIĆ, 1981). Strukture su u toj fazi konsekvantne morfološkiji. Time istovremeno mogu biti predodređeni prostori različitih sedimentacijskih režima. U nastavku kretanja uz deformaciju primarnih struktura u smislu sve veće asimetrije bora s pretežno jugozapadnom vergencijom, formiraju se dislokacije reverznog karaktera i započinje proces podvlačenja prvenstveno u labilnim, za spuštavanje predisponiranim sinklinalnim strukturama (sl. 17).

Aktivni dio kontinentalne kore u horizontalnom kretanju i subdukciji definiran je kao **podinsko krilo akcije - A** i karakteriziran je određenim strukturnim i facijesnim osobitostima. To su pretežno plikativne deformacije i dominacija plitkomorskih uglavnom konkordantnih sedimenata, eventualno s kratkotrajnim emerzijama ili češće oplićavanjima osobito izraženim u predjelima antiformalnih struktura. Normalno je očekivati i pravilan, zonan raspored litofacijesa.

Relativno pasivni dio kontinentalne kore, definiran je kao **krvinsko krilo otpora ili reakcije - R**. U početnoj fazi odgovara stabilnijoj, antiformalnoj strukturi, koja tijekom nekontinuiranog procesa podvlačenja preuzima ulogu pružanja otpora. Pri tome je izložena znatnim strukturnim deformacijama plikativnih i osobito disjunktivnih karakteristika s općom tendencijom izdizanja. U sedimentacijskom procesu to rezultira češćim emerzijama, nepravilnim rasporedom, prostornim ograničenjem i malom debljinom raznovrsnijih litofacijesa te znatnijim udjelom klastičnih i gruboklastičnih sedimenata.

Pod pojmom **uža zona subdukcije - S** podrazumijeva se relativno uski pojas dodira dviju ploča (A i R) i njihovog antagonističkog vertikalnog kretanja. Taj pojas aktivnog podvlačenja odgovara primarnoj labilnoj sinformnoj strukturi (sinklinala, sinklinorij). Strukturne deformacije u toj zoni koje nastaju u periodima intenzivnijeg podvlačenja, imaju plikativne i rasjedne osobitosti sažimanja. To je popraćeno znatnim horizontalnim i vertikalnim raznolikostima litofacijesa. Izražena je dominacija klastičnih sedimenata flišnih ali i molasnih karakteristika. U kontinuitetu sedimentacije postoji i mogućnost promjena taložne sredine (marinska-slatkovodna ili obratno) kao i formiranje kutnih disordancija uslijed sinsedimentacijskih pokreta podvlačenja.

#### 3.2. PRIMJENA I RAZRADA MODELA ZA ISTRAŽIVANO PODRUČJE VINODOLA

Područje Vinodola, kao jedna od markantnijih zona plitke subdukcije, sadrži "u malom" većinu karakteritika podvlačenja (plitke subdukcije) na širem prostoru. Karakteristike takvog podvlačenja, s tek generalnim napomenama o sedimentaciji i strukturnim promjenama, dijelom u pojedinim vremenskim fazama subdukcijskog procesa, a s osloncem uglavnom na geologiju istraživanog područja, predočene su na slici 17. Pri tome je izvršena i tektonska razdioba Vinodola. Tako je karbonatni greben između Vinodola i mora definiran kao rubni dio podinskog krila akcije - A, sjeveroistočne karbonatne padine Vinodola kao dio krovinskog krila otpora ili reakcije - R, a sama uglavnom flišna dolina kao uža zona subdukcije - S. Slijedi i kratki komentar priloga.

Inicijalna kolizijska kretanja smještena su u okviru laramijskih pokreta krajem krede. Njima su formirane blage bore i ostvareni uvjeti za emerziju odnosno taloženje kozinskih vapnenaca ili njihovih facijesnih ekvivalenata u najdubljim dijelovima paleoreljefa - sinklinalnim strukturama (faza I).

Iz razmatranja je izostavljen period relativno stabilne sedimentacije foraminiferskih vapnenaca, iako je već u donjem eocenu moglo doći do inicijalnih subdukcijskih kretanja, u smislu intenzivnijeg tonjenja labilnih sinklinalnih dijelova s diferencijacijom sedimentacijskih režima, t.j. istovremenog taloženja foraminiferskih vapnenaca i flišnih naslaga (DRAGIČEVIĆ et al., 1992).

Shemom je obuhvaćen interval intenzivnog taloženja klastičnih sedimenata (faza II). U tom vremenu, prvotno zatamljen ili slabije izražen, nastavlja se proces subdukcije. U užoj zoni subdukcije (S), primarnoj sinklinali između dva antagonistička krila (A i R), intenziviranjem podvlačenja dolazi do rotacije suprotne smjeru kazaljke na satu oko horizontalne osi; antiklinala ili monoklina, kao rubni dio podinskog krila akcije (A), tone i podvlači se, a antiklinalna struktura nasuprot, kao rubni dio krovinskog krila otpora (R), u postupnom je izdizanju. Rezultat takvog suprotnog kretanja je i premještanje osi sinklinalne odnosno uže zone subdukcije u smjeru suprotnom osnovnom kretanju, što se odražava u asimetričnom rasporedu kozinskih naslaga.

Nastavak i intenziviranje subdukcijskog procesa odražava se u taloženju pretežno klastičnih sedimenata, u početku sitnozrnastih a kasnije, i s mogućnošću diskordancije, krupnozrnastih stijena. Njihova sedimentacija vezana je uz znatnije strukturne deformacije i u širem području. Promjene u okolišu rezultiraju raznolikim litofacijesima (fliš, Prominska formacija, Jelar formacija).

U zadnjoj, III fazi, povezanoj s prethodnom, koja se vremenski prema podacima s istraživanog područja, može eventualno vezati i uz postanak Jelar-naslaga te kasnije i kvartarnih siparišnih breča, a prisutna je i danas, pretpostavlja se nekontinuirano ali intenzivno podvlačenje. Finalni rezultat procesa subdukcije je odražen u znatnoj redukciji širine uže zone podvlačenja (S), te intenzivnim strukturnim deformacijama stijena u toj i susjednim zonama (A i R).

Primjeri iz istraživanog područja pokazuju da deformacije nisu identične po karakteru i intenzitetu u svim zonama. U prvom redu ovise o zatečenim strukturama, fizičkim osobitostima stijena te načinu kretanja krila.

Kompleks podinskog krila akcije (A) u intervalu horizontalnog kretanja, uz uglavnom zadržavanje približno istog hiposometrijskog nivoa, podložan je pretežno plikativnim deformacijama sa sukladnom do eventualno suprotnom vergencijom bora odnosno reverznih rasjeda smjeru kretanja. U kontaktu sa zonom subdukcije (S), odnosno u intervalu promjene



kretanja u smislu podvlačenja, formira se antiklinalna, kao u slučaju grebena između Vinodola i mora, ili eventualno monoklinalna struktura (sl. 17, alternativa IIIa). Podvlači se cijeli kompleks krila akcije.

Uža zona subdukcije (S), prvotno sinklinala ili sinklinorij, s kompleksom klastičnih stijena znatne debljine, izložena je djelovanju suprotnih sila: horizontalno-vertikalnoj komponenti podvlačenja (A) s jedne i horizontalno-vertikalnoj (u smislu izdizanja) komponenti krila otpora (R) s druge strane. Dio sedimentnog kompleksa zone subducira se zajedno sa stijenama krila akcije, a pretežno viši dio kompleksa, usljed približavanja krila akcije i otpora, t.j. redukcije širine, istiskuje se uz istovremeno formiranje raznolikih sekundarnih tangencijalnih struktura, reversnih rasjeda, izoklinalnih, prebačenih i kosih bora. Vergencija struktura je uglavnom suprotna smjeru osnovnog kretanja. Istiskivanje dijela kompleksa je asimetrično: osobito je izraženo uz kontakt sa stijenama krovinskog krila otpora (R) kao posljedica karakteristika kretanja tog krila.

Zona krovinskog krila otpora (R) pruža otpor horizontalnoj komponenti osnovnog kretanja. Zbog toga kao i samog podvlačenja predstavlja područje izdizanja uz intenzivne tangencijalne plikativne i osobito disjunktivne deformacije, koncentrirane uz kontakt s prethodnom zonom. Od struktura dominiraju prebačene do izoklinalne bore te reversni rasjedi uz mogućnost "navlačenja". Vergencija struktura je u pravilu suprotna smjeru osnovnog kretanja, a iznimno, i to dublje u zoni reakcije, i sukladna.

Granice između pojedinih zona (A-S-R), u ovom slučaju antiklinalnih nasuprot sinklinalnim strukturama, u pravilu su rasjedne. Zajednička im je karakteristika oblik rasjedne plohe, u vertikalnom presjeku više ili manje izduljenoj zrcalnoj slici slova S (BLAŠKOVIĆ & ALJINOVIĆ, 1981), i u krajnjoj konsekvenciji, s obzirom na kompresiju, reverzni karakter kretanja.

#### 4. INTERPRETACIJA GENEZE STRUKTURA ISTRŽIVANOG DIJELA VINODOLA

Na temelju iznesenih postavki modela urađena je interpretacija u uvodnom dijelu (odjeljak 2) navedenih detalja o sastavu i građi ovog dijela Vinodola.

Asimetrički vapnenački greben između Vinodola i mora shvaćen je kao rubni dio podinskog krila akcije (A) u zoni prilaza iz horizontalne u vertikalnu komponentu kretanja, t.j. samo podvlačenje. Posljedica je izražena morfološki, s obzirom na asimetriju grebena, a i strukturno, kosom antiklinalom sa sjeveroistočnom vergencijom. Potvrdu takvog kretanja nalazimo u spomenutom "izbacivanju" dijela grebena prema Vinodolu uz dijagonalne rasjede (kota 327, Sopalj). Modelirani pokušaj simuliranja procesa izbacivanja (sl. 18) jasno ukazuje na karakter kretanja i daje objašnjenje rasporeda i položaja dominantnih zjapećih pukotina na grebenu kao i promjene nagiba paraklaze Jugozapadnog vinodolskog rasjeda (4), na kontaktu s gornjopliocenskim klastičnim naslagama same doline.

U ovom rubnom dijelu podinskog krila akcije (A) rotacijsko kretanje u podvlačenju, uz određene strukturne elemente, dovodi do relativnog izdizanja grebena, i spuštanja dotirnog dijela klastičnih sedimenata uže zone subdukcije (S), t.j. doline. O tome svjedoče nalazi gornjopliocenskih sedimenata u zaleđu brda Sopalj na nadmorskoj visini od 225 m u odnosu na istovremene klastične naslage u dolini podno istog vapnenačkog grebena na visini od 100-155 metara. Geološka situacija i rekonstrukcija primarnih uvjeta prikazani su na slici 19.

Jugozapadni rub Vinodola je poistovjećen sa zonom kontakta podinskog krila akcije (A) i uže zone subdukcije (S). Na

terenu je predstavljen Jugozapadnim vinodolskim rasjedom. Uz taj rasjed vezane su najznačajnije strukturne promjene.

Promjene nagiba helikoidalne rasjedne plohe Jugozapadnog vinodolskog rasjeda (4), kreću se u rasponu od 48° s nagibom prema sjeveroistoku, preko okomitog do prebačenog položaja s nagibom prema jugozapadu pod 50°. Do promjena položaja paraklaze najčešće i naglo dolazi uz poprečne i dijagonalne rasjede. Ovisno o veličini nagiba različite su strukturne deformacije u stijenama doline odnosno uže zone subdukcije (S) (sl. 20, sl. 14).

Uz blaži nagib rasjedne plohe, nagnute prema sjeveroistoku, dolazi do relativnog izdizanja krovinskog krila rasjeda, pojave starijih stijena na površini, kakav je i izolirani slučaj zapadno od Pilina uz izostajanje deformacija većih razmjera unutar flišnih naslaga u produžetku profila prema sjeveroistoku.

Uz veći nagib rasjedne plohe, između 65-80°, i koji je karakterističan za pretežni dio jugozapadnog ruba Vinodola, u kontaktu su paleogenski vapnenci i flišne naslage. Pretpostavlja se znatniji horizontalni domet plikativnih deformacija unutar flišnih sedimenata doline.

Okomiti, odnosno okomitom bliski položaj rasjedne plohe, kao što je slučaj u području naselja Podsopalj dovodi do antiklinalnog oblikovanja a istovremeno i relativnog izdizanja kompleksa stijena krovinskog krila rasjeda ili krila u smjeru pritiska. To izaziva i znatnije strukturne promjene u smislu boranja s većim horizontalnim domašajem, kako je bušenjima utvrđeno u predjelu Podsopalj-Sušik.

Prebačeni položaj paraklaze još uvijek vrlo strmog nagiba, kao u podnožju vrha Sopalj (sl. 19) uz ograničenja poprečnim rasjedima, uvjetuje uz sinklinalno svijanje i pojačano tonjenje flišnih i mlađih (pliocenskih) naslaga u krilu rasjeda s mlađim naslagama i mogućnost njihovog očuvanja od naknadne erozije. Kompenzaciju dubljem spuštanjem uz jugozapadni rasjed nalazimo u sekundarnom boranju flišnih naslaga šireg prostora u smjeru profilne linije, i dijelom u izdizanju i antiklinalnom oblikovanju foraminiferskih vapnenaca (Humac, kota 104).

Blažem nagibu prebačene rasjedne plohe, kao što je dijelom pretpostavljeno u području profila Gračišće-Drivenik (sl. 12), i utvrđeno u predjelu kamenoloma Badanj (sl. 14), odgovaraju značajnije strukturne promjene na manjem prostoru a većeg vertikalnog domašaja. One nalaze izraz u tektonskom prodoru stijena podloge flišnog kompleksa, paleogenskih foraminiferskih vapnenaca (kamenolom Badanj), ili čak starijih, gornjokrednih vapnenaca. Nastale su kao posljedica dubljeg domašaja pritiska podvlačenja, prenošenih položajem i nagibom rasjedne plohe, kao i zatečenim izdignutim ili utonulim paleostrukturnim oblicima u vrijeme konačnog oblikovanja, kao u slučaju Drivenika.

Približavanje struktura većeg intenziteta deformacija uslijed sve blažeg nagiba prebačene rasjedne plohe, kako se vidi kod kamenoloma Badanj (sl. 14), u odnosu na slučaj kod Drivenika (sl. 12), može ići sve do uklještenja sinklinalno oblikovanih flišnih naslaga i tektonskog kontakta foraminiferskih vapnenaca dviju antiklinalnih struktura suprotnih vergencija (sl. 20, pretpostavljeni profil). Realna situacija takvog profila je u predjelu Vitre, na sjeveroistočnoj padini Vinodola (sl. 4, profili J, K). Njihov razvoj može se objasniti boranjem i rasjedanjem u okviru subdukcijskog procesa (sl. 21). U takvom slučaju, gdje u tektonski kontakt mogu doći istoiznačno orijentirana krila dviju primarno paralelnih antiklinalnih struktura, vrlo je teško terensko uočavanje rasjeda i determiniranje struktura.

Na temelju navedenih primjera mogu se donijeti i određeni

ni zaključci šireg značenja.

Ovisno o obliku paraklaza uzdužnih rasjeda, odnosno nagibu relevantnog dijela plohe, a koji se može znatno mijenjati po pružanju uz fizičke osobitosti stijena u dodiru i karakteru osnovnog kretanja, rezultat će u užoj subdukcijskoj zoni (S) sekundarne strukturne deformacije, različite po obliku te horizontalnom i vertikalnom domašaju. One gotovo izostaju u podinskom krilu akcije (A): ono se ponaša kao strukturno jedinstveni kompleks, jedino dislociran u blokove poprečnim i dijagonalnim rasjedima.

Razmatrajući promjenu smjera i veličine nagiba relevantnog dijela rasjedne plohe istog karakterističnog oblika, uz uglavnom istoznačnu rezultantu pritiska rotacijskog podvlačenja zone podinskog krila akcije (A), može se pretpostaviti model deformacija (sl. 20). Iz njega je vidljivo da se povećanjem veličine nagiba segmenta rasjedne plohe sve do okomitog položaja, u užoj zoni subdukcije (S) povećavaju deformacije s obzirom na strukturni oblik, širinu kompleksa zahvaćenog deformacijama kao i dubinu odnosno debljinu kompleksa. Daljnjem povećanju nagiba iznad 90° (prebačenom dijelu segmenta; promjena smjera nagiba uz smanjenje veličine), odgovara porast intenziteta strukturnih promjena s obzirom na oblik i vertikalni domašaj, ali se smanjuje njihov horizontalni domet.

Kontinuirani tijek razvoja struktura različitih karakteristika i dometa u užoj zoni subdukcije (S) a po pružanju uzdužnog graničnog rasjeda, najčešće je narušen djelovanjem brojnih poprečnih i dijagonalnih rasjeda. Ti rasjedi, pretežno radikalni i u pravilu s horizontalnim kretanjem, presijecaju primarne strukture (A i R) ili njihove dijelove, a javljaju se kao posljedica podvlačenja. Uzimajući u obzir određenu autonomnost u kretanju i ponašanju stijena krajnjih zona (A i R), moguće je pretpostaviti i odvojenost sustava tih rasjeda u zoni podinskog krila akcije (A) i zoni krovinskog krila otpora (R). U središnjoj, užoj zoni subdukcije (S) dolazi do njihovog miješanja. Upravo zahvaljujući kretanjima uz takve pretežno vertikalne rasjede potencirana su u njihovom domašaju osnovna kretanja podvlačenja, uz istovremeno znatnu promjenu elemenata rasjednih ploha na kontaktu s užom zonom subdukcije (S).

Slična analiza te interpretacija postanka i karakteristika struktura na dodiru uže zone subdukcije (S) i krovinskog krila otpora (R), kao i u samom krovinskom krilu, t.j. flišne doline i sjeveroistočne karbonatne padine, nije u cijelosti moguća. Iako se i ovdje susreću slični elementi, kao što su u pravilu rasjedni kontakti jedinica u dodiru, reversni karakter rasjedanja, karakteristični oblik rasjedne plohe, postoje i razlike: to su u prvom redu nejedinstvenost rasjednog kontakta i različiti intenzitet tektonskog poremećaja, a time i različiti oblici strukturnih deformacija i njihov vertikalni i horizontalni domet u stijenama krovinskog krila otpora (R) i uže zone subdukcije (S).

Navedene razlike nisu samo posljedica osobitosti podvlačenja i otpora krovinskog krila (R) i oblika rasjedne plohe, već u prvom redu paleostrukturne odnosno konsekventne paleogeomorfološke razvedenosti današnjeg, na prvi pogled jedinstvenog kompleksa krovinskog krila otpora (R) i uže zone subdukcije (S). Naime, niz neposrednih i posrednih podataka upućuje na postojanje primarnih boranih struktura unutar tektonski sužene flišne doline i karbonatnih stijena obiju strana doline. To je i prikazano na tektonskoj skici ovog područja (sl. 22).

Od direktnih pokazatelja mogu se navesti:

- prebačena izoklinalna antiklinala sjeveroistočne strane Vinodola, t.j. strukturna jedinica Belgrad-Grižane,

- duboko uvlačenje flišnih naslaga u području Diran s dijelom sinklinalnim položajem slojeva,
- antiklinalni oblik foraminiferskih vapnenaca uzvišenja Malić, u jugoistočnom dijelu strukturne jedinice Ropci-Malić,
- nalaz mlađeg nivoa eocenskih klastita u provalijama Vitra i Pihlja, gornjokredna antiklinala zapadno od Vitre, kao dio strukturne jedinice Petrinovići-Križišće,
- sinklinalni položaji eocenskog fliša istočno i zapadno od tektonskog prodora odnosno primarno antiklinalne strukture gornjokrednih i foraminiferskih vapnenaca Drivenika.

Dalje, u širem području Triblja, na borane strukture unutar fliša upućuju podaci bušenja na profilu Podsopalj-Sušik, a u neposrednoj blizini utvrđene su antiklinalne strukture foraminiferskih vapnenaca na Humcu (kota 102) i vapnenačko-laporovitih eocenskih sedimenata kod Podsoplja. Izoklinalnim borama tumačene su i pojave foraminiferskih vapnenaca u predjelu Kamenjak (ČUBRILOVIĆ, 1938) i sjeveroistočno od kamenoloma Badanj.

Među indirektnim pokazateljima su nalazi mlade razine eocenskih klastita, na potezima Pihlja-Vitra i u produžetku predjela Diran preko naselja Antovo-Belgrad-Grižane. Smješteni su u indiciranim sinklinalama. Njihov smještaj postaje logičan ukoliko sinklinalne strukture u određenom vremenskom intervalu shvatimo kao paleogeomorfološka korita - kanale intenzivnijeg i usmjerenog transporta materijala. I lokacija naselja, uz pojavu niza izvora, posredno upućuje na čvršću vapnenačku podlogu tanjeg flišnog pokrivača u tjemnim dijelovima antiklinalnih struktura.

Uvažavajući iznesene podatke i promatrajući ih po površini može se pretpostaviti sinklinorijski strukturni oblik srednjoeocenskog flišnog bazena na prostoru Vinodola. Recentno pružanje bora je približno sjever-sjeverozapad - jug-jugostok. Određene strukturne osobitosti i lokacija podataka govore u prilog niza paralelnih i dijelom ešaloniranih brahiantiklinala i brahisinklinala. Čeonni dijelovi brahistruktura uglavnom nisu sačuvani; jug-jugoistočni su degradirani rotacijskim podvlačenjem podinskog krila akcije, t.j. uz Jugozapadni vinodolski rasjed (4). Sjever-sjeveroistočna čela pretežno sinklinalnih struktura skrivena su rasjednim kontaktima susjednih antiklinala.

Na shematiziranoj palinspastičkoj rekonstrukciji prikazan je raspored brahistruktura s osnovnim naznakama lokaliteta recentnog reljefa (sl. 23). Istaknute su strukture s većom odnosno manjom debljinom flišnih sedimenata, t.j. relativnim odnosom amplituda svijanja, kao i predjeli pretpostavljeno s dominacijom karbonatnih stijena. Kao vremenski okvir prikaza uzet je interval između taloženja eocenskog fliša i mlade razine krupnoklastičnih eocenskih sedimenata.

Polazeći od tako zacrtane slike rasprostranjenosti primarnih plikativnih struktura, u uvjetima subdukcijskog procesa i otpora u krovinskom krilu otpora (R) i pripadajućem dijelu uže zone subdukcije (S) moguće je i objašnjenje pojedinih struktura. Pri tome je nužno uzeti u obzir fizičke osobitosti klastičnih i karbonatnih stijena i njihovu podatljivost određenom tipu strukturnih promjena. Jednako je tako važna i njihova debljina kao i primarni strukturni oblik.

Naime, debljem kompleksu klastita jedne ili više paralelnih sinklinala, izloženom subdukcijskom kretanju uglavnom okomitom na pružanje struktura, u dodiru sa stabilnijim antiklinalnim karbonatnim kompleksom krovinskog krila otpora (R), odgovarati će jedinstveni, jednoznačni tektonski kontakt tipa reverznog rasjeda blaže položene paraklaze ili "navlaka". Takav kontakt nalazimo u jugoistočnom dijelu istraživanog područja u vidu rasjeda Kozak (3), između strukture Belgrad-

Grizane i najšireg flišnog područja doline. Nasuprot tome, manjoj debljini klastičnog kompleksa, odnosno povećanju utjecaja kompaktnijih karbonatnih stijena, što odgovara plićim sinklinalama odnosno izraženijim antiklinalama, u uvjetima istog subdukcijskog procesa, u krovinskom krilu otpora (R) i dijelom u užoj zoni subdukcije (S) odgovarat će, ovisno o broju sinformi, reverzni rasjedni kontakti sa strmim do gotovo okomitim rasjednim plohama. Sinklinalni dijelovi struktura su u podinskim krilima rasjeda.

Između navedena dva gotovo krajnja slučaja postoji postupan prijelaz, ovisan o debljini klastičnog kompleksa, točnije veličini sinklinalnog svijanja. Očituje se u postupnoj promjeni nagiba paraklaze reverznog (reverznih) rasjeda i veličini vertikalnog kretanja.

U uvjetima ešaloniranog rasporeda čela primarnih antiklinala, a prema sinklinorijskom prostoru, moguće je očekivati stapanje dva ili više rasjeda u jedinstveni reverzni rasjed, kako je zabilježeno u strukturnim jedinicama sjeveroistočne strane Vinodola (Križišće-Petrinovići i Ropci-Malić) na njihovom kontaktu s flišnim naslagama doline. Na drugoj pak strani, sa zatvaranjem sinklinalne strukture, u čelu, reverzni rasjed s mogućnošću prijelaza u rasjed s okomitom paraklazom može postupno nestati ili prijeći u koljeničastu boru, sve slabije izraženu u produžetku (sl. 7).

I kao konačan rezultat tektonskih promjena, opisanim procesima u primarno sinklinorijskim uvjetima na dodiru sa stabilnijom antiklinalnom strukturom, formirane su, u karbonatnom kompleksu krovinskog krila otpora (R), t.j. sjeveroistočnoj strani Vinodola, tangencijalne strukture izoklinalnih, prebačenih i kosih antiklinala te reverznih rasjeda s jugozapadnom vergencijom. Dodir s užom zonom subdukcije (S), t.j. flišnom dolinom, označen je reverznim rasjedanjem, uz jedinstvenu blago položenu paraklazu rasjeda Kozak i stopljenu rasjednu zonu (Križišće-Ropci-Sušik-Janjevalj), strmo odnosno strmije položene rasjedne plohe. U flišnoj dolini (uža zona subdukcije - S), kao posljedica kretanja krajnjih zona (S i R), dominiraju strukture sinklinala i antiklinala s promjenom vergencije, jugozapadne uz sjeveroistočni rub, do sjeveroistočne vergencije uz jugozapadni rub Vinodola.

U samoj dolini izrazita asimetrija rasporeda pojedinih kronostratigrafskih jedinica, dijelom struktura i njihovog hipsometrijskog položaja potvrđuju podvlačenje jugozapadne strane Vinodola (A), a izdizanje sjeveroistočne strane Vinodola (R). Evo najznačajnijih podataka.

Gornjopliocenske taložine smještene su u tektonski zatvorenim strukturnama uglavnom u hipsometrijski najnižim predjelima i to samo uz jugozapadni rub Vinodola.

Hipsometrijski položaj rasjednih kontakata između pretežno eocenskog fliša i karbonatnih stijena na stranama doline je različit. Zamjetljivo je viši uz reverzne rasjede sjeveroistočnog ruba Vinodola u odnosu na visinu kontakta uz reverzni Jugozapadni vinodolski rasjed (tablica 1).

Uz iste rasjedne kontakte vezane su i kvartarne siparišne breče (tablica 1). Indikativne su njihove debljine i strukturni položaj. Minimalna debljina (1-5 m) i rasprostranjenost kvartarnih siparišnih breča uz Jugozapadni vinodolski rasjed, kao i nagib slabo izraženih slojeva (38-44° - sl. 24a), posljedica su dijelom rotacijskog podvlačenja jugozapadnog krila rasjeda, t.j. podinskog krila akcije (A). Nasuprot tome, uz sjeveroistočne rasjede doline maksimalna je debljina (10-25 m) i površina siparišnih breča. To govori u prilog ne samo intenziteta tektonskih promjena već i karaktera pokreta, u smislu izdizanja karbonatnih stijena koje su dale materijal siparišta. Zajedno s izdizanjem karbonatnog kompleksa, t.j. krovinskog krila otpora (R), uz istovremeno strukturno oblikovanje, izdi-

že se i sjeveroistočni dio flišnog kompleksa doline, t.j. uže zone subdukcije (S). Tome u prilog govori ne samo hipsometrijski položaj rasjednog/rasjednih kontakta već osobito kut nagiba slojeva kvartarnih siparišnih breča. Isti je izmjeren na pozajmištima materijala (Petrinovići, Ropci, Franovići i dr.) i iznosi 15-20° odnosno horizontalan je ili čak s blagim nagibom prema sjeveroistoku (sl. 24b). Dakle znatno manji nego prirodni kut nagiba recentnog sipara.

Grafički prikaz razvoja opisanih odnosa predočen je na slici 25.

## 5. VREMENSKI SLJED STRUKTURNOG OBLIKOVANJA

Početne strukturne deformacije smještaju se u okvir laramijskih pokreta na prijelazu kreda-tercijar. Ti pokreti su shvaćeni kao svojevrsna najava dezintegracije karbonatne platforme u ovom dijelu Dinarida, a našli su odraza u formiranju blagih antiklinalnih i sinklinalnih struktura s konsekventnim reljefom te emerziji. Nastavak mobilnosti u ovom području, tijekom dijela paleocena, manifestira se labilnošću izraženijih sinklinalnih struktura, a dokumentiran je taloženjem kozinskih ili njima sličnih naslaga u tim strukturama odnosno depresijama. Taložnje foraminiferskih vapnenaca (kontinuirano na kozinskim naslagama ili većim dijelom transgresivno na gornjokrednim vapnencima) predstavlja relativno miran vremenski period, a odgovara uglavnom donjem eocenu.

Međutim, promjena sedimentacije iz karbonatnih preko prijelaznih naslaga u klastične flišne sedimente, generalno u lutetu, no u pojedinim područjima ili u određenim dijelovima istog područja i znatno ranije, upućuje na ponovno aktiviranje tektonskih pokreta. Oni su, u početnoj fazi, shvaćeni kao daljnje plikativne deformacije već postojećih boranih struktura ali s izraženijom labilnošću sinklinalnih-utonulih dijelova, a praćeni su intenzivnijom sedimentacijom klastičnih naslaga. Međutim, i sama subsidencija labilnih sinklinalnih dijelova bora već u ovoj početnoj fazi nosi osobitosti subdukcijskog kretanja: tonjenje labilne zone je asimetrično (na što ukazuje današnji položaj kozinskih naslaga), pa se premješta os bazena maksimalne sedimentacije flišnih naslaga, suprotno smjeru osnovnog kretanja.

Utvrđena mlađa razina konglomeratično-pješčanih naslaga u Vinodolu, poistovječena s Prominskim naslagama, kao i njihov diskordantni odnos prema flišnim sedimentima (BLAŠKOVIĆ & TIŠLJAR, 1983), upućuje na prethodno pojačanu tektonsku aktivnost, sada već s jasno izraženim subdukcijskim kretanjem: asimetričnim izdizanjem antiklinalnog sklopa u zaledu (krovinsko krilo otpora - R) i spuštanjem sinklinalnih struktura (uža zona subdukcije - S) uz popratne plikativne strukturne promjene sa sve izraženijim naginjanjem.

Može li se uz ove pokrete vezati i postanak vapnenačkih breča (konglomerata) ekvivalentna Jelarskih naslaga (BAHUN, 1974), pretpostavljenih u Vinodolu (BLAŠKOVIĆ & TIŠLJAR, 1983), ostaje otvoreno pitanje sve do određivanja točnog kronostratigrafskog položaja tih naslaga. No, u tom smislu valja navesti i neka opažanja. Iako utvrđene na malim udaljenostima, fosiliferne konglomeratično-pješčane Prominske naslage i ekvivalenti Jelarskih naslaga, znatno se razlikuju po sastavu i veličini zrna. U prvim, vapnenački materijal je rijetko zastupan, dominira materijal udaljenijih matičnih klastičnih i kristalinskih stijena. Vapnenačke breče i konglomerati Jelarskih naslaga izgrađeni su gotovo isključivo od ulomaka (i slabo zaobljenih valutica) krednih i foraminiferskih vapnenaca neposredne podloge ili iz male udaljenosti. Veličina fragmenata Jelarskih naslaga uveliko nadmašuje promjer valutica i zrna konglomeratično-pješčanih naslaga.

Upravo navedene značajne razlike u izvornim stijinama, dužini transporta, te granulometrijskom sastavu, govore u prilog nove faze intenzivnijih tektonskih kretanja. Njima je prekinut donos materijala za taloženje konglomeratično-pješčanih Prominskih naslaga, a omogućena brza i intenzivna sedimentacija gruboklastičnih Jelarskih naslaga, kao, dakle, u ovom području mladeg tektonogenetskog kompleksa.

O daljnjem slijedu tektonskih pokreta možemo donositi zaključke tek na temelju podataka vezanih uz mlađe pliocenske i kvartarne taložine. Mlađe pliocenske glinovito-pjeskovite naslage poznate su u ovom dijelu Vinodola na lokalitetima Podsopalj (KOCH, 1922) i Badanj (ČUBRILOVIĆ, 1938), a imale su i znatniju rasprostranjenost u dolini (BLAŠKOVIĆ, 1983). Na lokalitetu Badanj pliocenske taložine su u reversnom rasjednom kontaktu s paleogenskim foraminiferskim vapnencima uz rasjednu plohu nagnutu prema sjeveroistoku ( $20^\circ$  pod kutem od  $53^\circ$ ).

Za interpretaciju vremena, a osobito karaktera tektonskih kretanja poseban značaj ima novi nalaz istovrsnih gornjopliocenskih naslaga u "ponikvi" jugozapadno od vrha Sopalj (kota 321) na visini od 225 metara. Izdanci pak pliocenskih naslaga u dolini na lokalitetu Podsopalj, na najvećoj su nadmorskoj visini od 100-155 m. Razlika u hipsometrijskom položaju tih naslaga posljedica je naknadnih kretanja: spuštanja, tonjenja jugozapadnog dijela doline uz istovremeno izdizanje, asimetrično boranje i poprečno rasjedanje krednopaleogene antiklinale između Vinodola i mora. Prijevoju između obje pojave pliocenskih naslaga, s nadmorskom visinom od 285 metara, izgrađen od antiklinalno svijenih gornjokrednih i paleogenskih vapnenaca, a koji za 60 metara nadvisuje pliocenske naslage "ponikve", govori u prilog i postpliocenskog asimetričnog boranja uz istovremeno izdizanje.

Karakteristike kvartarnih siparišnih breča, kao što su sastav, debljina, smještaj te osobito strukturne osobitosti, pružaju značajne podatke o tektonskim pokretima u istraživanom području u tom vremenskom intervalu (BLAŠKOVIĆ, 1983). Prije navedene veličine nagiba slojeva siparnih breča, uz rasjede sjeveroistočnog i jugozapadnog ruba Vinodola, odstupaju od prirodnog kuta nagiba sipara. Ublažavanje nagiba ili ustrmljivanje moglo je uslijediti tek poslije djelomične cementacije siparnog materijala, kao i formiranje dviju stepenica - ploča siparnih breča, jedne više u predjelu Grižane-Papići i druge niže Dolinci-Barci. Upravo to govori o vremenu tektonske aktivnosti tijekom kvartara.

Interpretacija tektonskih pokreta govori u prilog zadržavanja karaktera osnovnog kretanja (sl. 25). Naime, mala količina siparišnih breča na jugozapadnoj padini Vinodola, i njihov iznenađujuće veliki kut nagiba, u podudarnosti su s rotacijskim kretanjem u spuštanju podinskog krila akcije (A) - jugozapadnog karbonatnog ruba, i tendencijom spuštanja i flišnih naslaga doline neposredno uz kontakt. Zahvaljujući takvom kretanju povećava se nagib slojeva siparišnih breča. Nasuprot tome, izdizanje sjeveroistočne karbonatne padine Vinodola - krovinskog krila reakcije (R), a osobito strukturne deformacije koje to izdizanje prate, uzrok su i izdizanju odnosno "istiskivanju" plastičnih pretežno laporovitih naslaga fliša u užoj zoni kontakta. A istiskivanje flišne podloge siparnih breča smatra se uzrokom promjena nagiba slojeva breča u smislu ublažavanja.

Za konačna razmatranja vremena tektonskih promjena nužno je ponoviti i navode o mlađoj razini kvartarnih siparišnih breča (BLAŠKOVIĆ, 1983). Na gotovo horizontalno položenim starijim vapnenačkim brečama kod Franovića, diskordantno leže siparne vapnenačke breče, s nagibom prema jugozapadu pod kutom od  $35-45^\circ$ . Međusobni položaj ova

dva paketa, po sastavu gotovo identičnih siparnih breča, jedini je podatak za njihovo odjeljivanje.

Na temelju iznijetog podatka nedvojbeno proizlazi da su se najintenzivnija tektonska kretanja, odlučujuća za konačno strukturno oblikovanje Vinodola, odvijala poslije taloženja gornjopliocenskih naslaga a tijekom kvartara i praćena su ogromnim količinama siparnog materijala. U kvartaru tektonska aktivnost istog stila nalazi odraza u strukturnim deformacijama siparnih breča i njihove podloge, a time i geomorfološkim karakteristikama Vinodola.

Česta pojava potresa, mjestimično intenzivna erozija (Slani potok), kao i neki znakovi aktivnog kretanja uz rasjedne linije (učestala oštećenja istih dionica komunikacija i suhozidina) govore u prilog i danas prisutnih tektonskih kretanja. Nalaze izraza i u reljefu Vinodola (sl. 26).

## 6. ZAKLJUČAK

U dijelu Vinodola, gdje su relativno dobro poznati geološki sastav i građa, obavljena su istraživanja i prezentiran je sadržaj otprije poznatih i novoutvrđenih rezultata, koji se odnose na rasprostranjenost i razvoj kronostratigrafskih jedinica i strukturne elemente. To se posebno odnosi na nove podatke o rasprostranjenosti eocenskih flišnih naslaga i necjelovitosti sjeveroistočne vapnenačke padine Vinodola, te nalaz mlađe pliocenskih naslaga u vapnenačkom kompleksu između Vinodola i mora u hipsometrijski znatno višoj poziciji od onih u samom Vinodolu.

Tektonski odnosi i rekonstrukcija njihova slijeda do formiranja recentnih odnosa (građe), kao težište rada, promatrani su kroz procese kontinentalne subdukcije, na temelju modela udruženih zona podvlačenja (BLAŠKOVIĆ & ALJINOVIĆ, 1981). Područje Vinodola shvaćeno je kao jedna od zona podvlačenja i istovremeno kao nositelj osobitosti procesa plitke subdukcije šireg značenja. U rekonstrukciji procesa izdvojena su tri elementa: podinsko krilo akcije (A), krovinsko krilo reakcije (R) i uža zona subdukcije (S). Oni odgovaraju paleogeografskim odnosno paleostrukturnim jedinicama: krilo akcije izdignutoj antiklinalnoj ili monoklinoj strukturi u podvlačenju, a krilo reakcije također izdignutoj antiklinalnoj strukturi pod koju se odvija podvlačenje. Između njih je, primarno, sinklinalna-sinklinorijska struktura konsekventnog reljefa, izrazite labilnosti kao uža zona subdukcije. Osnovna karakteristika procesa podvlačenja je u vertikalnoj rotaciji suprotnog predznaka krajnjih dijelova: spuštanja krila akcije i izdizanja krila reakcije. U međuprostoru, užoj zoni subdukcije, nastavlja se ista tendencija.

Rezultat kinematskog procesa je u formiranju struktura različitog tipa i intenziteta poremećaja. Tako u pojasu tektonskog dodira podinskog krila akcije (A) i uže zone subdukcije (S) o obliku rasjedne plohe (veličina i smjer nagiba) ovisi oblik te vertikalni i horizontalni domet strukturnih deformacija. U pojasu dodira pak krovinskog krila reakcije (R) i uže zone subdukcije (S), u konkretnom slučaju složenih paleostrukturnih odnosa dominiraju sustavi ešaloniranih i stopljenih helikoidalnih rasjeda reverznog pa i navlačnog karaktera. Promjene intenziteta strukturnih deformacija duž oba kontakta nisu postupne, već do njih dolazi uz poprečne i uglavnom dijagonalne rasjede s dominantnim horizontalnim kretanjem krila. Navedeni rasjedi uglavnom su autonomni za krajnje segmente u procesu podvlačenja - u užoj zoni subdukcije uglavnom prestaje njihova aktivnost. Trase tih rasjeda su vrlo često predisponirane čelima ešaloniranog rasporeda antiklinalnih struktura.

Geodinamski proces navedenih promjena može se vremenski odrediti u 3 faze: 1) laramijskim pokretima su formi-

rane blage borane strukture konsekventnog reljefa; 2) pirenejskim pokretima u eocenu kao i pokretima u nastavku formirane su tangencijalne borane i rasjedne strukture; 3) one dobivaju svoj recentni domet oživljenim kretanjima posebno u kvarteru.

### **Zahvale**

Zahvaljujem dr. Ivi VELIĆU na poticaju i kritičkim primjedbama, te prof. dr. Giovanni Battista CARULLIJU na pregledu i korisnom savjetu u pripremi rada. Izvanrednu pomoć pružio mi je doc. dr. Bruno SAFTIĆ, posebno u pripremi i korigiranju engleskog teksta. Također zahvaljujem kolegici Jasmini OBHOĐAŠ na trudu uloženom u izradi crteža, te mom susjedu iz Antova (Vinodol) gosp. Mihi JERČINOVIĆU, kao pratiocu u terenskim istraživanjima.

