

## A villányi-hegységi mezozoos képződmények mikrotektonikai méréseinek értelmezése

PETRIK Attila Balázs

Pécsi Tudományegyetem Természettudományi Kar, H-7200 Pécs, Ifjúság u. 6.  
e-mail: petrik.attila@freemail.hu

---

### *Interpretation of the results of microtectonic measurements performed with respect to mesozoic formations of the Villány Hills, Hungary*

#### Abstract

In the framework of OTKA project, a complex scientific investigation is being carried out with the aim of preparing a comprehensive palaeogeographical reconstruction of the Tisza structural unit. I have joined this investigation with microtectonic measurements performed in the area of the Villány Hills. The task I have set myself is to establish the delimitation the phases of structural transformation, and determine their relative and numeric ages. It has been an important issue to clarify, how far the events of structural transformation postulated by me, can be integrated into the regional geological processes. I have analysed the tectonic conditions of the area at issue relying upon some stereographical projections, figures and models constructed by means of various structure-geological softwares. The study demonstrates — in addition to describing the structural elements of the 7 quarries investigated — the related stress fields. I have recorded, in seven quarries in the Villány Hills, the data of over 600 striations, 500 lithoclasts, various plastic deformation elements (folds, flexures), as well as stylolites. Based on the data recorded, I have tried to determine the structural, palaeotectonic conditions of the individual quarries. To summarize the first part of the investigation it can be stated that most of the quarries investigated in the Villány Hills show a relatively uniform, compression-transpression picture from the point of view of tectonic styles. Tensor fields of tension character have been encountered in the Szobrosbánya, at Beremend, and these stress fields can be related to the opening of the pull-apart basins in the early Miocene. The structural elements, folds, lithoclasts investigated, adjust themselves well to the stress fields of the region. Based on the measurements 6 structural phases were delimited in this region. The Villányian Imbrications and the high amplitude folds were formed by the Late Cretaceous compressional stress field. It was followed by two tensional fields until the Late Miocene, which was resulted in the opening of pull-apart basins. The inversion in the Villány Hills started in the Late Miocene. First stress field was N–S transpressional, that was followed by a NE–SW transpressional one and finally an E–W compressional one. The reactivation of the imbrications and main faults, the opening of the transpressional basins were generated by these shortening deformations. The E–W compressional field could be observed only in the Harsány-hegy quarry. This stress field was evolved by the result of a local block rotation or the rotation of the Villányian imbrications. This latter statement can be emphasized by the stress fields rotation from the Late Miocene, which began N–S shortening in the Late Miocene, NE–SW shortening in the Pliocene and finally E–W shortening in also Pliocene.

*Keywords: striae, microtectonics, stress field, deformation events, Villány Hills*

---

#### Összefoglalás

Egy OTKA projekt keretében komplex vizsgálat folyik a Tiszai szerkezeti egység átfogó ősföldrajzi rekonstrukciójának elkészítésére. Ehhez a kutatáshoz kapcsolódtam a Villányi-hegység területén végzett mikrotektonikai mérésekkel. Célként jelöltem meg a szerkezetalakulási fázisok lehatárolását, és ezek relatív, majd a kutatás további fázisában numerikus korbesorolását is. Fontos kérdés volt, hogy a felállított szerkezetalakulási események mennyire korrelálhatók a regionális földtani folyamatokkal. Különböző szerkezetföldtani szoftverek által készült sztereografikus vetületekkel, ábrákkal, modellekkel elemeztem a terület tektonikai viszonyait. A tanulmány a vizsgált 7 villányi kőfejtő szerkezeti elemeinek leírása mellett, a hozzájuk tartozó feszültségtereket is bemutatja. A kőfejtőkben több mint 600 vetőkarc, 500 litoklázis, különböző képlékeny deformációs elem (redők, flexurák), valamint sztilolit adatait rögzítettem. A felvett adatok alapján igyekeztem az adott bánya szerkezeti, paleotektonikai jellegeit meghatározni. A kutatás első részének összefoglalásaként megállapítható, hogy a Villányi-hegységben alapvetően a rövidülési, transzpressziós erőterek

voltak a meghatározóak. Húzásos jellegű tenzortér a Szobrosbányában és Beremenden jelentkezett, amely kapcsolatban állhat a kora-miocén medencefelfylásokkal. A vizsgált szerkezeti elemek, redők, litoklázisok jól illeszkednek a terület feszültségtereihez. A kőfejtőkben végzett mérések alapján 6 szerkezetalakulási fázis került lehatárolásra. A késő-kréta rövidülési deformációja alakította ki a Villányi-hegység pikkelyeit, valamint nagy amplitúdójú redőit. Ezt követően pull-apart típusú medenceképződés zajlott egészen a középső-miocénig, ÉK–DNy-i húzóerők hatására. A középső-miocénre egy látszólagos feszültségtér-rotáció eredményeként tovább folytatódott a medenceképződés, de ezt már É–D-i húzóerők határozták meg. Az inverziós szakasz a késő-miocénben kezdődött el a Villányi-hegységben. Kezdetben É–D-i transzpresszió, majd a pliocéntól napjainkig ÉK–DNy-i transzpresszió szabta meg a terület tektonikai képét. A rövidülési, transzpressziós erők a villányi pikkelyeződés felújulását, transzpressziós medencék kialakulását, és korábban kialakult törérendszerek reaktiválódását eredményezték. A K–Ny-i rövidülési deformáció csak a Harsány-hegyi kőfejtőben bizonyítható. Kialakulása egy lokális blokkrotáció következménye. A késő-miocén É–D-i transzpresszióját, a pliocéntól ÉK–DNy-i transzpresszió, majd egy K–Ny-i kompresszió váltotta fel, vagyis az óramutató járásával megegyező feszültségtér-rotáció úgy tűnik, hogy nemcsak regionálisan, hanem lokálisan a Villányi-hegységben is megfigyelhető.

*Kulcsszavak: Villányi-hegység, mikrotektonika, vetőkarc, feszültségtér, deformációs események*

## Bevezetés

OTKA projektként néhány éve komplex vizsgálat folyik a Tiszai szerkezeti egység területén egy átfogó paleogeográfiai rekonstrukció előkészítésére. A Tiszai-egységben elhelyezkedő Mecsek és Villányi-hegység szerkezetalakulásáról már számos publikáció, disszertáció született, de ezekben a Villányi-hegység „árnyékszerepben” volt a mecseki kutatásokkal szemben. Ennek kiegyensúlyozásához járul hozzá ez a sok mérésen alapuló, tektonikai összefüggéseket feltáró munka. Törekedtem arra, hogy a vizsgált kőfejtők a Villányi-hegység különböző pikkelyeiben legyenek. A vetőkarcadatok gyűjtésén, értelmezésén és elmozdulás generációkra történő szétbontásán kívül egyéb tektonikai bélyegeket is vizsgáltam. Fontos kérdés volt az elmozdulást nem mutató tektonikai elemek hozzárendelhetősége a különböző elmozdulási fázisokhoz, és a felállított szerkezetalakulási események integrálása a regionális földtani folyamatokhoz. Célként jelöltem meg a szerkezetalakulási fázisok kimutatását és relatív korbesorolását, melyet a kutatás későbbi fázisában az „numerikus” korbesorolással is szeretném kiegészíteni, bevonva ehhez a neogén korú képződményeket feltáró mecseki kőfejtőket is.

## Vizsgálati és adatfeldolgozási módszerek

Az adatgyűjtés döntően saját méréseken alapult. A Villányi-hegységben — ahol mezozoosnál fiatalabb képződmény nincs, ill. csak hasadékkitöltésként van feltárva — hét kőfejtőt kerestem fel. A bányákban elsősorban a különböző elmozdulásra utaló tektonikai bélyegek (vetőkarcok, szakadási lépcsők, tenziós hasadékok), a képlékeny deformációs elemek (redők, flexurák, duplexek, kink bandek), valamint a nyomásoldódási jelenségek (sztilolitok, szlikolitok) orientációit rögzítettem. Ahol elmozdulásra utaló jelenségek nem mutatkoztak, ott főként litoklázisokat, hajszálrepedéseket, illetve egyéb törérendszereket vizsgáltam. Összesen 600 db vetőkarc és 500 db litoklázis adatai kerültek rögzítésre. A mérési eredményeket összevettem a területről származó korábbi publikációk tektonikai adatai-

val. A szerkezetalakulási fázisok meghatározásánál figyelembe vettem a paleomágneses mérésekről, a szeizmikus szelvények értelmezéséről született munkákat, és a recens feszültségterek meghatározásáról szóló adatokat is.

Az *adatfeldolgozási* szoftverek közül kiemelem a szerkezeti adatokat feldolgozó, D. DELVAUX által 2008-ban kifejlesztett *Wintensor 1. 4. 22.-es* verziójú programot. Ennek segítségével ábrázoltam a vetőkarcokból szerkesztett főfeszültségirányokat, a litoklázisok, vetőkarcok, redőadatok sztereografikus projekcióit. A szoftver által származtatott adatok közül bemutatom a vetőkarcok horizontális maximális főfeszültségirányaiából ( $S_{Hmax}$ ) létrehozott rózsadiagramokat, melyek az egyes elmozdulási vektorokat ért fő erőhatások irányait szemléltetik. A főfeszültségek arányait tükröző, ún. R értékekből készült az egyes tenzortereket bemutató, különböző formájú feszültség-ellipsoidokat ábrázoló diagram, valamint az egyes feszültségterek jellemző deformációit ábrázoló koordináta-rendszer (*II. ábra*). A *Wintensor* program meghatározza az ún. R' értékét is, amit az R értékéből származtat. Ha a tenzortér kompressziós ( $\sigma_3$  közel függőleges),  $R' = 2+R$ ; ha eltolódásos ( $\sigma_2$  közel függőleges),  $R' = 2-R$ ; ha tenziós ( $\sigma_1$  közel függőleges),  $R' = R$ . Mivel R értéke 0–1 közötti, így R' értéke 0-tól (radiális extenzió) lineárisan növekszik a tiszta extenzió [ $R' = 0,5$ ], transztenió [ $R' = 1$ ], tiszta eltolódáson [ $R' = 1,5$ ], transzpresszió [ $R' = 2$ ], végül a tiszta kompresszió [ $R' = 2,5$ ] keresztül, egészen a radiális kompresszióig [ $R' = 3$ ] (DELVAUX 1993).

A vetőkarcok, litoklázisok elmozdulás generációkra történő csoportosítását J. ANGELIER *Tensor 5.45.-ös* programja *Phases* nevű moduljával végeztem el. Ez egy feszültség-inverziós eljárás, amely az ANGELIER & MECHLER (1977) mechanizmus alapján működik, és a megadott tenzortérhez rendeli a hozzá illő adatokat. Néhány esetben előfordult, hogy ez helytelenül történt, ekkor klaszteranalízissel, vagy manuálisan hajtottam végre a csoportosítást. A vetőkarcpopulációk kialakítása a főfeszültségtengelyek térbeli elhelyezkedése, a mért vetőkarcok és a szoftver által számított főfeszültségirányoktól történő eltérés alapján történt. A 20°-nál nagyobb eltérést mutató vetőkarcokat kisebb súlyozással vette figyelembe a program a feszültségtér-számításnál.

## A terület vázlatos földtani felépítése

A Mecseki-zóna területe a Tiszai szerkezeti egység, mint összetett takarórendszer legészakibb, tehát legelső tagja. Erre toldott rá dél felől a Villányi-hegységet és az Erdélyi-középhegység bihari parautochtonját is magába foglaló Villány–Bihari-zóna, majd a Békés–Codru-, és a Kisbihari-zóna takarórendszere. A takarók kristályos, gránitos alapból, késő-paleozoos, variszkuszi utáni fedőből és változatos kifejlődésű mezozoos rétegsorból épülnek fel (VADÁSZ 1935, NAGY E. & NAGY I. 1976, TÖRÖK 1998). A Villányi-hegység a Villány–Bihari-takarórendszer felszíni kibukkanása, területének aljzatát metamorf kristályos kőzetek (csillámpala, gneisz), karbon és permii törmelékenyes üledékes kőzetek alkotják (FÜLÖP 1994). Ezek a kőzetek csak fúrásokból ismertek. Az idősebb rétegsorok hasonlósága a mecsekivel egészen az anisusi emelet végéig figyelhető meg. Eltérés a képződmények vastagságában mutatkozik, a mecseki kifejlődésnél vékonyabb mezozoos üledéksorra az üledékhézagosság és a sekélytengeri viszonyok dominanciája a jellemző (CSÁSZÁR 2002). A mezozoikum elején karbonátos rámpán létrejött germán típusú triász üledékek rakódtak le (TÖRÖK 1998), a jurára — az ekkori tenger alatti hátságra — jellemző kondenzált üledékképződést az oxforditól kezdődően már folyamatos és vastag karbonátos üledékképződés váltotta fel. A felső-jura mészkőképződést (Szársomlyói Mészkő) követően karsztosodás és bauxitképződés folyt. A bauxit fedőjében a valangini–albai korú, urgon fáciesű Nagyharsányi Mészkő települ. Felszíni kibúvásokban ennél fiatalabb képződmény (Bissei Márga) csak eróziós-tektonikus foszlányként jelenik meg. Fúrásokból ismert még a flis jellegű Bólyi Homokkő Formáció a Villányi-hegységtől északra levő flexurális medencéből (CSÁSZÁR 2002). A késő-kréta takaróképződés kezdetét a flexurális medence kialakulásának ideje jelölheti, amely már a késő-albai–kora-cenomanban létrejött (CSÁSZÁR

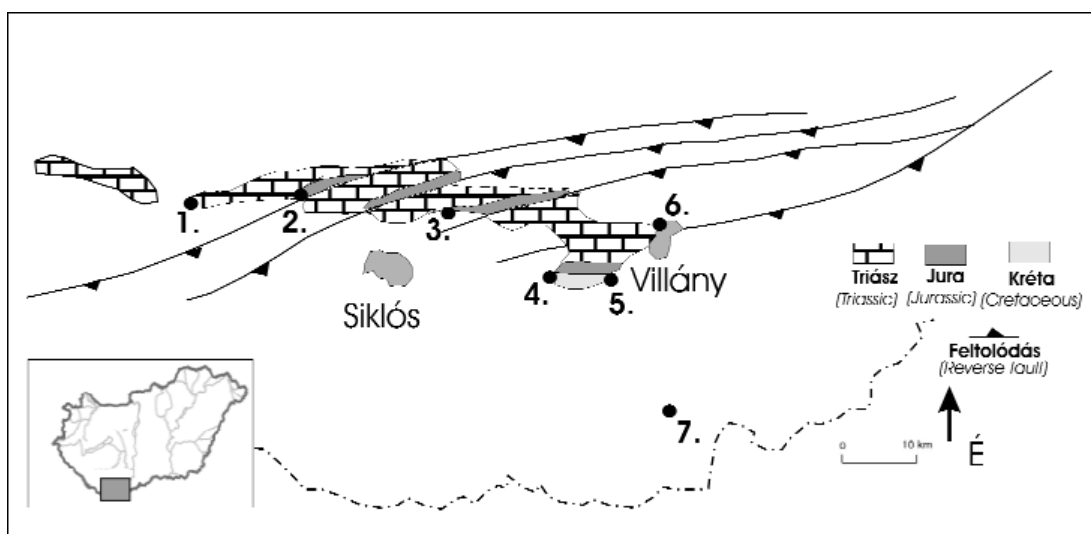
2002). A zóna egészére kiterjedő takaróképződést követően alakult ki a hegység 7 pikkelyből álló szerkezete. A kainozoikum folyamán a késő-miocénig a terület lepusztulási térszín volt, majd a pliocénből gerinces maradványokat tartalmazó vörösagyagot ismerünk a karsztos üregekből. A pleisztocént a hegylábi környezetben lösz képviseli.

## A vizsgált kőfejtők és mérési eredményeik

### Csarnótai v. Kis-hegyi kőfejtő

A kőfejtő a Tenkesi-pikkely délnyugati részén található (1. ábra), középső-triász lagunáris fáciesű mészkőből épül fel (NAGY E. & NAGY I. 1976). A rétegek dőlése meglehetősen enyhe, déli–délkeleties irányú ( $140/20^\circ$ ). A kőfejtő rideg-törésszerű elemekben gazdag, főként diaklázisok, hajszálrepedések, illetve nyílt hasadékok jellemzik, de ezek egy része az utólagos karsztosodás hatására, a fluidumok révén, kalcitásványokkal töltődött ki. Az ilyen felületek mentén mindeddig nem történt jelentős elmozdulás. A litoklázisokból készült sztereogramon jól látható konjugált Mohr-töréspárok rajzolódnak ki (2. ábra).

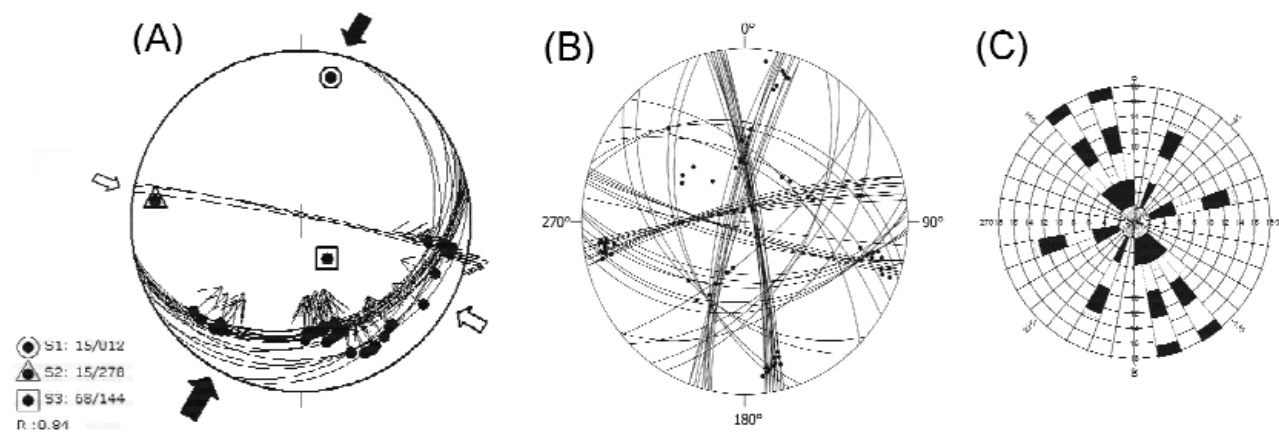
A maximális főfeszültségek ( $\sigma_1$ ) az észak–déli, illetve közel kelet–nyugati csapású törések által bezárt szögek szögfelezőiben találhatóak. A törések, repedések felületén jól látható tús-rostos szerkezetű kalcitlépcsők jelzik a nyírás jellegét. Főként északnyugati, illetve északkeleti orientációjú feltolódási karcokat mértem, de mellettük közel függőleges kelet–nyugati csapású síkokon, vízszinteshez közeli balos eltolódások is jelentkeztek. A feltolódások egy része réteglapok mentén, illetve rámpákon mutatkozott. A rámparendszer a kőfejtő déli oldalán jól látható (BENKOVICS 1997). A rámpasík-feltolódások két részből állnak. Egy lapos helyzetű lenyesési felületből (detachment), mely általában kis nyírószilárdságú, inkompetens anyagból áll, és



1. ábra. A vizsgált kőfejtők földrajzi elhelyezkedése vázlatos tektonikai térképen

1. Csarnóta, 2. Vizügyi kőfejtő, 3. Rózsabánya, 4. Harsány-hegy, 5. Szobrosbánya, 6. Templom-hegy, 7. Beremend

Figure 1. The geographical position of quarries investigated on a schematic tectonic map



2. ábra. A csarnótai kőfejtőben mért szerkezeti adatok

Jelmagyarázat: (A) A vetőkarcokból készült feszültségtér, (B) a mért litoklázisok sztereogramja, (C) a vetőkarcokhoz rendelt  $S_{Hmax}$  irányok csapáseloszlása. (A sztereografikus vetület alsó vetítéssel Schmidt-félgömbön készült.) Az (A) ábrán: S1= 1. főfeszültségtengely, S2= 2. főfeszültségtengely, S3= 3. főfeszültségtengely, R= főfeszültségtengelyek magnitúdója. A (B) ábrán a fekete pontok a körvek póluspontjait jelölik. A vastag fekete nyilak a fő rövidülési, a vastag fehér nyilak a másodlagos rövidülési irányt jelzik

Figure 2. The structural data of the Csarnóta quarry

Legend: (A) Stress field constructed from the striations, (B) a stereogram of lythoclases measured, and the strike distribution of (C)  $S_{Hmax}$  directions assigned to the striations. The stereographic projection has been constructed on Schmidt hemisphere with lower projection. Figure (A): S1= 1st main stress axis, S2= 2nd main stress axis, S3= 3rd main stress axis, R= Magnitude of main stress directions. Figure (B): Black dots illustrate the poles of arcs. The thick black arrows indicate the main shortening directions, the white ones indicate the second shortening directions

egy ferde rámpából, amely a lenyesési felületeket összeköti (CSONTOS 1998). Ebben a kőfejtőben a felső lenyesési felület hiányzik, ezért a rámpát, illetve a rátolódott rétegeket tanulmányoztam. Nem zárható ki, hogy a rámpa felett egymásra torlódtott tömegek előterük számára komoly megterhelést jelentettek, s talán ennek köszönhető a rámpa közvetlen előterében lévő kényszer-szininform szerkezet is. A DDK-i dőlésű felületeken dominálnak a két különböző feszültségtérben létrejött feltolódási karcok, melyek részben észak-északnyugati, részben északkeleti irányúak és az egész kőfejtőre jellemző szisztematikusan vetőrajokon jelentkeztek. A feltolódásokon kívül egy kelet–nyugati csapású balos eltolódási csoport is látszik, amely a területet ért harmadik feszültségtér megnyilvánulása. Az eltolódások több helyen is jól láthatóan posztdataáltak a feltolódási karcokat, amely segítette a csoportosítás és a relatív kronológiai sorrend meghatározását.

A feszültségtér 52 vetőkarcból állt. A vetőkarcokat és a feszültségtér szemléltető 2. ábrán jól látszik, hogy a terület radiális kompressziós ( $\sigma_3$  függőleges pozíciójú). Ezt támasztja alá, hogy a főfeszültség magnitúdók arányaiból képzett  $R$   $\{R=(\sigma_2-\sigma_3)/(\sigma_1-\sigma_3)\}$  értéke közelít 1-hez, ami a főfeszültségek permutációjához, nevezetesen  $\sigma_1$  és  $\sigma_2$  felcserélődéséhez vezethet, többirányú rövidülést váltva ki a területen. A döntő rövidülés az ÉK–DNy-i, melyet a maximális horizontális főfeszültségirány ( $030^\circ$ – $210^\circ$ ) is bizonyít. Másodlagos rövidülés volt a területen ÉNy–DK-i irányban, elsősorban a feszültségtengelyek permutációjából adódóan. Az  $S_{Hmax}$  irányok csapáseloszlását szemléltető rózsadiagram is jelzi a két kitüntetett irány hangsúlyos szerepét (2. ábra). A vetőkarcok kinematikájának  $R'$  értéke (2,84) szintén megerősíti a területet ért többirányú kompressziós erőhatást.

A mért karcadatokból 3 csoportot hozható létre (11. ábra), kettő rövidüléssel eredetű és az ÉNy-i illetve ÉK-i

irányultságú feltolódásokat tartalmazza, a harmadik tér, amely a K–Ny-i csapású balos eltolódásokat hordozza, tisztán eltolódásos. Itt volt lehetőség relatív kronológiai sorrend kialakítására, hiszen az eltolódások több alkalommal is felülbélyegezték az inverz karcokat. A két különböző orientációjú feltolódásos tér kapcsolatának értékelésére a többi kőfejtőben látottak nyújtottak segítséget, hiszen ezekben az ÉK-i irányultságú feltolódásos karcok felülbélyegezték az ÉNy–DK-i csapásúakat. A legidősebb csoportnak az ÉNy-i feltolódási nevezhető, ezt követi az ÉK-i, s végül a legfiatalabb, a K–Ny-i orientációjú balos eltolódásokat tartalmazó erőter.

### Vízügyi kőfejtő

A bánya az ÉK–DNy-i csapású Tenkesi-pikkely DNy-i irányú elvégződése közelében, a Tenkes-hegy déli lejtőjén, a Szabolcsi-völgyi kőfejtőbe vezető út végében található (1. ábra). A kőfejtő 30 m magas, 60 m széles K–Ny-i, illetve erre merőleges É–D-i csapású fala kiválóan tanulmányozható. A jura–kréta kőzetekre feltolva a következő pikkely bázisát képviselő triász dolomit található. A kőfejtőt a felső-jura Szársomlyói Mészke és az alsó-kréta Nagyharsányi Mészke kitermelésére nyitották. A rétegsort egy merőleges helyzetű felső-kréta bazalttelér harántolja a fejtés nyugati részén. Változatos rétegdőlés jellemzi, ami döntően déli, délkeleties, és meredekebb, mint a Csarnótai kőfejtőben.

A terület bonyolult szerkezeti felépítésű. Már távolról feltűnik a K–Ny-i csapású falon egy hatalmas, nagy amplitúdójú redőkomplexum, melynek tengelye enyhén kelet felé dől (1. kép). A redőkön kívül számos egyéb plasztikus forma is látható, mint például a keleti oldalon egy gyönyörű duplex, sőt akár „tripleként” is felfogható szerkezet a triász dolomitban. Ezek a formák a felső-jura mészkeben is mutatkoznak, de ott több nyírási sík metszi, illetve veti el ezt

a struktúrát. A duplexen kívül a bánya nyugati falán kaotikusan gyúrt, monoklinális redőket, illetve ezek elvetett redőszárnyait és flexurákat is tanulmányozhatunk.

A redőtengelyek döntően megegyeznek a nagy amplitúdójú redő tengelyének dőlésével, a redőszárnyak olykor



**1. kép.** A Vizügy kőfejtő nagy amplitúdójú redőkomplexumának részlete és a redőszárnyon látható Riedel-rendszer elemei

Jelmagyarázat: R: Riedel-törés, R': Antitetikus-Riedel-törés, P: P-törés

**Picture 1.** A detail of the high-amplitude fold complex of the Vizügy quarry and the Riedel-system on the fold limb

Legend: R: Riedel-fault, R': Antithetic-Riedel-fault, P: P-fault

lapon, de többnyire meredekebb szögben dél felé dőlnek. Itt is láthatóak a rámpasík-feltolódás jegyei, de komplexebb formában. Főként vak feltolódásokként a rétegek közötti súrlódásától függően különböző egysegek toldódhatnak egy-

másra a rámpa felett. Ún. bulldózer mechanizmus okozta deformációk is mutatkoznak. Ez akkor lép fel, ha a rétegek egymás közötti súrlódása nagy, közöttük nincs lenyesési felület, és vagy a teljes áttolódás feletti közettömeg együtt mozog, vagy az áttolt tömeg maga előtt kisebb pikkelyeket nyes fel (CSONTOS 1998). Ezek a torlódás folyamán deformálódhatnak, különösen akkor, ha még nem, vagy félig konszolidált formában történik a folyamat. A bánya nyugati falának északi részén rámpa felett kialakult kényszerredőket, előterükben színform jellegű deformációs elemeket látunk. Ezek nagy része teljesen gyúrt, kaotikus szerkezet, krioturbációs formákra hasonlít (3. ábra).

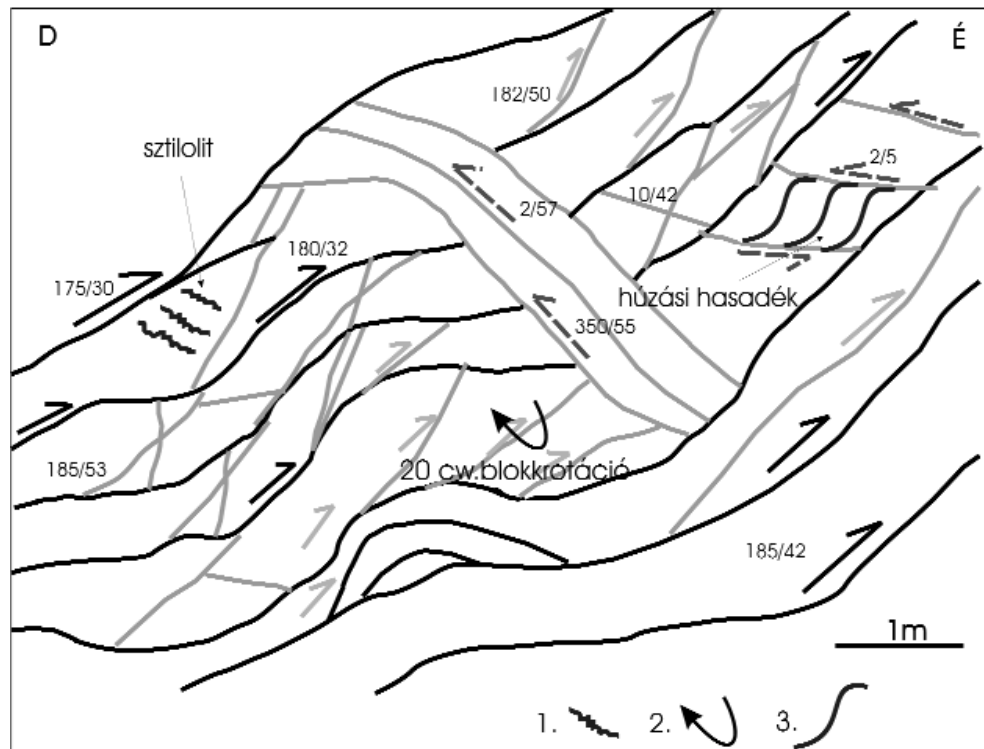
A réteglapon, az északi vergenciájú feltolódások mentén, a déli vergenciájú visszatolódások hatására, ékszerkezet alakult ki, mely a fal középső részén megakadályozta a további északi irányú áttolódást, sőt a már konszolidált kőzetblokkok eltörtek és az óramutató járásával megegyezően kiforogtak eredeti helyzetükből. A rotációt szenvedett blokkok alatti rétegeket már nem érte ugyan a visszatolódás, de a felső elforgott blokkok miatt térrövidülés játszódott le, ami duplex szerkezetek kialakulásához vezetett. A feltárásban látható töréspárok szögfelezőjében kisebb méretű sztilolitok láthatók, melyek csúcsa a réteglap menti feltolódásokkal egyezők. Az ékszerkezet „árnyékában” kialakult kulisszás elrendezésű kalcittal kitöltött húzási hasadékok, pedig egy lapos ferde eltolódás mentén jöttek létre. A redőzéseket több helyen utólagos nyírási síkok metszik el, de gyakoriak a litoklázisok is. Az egyszerű nyírás hatására a redőszárnyakon a lemezesen elváló mészkőben Riedel-törésrendszer, illetve aszimmetrikus nyírószalagok, valamint szigmoidális S palásság alakult ki (2. kép).

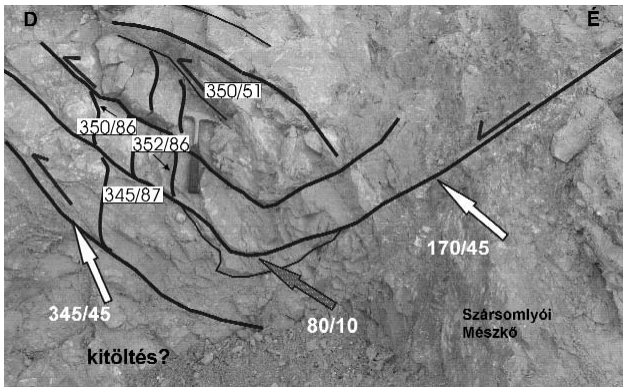
**3. ábra.** Részlet a bánya É-D-i falának kaotikusan gyúrt szerkezetéről, duplexeiről, réteg és rámpa menti feltolódásairól, valamint a visszatolódásokról

Jelmagyarázat: A vastag fekete nyíl a réteglap menti feltolódást, a szürke nyíl a rámpa menti feltolódást, a szaggatott nyíl a visszatolódást ábrázolja.

**Figure 3.** A detail of the chaotically folded N-S wall of the quarry; its duplexes, reverse faults (upthrusts) along the bedding plane and ramps, and retrocharriages

Legend: The thick black arrows indicate the reverse faults along the bedding planes, the grey arrows indicate the reverse faults on the ramps, and the abruptness arrows indicate the retrocharriages. 1 – stylolite, 2 – block-rotation, 3 – sigmoidal tension fissure





**2. kép.** A bányában található kitérés gyűrődései, S palássága  
Jelmagyarázat: a szürke nyíl a redőtengelyre, a fehér nyíl a redőszárnyakra mutat  
**Picture 2.** Foldings and S foliation of an infilling encountered in the quarry  
**Legend:** The grey arrow points to the fold axis, and the white arrow points to the limbs of fold

A nagyméretű gyűrődés kialakulása valószínűleg a takaróképződés időszakára tehető, de a többi kisebb plasztikus forma nagy része is ekkor alakulhatott ki. Véleményem szerint hajlításos-csúszásos mechanizmus eredménye a bányában található nagyméretű szigmoidális alakú redőkomplexum, hiszen a redőszárnyakon markáns nyírási bélyeget tartalmazó, döntően feltolódási vetőkarcokat, szakításos lépcsőket, sztilolitokat, a csuklózónánál pedig torlódásos jelenségeket lehetett tanulmányozni (TWISS & MOORES 1992).

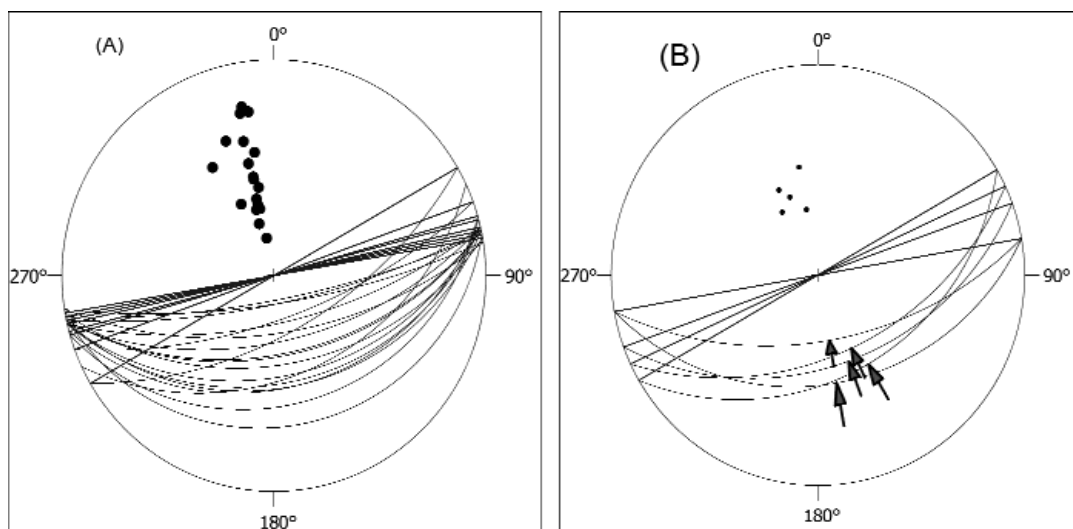
Az egymás fölött elhelyezkedő redőtengelyek közötti nyírózónában látható Riedel-rendszer balos oldaleltolódást jelez. MAROS (1990) szerint az erőhatások, melyek a redőket kialakították, már konszolidált állapotban érték a kőzettestet. A redőződés korát nem adja meg, de a feltolódási karcokkal tartja egyidejűnek.

A redőszárnyak dőléseiből megszerkesztett redőtengely KÉK–NyDNy-i csapású. A redőszárnyak déli, illetve északi dőlésűek, és a rajtuk található feltolódási karcok, valamint a nyírási és nyomásoldódási bélyegek kiválóan korrelálnak a redőtengely csapásával (4. ábra).

A feltolódási karcok északnyugati orientáltságúak, vagyis a redőtengely csapására közel merőlegesek. Az ezeket létrehozó elmozdulások, valószínűleg szerepet játszottak a redők kialakulásában. A redőszárnyakon található sztilolitok csapása szintén ÉNy–DK-i maximális főfeszültségirányt jelöl.

**Rideg töréses elemek, vetőkarcok:** A kőzetrések (jointok) nagy része a redőszárnyakon rendszert alkot. A redőt hosszanti, haránt, valamint átlós repedések járják át. Ezek mentén jelentős elmozdulás nem látszik, de a későbbiekben, megfelelő feszültségtérben fontos nyírási felületként funkcionálhatnak. Az átlós kőzetrések a csuklóvonalra szimmetrikusan helyezkednek el és Mohr-síkszerű rendszerként foghatóak fel. A hajszálrepedések zömében követik a redő geometriáját, tehát valószínűleg egy feszültségtér alakíthatta ki azokat. A litoklázisok egy része ún. master joint szerepet tölt be. Már távolról látszik a K–Ny-i csapású falban egy majdnem az egész feltárást átmetsző, de jelentős elmozdulást nem mutató ÉNy–DK-i, valamint egy É–D-i csapású Mohr-töréspár. A litoklázisok dőléseloszlását mutató sztereografikus projekción több csoportosulás is megfigyelhető. Ezek egy része konjugált töréspár (DK-i illetve DNy-i, valamint a K-i és az ÉNy-i). E törésszerek illeszkednek egy közel É–D-i, illetve egy ÉÉK–DDNy-i rövidüléshez (5. ábra).

A vetőkarcok jó része vetőrajként, illetve kisebb vetőzónákban redőszárnyakon, redőtengely mentén, valamint réteglapokon és rámpákon jelentkezett. A vetőkarcokból

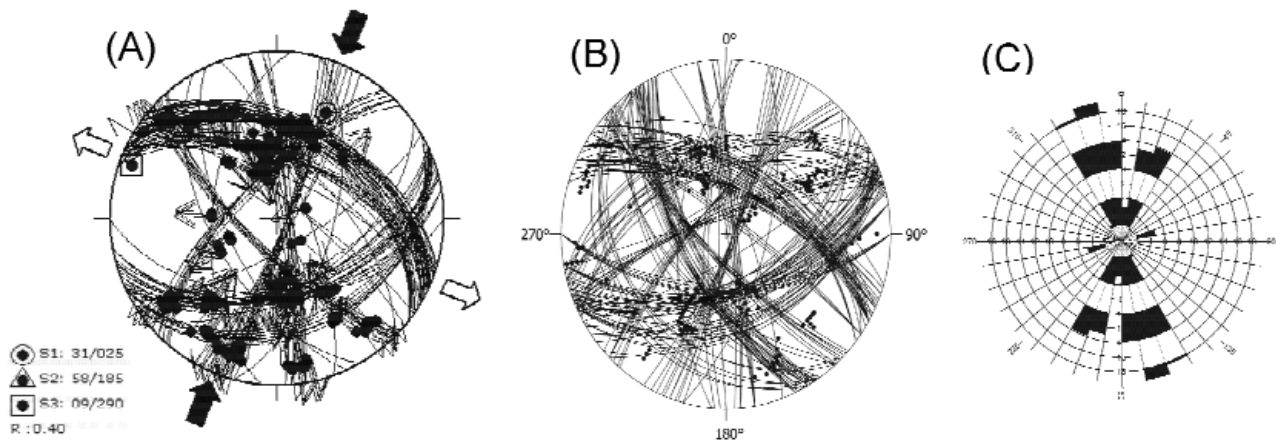


**4. ábra.** A mért redőszárnyakból szerkesztett redőtengely irányok (A), valamint a redőszárny karcai, és a hozzájuk illeszkedő redőtengelyek (B). A sztereografikus vetület alsó vetítéssel Schmidt-félgömbön készült

Jelmagyarázat: a kék vonalak a redőtengely csapásirányait a fekete pontok a síkok póluspontjait jelölik

**Figure 4.** Directions of fold axes constructed from the limbs of fold measured (A), and limbs of fold strias with the matching fault axes (B). The stereographic projection was made on Schmidt hemisphere with lower projection

**Legend:** The blue lines indicate the trends of the fold axes



5. ábra. A Vizügyi kőfejtőben mért szerkezeti adatok

Jelmagyarázat: lásd 2. ábránál. A vastag fekete nyilak a fő rövidülési, a vastag fehér nyilak a fő tágulási irányt jelzik

Figure 5. The structural data of the Vizügy quarry

For legend see Figure 2. The thick black arrows indicate the main shortening directions, the thick white ones indicate the main dilation directions

készült sztereogramon látszik (5. ábra), hogy az elmozdulások döntő többsége feltolódásos jellegű. A feltolódások 2 esetleg 3 jól elkülöníthető csoportot alkotnak, amelyeket szimmetrikusan elhelyezkedő eltolódási zónák öveznek, jobbos, illetve balos elmozdulásokkal. Az ilyen vetőkarcok Mohr-féle konjugált törésekként, és elmozdulásokként értelmezhetők. Ezen belül az északi orientációjú feltolódások mellett, markáns csoportot képviselnek a déli, délkeleties irányultságú feltolódási karcok. Ezek egy része a redőszárnyakon látható és a csuklózóna közelében vastag jobbos eltolódású karcokká alakultak át. Az ellentett dőlésirányú feltolódások nem ritkák a takaróképződéseknél, ezek az ún. visszatörölódások (back-thrusting). Nem zárható ki ez a fajta genetika ebben az esetben sem. Az eltolódások közel függőleges síkokon ÉK–DNy-i, illetve erre közel merőleges ÉNy–DK-i csapás mentén láthatóak. A normál vetőkarcok leginkább a déli dőlésű felületeken jelentkeztek, gyakran interferálva a feltolódási karcokkal, jelezve a területet ért különböző feszültségtér változását. A vetőkarcokból szerkesztett feszültségtér alapvetően transzpressziós eredetű, erre utal  $R'$  értéke is (1,8).  $S_{Hmax}$  irányja  $022-202^\circ$ , vagyis ÉK–DNy-i kompresszió, illetve erre merőleges tenzió a jellemző. Az elmozdulási vektorokra lebontott  $S_{Hmax}$  irányok csapása ÉNy–DK-i, illetve ÉÉK–DDNy-i maximumokat jelöl (5. ábra). A transzpressziós térnek megfelelően  $R$  értéke 0 felé konvergál, ami a  $\sigma_2$  és  $\sigma_3$  tengelyek gyakori permutációjával jár.

A 231 db mérési adatból 5 karccsoport rajzolódik ki (1. később 11. ábra). Mindegyik jól lehatárolható feszültségtérre tükröz, melyekhez illeszkednek a mért litoklázisok. Két feszültségmező tenziós, az egyik ÉK–DNy-i, a másik É–D-i tágulást okozott. Főként normál vetőkarcból, alárendelten ferde eltolódásokból áll. Két mező feltolódásos deformációt okozott, az egyik ÉNy–DK-i, fő  $S_{Hmax}$  iránnyal (redőtengelyre merőleges rövidüléssel), míg a másik ÉK–DNy-i maximális főfeszültségiránnyal rendelkezik. Végül van egy transzpressziós tenzortér, mely konjugált eltolódási párokat tartalmaz de nem volt beilleszthető a feltolódásos erőterekbe. Relatív kronológiai sorrend felállítására csak a

feltolódásokat tartalmazó kompressziós tenzortereknél van lehetőség. Ezeknél az ÉNy–DK-i erőter karcait metszette a fiatalabb ÉK–DNy-i csapású feltolódásokat tartalmazó csoport.

### Üregkitöltés?

A kőfejtő nyugati részén az É–D-i csapású fal középső szintjén, a Szársomlyói Mészköben egy üregerű teret mészkő tölt ki, amely fakószürke színű, vékonyréteges, mind mikro-, mind makrofaunában rendkívül szegény (kalcit kitöltésű csiga- és Ostracoda-vázak). É–D-i kiterjedése kb. 15 m, függőleges kb. 7–8 m, míg kelet–nyugati dimenzióját nem ismerjük. Nagy szögdiszkordanciával határolódik el az öt körülölelő Szársomlyói Mészköktől. A két képződmény határán, a felső-jura mészkőben, délies dőlésirányú, normál vető jellegű karcok láthatók, melyek a kitöltésben már nem követhetők. A kitöltés dőlésszöge lényegesen kisebb, mint a felső-jura mészkőé, kb.  $165/30^\circ$  körüli. Északi tektonikus határánál kaotikusan gyúrt. Redők ebben a képződményben is vannak, azonos csapású redőtengelyekkel, mint a Szársomlyói Mészköben. Gyakorik a flexurák, monoklinális „redőroncsok” (2. kép).

Az üregkitöltő mészkőben déli csapású feltolódási, a redők csuklózónájánál jobbos eltolódási karcokat mértem. A makroszkópos jelleg alapján úgy tűnik, hogy a mésziszap még félig konszolidált állapotában került jelenlegi pozíciójába. Valószínű, hogy a takaróképződés a kitöltő anyagot már mai helyzetében találta, amire a redőtengelyek bezáró közzettel megegyező csapása is utal, de a hasonló szerkezeti bélyegeket magukon viselő formák is ezt erősítik. Északi határánál normál vetős karcok láthatók, amelyek a kitöltésben már nem jelentkeztek.

### Rózsabánya

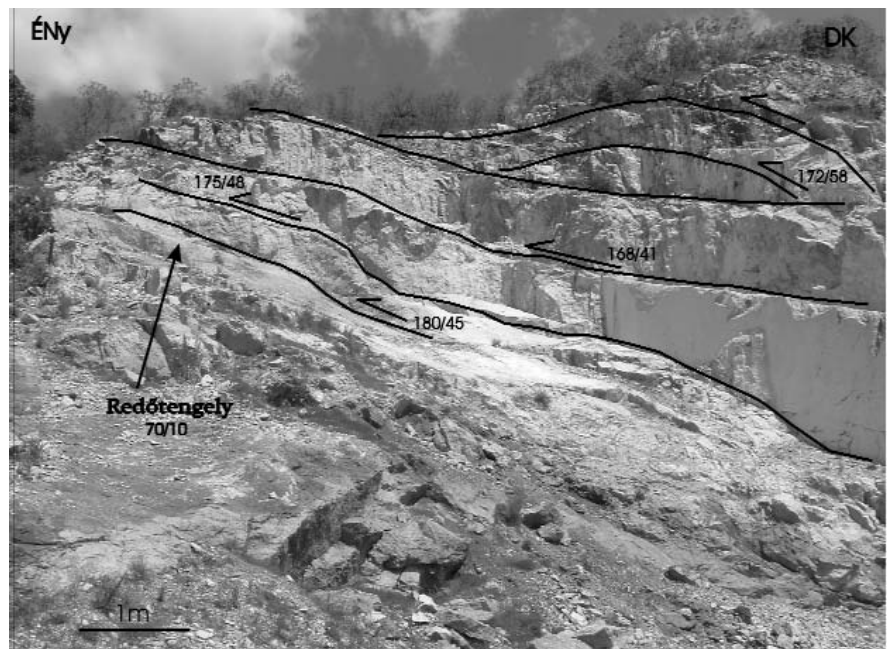
A kőfejtő Siklóstól északra, a Csukma-hegy déli oldalán, a hegyről elnevezett pikkelyben található (1. ábra). A feltárásban a középső-triász Csukmai Dolomitra a középső-

jura Villányi Mészkö, és a felső-jura Szársomlyói Mészkö települ. A dolomit 26–28°-kal dől dél, délkeleties irányba. A felső-jura Szársomlyói Mészkö rétegdőlése 160–165/40° között változik. A terület tektonikai szempontból egyszerűbb képet mutat, mint a Vízügyi kőfejtő, bár ez talán méretéből is adódik. A felső-jura mészkőben itt is megfigyelhető egy közepes amplitúdójú, nyílt, tág, lekerekített geometriájú aszimmetrikus monoklinális redő. Tengelye, a Vízügyi kőfejtőben található redővel azonosan, enyhén KÉK felé dől, míg tengelysíkja valószínűleg északi dőlésű. A réteglapon létrejött monoklinális redő és környezete csúszdára emlékeztet, melynek egy meredekebb (165/55°) DDK dőlésű szárnya és egy jóval enyhébb, majdnem vízszintes, de enyhén szintén DDK-i dőlésű szakasza van. Ez a redő északkeletre a mészkő fiatalabb rétegeiben is felismerhető. Valószínűsíthető, hogy a redőződés itt is a késő-kréta takaróképződés időszakában alakult ki. Genetikáját tekintve hasonló, mint a Vízügyi kőfejtő nagy amplitúdójú redője, vagyis hajlításos-csúszásos eredetű. Ezt bizonyítja a redőszárnyon található feltolódási karcok tömege. Ezek orinetációja közel merőleges a redő tengelyére, tehát korrelál vele. A szárnyakon tapasztalható kisebb mikroredők helyenként a tengelyfelületen kialakult krenulációs palásságra emlékeztető formákat öltenek, melyek tengelye a makroredővel azonos csapású. Lehetséges, hogy a redő nem horizontális rövidülés okozta kihajlás, hanem az aljzat megemelkedése miatti felboltozódás eredménye. Ennek egyik típuspéldája az olyan flexura, amelynél a felső lepel felveszi a merev aljzat elmozdulása alkotta tereplépcső formáját (BALLA 1965). A bányában található redő aszimmetriája alátámaszthatja ezt a modellt. A felső-jura egymásra tolódott rétegei a Csukma-hegy antiklinálisának déli szárnyát képviselik, jól felismerhető a duplex szerkezet (3. kép), a rétegek egymás közötti elnyíródása. Az egymás hátán fekvő rétegek antiform halmot alkotnak, de gyakoriak a feltolódással egy időben történt visszatolódást jelző, az előtér felé dőlő, többször tisztán látható feltolódási síkok. Az áttolt közettömegben előfordulnak normál vetős bezökkenések, ezek egy része a torlódás következtében jöhetett létre. A szárny duplexszerű szerkezet, amelyben a nagyobb közettömegek kívül, apróbb lenyesési felületek mentén kisebb pikkelyfoszlányok láthatóak.

A kőfejtőben számos töréss elem található, főként litoklázisok, hajsálrepedések jellemzőek, de természetesen, a vetőkarcos felületek sem hiányoznak. A nyírási felületeken nyomásoldódásos jellegű, elmozdulást mutató bélyegek vannak. A réteglapok felületén előfordultak ún. szlikkolitok is. Ezek

nyomásai oldódással jönnek létre az oldásra hajlamos kőzetekben az összenyomott vetőlapok menti lassú elcsúszás közben. Ekkor a nyírási síkhoz csekély szögben hajló rovátkákat, tűhegynyi bemaródásokat láthatunk (CSONTOS 1998). A szlikkolitok a feltolódási karcokkal megegyező értelmű mozgásra utalnak, vagyis déli dőlésűk mellett jellemzően északi irányú áttolódást jelölnek. A kőfejtőben mért litoklázisok 3 fő csapásirányhoz, az É–D-ihez, ÉNy–DK-ihez, illetve KÉK–NyDNy-ihez rendelhetők (6. ábra).

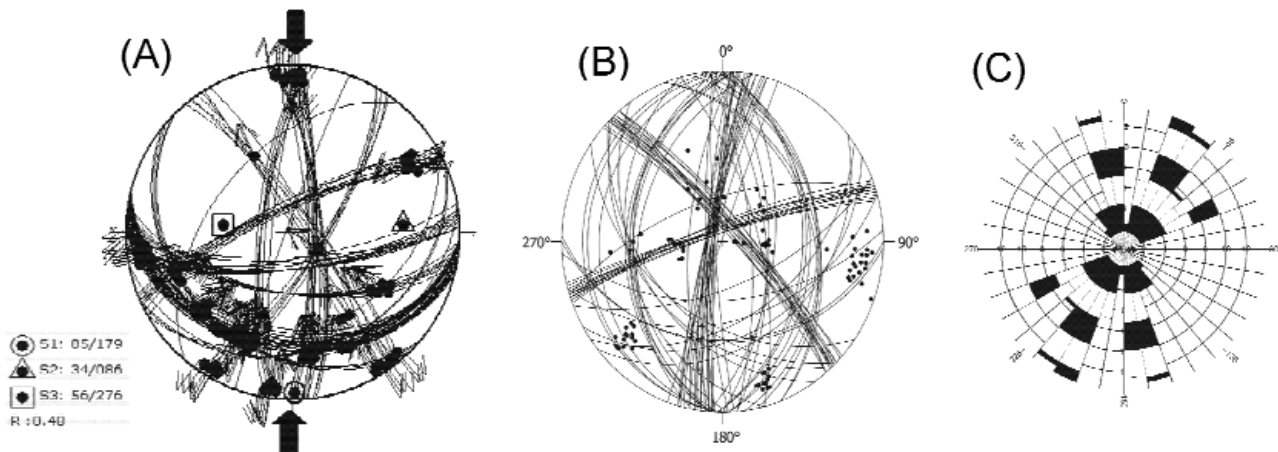
Az É–D-i és az ÉNy–DK-i litoklázisok Mohr-töréspárt alkotnak, s jól illeszthetők a feltolódási karcok egy részéhez. Számos csúszási karcot hordozó felületet találtam, melyek döntő többsége feltolódási jellegű, de eltolódásos is mutatkozik. A vetőkarcok (150 db) jól körülhatárolható vetőzónákban, illetve a redő környezetében vetőrajkként jelentkeztek. A feltolódási karcok 90°-os, óramutató járásával megegyező irányú fokozatos elfordulást mutatnak, egyértelműen kijelölve a különböző generációk sorrendjét. A feltolódásos karcok jó részét a déli dőlésű réteglapokon, ferde áttolódási felületeken, illetve a redőszárnyon mértem. Irányuk az északnyugat–délkeletitől az északkelet–délnyugatiig terjed. Az eltolódások konjugált párokként hozzárendelhetők a feltolódásokhoz. Csapásuk É–D-i, ÉK–DNy-i, illetve ÉNy–DK-i irányú. A karcok, törések mind a dolomitban, mind a mészkőben hasonló irányokkal jelentkeztek. A vetőkarcokat összesítő sztereogram rövidüléss deformációs teret jelöl (6. ábra), ahol a  $\sigma_3$  ferde függőleges helyzetű. Az R értéke 0,48, és mivel kompressziós erőter R' értéke 2,48. Az  $S_{Hmax}$  értéke D001°, vagyis É–D-i kompresszió az uralkodó. Ha az egyes elmozdulási vektorokra kiszámolt  $S_{Hmax}$  irányokat nézzük, akkor két maximum, az ÉK–DNy-i és az ÉÉNy–DDK-i irány a domináns (6. ábra).



3. kép. Felső-jura mészkő duplex szerűen egymásra tolódott rétegei, és a réteglapon kialakult monoklinális redő

Picture 3. Sort of duplex infolded strata of Upper Jurassic limestone, and the monoclinial fold developed on the bedding plane





6. ábra. A rózsabányai kőfejtőben mért szerkezeti adatok  
Jelmagyarázat: lásd 2. ábránál. A vastag fekete nyilak a fő rövidülési irányt jelzik

Figure 6. The structural data of the Rózsabánya quarry

For legend see Figure 2. The thick black arrows indicate the main shortening directions

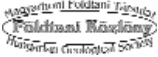
A vetőkarcokból négy karccsoportot lehetett kialakítani (11. ábra), kettő tisztán rövidüléssel, kettő tágulási eredetű. A rövidüléssel erők egyik ÉNy–DK-i  $S_{Hmax}$  csapásirányokkal rendelkezik, a redőképződésben jelentős szerepe volt, hiszen a redőtengelyek csapására merőleges reverz karcokat hordoz, és a réteglapokon, redőszárnyakon lehetett regisztrálni. A másik erőterék ÉK–DNy-i rövidülést jelez, feltolódásokkal és Mohr-féle konjugált eltolódási párokkal. A két transzpressziós tér közül az egyik É–D-i fő nyomást és K–Ny-i húzást mutat feltolódásokkal és kapcsolt eltolódásokkal, míg a másik ÉK–DNy-i nyomást és erre merőleges tágulást jelez. Relatív kronológia alapján, csakúgy, mint a Vízügyi kőfejtőben, itt is a legidősebb csoport az ÉNy–DK-i, ezt bélyegezte felül az É–D-i transzpressziós csoport, s végül a legfiatalabbak az ÉK–DNy-i  $S_{Hmax}$  irányúak.

### Harsány-hegyi kőfejtő

A kőfejtő a Villányi-hegység Harsány-hegyi pikkelyében, a Szársomlyó nyugati oldalán, Nagyharsány község északi előterében van (1. ábra). A legnagyobb kőfejtő az egész Villányi-hegység területén, benne többszintű művelés folyik. A hegy északi előterében középső-triász szürke, gumós, lemezes dolomit települ. A hegy gerincén és északi oldalán felső-jura Szársomlyói Mészke, a déli oldalán alsó-kréta urgon fáciesű Nagyharsányi Mészke található (Császár 2002). A meredek déli dőlésű képződmények a tektonikus mozgások eredményeként K–Ny-i irányú pásztákban mutatkoznak. A sötétebb szürke árnyalatú kréta mészke és a világosabb szürke felső-jura mészke település kontaktusa a bánya falában már messziről jól látható. A rétegdőlés  $175/47-54^\circ$  között változik, de ennél meredekebb is előfordul. A mészke változó mértékben töredezett, utólag kalcitosodott. A bánya egész területén jól láthatóak a különböző nyírási zónák, melyek főképp Riedel-törésszisztemeként értelmezhetők. Ezek mellett itt is látható a rétegek, réteglapok menti felpikkelyeződés. Való-

színűleg a területet ért erőhatások itt markánsabbak voltak, mint az előző bányákban. A bányauzem alsó művelési szintjén egy több tíz méter széles tektonikus breccsa települ, melyen jelentős oldalirányú ÉK–DNy-i csapású balos eltolódásokat mértem. Az egész területen jellemzőek az É–D-i, illetve az erre szimmetrikus transzfer jellegű törések és nyírózónák. A többnyire bauxitos vagy tarka agyag kitöltésű nyírózónákban jól láthatók az elmozdulás jelei. A kitöltésben található legnagyobb megnyúlás irányába forgatott hossz tengelyű klasztok, mint elnyúlt deformációs ellipszoidok jelzik az egykori tenzortér stílusát (4. kép). A klasztok az ún. March módnak megfelelően mintegy belefagynak a kőzet szövetébe, és azzal együtt az egyszerű nyírásnak megfelelően passzívan forognak, majd a nyírás előrehaladtával a deformációs ellipszoid fő nyúlási tengelyeihez közelítenek (GHOSH & RAMBERG 1976).

Az áttolódott rétegekben itt is láthatóak a képlékeny deformációs elemek, főként lenyezett flexurák, redőszárnyak színform, illetve antiform részei, valamint az előretolt apróbb pikkelyfrontoknál visszatorlódás jelei is mutatkoznak, déli irányú, tehát a pikkelyképződéssel ellentétes feltolódásokként. A bánya keleti falának középső szintjén egy miocén (Császár 2002) hasadékkitöltés van, melyen északi és északkeleti vergenciájú feltolódásokat mértem, de határainál, vastag eltolódási karcok láthatók. A kőfejtő észak–déli csapású falán egy Riedel-nyírózóna rajzolódik ki, de nem ritkák a Mohr-töréspárok sem. A vetőkarcok meghatározása nem minden esetben volt egyértelmű, ez főleg az utólagos karsztosodás és mállás következménye lehet. A kalcitkitöltések egyébként többnyire preformált tektonikus síkok mentén jelentkeznek. Előfordulnak nyomásoldódásos tektonikus sztililitok is, különösen a nyírózónák mentén, melyek ún. écheleon szerkezetet formálnak, és kiválóan mutatják a nyírás jellegét. A sztililitcsúcsok ÉK–DNy-i maximális főfeszültség irányt jeleznek. A litoklázisok jól elkülöníthető csoportokat alkotnak (7. ábra). Dominánsak az ÉK–DNy-i, az ÉNy–DK-i, illetve a K–Ny-i csapású törések. A délies dőlésű litoklázisok is jelentősek,



**4. kép.** Réteg menti feltolódások, visszatorlódások, összetett törérendszer az alsó-kréta mészkőben. Az agyagos-bauxitos kitöltésben látható, a nyírás orientációjának megfelelően beállt klastrok

**Picture 4.** Reverse faults along the bedding plane, retrocharrriages and complex fault systems in the Lower Cretaceous limestone Clasts are fixed according to the orientation of the shear, to be seen in the argillaceous-bauxitic infilling

a meredekebbek az antitetikus Riedel-csoportnak, míg a laposabbak a Riedel-töréscsoportnak felelnek meg. Ezek mentén egyébként minimális elvetés van. A nyírás felületen látható vetőkarcok (150 db) döntően feltolódások, illetve eltolódások, melyek csakúgy, mint a többi bányában konjugált párként jelentkeznek (7. ábra). Meghatározóak itt is az északi irányú feltolódások, melyek Rózsabányával megegyezően fokozatos elfordulást mutatnak az északnyugati irányultságtól, a kelet-észak-keletiig.

Az eltolódások 3 fő csoportot képeznek, és részben kapcsolatos eltolódásokat alkotnak. Egy ÉK–DNy-i, egy közel K–Ny-i csapású balos, illetve egy ÉNy–DK-i csapású jobbos nyírású blokk mutatkozik. A vetőkarcokból készült feszültség-tér-átmenet a radiális és a tiszta kompresszió között. Erre utal az  $R'$  értéke is, mely 2,72.  $\sigma_3$  függőleges helyzetű,  $R$  értéke 1-hez közelít, ami  $\sigma_2$  és a  $\sigma_1$  gyakori

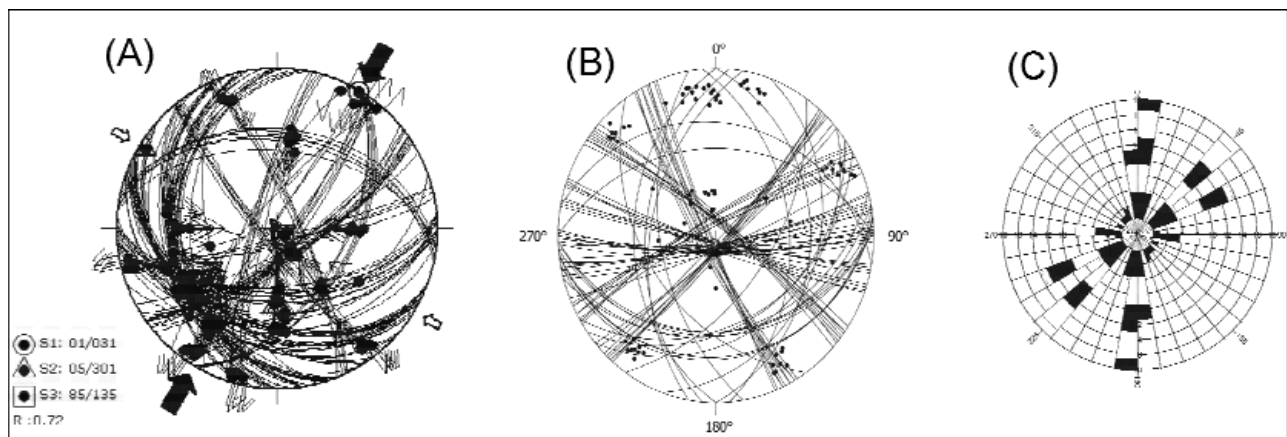
permutációját jelzi. Az  $S_{Hmax}$  iránya  $031^\circ - 211^\circ$ , tehát ÉK–DNy-i maximális kompresszió a domináns. Az egyes vetőkarcokra lebontott  $S_{Hmax}$  irányok szintén ÉK–DNy-i illetve É–D-i csapású maximumot adnak (7. ábra). A területen mért sztililitok csúcsainak csapása döntően megegyezik a maximális főfeszültségirányokkal, vagyis É–D-i illetve ÉK–DNy-i kompresszióra utal.

Öt karccsoport volt elkülöníthető, melyek közül négy feltolódásos, egy transzpressziós (11. ábra). A korábbi kőfejtőkkel megegyezően itt is az ÉNy–DK-i, az É–D-i és az ÉK–DNy-i rövidüléssel, transzpressziós erőterek jellemzőek. Főként feltolódások, konjugált eltolódások, ritkábban normál vetők alakítják a terület tektonikáját. A relatív kronológiai sorrend felállításánál újabb megerősítést kapott, hogy az ÉNy–DK-i fő kompressziós irányokkal rendelkező tér a legidősebb, míg az óramutató járásával megegyező irányban haladva az erőterek egyre fiatalodnak. Említést érdemel, hogy a K–Ny-i tisztán kompressziós csoport más kőfejtőkben nem jelentkezett. Elképzelhető, hogy lokális feszültségtérrel van szó, ami a kőzetblokkok torlódása okán fellépő rotáció eredménye.

### Szobrosbánya

A Szársomlyó keleti végén található bánya, a Szársomlyói Mészkő felső-jura rétegsorát tárja fel (1. ábra). A rétegek helyenként majdnem függőleges helyzetűek (rétegdőlés  $170/60-65^\circ$ ), jelezvén a területet egykor ért komoly erőhatásokat.

A bányában a nyílt töréses elemek, kulisszás hasadékok, litoklázisok és a nyírás felületek a meghatározóak. Az egyes törési felületeken hajszálrepedés-rendszerek figyelhetők meg, főként átlós és erre merőleges orientációval. Az átlós repedés tipikus Mohr-törés, mely nyírásos eredetű. A repedés csapása egyébként megfelel egy észak-kelet–délnyugati tenziós térnek, amely a terület összedéformációs terével megegyező képet mutat. A kulisszaszerűen (en échelon) elhelyezkedő kalcittal kitöltött tenziós



**7. ábra.** A Harsány-hegyi kőfejtőben mért szerkezeti adatok

Jelmagyarázat: lásd 2. ábránál. A vastag fekete nyíl a fő rövidülési, a fehér nyíl a másodlagos rövidülési irányt mutatja

**Figure 7.** The structural data of the Harsány-hegy quarry

For legend see Figure 2. The thick black arrows indicate the main shortening directions, the white ones indicate the second shortening directions

hasadékok jöttek létre, egy ÉK–DNy-i tenzió eredményeként (5. kép).

A mért réteglapok, töréses elemek (8. ábra) meredek dőlésűek (70–85°), és két markáns irányhoz rendelhetőek (É–D-i, illetve K–Ny-i). A litoklázisok részben a vetőkarcokat létrehozó feszültségek kioldódásának eredményei, de rajtuk még jelentős elmozdulás nem mutatkozik. A vetőkarcoknál (40 db) nagyobb az eltérés az előzőleg tárgyalt kőfejtőkkel szemben (8. ábra, C). Ez alapvetően egy transzverzális tér, normál vetőkkel és jobbos eltolódásokkal. A csúszási karcok döntően vetőzónákban jelentkeztek. Főként az észak–déli és az erre merőleges keleti dőlésirányú normál vetők, a kelet–nyugati csapású jobbos eltolódások és a kis számú északnyugati irányultságú feltolódások jellemzőek. Ilyen irányú réteglapokon jelentkező normál vetők már a Vízügyi kőfejtőben és a Harsány-hegyen is megjelentek, de ennyire tömegesen sehol nem mutatkoztak. Ugyanakkor a korábbi bányákkal ellentétben itt nagyon kevés volt a feltolódási karc. Nem kizárt, hogy ezek a takaróképződések, illetve a fiatalabb

tektonikai hatásokra meredekre állított rétegek a feltolódásokat követően, később azzal megegyező irányban, levetődést is szenvedtek. Ez összefügg a kompressziós erőter megszüntésével, valamint a megnövekedett helyzeti energiával is, de az sem elképzelhetetlen, hogy a fő kompressziós szakaszoknál nyomásárnyékban volt a terület egy helyi rotáció következtében.

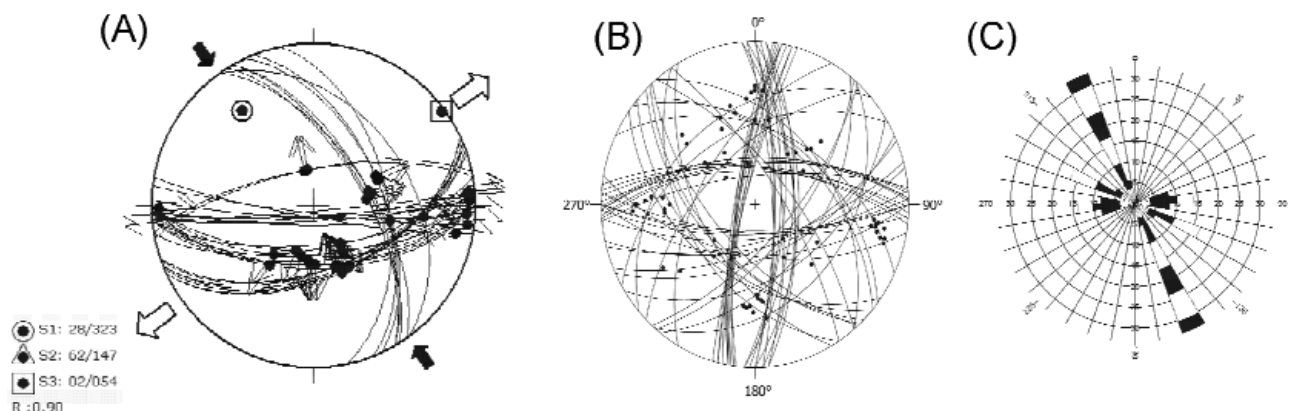
A délies orientációjú normálvetős karcok többnyire réteglapokon található, csakúgy, mint az inverz karcok, melyek gyakran interferáltak, és az előbbi karcok posztdatáltak a feltolódás eredetűeket. Az eltolódások a kulisszás tenziós hasadékok környezetében észlelhetők. A hasadékok csapása ÉNy–DK-i, vagyis ÉK–DNy-i húzás eredményei. Hasonló feszültségteret állapított meg CSONTOS & BERGERAT (1988) is a Szobrosbányára, de pontos korát nem állapították meg. A karcok dőléseloszlása döntően 2 maximumú (KÉK-i illetve DDK-i). A vetőkarcokból szerkesztett feszültségteret  $S_{Hmax}$  iránya 144–324°, vagyis transzverzális, ezért az ÉNy–DK-i rövidülésre merőleges ÉK–DNy-i tágulás jellemzi.

A vetőkarcokra lebontott  $S_{Hmax}$  irányokat ábrázoló rózsadiagram is ÉNy–DK-i maximális feszültségirányokat jelez (8. ábra). R értéke majdnem 1, így  $\sigma_1$  és  $\sigma_2$  nagyságát közel azonos, ami a tektonikai stílus differenciált képét adja.

A mérési eredmények négy karccsoportba foghatók össze, ebből három normál vetős, egy feltolódásos (11. ábra). A tágulási erők ÉK–DNy-i, valamint É–D-i megnyúlást mutatnak, és főleg normál vetőkkel és jobbos eltolódásokból állnak. Ezek a réteglapok tenziós hasadékok környezetében fordultak elő. A feltolódásos csoport szintén réteglapokon figyelhető meg, gyakran a normál vetős karcokkal interferálva, ahol az utóbbi csoport rendre felülbélyegezte a feltolódásos karcokat. Inverz karcjai ÉNy–DK-i rövidülési irányokat jeleznek,



5. kép. Kalcittal kitöltött tenziós hasadékok  
Picture 5. Tensional fissures filling with calcite



8. ábra. A Szobrosbányában mért szerkezeti adatok  
Jelmagyarázat: lásd 2. ábránál. A vastag fekete nyíl a fő rövidülési, a vastag fehér nyíl a fő tágulási irányt mutatja

Figure 8. The structural data of Szobrosbánya quarry  
For legend see Figure 2. The thick black arrows indicate the main shortening directions, the white ones indicate the dilation directions

melyek egyrészt a többi kőfejtőben is így voltak, másrészt mind a redő tengelyek, mind a villányi pikkelyek vergenciájával korrelálnak. A relatív kronológia nem határozható meg egyértelműen. A többi villányi kőfejtő analógiájára valószínűleg az ÉNy–DK-i kompressziós csoport a legidősebb. A tenziós terek között nem lehet egyértelmű sorrendet meghatározni. Mindenesetre a K–Ny-i csapású jobbos eltolódások az ÉK–Dny-i tágulási erőtér termékei.

### A villányi Templom-hegy

A kőfejtő hazánk egyik sajátos jura szelvényét tárja fel, amely a Villányi-pikkely kelet–nyugati csapású pásztájának északi részén fekszik (1. ábra). A rétegsort középső-triász Templomhegyi Dolomit, felső-triász homokkő és aleurolit (Mészhegyi Formáció), alsó- (Somssichhegyi Mészke), középső- (Villányi Mészke), és felső-jura (Szársomlyói Mészke) képződmények építik fel (VÖRÖS & GALÁCS 2004). A kőfejtő rétegei változatos dőlésűek, helyenként enyhén, máskor meredeken (170/50–60°) dél felé dőlnek. Vizsgálata alkalmas felületek főként a felső-jura Szársomlyói Mészkeben található. A kőzeteken megfigyelhető kisebb-nagyobb törések, litoklázisok egy része kalcittal, más része vörös agyaggal kitöltött. Utóbbi nemcsak a repedések mentén, hanem a felső-jura mészke réteglapjai között is megfigyelhető. A kis nyírószilárdságú vörös agyag az egyes deformációs események során csúszó-síkként működhetett. A litoklázisok, repedések ÉNy–DK-i, illetve ÉK–Dny-i csapásúak. Ezek a litoklázisok markánsak, nagyméretűek, szinte az egész felső-jura mészkevet feltáró déli falat áttörik, helyenként Mohr-törésrendszereket alkotnak, vagy önmagukban állnak, főként nyírásos hasadékként értelmezhetők. Megfigyelhető, hogy a nagyobb törések közötti felületen apróbb, többnyire kisebb dőlésszöggel hajló mikro-repedésrendszerek futnak ki. Ezek az apró repedések a későbbi feszültségterek hatására nyílt hasadékokká fejlődtek.

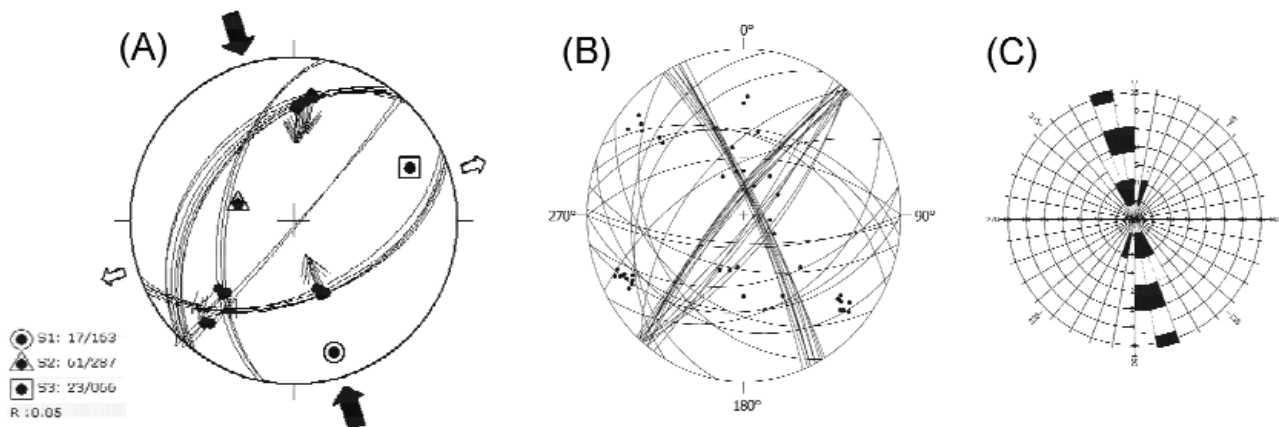
A vetőkarcok nagy részét a felső-jura mészkeben mértem, melyek kivétel nélkül feltolódásos elmozdulá-

sokra utaltak. A középső-triász dolomitban bizonytalan balos eltolódások, valamint délnyugati dőlésű normál vetők fordultak elő. A feltolódásokat döntően réteglapok mentén, a kőfejtő déli falában látható vetőzónában regisztráltam, ahol a rétegek egyébként is jelzik az egykori egymásra torlódást. Az egymás felett meredeken dél felé dőlő vastag mészkőpadok, leginkább a Csarnótai kőfejtő rámpasík-tektonikájához hasonlítanak, és a lenyesési felület itt sem fut ki a felszínre. Nem zárható ki a vak feltolódások feletti elmozdulás sem. A reverz karcok a déli falon északi irányú áttolódásra utalnak, míg a kőfejtő északi falában, a csontbreccsa közelében, déli orientációjú feltolódásra utaló elmozdulási bélyegek láthatók. A terület összefeszültségtere (9. ábra) transzpressziós,  $\sigma_2$  közel függőleges pozíciójú, míg  $\sigma_2$  és  $\sigma_3$  nagytudója hasonló nagyságú ( $R=0,05$ ;  $R'=1,95$ ), így könnyen megváltozhat a tenzortér. Az  $S_{Hmax}$ : 343–163°, vagyis ÉÉNy–DDK-i rövidülést és erre merőleges tágulást mutat. A vetőkarcokhoz rendelt  $S_{Hmax}$  irányokból készült rózsadiagram is ezt példázza.

Karccsoportok kialakítására nem volt lehetőség, mivel kevés vetőkarcot (12 db) állt rendelkezésemre. Egy csoportot választottam le az adatokból, mégpedig az É-i és D-i orientációjú feltolódásokat (11. ábra). Ennek a csoportnak a feszültségtere É–D-i kompressziót jelöl, mely a többi villányi kőfejtőben is jelentkezett.

### Beremendi kőfejtő

A beremendi kőfejtő a Villány–Bihari szerkezeti zóna nyugati elvégződése közelében, annak Békés–Codruizónához közel eső déli részén a hegység legdélibb helyzetű pikkelyében, Beremend északkeleti peremén helyezkedik el, és önálló tektonikai röggként értelmezhető. A rög a Dráva felé lejtő síkságból emelkedik ki, északról a Nyárád–Harkányi-sík határolja (1. ábra). A kőfejtő az alsó-kréta requeniás Nagyarsányi Mészkevet tárja fel, ezen kívül felső-kréta (paleogén?) bauxitos agyag, pleisztocén lösz, valamint vörös agyagos kitöltések figyelhetők meg benne,



9. ábra. A Templom-hegyi kőfejtőben mért szerkezeti adatok

Jelmagyarázat: lásd 2. ábránál. A vastag fekete nyíl a fő rövidülési, a fehér nyíl a fő tágulási irányt mutatja.

Figure 9. The structural data of Templom-hegy

For legend see Figure 2. The thick black arrows indicate the main shortening directions, the white ones indicate the dilation directions

illetve rajta. Egy késő-kréta korú, a Víziügyi, valamint a Babarcszölösi kőfejtőben talált bazalttelérrel azonos genetikájú és korú, a mecseki kifejlődéstől eltérő bazalttelér is megjelenik a mészkőben. NÉDLI (2004) ezeket a Dunántúli-középhegység lamprofírjaival korrelálja. A telér anyaga a kőfejtő középső fejtési szintjében egy 1,5 m széles függőleges hasadékban erősen breccsásodott. A kitöltés határánál bizonytalan eltolódásos mozgásra utaló karcokat regisztráltam.

A mért vetőkarcok és a kialakított feszültségtér alapján a hasadékok, repedések transzzenziós mozgások eredményei. A mészkőrétegek vastagpadosak, csak kivételesen települ közbe egy-egy 30–40 cm vastag réteg. Középszürke színűek, főként rudista-maradványokkal jellemezhetőek (Császár 1992, 2002). A mészkőrétegek enyhén dél felé ( $175/15^\circ$ ), ritkán észak felé ( $350/12^\circ$ ) dőlnek. A mészkő tektonikailag erősen igénybevett, nagy haránttörések, litoklázisok járnak át, melyek helyenként hasadékokká szélesednek, s agyagos löszszel töltődtek ki. Nem ritkák az ilyen kitöltések réteglapok menti megjelenései sem. A kőfejtő középső fejtési szintjében több helyen is látható zúzott, kataklázit jellegű hidraulikus breccsával kitöltött nyírózóna. A főleg karbonátos összetételű breccsa többször agyagos-bauxitos mátrixú, s helyenként a deformációs ellipszoid főtengeleynél irányához igazodik, jelezvén a nyírás stílusát. Kialakulásánál a tektonikus feszültségek, a blokkok torlódása döntő jelentőségű, és az elmozdulás hatására felőrlődött kőzet a megnövekedett térfogatú részen halmozódik fel (NÉMETH 2003). A fő törésirányok döntően ÉK–DNy-i, valamint ÉNy–DK-i orientáltságot mutatnak, de a kelet–nyugati törésirány is jelen van, többnyire meredek dőléssel (10. ábra).

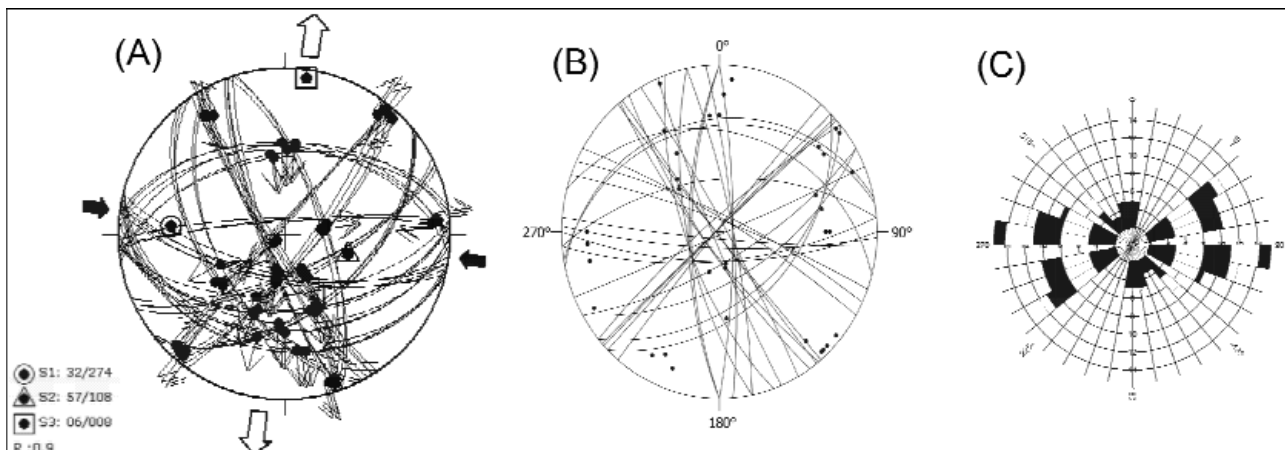
A litoklázisok mellett Riedel-zónák, apró hajszál-repedések segítették a főfeszültségirányok meghatározását. A vetőkarcok (50 db) (10. ábra) döntően normál vető jellegűek és vetőrajként fordulnak elő (irányultságuk a DNy-től a DK-ig változik), de vannak inverz vetőkarcok is, melyek többnyire észak–déli csapásúak, és északi dőlésű síkokon

jelennek meg. Fontos megemlíteni, hogy a többi villányi kőfejtőben a relatív kronológia alapján a legfiatalabbnak datált ÉK–DNy-i feltolódási karcok itt is előfordultak. Az eltolódási felületek orientációja nagyrészt egyezik a főtöréseivel. Ezek nem klasszikus konjugált vetőkarcok, mert az eltolódások menti elmozdulás ellentett a Mohr-féle konjugált törésekkel. Mivel az eltolódások szögfelezőjében nem feltolódások, hanem normál vetők vannak, véleményem szerint ezek inverz Mohr-törésként értelmezhetőek, s akár egy feszültségtérben is keletkezhettek. Az összefeszültségtér transzzenziós jellegű, erre utal R értéke is (0,9), így tehát  $\sigma_1$  és  $\sigma_2$  permutációja valószínű.  $S_{Hmax}$  értéke  $098-288^\circ$ , vagyis közel kelet–nyugati rövidülés, és erre merőleges tágulási tér a jellemző. A vetőkarcokhoz rendelt  $S_{Hmax}$  értékek is ezt a maximális főfeszültségirányt erősítik (10. ábra).

A mérési eredményekből három karccsoportot volt kialakítható, mindhárom transzzenziós eredetű, a kompressziós irányokra merőleges tenzióval, eltolódásokkal, vagyis ÉK–DNy-i, É–D-i és ÉNy–DK-i csapásirányú tágulások domináltak (11. ábra). A relatív koroláshoz egyértelmű kontaktust csak a normál vetőkarcoknál tapasztaltam. Ez alapján a déli dőlésű normál vetők csoport posztdatait a délnyugati dőlésű, tehát fiatalabb. A feltolódások hasonló jelleggel más villányi kőfejtőben is jelen voltak, így a relatív sorrendjük azokkal megegyező.

## Értékelés, eredmények

A vetőkarc- és litoklázismérések alapján igyekeztem a Villányi-hegység szerkezeti viszonyaira, tektonikai összefüggéseire, paleo-feszültségtereinek változására következtetéseket levonni. A mért vetőkarcokat vetőkarcpopulációkba rendeztem a főfeszültségtengelyek azokból kiszerezhető orientációja, valamint a bányákban megfigyelt szerkezeti viszonyok (vetőrajok, vetőzónák stb.) alapján. Így 24 helyi feszültségtérrel kaptam. A területileg diffe-



10. ábra. A beremendi kőfejtőben mért szerkezeti adatok

Jelmagyarázat: lásd 2. ábránál. A vastag fekete nyíl a fő rövidülési, a vastag fehér nyíl a fő tágulási irányt mutatja

Figure 10. The structural data of Beremend quarry

For legend see Figure 2. The thick black arrows indicate the main shortening directions, the white ones indicate the dilation directions

renciáltnak jelentkező, ám hasonló tektonikai viszonyokat (fő rövidülési és tágulási irányokat) tükröző feszültségtereket összevontam, és a rájuk jellemző domináns főirányokhoz rendeltem (11. ábra), így végül hat regionálisan érvényesülő feszültségter állt elő.

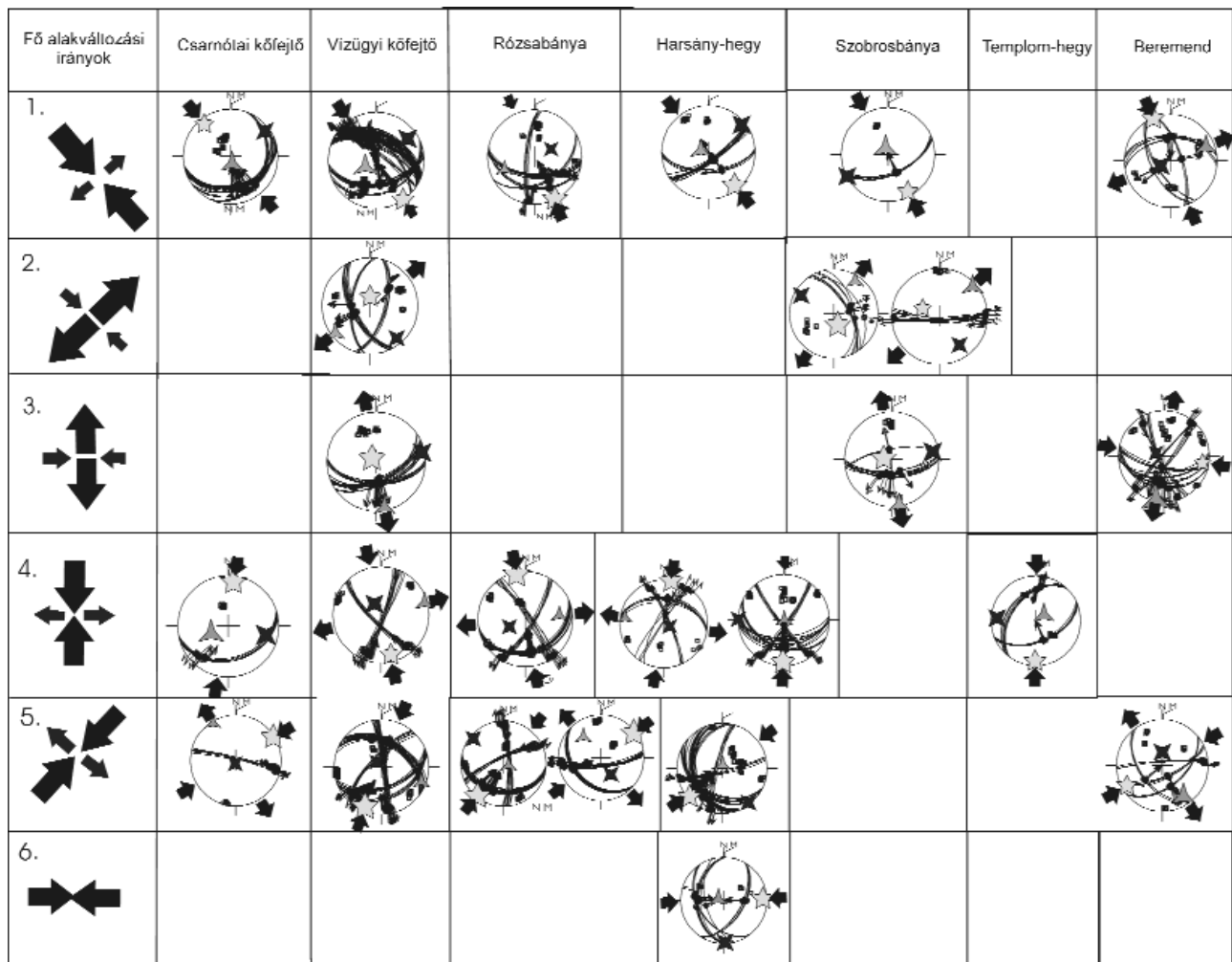
Az ábrán előfordul, hogy két feszültségter szerepel egy rubrikában, ennek az a magyarázata, hogy a két feszültségter hasonló rövidülési-tágulási irányokkal bír, de amikor megkíséreltem egy csoportként kezelni, 20°-nál nagyobb volt az eltérés a program által kiszámolt főfeszültség-tengelyektől. A vetőkarcadatok 90%-át sikerült valamelyik főfeszültségirányhoz rendelni, ahol 20°-nál nagyobb volt az eltérés, ott a vetőkarcok kisebb súlyozással kerültek be a feszültségter-számításba.

Elemelve az ábrát látható, hogy a Villányi-hegységéből származó feszültségterek nagy része (4 tér) horizontális kompressziós, transzpressziós jellegű. Érdekeség, hogy a legnagyobb nyomó főfeszültségirányok egy óramutató járásával megegyező irányú rotációt mutatnak (az 1. térben

ÉNy-DK-i, a 4.-ben É-D-i, az 5.-ben ÉK-DNy-i, míg a 6.-ban K-Ny-i). A 6. feszültségterhez csak egyetlen lokális feszültségteret tudtam rendelni, ami a Harsány-hegyi kőfejtőben jelentkezett. A 2. és 3. feszültségter tágulási, transzpressziós jellegű, mely dominánsan Beremenden, a Szobrosbányában és a Vízügyi kőfejtőben fordult elő.

A rekonstruált feszültségter típusokat és ellipszoidokat, valamint a tektonikai jeleket a DELVAUX (1993) által kidolgozott, feszültségrezsim-diagramon jelenítettem meg (12. ábra). Az ellipszoidok morfológiája a főfeszültség-tengelyek pozíciójától és magnitúdójától ( $R'$ ) függ. A diagramon jól látható, hogy a 6 feszültségter közül kettő tisztán feltolódásos (1. és 6. tér), kettő transzpressziós (4. és 5. tér), egy normál vetős (3. tér), míg egy radiális tágulási deformációs jellegű (2. tér). A területet meghatározó fő tektonikai stílust tehát a feltolódások és a feltolódásokkal kombinált eltolódások jelentik.

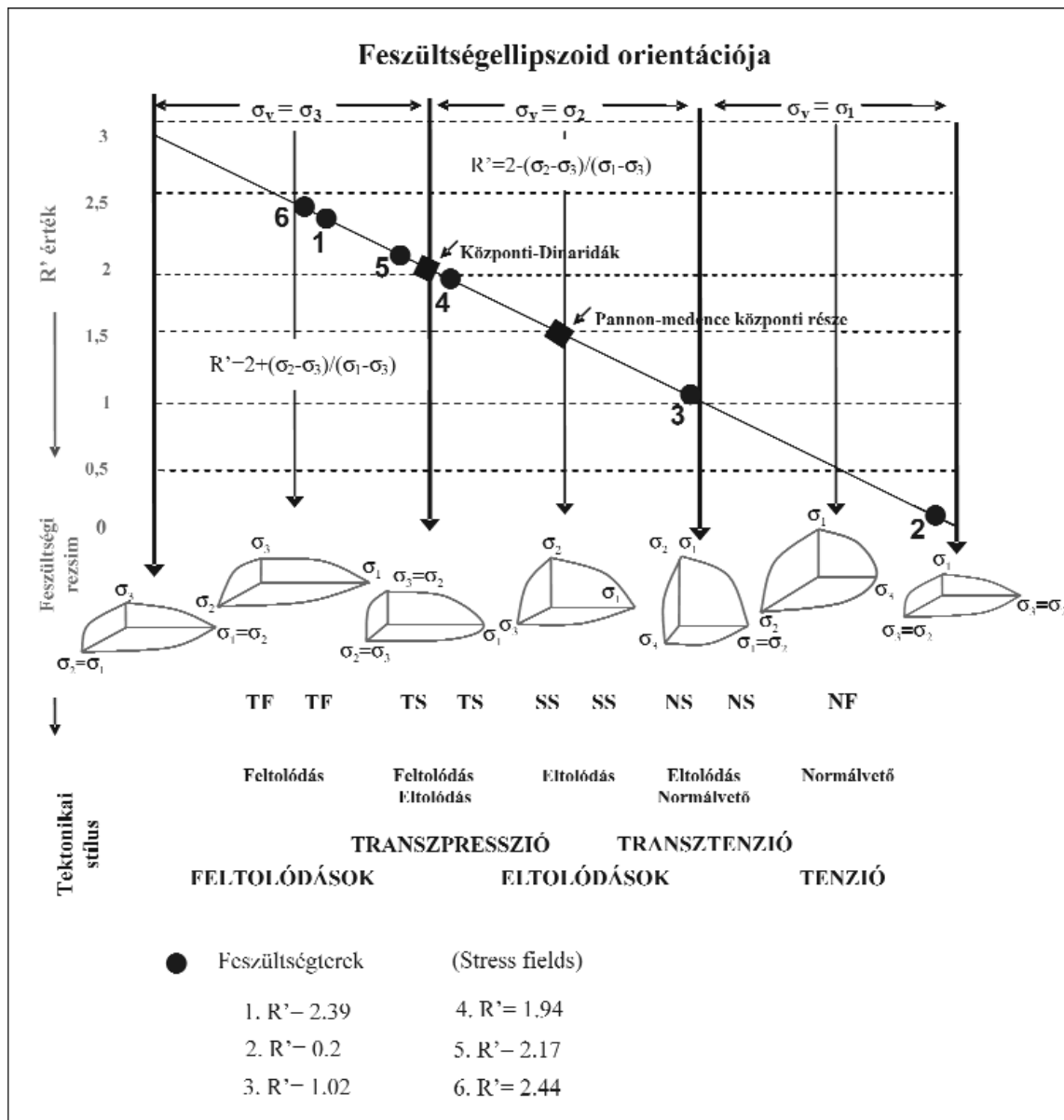
BADA et al. (2007) szerint jelenleg a húzásos eredetű Pannon-medencét döntően kompressziós-transzpressziós erőhatások érik, amik a Déli-Alpokban és a Dinári-hegy-



$\sigma_1$  ☆  $\sigma_2$  ✕  $\sigma_3$  ▲

11. ábra. A Villányi-hegységben vizsgált kőfejtők karccsoportjaiból képzett fő alakváltozási irányok  
Jelmagyarázat: Az első oszlopban szereplő számok a feszültségterek fiatalodási sorrendjét tükrözik 1-től 6-ig

11. Figure. The constructed main deformation directions from the striae groups of the studied quarries in the Villány Hills  
Legend: The numbers in the first column indicate the rejuvenescent order of the stress fields



12. ábra. A feszültségterek tektonikai stílusa és a hozzájuk rendelt feszültség ellipsoidok morfológiája DELVAUX (1993) alapján BADA et al. (2007) és PETRIK (2009) 12. Figure. The tectonic style of the stress fields and the morphology of their stress ellipsoids

ségben a legintenzívebbek, és dominánsan feltolódásokkal, valamint eltolódásokkal járnak. A kompressziós erőhatások szerepe csökkenő mértékű a Pannon-medence irányában, szerintük itt már főként eltolódásos tektonika uralkodik.

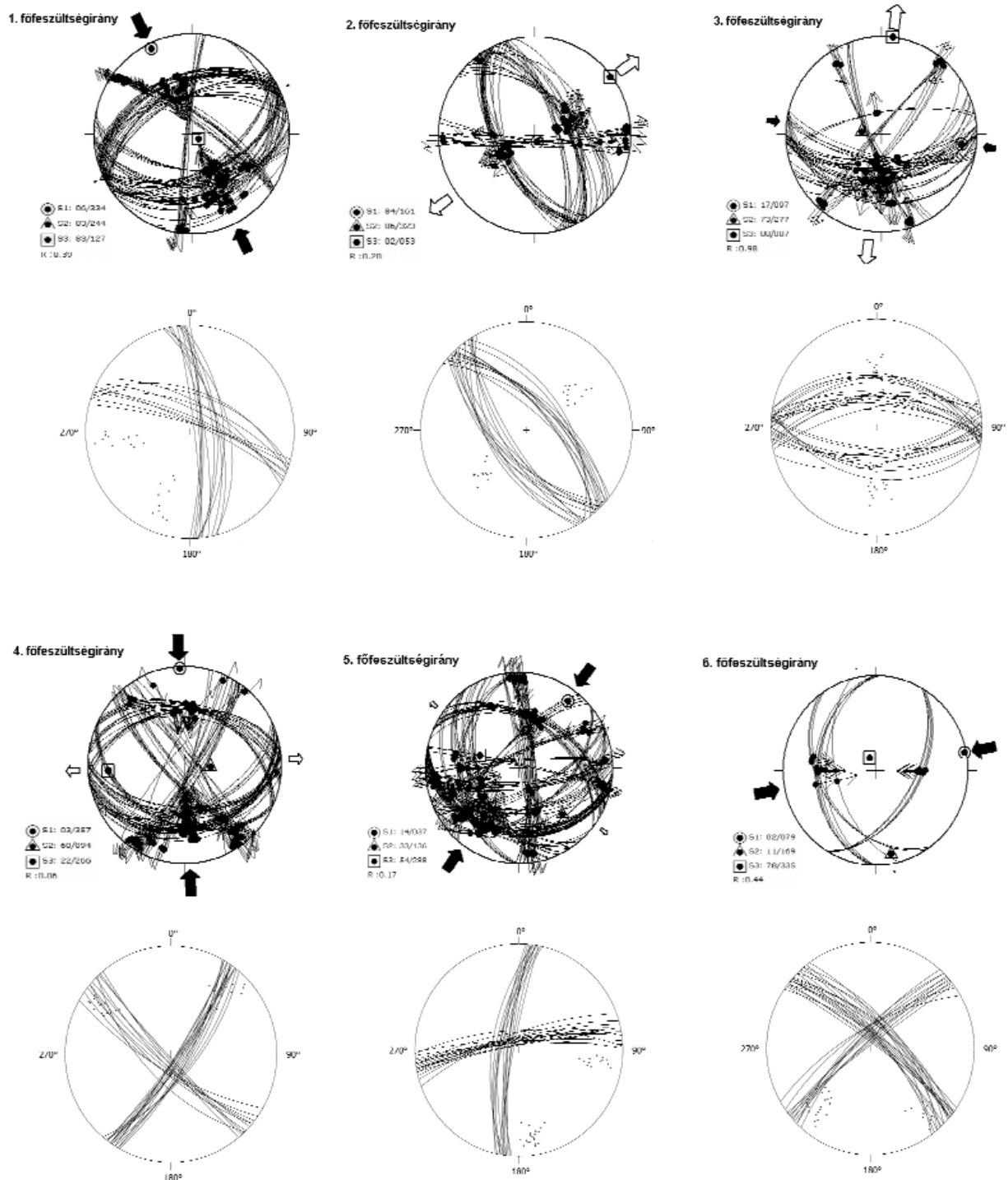
A Villányi-hegység a feszültségterek és a deformációs bélyegek alapján, valamint a jelenlegi feszültségviszonyok szerint is a Központi-Dinaridákkal mutatja a legközelebbi rokonságot.

*A Villányi-hegység főfeszültségirányai*

1. feszültségter (150 vetőkarcmérés alapján)

Alapvetően ÉNy-DK-i rövidülés jellemzi ( $R=0,39$ ) ezt a feszültségteret,  $S_{Hmax}$  irány pedig ÉNy-DK-i ( $334-154^\circ$ )

csapású (13. ábra). Ilyen jellegű feszültségviszonyok, a Villányi-hegység Templom-hegyi és Beremendi kőfejtőjének kivételével, valamennyi általam vizsgált bányában előfordultak, nemcsak triász, hanem jura és kréta korú képződményeken is. A Harsány-hegyi kőfejtőben található — DEZSŐ et al. (2007) szerint pannóniai korú — kitöltést viszont már nem érintette. Az uralkodó feltolódásos karcok főként réteglapokon, redőszárnyakon, rámpákon alakultak ki. A tenzortérhez rendelhető litoklázisok — melyek nagy részét szintén a Villányi-hegységben mértem — É-D-i, valamint közel K-Ny-i csapásúak, és konjugált töréspároként definiálhatók (13. ábra). Ez a feszültségter a relatív kronológia alapján a legidősebb a Villányi-hegységben. Ahol ilyen tektonikai viszonyok voltak jellemzőek, ott a fő irányhoz tartozó vetőkarcokat többnyire posztdataáltak az É-D-i és az ÉK-DNy-i csapású



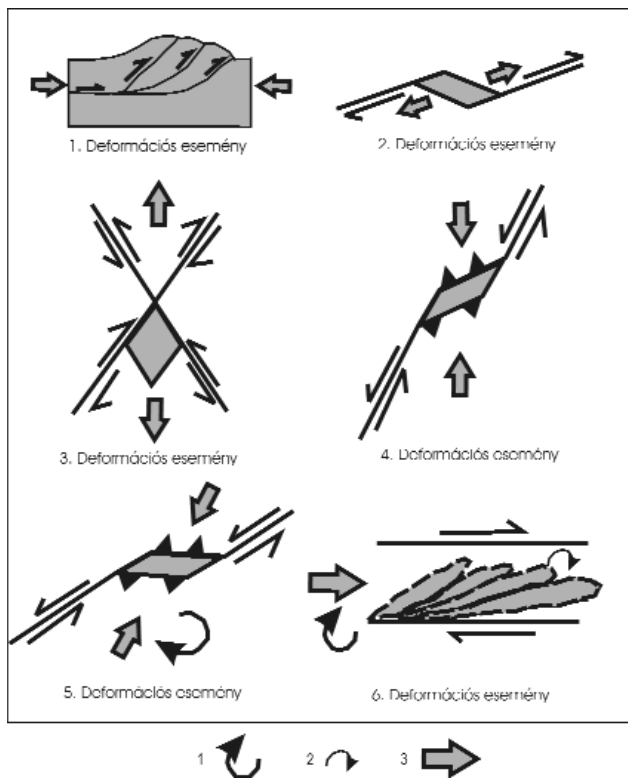
**13. ábra.** A 6 feszültségter és a hozzájuk rendelhető litoklázisok  
 Jelmagyarázat: lásda 2. ábránál. (A sztereografikus vetület alsó vetítéssel Schmidt-félgömbön készült.)

**Figure 13.** The 6 main stress fields and their lithoclasses  
 For legend see Figure 2

feltolódások. Ez a legnagyobb horizontális főfeszültségirány teljesen megegyezik a Villányi-hegység pikkeljeinek vergenciájával, és a hegységben található nagy amplitúdójú redők létrejötte is erre az időszakra tehető. Ezt támasztja alá a redőszárnyakon mért ÉNy–DK-i csapású feltolódásos karcok tömege, melyek a redőtengelyekre merőlegesek, és feltehetően a redőképződési mecha-

nizmusban is részt vettek. Ezek alapján a feszültségter kialakulása valószínűleg a késő-kréta takaróképződés időszakára esik (14. ábra, 1). Ezzel összhangban van BENKOVICS et al. (1997) abaligeti redőződésről szóló publikációja, mely a redőtengelyek ÉK–DNy-i orientációját állapította meg, és kialakulását a kréta időszaki takaróképződés idejére teszi, amikor is a redőtengelyre merőleges





14. ábra. A Villányi-hegységet ért deformációs események  
 1 – feszültségtér rotáció, 2 – blokkrotáció, 3 – fő rövidülési és tágulási irányok  
 Figure 14. Deformation events of the Villány Hills  
 1 – stress field rotation, 2 – blockrotation, 3 – main shortening and dilation directions

ÉNy–DK-i kompresszió volt a meghatározó. BALLA (1987) modelljében az albai–cenomán időszakra a Mecsek óramutató járásával ellentétes irányú rotációját állapította meg, mellyel a hegység leválik Európáról, és ezzel felnyílik a Belső-kárpáti-medence. A miocénre pedig az óramutató járásával megegyező rotációt feltételez, mellyel a Mecsek és maga a Tiszai-egység is összezárul az Alcapával, valamint bezárul a Belső-kárpáti-medence. Ezt figyelembe véve az 1. feszültségtér, miután késő–kréta korúnak tartom, az ellentétes rotációk következtében eredetileg is hasonló irányokkal rendelkezhetett, hiszen az elfordulás mértéke hasonló volt.

## 2. feszültségtér (50 vetőkarcmérés alapján)

A feszültségtér *ÉK–DNy-i legkisebb főfeszültség* jellemzi,  $R=0,20$  (13. ábra), döntően normál vetőkiből és jobbos eltolódásokból áll.  $S_{Hmax}$  irányuk  $341–161^\circ$  vagyis ÉNy–DK-i csapású. Ezt a fajta feszültségtérrel sikerült azonosítani a Szobrosbányában, a Vízügyi, és a Beremendi kőfejtőkben. A tenzortérhez rendelhető litoklázisok ÉNy–DK-i csapásúak (13. ábra). A normál vetős karcok dőlése döntően ÉK-i, illetve DNy-i, megerősítve a 2. feszültségtér tágulási eredetét. A relatív kronológia alapján ez a feszültségtér fiatalabb, mint az 1. feszültségtér, ami a szobrosbányai mérések alapján nyert igazolást. Itt az ÉK–DNy-i csapású normál vetős csoport posztdatait az 1. feszültségtérhez tartozó feltolódásos karcokat. Tehát ez a feszültségtér késő–krétánál mindenképpen fiatalabb, de a Harsány-hegyi kőfejtő miocén (pannóniai) korú kitérését már ez sem deformálta, vagyis kora a paleogén–késő–miocén közötti időintervallumra tehető. Feltételezem, hogy az erőter ú. pull-apart típusú romboid alakú medencék kialakulásához vezetett (14. ábra, 2). Az ÉNy–DK-i csapású Dráva-medence valószínűsíthetően e feszültségtér hatására formálódott ki, de nem zárható ki a Nyárád–Harkányi-sík széthúzásos felnyílása, sőt a Villányi-hegység vulkáni teléreinek helyet biztosító hasadékrendszerének kialakulása sem. Ez utóbbi megállapítást erősítik a Vízügyi kőfejtőben lévő bazalttelér és a felső-jura mészkő határánál mért, ÉK–DNy-i extenzióra utaló csúszási vetőkarcok. A kora-miocén végi tágulás feltevést erősíti a kárpáti szubdukció roll back mechanizmusának extenziós tektonikája is.

## 3. feszültségtér (50 vetőkarcmérés alapján)

Az *É–D-i irányú transztenziós tér*  $R$  értéke 1-hez közelít, amely  $\sigma_2$  és  $\sigma_1$  felcserélődéséhez vezet (13. ábra). A feszültségtér az észak–déli irányú normál vetők határozzák meg, illetve Beremendnél az inverz Mohr-töréspár, amely déli dőlésű normál vetőkarcokkal és a kvázi konjugált vetőpárjaival jelentkeznek. É–D-i tágulások tektonikai stílus jellemzi a Beremendi kőfejtőn kívül a Vízügyit és a Szobrosbányát. A legfiatalabb képződmény, ahol jelentkezik ez az irány, a beremendi alsó–kréta Nagyarsányi Mészkő. Az  $S_{Hmax}$  irány mindhárom kőfejtő esetében K–Ny-i csapású. A fő feszültségirányhoz az É–D-i dőlésű litoklázisok rendelhetők, tömeges megjelenésük a Vízügyi, és a Harsány-hegyi kőfejtőben (13. ábra). A relatív kronológia alapján ez a feszültségtér fiatalabb, mint a 2. feszültségtérhez tartozó vetőkarc-generáció, amit a Beremendi kőfejtőben látott felülbélyegzések igazolnak. Miután a 2. feszültségtér kora legvalószínűbben a paleogén és a kora-miocén közötti, a 3. feszültségtér ennél fiatalabb, tehát középső-miocén korú lehet. A késő-miocén kitérését már nem érte ez a deformáció. BENKOVICS (1997) a mecsekjános kőfejtőben badeni képződményben észak–déli dőlésirányú szinszediment normál vetőket említ, mely szintén erősíti a középső-miocén É–D-i tágulási tektonikáját. A feszültségtér pontosabb korbesorolását a mecseki neogén képződmények vizsgálata segítheti majd. A kora-miocénben elindult medenceképződés feltehetően tovább folytatódott a badeni elején, részben transzfertörések menti normál vetős elmozdulásokként, melyek a korábban formálódott medencék észak–déli megnyúlását eredményezték (14. ábra, 3). A kárpáti törmelékes képződményeken mért paleomágneses irányok alapján egy óramutató járásával megegyező irányú  $50–60^\circ$ -os rotációt tételeznek fel a Mecsekben és térségében (MÁRTON E. & MÁRTON P. 1999). Ez alapján úgy tűnik, hogy a kárpátra jellemző ÉK–DNy-i tágulás É–D-i tágulássá módosult a badenire. Az óramutató járásával megegyező blokkrotáció révén egy látszólagos feszültségtér-rotáció játszódott le, az óramutató járásával ellentétes irányban. A blokkrotáció és a feszültségtér permutációja a középső-miocén idején gyakori jelenség volt a Kárpát-medencében (CSONTOS et al. 1991).

#### 4. feszültségtér (150 vetőkarc mérés alapján)

Véleményem szerint a neogén folyamán ez a tér a Kárpát-medence első inverziójának megnyilvánulása a Villányi-hegység területén. Ez egy  $\dot{E}$ - $D$ -i transzpressziós tér ( $R=0,06$ ), amely északi és déli orientációjú feltolódásokat, valamint ezek konjugált vetőpárjait tartalmazza (13. ábra). A feszültségtér  $S_{Hmax}$  iránya  $\dot{E}$ - $D$ -i. A Villányi-hegység szinte valamennyi kőfejtőjében jelentkezett, kivéve a Szobrosbányát és a Beremendi fejtőt. A főirányhoz rendelt litoklázisok  $\dot{E}N$ - $DK$ -i, illetve  $\dot{E}K$ - $DN$ -i csapású konjugált töréspárt alkotnak (13. ábra). A relatív kronológiai sorrend alapján ez a feszültségtér késő-miocén vagy annál fiatalabb korú. A Harsány-hegyi kőfejtőben található pannóniai korú kitöltést már érintette ez a transzpressziós fázis, sőt az 1. főfeszültségirányhoz rendelt vetőkarcokat felül is bélyegezte. A Kárpát-medencében az inverzió időszakának kezdetét a késő-miocéntól, vagyis a pannóniaiától eredeztetik. Ekkor ugyanis a már létrejött transztenziós ívmögötti medence (Pannon-medence) extenziós folyamatai részben leálltak, aminek okát a külső-kárpáti flistakarók stabil kelet-európai táblához való préselődésével, a „roll back” lassú leállásával és a délről ható szubdukciós folyamatokkal magyarázzák (HORVÁTH 1993, TARI et al. 1999, BADA et al. 2007). A 4. feszültségtér késő-miocén kora mellett szólhat:

- a Peterd-1 fúrásban talált, pannóniai üledékek közé szintén  $\dot{E}$ - $D$ -i rövidülés hatására északi vergenciájú feltolódás mentén bepréselt triász mészkőblokk (NAGY E. & NAGY I. 1976),

- a Bogád-1 fúrásban talált késő-miocén konglomerátum, melynek létrejötté a miocén végén fennálló kompressziós erőhatások és a megnövekedett reliefenergia eredménye,

- a WÓRUM (1999) által interpretált szeizmikus szelvényeken látható pannóniai üledékek gyűrődése, flexurái, az idősebb mezozoos kőzeteknek a fiatalabb szarmata és pannóniai üledékekre történő rátolódása a Mecsek-alja, az északi imbrikációs zóna, a Máriakémed-Bári-vonulat, sőt a Villányi-hegység mentén is.

A helyenként feltolódásokkal párosuló konjugált vetőpárok a már létrejött medencék formálásában, illetve átalakulásában döntő szerepet játszottak. A fiatal kompressziós erőter korábbi szerkezetek reaktiválódását váltotta ki, amelyet egyébként a szeizmikus szelvényekben megismert felfelé idősődő rétegsorok, valamint a fiatalabb képződmények gyűrődése is igazol. A szeizmikus szelvényeken jól látszik, hogy a villányi pikkelyek közül a délebbi ek metszik a szarmata, sőt a pannóniai képződményeket is, és rá is tolnak (WÓRUM 1999). Ez azt bizonyítja, hogy a pikkelyződés felújult törések mentén folytatódhatott a pannóniai korszakban is (CSONTOS et al. 2002). A Villányi-hegység különböző pikkelyeiben többször is ellentétes dőlésű ( $\dot{E}$ -i, illetve  $D$ -i) feltolódási síkok jelentkeztek (14. ábra, 4). Elképzelhető, hogy ezek visszatorlódások eredményei, melyek a takaróképződés időszakában keletkeztek és a késő-miocén folyamán többször reaktiválódtak. Az ellentett irányú feltolódások menti nyírózónákban formálódhatott ki

a Bólyi-medence, transzpressziós medenceként, pop-up szerkezeteket hozva létre (WÓRUM 1999). A feszültségtér hatására kialakult, illetve reaktiválódott transzfertörések menti elmozdulások a Villányi-hegységben már korábban kialakult (kulisszas tenziós hasadékok, sztilolitok) ún. en-écheleon szerkezetek szétesését eredményezték, melyet a Szobrosbányában és a Harsány-hegyi kőfejtőben látott elnyírt szigmoidális hasadékok is alátámasztanak. A 4. feszültségtérhez tartozó konjugált töréspárok közül az  $\dot{E}N$ - $DK$ -i csapású jobbos eltolódások kapcsolatban állhatnak a Villány-Szalatnaki-mélytörés menti felújult elmozdulásokkal. NÉMEDI VARGA (1983) a Villány-Szalatnaki-mélytörés mentén jobbos oldaleltolódást tételezett fel a késő-miocén folyamán.

#### 5. feszültségtér (150 vetőkarc mérés alapján)

Ez szintén egy transzpressziós tér ( $R=0,17$ ), ami  $\dot{E}K$ - $DN$ -i csapású feltolódásokat és erre szimmetrikus konjugált vetőpárokat ( $\dot{E}N$ - $DK$ -i jobbos, valamint  $\dot{K}\dot{E}K$ - $NyDN$ -i balos eltolódásokat) hordoz. A tenzortérhez rendelt litoklázisok Mohr-párok, melyek  $\dot{E}$ - $D$ -i, illetve  $K$ - $Ny$ -i csapásúak, s valamennyi vizsgált kőfejtőben jelentkeztek (13. ábra). A feszültségirányhoz tartozó vetőkarcok a villányi kőfejtőkben — a Szobrosbányát és a Templom-hegyt kivéve — mindenhol előfordultak. A Villányi-hegységben az 5. feszültségtérhez tartozó vetőkarcok felülbélyegezték a 4. feszültségtér  $\dot{E}$ - $D$ -i csapású feltolódásos karcait. Más szóval, miután a 4. feszültségtér korát késő-miocénnek vagy fiatalabbnak minősítettem, ezért az 5. feszültségtér mindenképpen fiatalabb, pliocén, vagy akár negyedidőszaki. Ez utóbbi fázis egy feszültségtér-rotáció eredményeként a 4. feszültségtérből jött létre (14. ábra, 5). A pannóniai üledékekre mért paleomágneses deklinációs irányok — ahol volt forgás — különböző irányú rotációkat mutatnak a késő-miocénre (MÁRTON E. & MÁRTON P. 1999). Mivel a 4. feszültségtér ( $\dot{E}$ - $D$ -i kompressziós, transzpressziós) idősebbnek értékelem, az 5. feszültségtér ( $\dot{E}K$ - $DN$ -i kompressziós, transzpressziós) vagy egy az óramutató járásával megegyező irányú valós blokk- és feszültségtér-rotáció, vagy egy óramutató járásával ellentétes, blokkforgás által kiváltott, óramutató járásával megegyező irányú látszólagos feszültségtér rotáció révén alakult ki. Véleményem szerint ez az  $\dot{E}K$ - $DN$ -i feltolódásos, transzpressziós feszültségtér a pliocéntól napjainkig fennáll. Ezt támasztják alá a jelenkori feszültség-meghatározások eredményei is, melyek erre a térségre egyértelműen  $\dot{E}K$ - $DN$ -i legnagyobb horizontális főfeszültségű ( $S_{Hmax}$ ) transzpressziós feszültségállapotot jelölnek (BADA et al. 2007). A Pannon-medence inverziójának oka az Adriai-lemez északra irányuló, óramutató járásával ellentétes irányú rotációval járó elmozdulása az Alpok irányába. A GPS-es adatok alapján a Mecsek és a Villány térsége ma is emelkedik (GRENERCZY et al. 2005). Miután a Külső-Kárpátok mentén már korábban inverziós állapot alakult ki, és a Cseh-masszívum felől a nyugat-európai feszültségprovincia hat ( $\dot{E}N$ - $DK$ -i legnagyobb horizontális kompresszió), valamint a Vrancea-zóna felől is döntően szintén  $\dot{E}N$ - $DK$ -i komp-

resszió a jellemző, ez egy valódi inverziós „sathelyzetet” jelent a Pannon-medence számára (BADA et al. 2007). A négy kompressziós irány közül, a mecseki és a villányi térségre egyértelműen az Adriai-lemez észak felé rotáló mozgása a perdöntő, mely a Friuli-zónában még ÉÉNy–DDK-i kompressziót, kelet felé haladva pedig az óramutató járásával megegyező feszültségtér rotációt szenved, ezzel a Kárpát-medence dél-dunántúli, valamint a Középső-Dinaridák területén ÉK–DNy-i transzpressziós teret hozva létre (BADA et al., 2007). A Villányi-hegység fiatal feszültségviszonyai ez alapján a Középső-Dinaridákéval rokoníthatók. Az 5. tenzor-tér alapvetően a korábbi rövidüléssel, transzpressziós folyamatok felújulását, a korábban „befagyott” elmozdulások reaktiválódását, gyűrődéseket, a Villányi-hegységben hidraulikus-, és vetőbreccsával kitöltött hasadékrendszerben látható nyírást bélyegeket (a legnagyobb megnyúlási irányba forgatott hossz tengelyű klasztoke) alakított ki. Az 5. feszültségirány korolását a kutatás további szakaszában a mecseki neogén képződmények bevonásával szeretném pontosítani.

#### 6. feszültségtér (20 vetőkarczmérés alapján)

Ez egy K–Ny-i irányú tisztán feltolódásos feszültségtér, amely lokálisnak tűnik a Villányi-hegységen belül, ÉK–DNy-i és ÉNy–DK-i konjugált litoklázis párok rendelkeznek hozzá. (13. ábra). A rövidüléssel tér egyedül a Harsány-hegyi kőfejtőben jelentkezett kelet–nyugati irányú feltolódásként. Ilyen fajta kompresszió jellemzi jelenleg a Dunántúli-középhegység keleti részét, köszönhetően az Alpok gravitációs kollapszusának (GERNER 1991), és ilyen feszültségtérrel mutattak ki a Zalai-medence területén is fészekrengés-mechanizmus segítségével (WINDHOFFER et al. 2001). Ennek magyarázatára a legvalószínűbb lehetőség, hogy egy újabb, de lokális, az óramutató járásával megegyező blokkrotáció (pikkelyrotáció?) zajlott le (14. ábra, 6), mely a Harsány-hegyi-pikkely elforgásának eredménye lehet, amit egyébként a földtani térképen jól látható pikkelyfront csapásirány-változása is erősíti (ÉK–DNy-ról K–Ny-ra).

Ennek következtében a korábbi ÉK–DNy-i csapású feltolódások K–Ny-i orientációt vettek fel. Vizsgálataim alapján úgy tűnik, hogy az óramutató járásával megegyező irányú feszültségtér-rotáció nemcsak regionálisan, hanem lokálisan a Villányi-hegységben is nyomon követhető. Ennek az egyedi feszültségtérnek az értelmezése további célirányos kutatást igényel.

#### Következtetések

A Villányi-hegység területén a késő-krétától kezdődően 6 szerkezetalakulási fázis került meghatározásra. Ezek többsége rövidüléssel, transzpressziós deformációval, amelyek

a hegység nagyméretű redőit, egyéb duktilis elemeit, feltolódásait alakították ki.

A kora-miocénben és feltételezhetően a paleogénben is a tágulások tektonika volt a meghatározó, ami pull-apart medencék, valamint hasadékrendszerek felnyílását eredményezte. Emellett a kárpáti–badeni határán a tágulások deformáció térbeli irányainak látszólagos rotációja is bekövetkezett. A dilatációs mozgások, a kárpát-medencei roll-back mechanizmus hatásának megnyilvánulásai.

A késő-miocén az inverzió időszaka volt a területen, ismét rövidüléssel, transzpressziós deformációval, amely transzpressziós medencék felnyílását, a korábban kialakult nyírózónák reaktiválódását, a feltolódások felújulását, az idősebb mezozoos képződmények pannóniai üledékekre történő rátolódását okozta.

Az inverzió során, az óramutató járásával megegyező irányú valós feszültségtér-rotáció jött létre, ami kezdetben É–D-i (pannóniai), majd ÉK–DNy-i (pliocén-től-napjainkig), és végül lokálisan K–Ny-i (pliocén) kompressziót eredményezett.

A Villányi-hegységben meghatározott legfiatalabb feszültségtér az ÉK–DNy-i kompressziós, ami nem a Mecsek fiatal tektonikájával — ÉNy–DK-i kompressziós (CSONTOS et al. 2002) —, mutat rokonságot, hanem a Középső-Dinaridák recens feszültségirányaival, mivel ezt az Adriai-lemez északi irányú rotációs mozgása okozza.

A K–Ny-i kompressziós feszültségtér csak a Harsány-hegyi kőfejtőben jelentkezett. Kialakulása egy helyi pikkelyrotáció eredménye.

A feszültségtérrel, valamint a térség tektonikai viszonyainak még pontosabb feltárásához neogén képződmények vizsgálata és újabb módszerek alkalmazása kívánatos.

#### Köszönetnyilvánítás

A kutatást a 62468 számú OTKA projekt támogatta. Köszönetemet fejezem ki témavezetőmnek Prof. Dr. CSÁSZÁR Gézáknak, iránymutatásaiért, átgondolásra készítő tanácsaiért, az adatgyűjtéshez, véleménycseréhez elengedhetetlen személyes kapcsolatok építésében nyújtott segítségével, fáradhatatlan támogatásáért, Dr. FODOR Lászlónak, Dr. BALLA Zoltánnak és SASVÁRI Ágostonnak szerkezetföldtani ismereteim bővítéséért, hasznos tanácsaikért, ötleteikért, a feldolgozást segítő programok megismerésében nyújtott segítségükért, Dr. KONRÁD Gyulának elméleti és gyakorlati ismereteim gyarapításáért, Prof. Dr. SZEDERKÉNYI Tibornak, aki megosztotta velem helyismeretét, korábbi vizsgálatainak tapasztalatait, DELI Levente geográfushallgató társamnak, a terepi munkában nyújtott önzetlen segítségéért. Köszönöm a lektorok, Dr. BADA Gábor és Dr. NÉMETH Norbert építő kritikáit és észrevételeit.

## Irodalom — References

- ANGELIER, J. & MECHLER, P. 1977: Sur une méthode graphique de recherche des contraintes principales également utilisable en tectonique et en séismologie : la méthode des dièdres droits. — *Bull. Soc. Géol. France* **VII/19**, 1309–1318.
- BADA G., DÖVÉNYI P., HORVÁTH F., SZAFIÁN P., WINDHOFFER G. 2007: Jelenkori feszültségtér a Pannon-medencében és alpi-dinári-kárpáti környezetében. — *Földtani Közlemény* **137/3**, 327–359. Budapest.
- BALLA Z. 1965: A kővágószőlősi antiklinális szerkezeti fejlődéstörténete. — *Földtani Közlemény* **95/4**, 382–400.
- BALLA Z. 1987: A Mecsek óramutató járásával ellentétes elfordulása a krétában: paleomágneses adatok értelmezése a földtani ismeretek fényében. — *Általános Földtani Szemle* **22**, 55–98.
- BENKOVICS, L. 1997: Etude structurale et géodynamique des Monts Buda, Mecsek et Villány (Hongrie). — *Doktori dolgozat*, L'Université des Sciences et Technologies de Lille, 79–203.
- CSÁSZÁR, G. 1992: Urgonian facies of the Tisza unit. — *Acta Geologica Hungarica* **35/3**, 263–285.
- CSÁSZÁR, G. 2002: Urgan formations in Hungary with special reference to the Eastern Alps, the Western Carpathians and the Apuseni Mountains. — *Geologica Hungarica series Geologica* **25**, 209 p.
- CSONTOS, L. & F. BERGERAT, 1988: Brittle Tectonics and Paleo-stress field in the Mecsek and Villány Mts (Hungary): Correlation with the opening mechanism of the Pannonian Basin — *Acta Geologica Hungarica* **31/1–2**, 81–100.
- CSONTOS, L., TARI, G., BERGERAT, F. & FODOR, L. 1991: Evolution of the stress fields in the Carpatho-Pannonian area during the Neogene. — *Tectonophysics* **199**, 73–91.
- CSONTOS L. 1998: *Szerkezeti földtan*. — ELTE Eötvös Kiadó, Budapest, 10–50, 60–109.
- CSONTOS, L., MÁRTON, E., WÓRUM, G. & BENKOVICS, L. 2002: Geodynamics of SW-Pannonian inselbergs (Mecsek and Villány Mts. SW Hungary): Inferences from a complex structural analysis. — *EGU Stephan Mueller Special Publication Series* **3**, 227–245.
- DELVAUX, D. 1993: The Tensor program for paleostress reconstruction: examples from the east African and Baikal rift zones. — *Terra Abstracts* **5**, no. 216.
- DEZSŐ J., RAUSCIK B. & VICZIÁN I. 2007: Villányi-hegységi karsztos hasadékkitöltések szemcseösszetéti és ásványtani vizsgálata. — *Acta GGM Debrecina, Geology, Geomorphology, Physical Geography Ser.* **2**, 151–180.
- FÜLÖP J. 1994: *Magyarország geológiája. Paleozoikum II.* — Akadémia Kiadó, Budapest, 447 p.
- GERNER P. 1991: Recens kőzetfeszültség a Dunántúlon. — *Földtani Közlemény* **122**, 89–105. Budapest.
- GHOS, S., K. & RAMBERG, H. 1976: Reorientation of inclusions by combination of pure shear and simple shear. — *Tectonophysics* **34**, 1–70.
- GRENERCZY, Gy., BADA, G. 2005: GPS baseline length changes and their tectonic interpretation in the Pannonian Basin. — *Geophysical Research Abstracts* **7**, no. 04808.
- HORVÁTH, F. 1993: Towards a mechanical model for the formation of the Pannonian basin. — *Tectonophysics* **226**, 333–357.
- MAROS Gy. 1990: A Villányi-hegység, Tenkes-hegy Vízig-kőfejtőjének szerkezetföldtani viszonyai. — Országos Földtani és Geofizikai Adattár, T. 16870.
- MÁRTON, E. & MÁRTON, P. 1999: Tectonic aspects of a paleomagnetic study on the Neogene of the Mecsek Mountains. — *Geophysical Transactions* **42/3–4**, 159–180., 55–98.
- NAGY E. & NAGY I. 1976: A Villányi-hegység triász képződményei. — *Geologica Hungarica series Geologica* **17**, 113–227.
- NÉMEDI VARGA Z. 1983: A Mecsek hegység szerkezetalakulása az alpi hegységképződési ciklusban. — *MÁFI évi jelentés 1981. évről*, 467–484.
- NÉMETH N. 2003: A vetőkarcoktól az egykori feszültségekig. — *Oktatási segédanyag*, Miskolci Egyetem Földtani Tanszék, 1–18.
- PETRIK A. 2009: A Villányi-hegység mikrotektonikai elemzése, paleo-feszültségtereinek meghatározása. — *Kézirat*, OTDK dolgozat, 139 p.
- TARI, G., DÖVÉNYI, P., DUNKL, L., HORVÁTH, F., LENKEY, L., STEFANESCU, M., SZAFIÁN P. & TÓTH, T. 1999: Lithospheric structure of the Pannonian Basin derived from seismic, gravity and geothermal data. — In: DURAND, B., JOLIVET, L., HORVÁTH, F. & SÉRANNE, M. (eds): *The Mediterranean Basins: Tertiary Extension within the Alpine orogen*. *Geological Society, London, Spec. Publ.* **156**, 215–250.
- TÖRÖK Á. 1998: A Mecsek-Villányi egység triász képződményeinek rétegtana. — In: BÉRCZI I. & JÁMBOR Á. (szerk.): *Magyarország geológiai képződményeinek rétegtana*. Mol Rt. és a MÁFI kiadványa, Budapest, 253–279.
- TWISS, R. J. & MOORES, E. M. 1992: *Structural Geology*. — Freeman Co. New York, 532 p.
- VADÁSZ E. 1935: A Mecsekhegység. *Magyar tájak földtani leírása*. — Magyar Királyi Földtani Intézet, Budapest, p. 148.
- VÖRÖS, A. & GALÁCZ, A. 1998: Jurassic palaeogeography of the Transdanubian Central Range. — *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia* **104/1**, 69–83.
- WINDHOFFER G., BADA G., DÖVÉNYI P. & HORVÁTH F. 2001: Új kőzetfeszültség meghatározások Magyarországon lyukfaldeformációs mérések alapján. — *Földtani Közlemény* **131/3–4**, 541–560.
- WÓRUM G. 1999: A Mecsek-Villányi térség szerkezete és fejlődéstörténeti eseményei szeizmikus szelvények alapján. — *Értekezés*, Szakdolgozat, ELTE Geofizikai Tanszék, 9–60, 70–140.

Kézirat beérkezett: 2009. 03. 31.