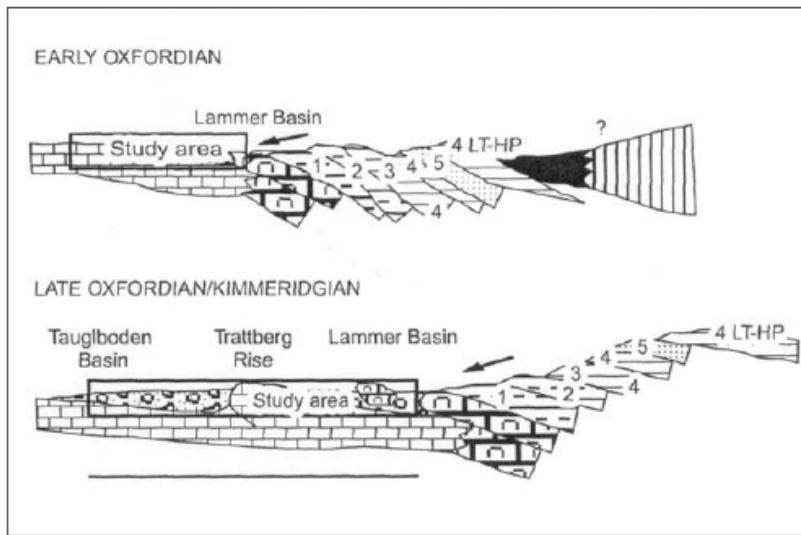


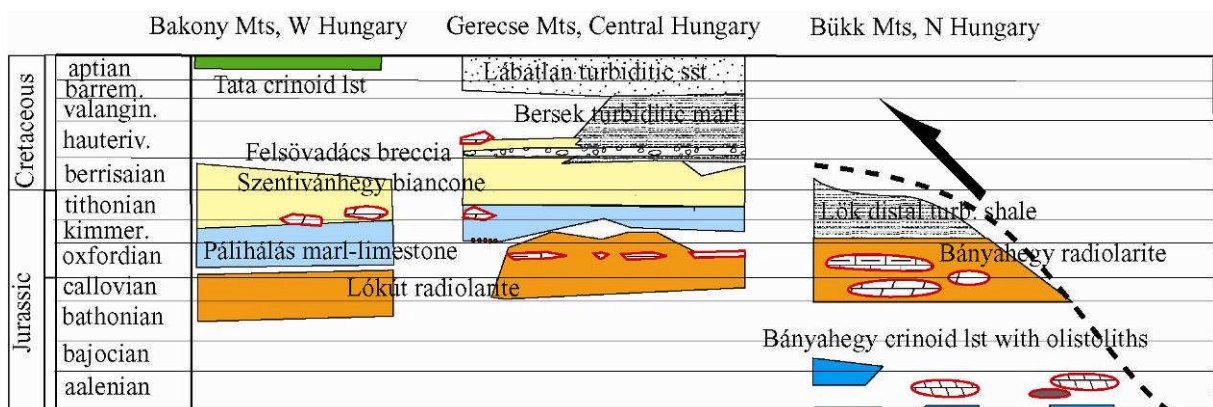
Bevezetés

A kutatás eredeti célkitűzései azon az ötleten alapultak, hogy a Belső Kárpátok a kései jurakorai kréta folyamán (tehát a hagyományosan ismert ausztriai, gosau fázisok előtt) hegységképződési folyamatok térszíne volt. Ezen ötlet részben saját megfigyelések, részben korábbi indirekt adatok (nevezetesen, hogy a Bükkben nincs dokumentálható kréta formáció: Csontos 1988; Balla 1987), részben frissebb alpi publikációk (1. ábra; Gawlick 1999; Mandl 2000; Schweiger and Neubauer 1997a, b) alapján vetődött fel.



1. ábra: Gawlick (1998) elvi szelvénye a Salzkammergut fejlődéséről. A felső jurában több ízben áttolódás történt.

A kutatás célkitűzése tehát e korai szerkezetek, tektonikai elemek dokumentálása, s azokból, ha lehet, helyi, majd regionális következtetések levonása volt. A megvalósításhoz részben hagyományos szerkezeti megfigyeléseket, részben szedimentológiai megfigyeléseket kívántunk felhasználni (2. ábra). Vizsgálódásunk tárgyául elsősorban a Gerecse és Bükk hegységeket választottuk, de az újabb és újabb megfigyelések alapján azt kiterjesztettük a Bakonyra is.



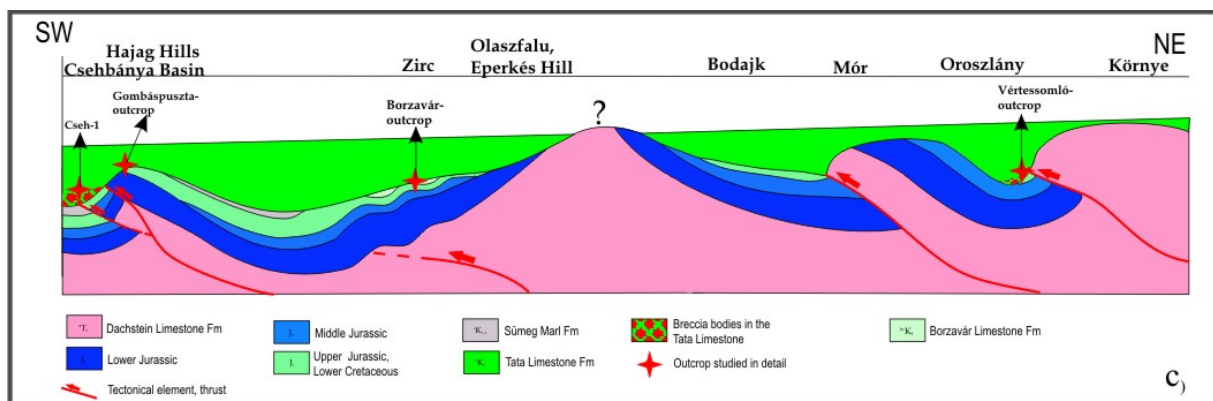
2. ábra: Rétegtani ábra a Bakonytól a Bükkig. A szaggatott vonal az ofiolit-takaró feltolódását jelzi.

A kutatás kezdetén a Bükk és a Gerecse hegységben végeztünk szerkezeti és üledékföldtani tanulmányokat. Ezt egészítették ki a bakonyi korai krétára vonatkozó üledékföldtani-tektonikai megfigyelések. Később egy bükki doktori dolgozat sajnálatos befejezetlensége mellett a Bakonyban és a Pilisben próbáltunk ki új geofizikai módszereket a felszíni terepi megfigyelések kiegészítésére. Egy újabb doktori dolgozat indításával a Gerecse szerkezeteinek részletezésére tettünk kísérletet. A hazai helyzet analógiáinak keresése érdekében a Dinaridákban folytattunk több ízben terepi munkát. Ezek közül a horvátországi járt publikációs eredménnyel; sajnos a szerb kapcsolatok az ottani kollegák sorsának máshogy alakulása miatt elenyésztek. A kutatás utolsó évében és a hosszabbításban a témavezető munkahelyet váltott, s ezáltal alkalma volt egy, a Bükkhöz igen hasonló, kitűnően feltárt terepi tanulmányozására az Omani Hegységben. E terepi tanulmányok a kutatás érdekes, nemzetközileg is fontos elágazásához vezettek, mert szerkezeti tisztább, azaz kevésbé bonyolult helyzetet lehetett összehasonlítani az itthonival. A magyarországi eredmények részletes ismertetése nyugatról keletre történik.

Eredmények

Késő apti-kora albai Tatai Mészke Formáció szintektonikus volta

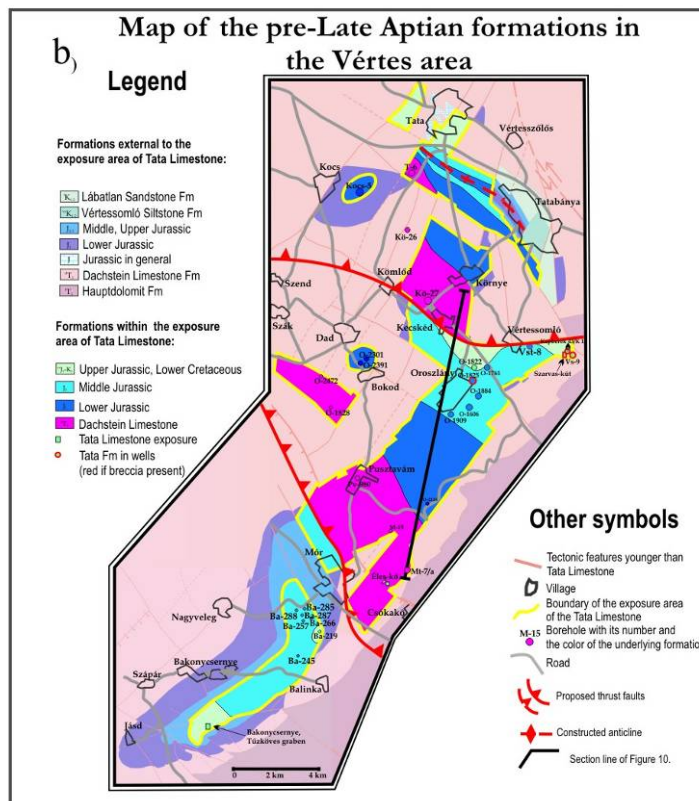
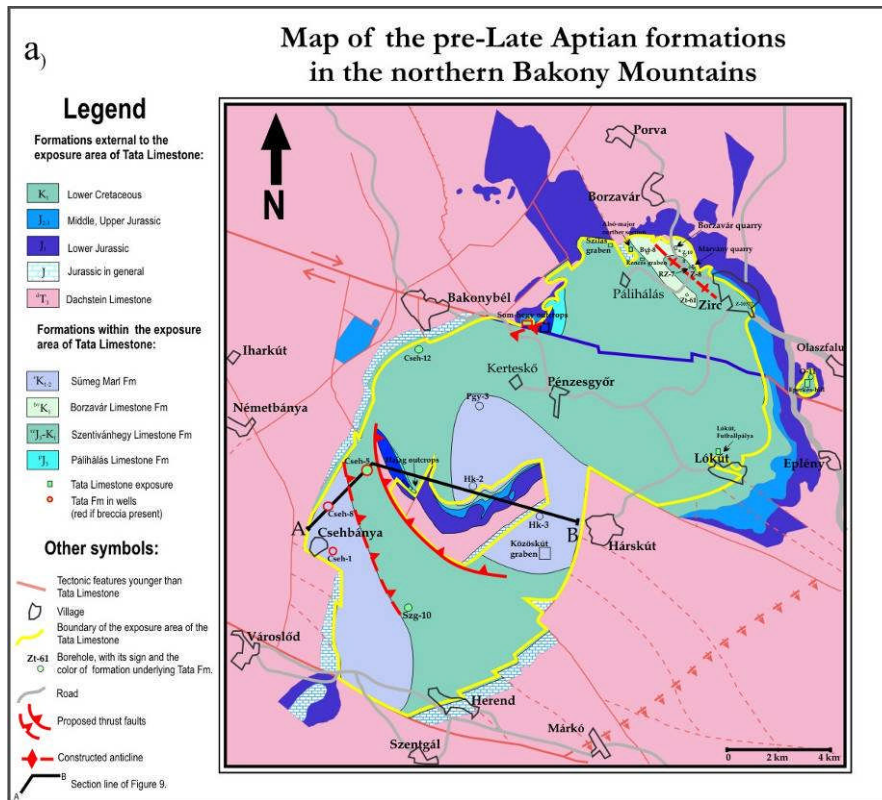
Pocsai Tamás diplomamunkája (2004 június) a Tatai Mészkevel, főként annak bázis-breccsájával és a megfigyelések tektonikai következményeivel foglalkozott. A vizsgálatokból kiderült, hogy a Tatai Mészke bázis-breccsái javarészt mélytengeri képződmények, s anyaguk a környező kiemelkedésekről hiányzó rétegsorból származnak. A breccsák mindenütt lejtőhelyzetben, helyenként nagy vastagságú pelágikus rétegsorban találhatóak. A kiemelt tagok a breccsa-lelőhelyekhez közel foglalnak helyet (3. ábra). A kiemelt helyeken redukált vastagságú, sekélytengeri fáciesű mészke található.



3. ábra: elvi rekonstruált szelvény a Tatai Mészke tetejére (Pocsai and Csontos 2006)

A csehbányai fúrások újvizsgálatával kiderült, hogy az átülepítési esemény a barrémi Sümegei Márka lerakódása idején kezdődött el és az ebből folyamatosan kifejlődő Tatai Mészkeben folytatódott. Mélyföldtani információ felhasználásával és térképek valamint szelvények szerkesztésével kiderült, hogy a Tatai Mészke bázisa enyhén gyűrtnek tekinthető. A redők uralkodó tengelye ÉNY-DK-i és a lepusztuló kiemelkedések antiklinálisként, a medence-területek szinklinálisként foghatók fel (4. ábra). A jelentős szintkülönbséget sejtető breccsák az antiklinálisok homlokterében, feltételezett feltolódások előtt jönnek létre. A feltolódások zöme nyugati vergenciájú. A megfigyelésekből olyan modell adódik, miszerint a Középhegységi Szinklinórium tengelyére merőleges redők, feltolódások keletkeztek a

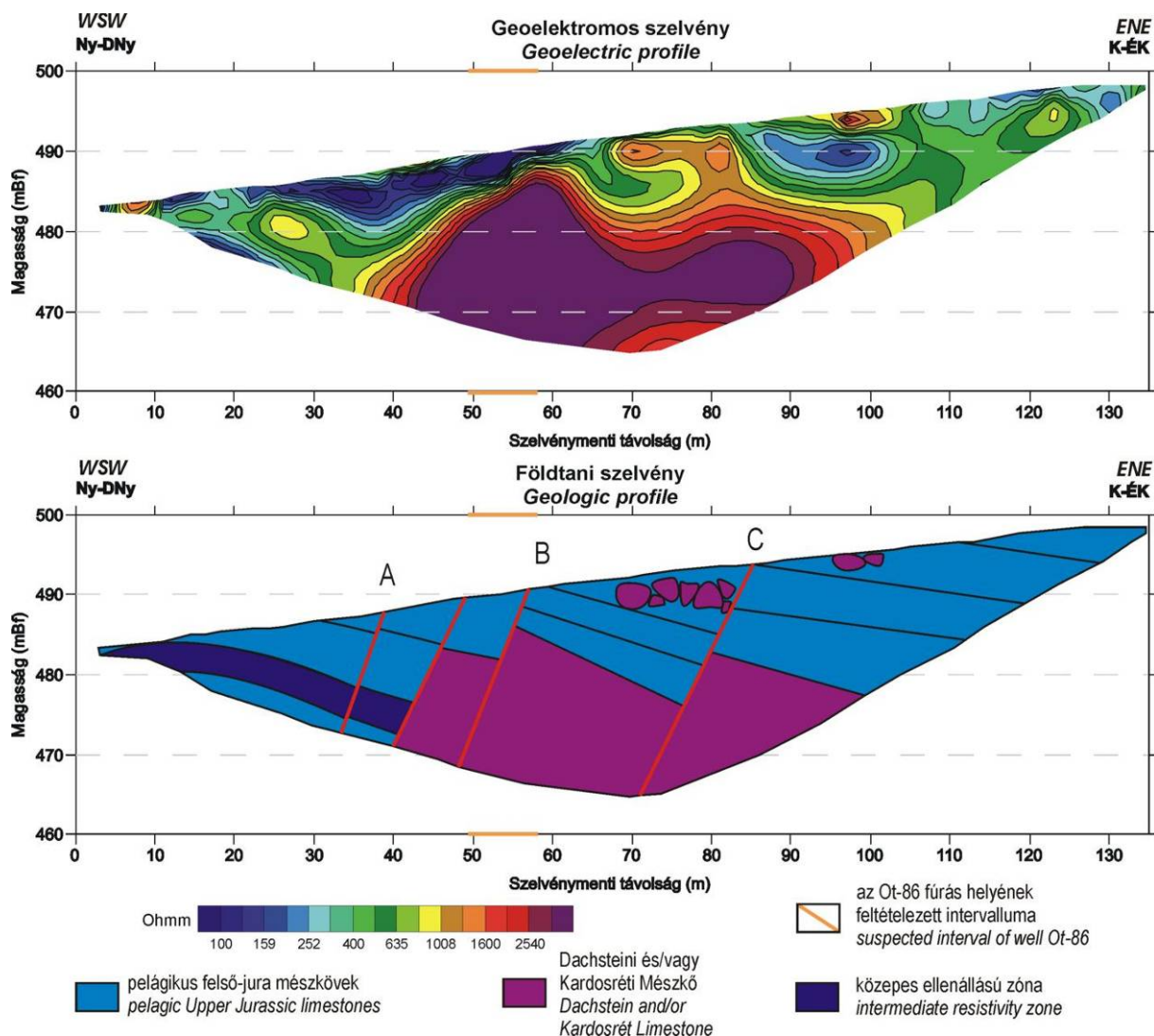
barrémi-apti időszakban. A munkából a Geologica Carpathica-ban 2006-ban jelent meg angol nyelvű cikk.



4. ábra: A Bakony és a Vértes Tatai Mész-kő előtti térképe (Cászár és Cserekei 1978 nyomán) a feltételezett redős és feltolódásos szerkezetekkel (Pocsai and Csontos 2006).

Az Eperkés-hegy késő jura áthalmazási eseménye és kapcsolata a tektonikával

Palotai Márton (Diplomamunka 2005) a bakonyi Eperkés-hegy felső jura sorozatát vizsgálta terepi, szedimentológiai és geofizikai módszerekkel. A felső jura összletben nagyméretű alsó jura és felső triász tömbök találhatók. Az eddig adott értelmezések kontrasztosan különbözőek voltak: az egyik szerint kiemelt sasbércekről, jura vetős szerkezetekről van szó (Császár et al 2002), a másik szerint a tömbök olisztolitik a felső jura alapanyagban (Galács és Vörös 1985). A térképezés, vékonycsiszolatos vizsgálatok és a lemerített multielektródás geofizikai szelvények (5. ábra) az utóbbi változatot támasztották alá. Az eltérő litológiájuként térképezett, nagy ellenállású tömbök egy kisebb ellenállású, a terepen pelágikus mészkőként, illetve radiolaritként azonosított alapanyagban úsznak. Az Eperkés-hegyen a munka alapján a nagyobb tömbök egyértelműen olisztolitik, amelyek a késő kimmeridgeiben-kora tithonban halmazódtak át. Az áthalmazás indokául mind normálvetős, mind eltolódásos, mind feltolódásos megoldás számba jöhet. Ezek közül az előzőekben ismertetett dolgozat miatt a feltolódásos változatot részesítjük előnyben.



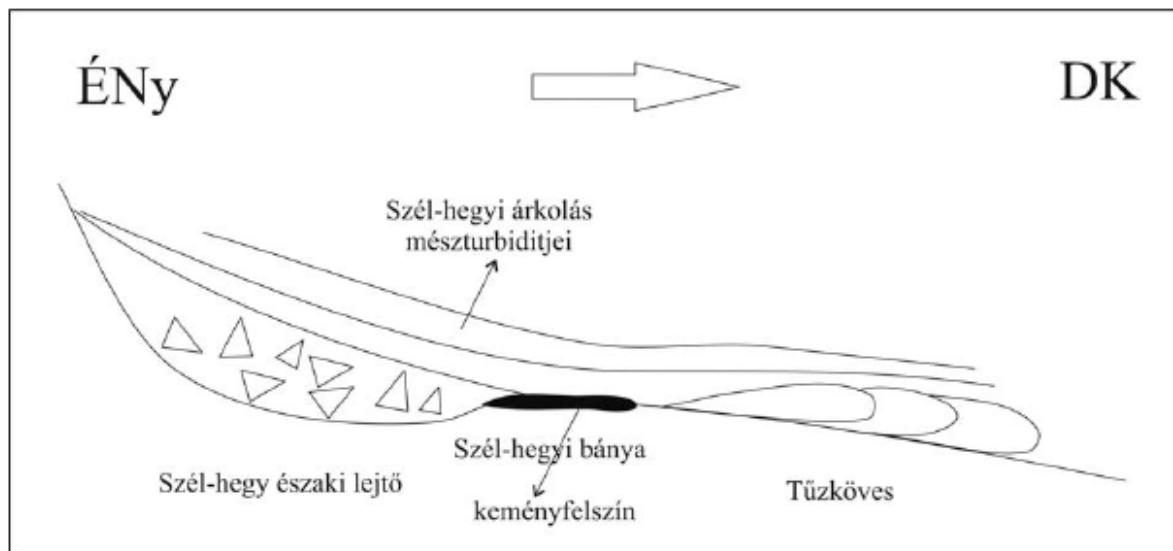
5. ábra: Multielektródás geoelectromos szelvény értelmezéssel az Eperkés-hegy alapszelvényéről (Palotai et al. 2006).

Ráadásul teljesen független paleomágnese vizsgálatok is megerősítették a tömbök eltérő orientációját, azaz áthalmazott voltát (Convert et al. 2006). Az eredményekről a hallgató a

2005 tavaszán rendezett Ifjú előadók ankétján előadásban valamint a CETEG kongresszuson poszteren számolt be. A vizsgálatokból 2006 őszén a Földtani Közlönyben publikáció jelent meg.

A Gerecse késő jura áthalmazódási eseményei és lehetséges kapcsolatuk a szerkezetalakulással

Bárány Mónika diplomamunkája (2005 január) a gerecsei késő jura-kora kréta átülepítési eseményekkel és azok tektonikai vonzataival foglalkozott. A munka megállapításai szerint a gerecsei felső jurában több szintben, az oxfordi emelettől kezdődően, de a kimmeridgeiben és a titonban is, jelentős helyi átülepítéssel számolhatunk. Ezen lejtőmozgások a korai szakaszban medencén belüli pelágikus üledékeket halmoztak át illetve lesuvasztották az oxfordi radiolarit jelentős részét vagy egészét (6. ábra). A felsőbb jurában azonban törmelékként mélyebb rétegtagok, akár a Dachsteini Mészkö is megjelenhetnek. Az áthalmazódás a korábban Gorba-hátként ismert régió (Császár 1998) környékén is jelen van, sőt, itt a legintenzívebb. Szemcseméret-eloszlásokból egy észak-déli törmelékszállítás valószínűsíthető.



6. ábra: a Szél-hegyi hiányos rétegsor magyarázata Bárány (2004) nyomán.

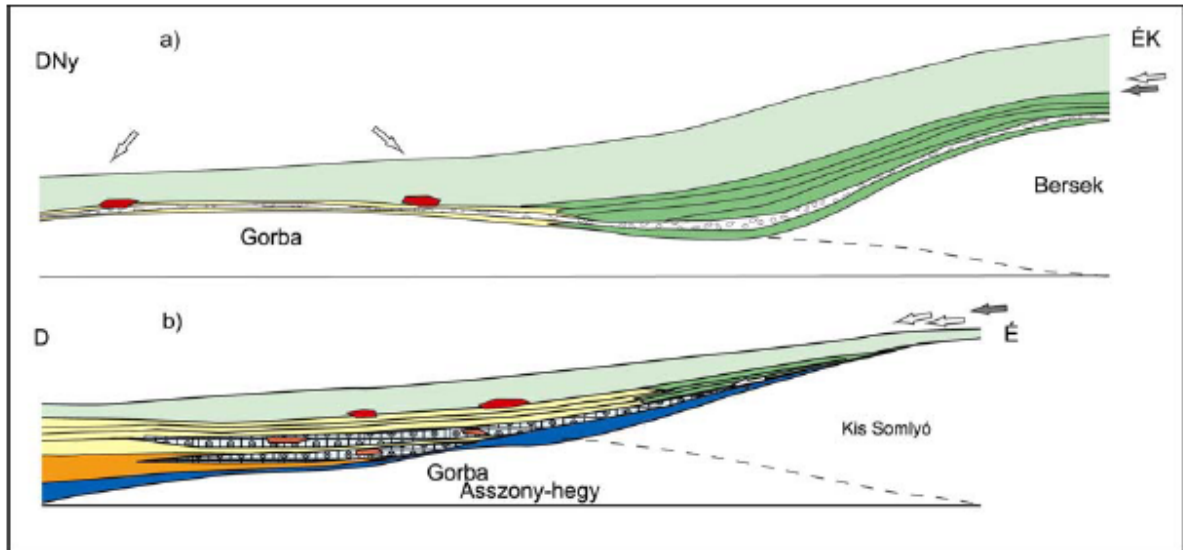
Forrásterületnek tehát olyan, észak-északkeleti régiót feltételezhetünk, ahol a Dachsteini Mészkö is feltárult. Feltételezhető, hogy a kései jura átülepítési esemény kapcsolódik a később ismertető Kesztlőc környékivel. Mindez azt sejteti, hogy már a kései jurában megindulhattak konvergens mozgások, amelyek a Középhegység északkeleti peremén akár takarók, pikkelyek kialakulásához vezethettek.

A megfigyeléseket, ötleteket egy cikkben foglaltuk össze, amely azonban több társszerző leterheltsége miatt befejezésre vár.

A Gerecse kora kréta áthalmazódási eseménye és a medence tektonikai helyzete

Bárány Mónika diplomamunkájának (2004 január) másik fejezete a legelső kréta Felsővadácsi breccsa szedimentológiájával foglalkozott. A vékony de elterjedt képződmény a hegység egész területét (így a Gorba hátat is) beboríthatta, jelenlegi elterjedése utólagos erózióknak és szerkezetalakulásnak tudható be. A breccsa valójában konglomerátum, amely sekély tengeri régióból áthalmazódva a mélytengeri lejtőre jutott. A breccsa vastagságadataiból, al-

fácieséből és a kevészámú üledékes szállítási iránymérésből egy északkeletről-délnyugat felé és keletről-nyugat felé történő száállítás valószínűsíthető. Ezen adatok összhangban állnak a korábban Fogarasi (1995) és Sztanó (1990) által a kissé fiatalabb alsó kréta képződményekre tett megállapításokkal. A breccsa törmelék-anyagában az uralkodó Dachsteini mészkövön kívül bázisos vulkanit és radiolarit is jelen van.



7. ábra: A Gerecse kései jura és kora kréta lerakódási környezetének elvi szelvénye Bárányi (2004) nyomán.

Mind a Felsővadácsi Breccsa, mind a felette lévő képződmények egy délnyugat felé lejtő paleo-lejtőt rajzolnak ki (7. ábra; ld még Sztanó 1990; Fogarasi 1995; Császár et al. 1998). E lejtő időről időre megújult, ami folyamatos tektonikát feltételez. Szerkezeti megoldásunk ezen adatok magyarázatára egy olyan vak feltolódás, amely a lejtő alatt húzódik, nyugati vergenciával (szaggatott vonal a 7. ábrán). A Felsővadácsi Breccsa kavicsanyaga miatt – korábbi, fent említett szerzőkkel összhangban – a középhegységi északkeleti peremén egy Dachsteini Mészkő anyagú (azaz középhegységi), egy radiolarit anyagú (azaz óceáni, Szarvaskői) és egy ofiolitos anyagú (azaz Dinári Ofiolitos) takaró kellett helyet foglaljon.

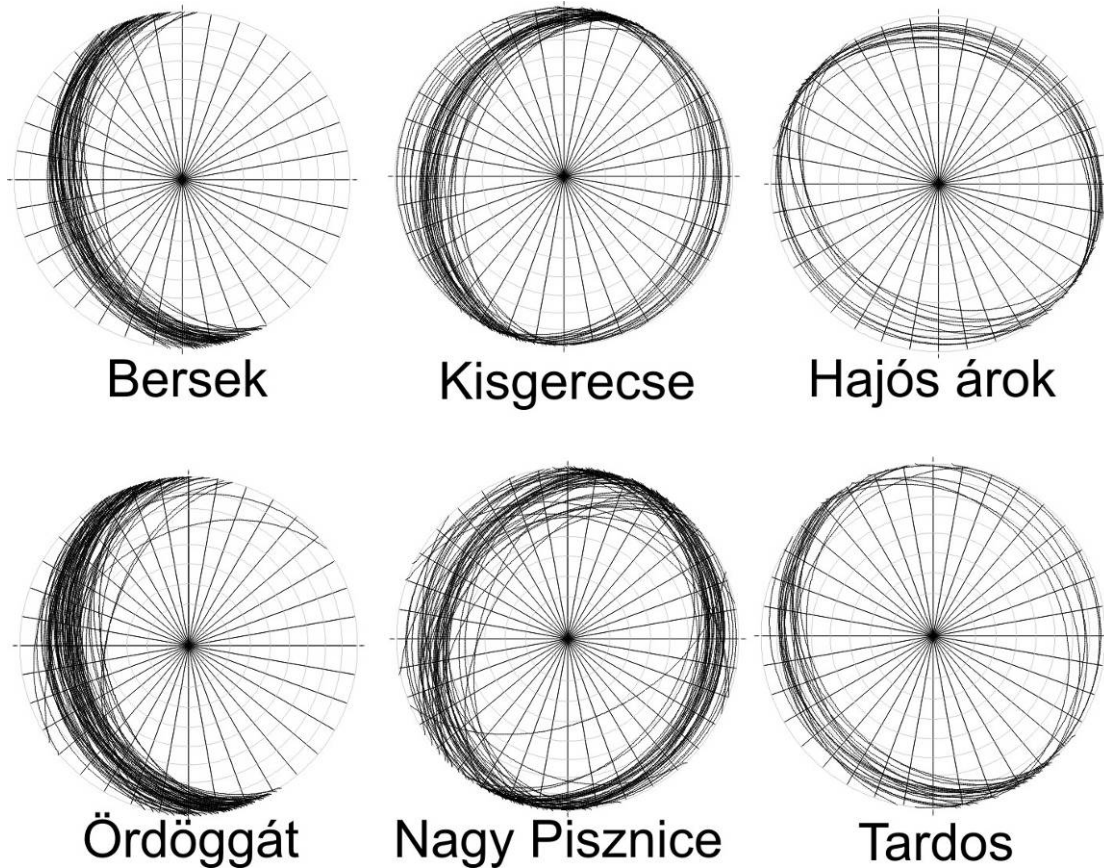
A Gerecse képlékeny és töréses szerkezetei

Sasvári Ágoston doktori dolgozatában a Gerecse hegységben fellelhető töréses és képlékeny szerkezetek elemzését végezte. Terepi bejárásaink alatt számos extenzióhoz és kompresszióhoz kapcsolható szerkezeti elemet mértünk ki.

Több töréses fázist sikerült kimutatni, de (ritka kivétellektől eltekintve), ezek mindegyike terciér töréses deformációhoz köthető. Két helyen képlékeny/töréses deformációt észleltünk, de ezek is fiatal szerkezeti fázisokhoz köthetőek. A törésekkel kapcsolatos mérésekből és a regionális elemzésből cikk készült, melyet a Földtani Közlönybe leadtunk. A hosszas lektori folyamat végén reményeink szerint idén megjelenik a törésekkel foglalkozó munka.

A képlékeny deformációs elemek közül legfigyelemreméltóbbnak egy csak agyagos-márgás rétegekben (Kisgercsei Márga; Berseki Márga) megjelenő palásság mutatkozik (8. ábra). Az e palásságból következtethető nyírási irányok három fő rövidülési irányba csoportosulnak. A legmarkánsabb rövidülési irány a K-Ny-i, de találtunk ÉNy-DK-i és É-D-i rövidülést is. Érdekes, hogy a fő palásságból adódó nyírás kelet felé valószínűsíthető. A fenti rövidülési

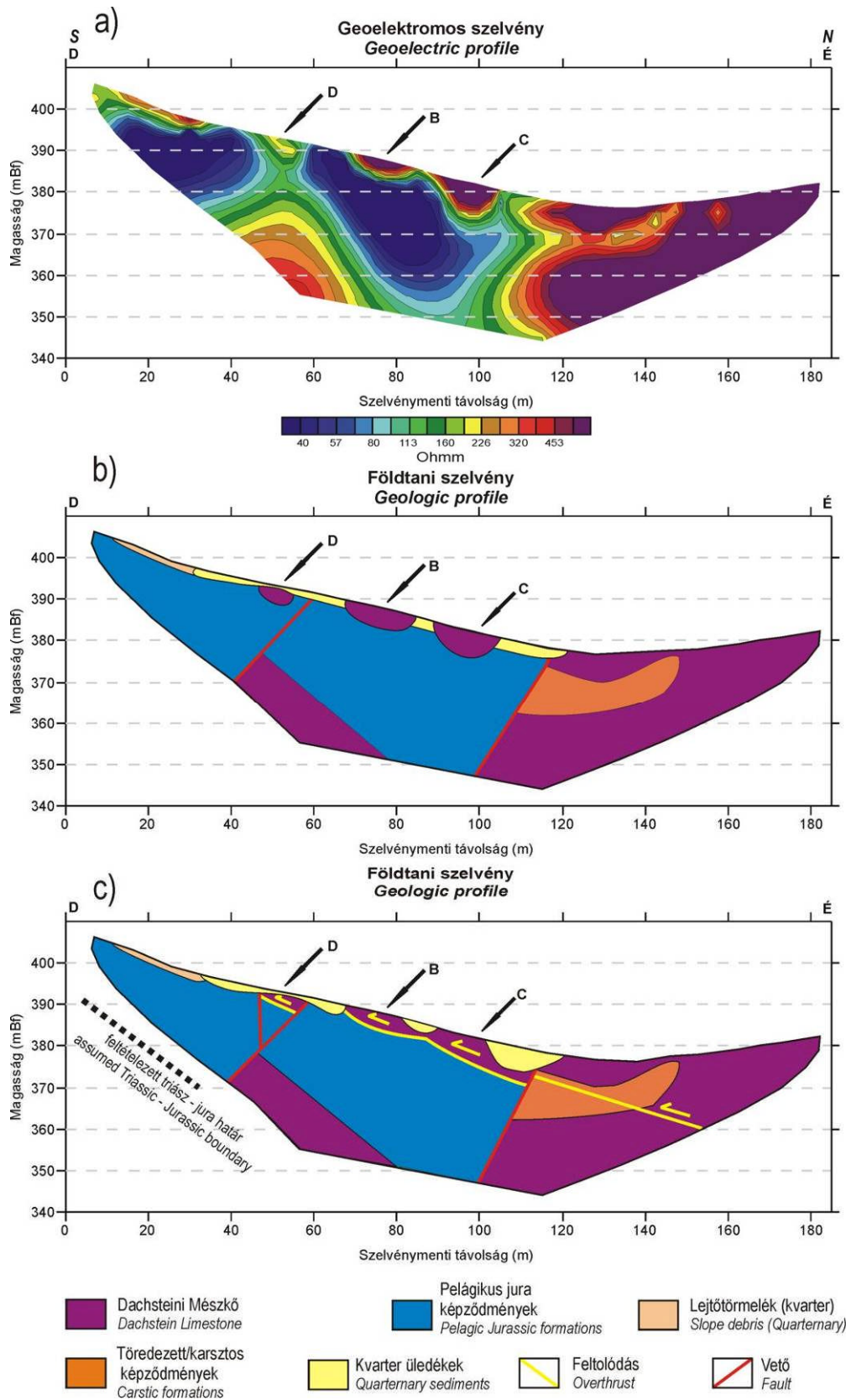
irányok jól korrelálhatók kisebb redők szerkezeti elemeivel és nagyszabású feltolódásokkal. A keleti nyírás egy mélybeli vak feltolódás feletti passzív visszatolódás (hanging wall bachthrust) eredménye lehet. Úgy tűnik, e deformációk az albai-cenomán-turon emeletekre esnek. E témából is cikk született, mely a Földtani Közlönyben hosszadalmas lektori folyamatban vesz részt.



8. ábra: palásságok irány szerinti megoszlása sztereogramokon (Sasvári 2008, beadva). Három, eltérő rövidülési irány bontakozik ki: egy K-Ny-i; egy ÉNy-DK-i; és egy ÉK-DNy-i.

A kesztölci késő jura vagy azutáni áthalmazódás tektonikai jelentősége

A Pilisben az oxfordi radiolariton található átülepítettnek tűnő blokkok. Palotai Márton diplomamunkájában (2005) részben ezeket vizsgálta. A pilisi Kétágú-hegyen a térképezés hosszú, elnyúlt Dachsteini Mészke anyagú testeket mutatott ki a radiolarit fölött. Az elektromos szelvényeken elkülönült nagyellenállású testek jól láthatóan a kis ellenállású radiolarit felett találhatóan, s oldalirányban is korrelálhatók. E testek vagy olisztolitok, vagy egy felsőbb tektonikai egység, takaró részei (9. ábra). Mivel itt a legfiatalabb, általunk fellelt képződmény az oxfordi radiolarit volt, az olisztolitok vagy e képződménybe potyogtak, vagy erre toldták rá. A helyzet azonban nem egyértelmű, ugyanis korábbi szerzők említést tettek egy (általunk nem lelt) tithon mészkőről is. A dolgozatban a hallgató diszkutálta az átülepítéshez vezető lehetséges tektonikai eseményeket, s ezek közül, akárcsak korábban Bárány Mónika, a kompressziós eredetet tartotta valószínűbbnek. Az eredményekről Palotai Márton a 2005 tavaszán rendezett Ifjú előadók ankétján előadásban, valamint a CETEG nemzetközi konferencián poszteren számolt be. A kesztölci kutatások eredményeit Magyarhoni Földtani Társulati rendezvényen is ismertettük. A munkából magyar nyelvű szacikket szerkesztettünk, amelyet a Földtani Közlöny 2006-ban megjelentetett.

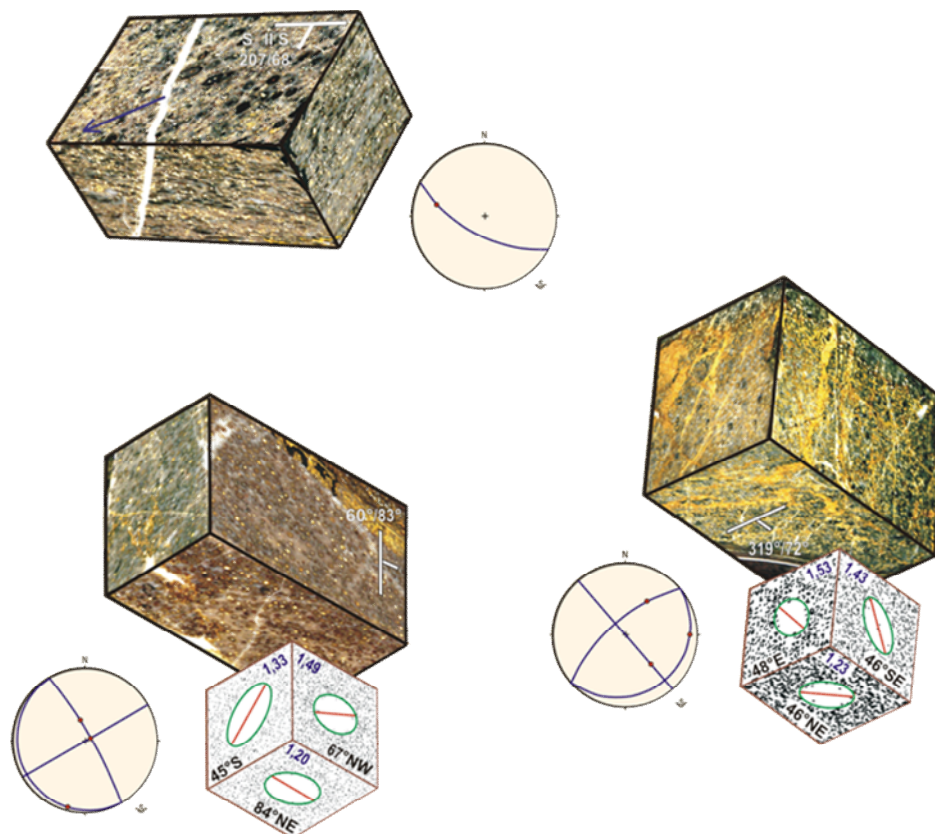


9. ábra. Multielektrodás geoelektromos szelvény és két lehetséges értelmezése a pilisi Kétágú-hegyen (Palotai et al. 2006). A felső az olisztolit, az alsó a takaród értelmezés.

A Bükk képlékeny nyírásos-megnyúlásos szerkezetei

A Magyarhoni Földtani Társulat 2005-ben két napos terepbejárást tartott a területen a témavezető részbeni vezetésével. E terepbejáráson bizonyítást nyert a Bükk hegység korábban már felvázolt takarós szerkezete.

A Bükk hegység feltehetően kései jura képlékeny szerkezeti elemeit főként Fórián Szabó Márton vizsgálta doktori dolgozatában. Az irányított minták értékelése szerint a Bükki parautochton kőzeteit igen jelentős rétegzéssel párhuzamos préselés, lapulás érte, ami a hegység északi részén az ooidos Gerennavári Formációban látható leginkább (10. ábra). A lapultság mértéke helyről helyre változó, de jellegzetesen lapos diszkosz alakú deformációs ellipszoidokat produkált. A hegység központi-déli részén a tűzköves mészkövekben és az olisztosztrómákban a lapulás hurkásan szétszakadt elegyrészeken látható leginkább. Itt is kétirányú megnyúlás látszik. A megnyúlási lineáció gyenge, de ennek ellenére látni aszimmetrikus megnyúlást K-Ny-i irányban. Az utólagos redőződés hatásait is figyelembe véve a jelenleg rendelkezésre álló mintákban nem található konzekvens K-i vagy Ny-i nyírás, nagyjából azonos súllyal fordulnak elő ezen nyírási irányok. Úgy tűnik, nincs regionális nyírás; az egyedi irányok kapcsolt képlékeny vetőkhöz köthetőek, s egy tiszta deformációs, réteg menti lapulás történt. Vizsgálatainak eredményét a 2005 áprilisában Felsőtárkányon rendezett CETEG konferencián adta elő. A munka a doktorandusz munkahely-váltása miatt sajnálatosan befejezetlen maradt.



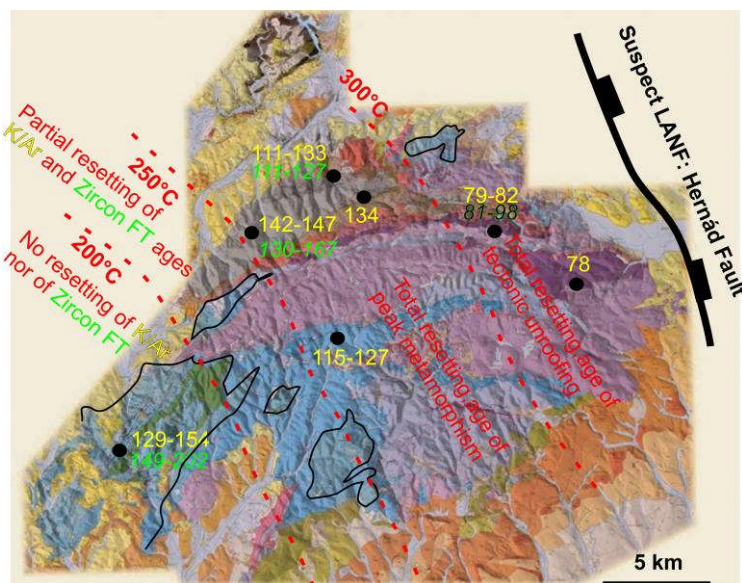
10. ábra: Ooidos mészkő lapultsága (Fórián Szabó 2005). A három minta (eredeti térbeli helyzetében ábrázolva) három oldalán lemérve a deformációs ellipszoidok a deformációs ellipszoidok térbeli helyzete rekonstruálható. Az eredmények kelet-nugati megnyúlást mutatnak.

Nem ezen OTKA pályázat keretében született, de a témavezető konzulensséggel készült doktori dolgozatot tett le 2004-ben Koroknai Balázs az asztalra. E dolgozat az Uppony és Szendrő hegységek kései jurá-kora kréta képlékeny deformációjával foglalkozott. A számos deformáció közt figyelmet érdemel egy korai lapulás és egy későbbi, északi vergenciájú feltolódás-transzpresszió, amely a Darnó vonal menti irányok mentén történt. Poszt-tektonikus kloritoidok segítségével és csillámok datálásával e transzpressziós fázis 120 Ma-nál idősebbnek adódott.

Wettstein Edina nehéz diploma-témája a bükki Répáshutai-Bányahegyi Formációkkal foglalkozott. A pelágikus mészkő, helyenként vörös krinoideás mészkő alapanyagban úszó karbonátos klasztrólisztolit-léte itt nem kérdés. Sokkal inkább volt az a beágyazó kőzetek pontos kora és a klasztrok eredeti anyaga, esetleg származási helye. Utóbbiak közt szép korallós darabokat is találtunk. Sajnos az alapanyagból ismételt próbálkozás ellenére sem jött ki néhány hosszú fajöltőjű foraminiferánál több. Így az átülepített képződmény pontosabb kora rejtve marad.

A Bükk termális-szerkezeti fejlődése a krétában

A Bükk hegységet az évek során különböző kutatók többször mintázták radiometrikus korokat keresve (Árva-Sós et al. 1984; Árkai et al. 1996, Dunkl et al. 1994). E munkák eredményeként különös kép állt elő. Habár egyes közetsávok, formációk kelet-nyugati irányú folytonosságához, azonos szerkezeti egységhez tartozásához és természetesen azonos szerkezeti fejlődéséhez kétség sem fér, a hegység nyugati részén jóval idősebb radiometrikus korokat találtak a különböző szerzők különböző (de nagyjából azonos záródási hőmérsékletű) módszerekkel. Ezzel párhuzamosan főként Árkai P. metamorf vizsgálatai (1977; 1983) is azt sugallják, hogy a hegység nyugati fele (és kitüntetetten a Szarvaskői Takaró) kisebb átalakulást szenvedett, mint a hegység keleti fele. Ez utóbbi helyen észlelték korábban is a legátalakultabb kőzeteket, sőt a pirofillit jelenléte 300°C feletti hőmérsékletre utal (Koroknai et al. 2007).



11. ábra. A Bükk radiometrikus korai és feltételezett metamorf izotermái (Csontos et al., előkészületben). A MÁFI egyszerűsített térképét Fórián Szabó M. illesztette digitális terepmodellre.

Bár az agyagásvány-rendezettség kialakulását számos tényező befolyásolja és abban nem csak a hőmérsékletnek van szerepe, leegyszerűsítve izotermákat vázolhatunk fel, amelyek a hegységet nagyjából É-D csapásban metszik át (11. ábra).

Korábban a Szarvaskői-takaróban mért idős kort és csekély átalakultságot a felső, takarós helyzettel (s ezért a csekélyebb betemetődéssel) magyarították. Ezt azonban kiterjeszthetjük a többi mért korra és metamorf fokra is. Másként a ma nagyjából vízszintes hegységfelszín egykor kelet felé jelentősen lejthetett; nyugati és keleti peremei közt $2,5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ geotermikus gradienssel számolva akár 4-5 km mélység-különbség is lehetett. A Bükk környezete miatt (meg a hegység anchimetamorf többségében mért korok miatt) a fő metamorfózis barrémi-aptinak (120 Ma; Árkai et al. 1996; Koroknai 2004) adódik. Ekkor azonban a keleti rész olyan mélyen be volt még temetve, hogy a radiometrikus órák nem indulhattak el. A keleti részen fellelhető, nem nyírási zónákhoz kötött (Koroknai et al. 2007) 80 Ma körüli korok egy olyan eseménnyel magyarázhatók, amelyek felszín-közelbe hozhatták e részt is. Erre legcélszerűbb egy lapos lecsúszási felületet (LANF) keresni, amelyre a Hernád vonal alkalmasnak tetszik. Más irányú kutatásainkból ugyanis (Tischler et al. 2007) kitűnt, hogy a Hernád „vonal” a terciérben többször ilyen módon viselkedett.

A fent vázolt ötleteket Árkai Péter, Balogh Kadosa, Dunkl István és Koroknai Balázs társszerzőségével cikkbe öntjük. A munka várhatóan 2008 végén jelenhet meg.

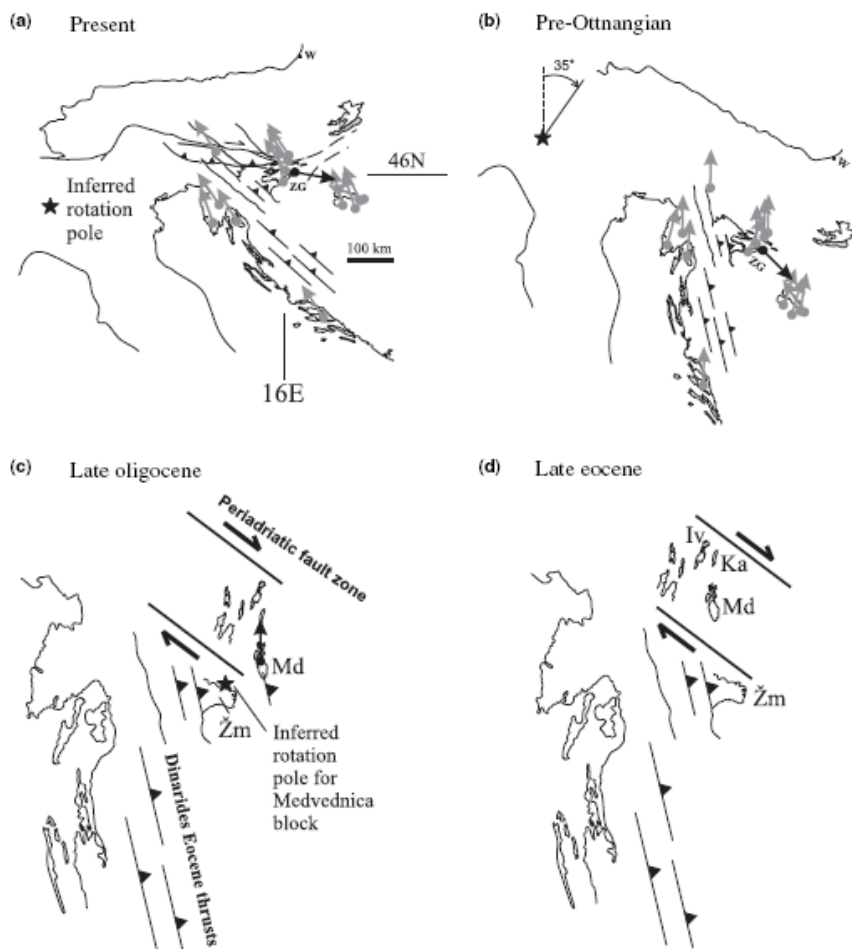
A Belső Dinaridák és a Bükk, Bakony kapcsolata

A terepi munka során hangsúlyt fektettünk a környező analógiák meglátogatására is. B. Tomljenovic (Polytechnic Univ. Zagreb) segítségével horvát helyszíneket jártunk be, míg N. Gerzina és M. Sudar (Belgrádi Egyetem) segítségével szerbiai hegységeket látogattunk meg. Szintén e téma keretén belül került sor S. Schmiedel (Baseli Egyetem) közös boszniai és észak-magyarországi terepbejárásra.

A látottak alapján a Dinaridák belső övében (Internal Dinarides) a mi Bükkünkhöz hasonló, anchimetamorf egységek találhatóak nagyon hasonló deformációs-metamorf történettel.

A Bükk és a Belső Dinaridák kapcsolatát több módon is megközelítettük. Magmás kőzetanos kollégákkal cikket szerkesztettünk, ami a paleogén-neogén magmatizmussal foglalkozott. A Dinaridák belső övében a mi Bükkünkhöz hasonló, anchimetamorf hegységek aljzatán azonos geokémiai jellegű magmás ív alakult ki. A geokémiai rokonság egyben annyit is jelent, hogy a most igen eltérő helyzetű magmatitokat azonos folyamatok (szubdukció) hozták létre. A jelenlegi helyzet nagyméretű forgással és kilökődéssel magyarázható. A mű a Geol. Soc. America kiadványában 2006-ban jelent meg.

Még érdekesebb a Medvednica és a Belső Dinaridák kapcsolata. Ugyan az egyes szerkezeti elemek összekötő láncszemet jelentenek a Dinaridák és a bükki régió közt (ld pl. Judik et al. 2005), a szerkezetek csapásai a Medvednicában gyakorlatilag merőlegesen az általános dinári szerkezetekre. A B. Tomljenovic-csal és a Márton házaspárral végzett vizsgálatok alapján a deformációs események tökéletesen megfeleltethetők mind a bükki, mind a belső dinári szerkezeti történéseknek. A furcsa szállítási irányok és szerkezeti csapások két kései forgás eredményei, amelyeket felső kréta és miocén kőzetekből sikerült kimutatni. Az egyik (feltehetően oligo-miocén) forgási esemény jelentős, 130° -ot meghaladó óramutatóval megegyező forgást eredményezett, s feltehetően a Száva, vagy a Periadriai Lineamens jobbos fő mozgásához kapcsolható (12. ábra). A másik, a neogén kőzeteket is ért 35° -os óramutatóval ellentétes forgás a felső miocén-pliocén időszakban a térség általános rövidüléséhez és az Adriai tüske forgásához kapcsolható.



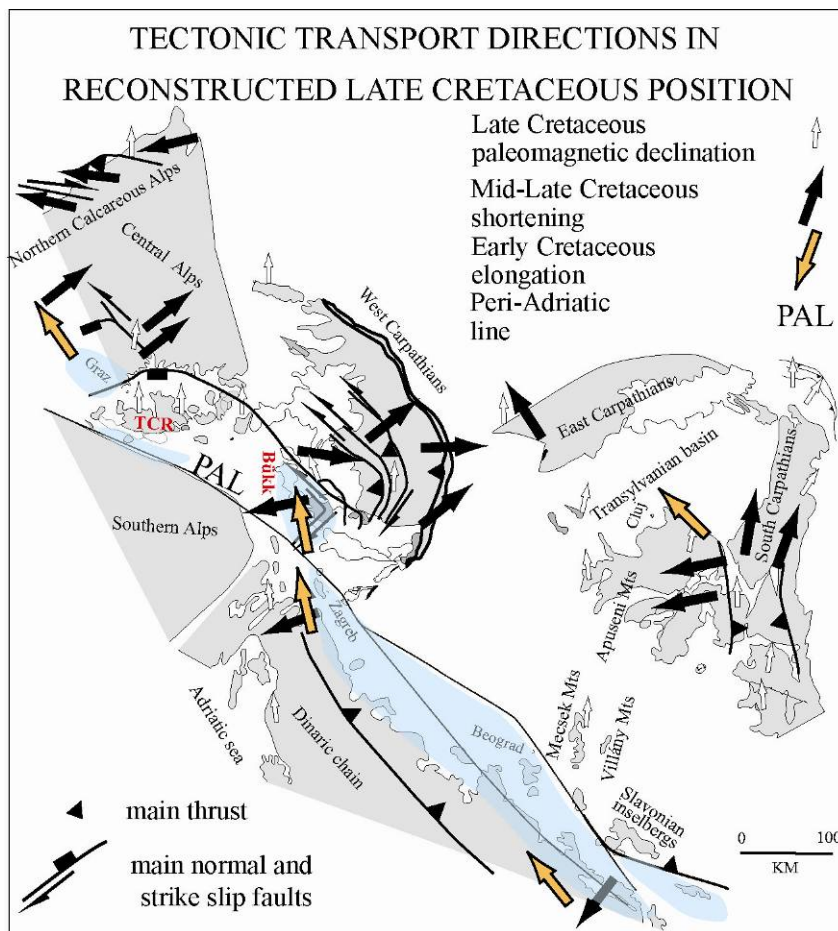
12. ábra. Paleomágnesesen igazolt forgások rekonstrukciója a dinári északi vidékeken (Tomljenovic et al. 2008). Az albai deformáció az eocén-oligocénben jelzett, csapásra merőleges deformációval párhuzamos. A kései jura-kora kréta megnyúlás, nyírás a medvednicva csapásácal párhuzamos és (az eocén rekonstruált helyzetben) északra történt.

A Medvednica hegységben két jellegzetes irányú deformációt lehetett azonosítani. A forgások rekonstruálása után az egyik egy csapással (adriai partvonallal) párhuzamos korai megnyúlás-nyírás, míg a másik egy erre (partvonalra) merőleges, redőképződéssel együtt járó rövidülés. Előzetes eredmények alapján a megnyúlás egy kései jura-kora kréta, a dinári peremmel párhuzamos obdukció, esetleg kollízió eredménye, amelyet az albai tájékon, majd a felső eocénben-oligocénben egy-egy peremre merőleges rövidülés követett.

2005-ben került sor S. Scmidel közös szerbiai terepbejárásra. A Kopaonik és Studenica egységek a megfigyelések szerint valóban igen hasonlítanak a Bükk hegységhez. A Boszniában észlelt nyírési irányok a Medvednicához hasonló deformáció-párt adnak (13. ábra). Ofiolitok bázisán a csapással párhuzamos és az arra merőleges nyírás is kimutatható volt. A környék általános földtani felépítéséből arra lehet következtetni, hogy az albaiban a peremre merőleges rövidülés hatására mélyebb szerkezeti egységek feltáródtak, redőződtek és erodálódtak.

A szerkezeti eseményeket összevetve a (rekonstruált helyzetű) Bakonyban tapasztaltakkal azt találjuk, hogy első látásra mindkét hegységben ugyanolyan sorrendben követte egymást két, egymásra gyakorlatilag merőleges deformáció. Részletesebben tekintve azt látjuk, hogy a Dinaridákban a peremmel párhuzamos deformáció a kései jurában, legkorábbi krétában történt, majd az alsó krétában (az albaigi) fordult meg a deformáció iránya. A Bakonyban a fő

csapásra merőleges rövidülés egészen az alsó albaig fennállt, s a deformációs irányok a középső-albaiban fordultak meg. A hegység fő csapása azonban az egykori peremre valószínűleg jelentős szöget zárt be, tehát az első deformáció felelhet meg a dinári peremre merőleges deformációnak (fekete nyilak a 13. ábrán). Hogy miért következett be a középső albaiban a deformációs irány-váltás, arról csak találgatni tudunk. Egyik ötletünk, hogy ez a Középhegységi egység önálló forgása miatti, látszólagos forgás. Másik ötletünk pedig, hogy a Bakony az alpi deformációs zónához közelebb lévén, annak kései alakváltozását is regisztrálhatta. A kérdés eldöntéséhez a Bakony és a Dinaridák paleomágnesesen igazolt forgásainak összehasonlítására lenne szükség. Magyar oldalon még meglennének az ehhez szükséges adatok, a dinári oldalon azonban (részben geológiai okok miatt) ezek nagyrészt hiányosak.



13. ábra. Rekonstruált kép a felső kréta előttre (Csontos et al. 2006). A fekete nyíllal jelölt albai deformáció a kései jura-kora kréta (sárga nyíl) peremmel párhuzamos nyírást követi.

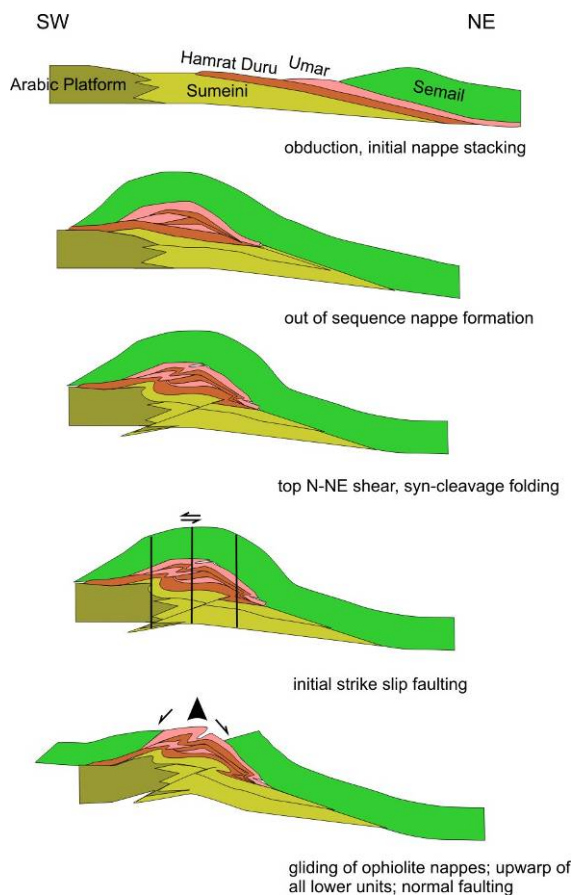
Általánosítva elmondható, hogy nagy valószínűséggel az egész dinári keleti (északkeleti) perem először igen ferde irányú ofiolit-takaró rátolódást szenvedett, majd valamilyen belső folyamatok miatt a peremre merőlegesen felgyűrődött. E belső folyamatok esetleges megfejtésére szolgált legújabb kutatási irányunk (ld lentebb). A Bakonyban ez utóbbi deformáció hathatott, majd az albai folyamán, talán tömbforgások, vagy az alpi konvergens folyamatok miatt derékszögbe fordult a rövidülési irány.

Az eredményekről több előadáson is beszámoltunk a már említett CETEG konferencián, valamint a 2006-os opatijai Alpshop, urbinoi Adria 2006, belgrádi Kárpát-Balkán Geológiai Egyesület és a 2004-es pozsonyi ESSE-WECA konferencián. A Medvednicával foglalkozó

cikkünk 2008 tavaszán a Geological Society London külön kiadványában jelenik meg. A dinári rekonstrukció bizonyos elemei a Vörös Attila kollegámmal közös, 2004-ben megjelent PPP cikkben, részint S. Schmiddel és horvát, bosnyák, szerb szerzőkkel közös kéziratban szerepelnek.

A Bükk és az Omani hegység kapcsolata

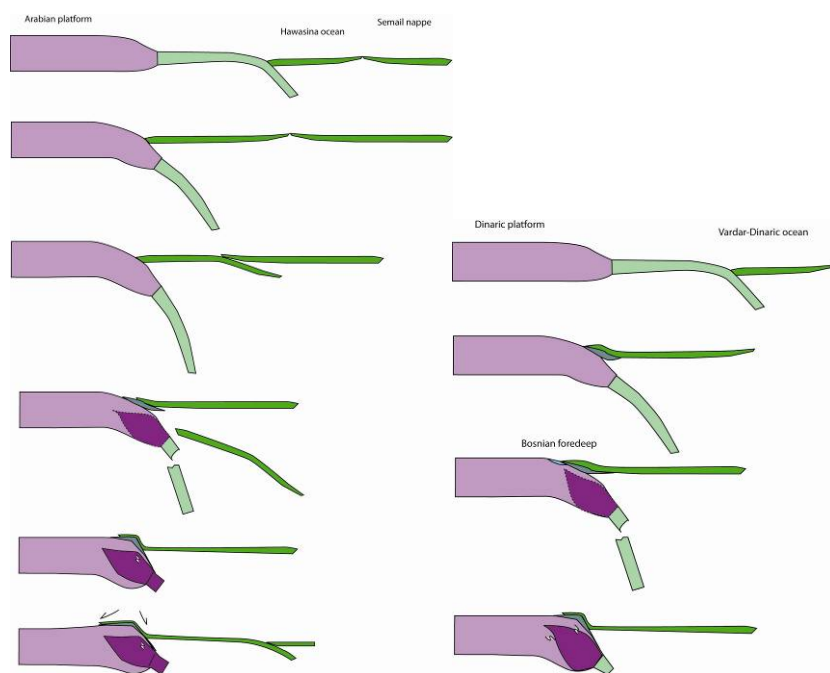
Az Omani Hegység az obdukált ofiolitok egyik klasszikus előfordulási helye. Ugyanott tektonikai ablakokban az ofiolit alatti óceáni üledék-takarók (Hawasina egység) és az Autochton is kibukkan. A kiváló feltártság miatt az összes egységet számosan vizsgálták. Legutóbb a MOL omani kutatása keretében a témavezetőnek és számos magyar kollegának is alkalmat volt vizsgálni a Hawasina Egységet és az Autochton egy részét. A részletes szerkezetvizsgálat és az egyes formációk tanulmányozása azzal a meglepő következtetéssel zárult, hogy az Omani Hegység földtani története, egyes kőzetei és deformáció-története igen nagyfokú hasonlóságot mutat a Bükk hegységével. Mindennek elsődlegesen az a magyarázata, hogy az Omani Autochton és a Bükki Autochton a Tethys ugyanazon shelfjén alakult ki, valamint szerkezeti helyzetük is ugyanaz. Mindkét autochtont a karbonátos platóképződmények uralják. Természetesen az egyes formációk csak emlékeztetnek egymásra, de a részletes hasonlóságot ilyen távolságból nem várhatjuk el. Ugyanakkor a Hawasina és a Szarvaskői Takarók egyes formációi részletekbe menően hasonlíthatnak. Ez megint csak a medencében elfoglalt helyzetükből és a szerkezeti helyzetükből adódik. Igen figyelemre méltó a jura Bükkzsérci-Mónosbéli és a hasonló korú Guweiza Formációk szinte teljes azonossága.



14. ábra. Szerkezeti események sorrendje az Omani-hegységben, vázlatos szelvényen (Csontos et al., előkészületben)

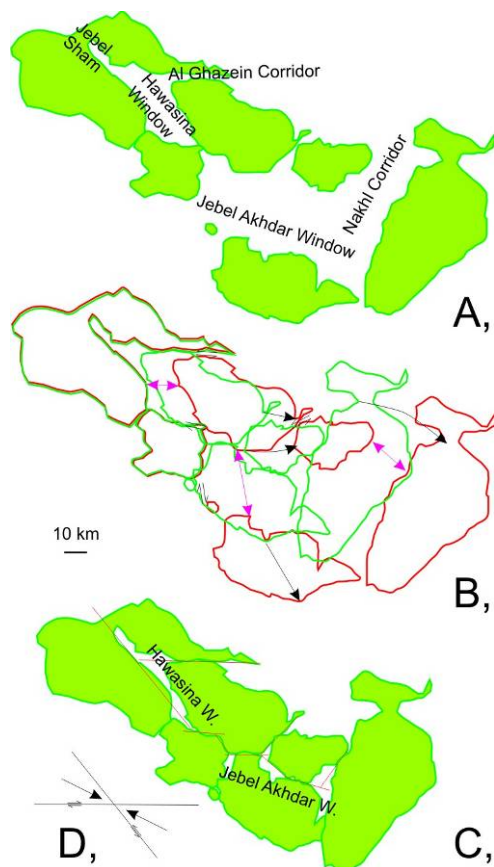
A kutatási téma szempontjából igen fontos a két távoli hegység szerkezeti stílusainak, eseménysorának szinte teljes egyezése. Mindkét helyszínen a korai takarósodás után az észlelhető deformáció az Autochtont és az óceáni takarókat egyaránt érte (14. ábra). Mindkét helyszínen az alsóbb egységekben jelentős lapulás történt. Ezután mindkét helyszínen erőteljes palássággal egyidejű redőződés zajlott. Igen figyelemre méltó, hogy mindkét helyszínen az általános(an elvárt) feltolódási irányokkal ellentétes vergenciájú redők képződtek. Ezek legalábbis feltárás méretben hengeres, tengelysík-palás redők, a szárnyakon enyhe refrakcióval és megnyúlással. Mindkét hegységben a kezdeti, palássággal egyidejű redők után kései redők alakultak ki. Ezek egy-némelyike kifejezetten eltolódásokhoz köthető, melyekhez a korábbi szerkezetek képlékenyen simulnak, vagy amelyek a korábbi szerkezeteket gyűrnek. Végül az Omani Hegységben határozott nyomok vannak arra, hogy a tektonikai ablakok normálvetők mentén nyíltak ki. A későbbiekben megpróbáljuk bebizonyítani, hogy a Bükk hegységben is kulcsszerepet játszottak normálvetők az Autochton kiemelkedésében. A számos hasonlóságon felül az egyetlen, igen jelentős különbség, hogy az Omani Hegységet nem érte kollízió, míg a Bükk részt vett egy ilyen későbbi folyamatban. A szerkezeti események és sorrendjük e nagyfokú hasonlóságának valami általános magyarázata kell legyen. Úgy tűnik, hogy a választ inkább a kollízióval nem érintett Omani Hegységben kell keresni. Vizsgálataink összefoglalásához felhasználtuk a saját észleléseinket, valamint a kitűnő szerkezetföldtani-tektonikai irodalmat. E cikkekben szereplő gondolatokat kiegészítettük saját ötleteinkkel.

Az omani Autochton fejlődésének egyik kulcsmozzanatát ausztrál kutatók fedték fel. Az Autochton egyik szegletében, tektonikai felület alatt eklogit-fáciesű metamorfítokat találtak (Miller et al. 1998). Ezek egy alsó tektonikai egységben találhatóak. A felette lévő egység magas nyomású metamorfózist szenvedett ugyan, de a tektonikai felület mentén nagy nyomás- és hőmérséklet-ugrás tapasztalható. A felső egységben a metamorfózis északról dél felé fokozatosan csökken. Ugyanitt nagyszabású, északi vergenciájú redő található. Az eklogitban, illetve a nagyobb nyomású egységekben (egyesek szerint vitatott) radiometrikus vizsgálatokkal 135-100 Ma korokat találtak.



15. ábra az omani (a,) és a dinári (b,) szegélyek története.

Mindez azért nagyon figyelemre méltó, mert a legfelső ofiolitos takaró csak 95 Ma-kor képződött és csak jóval ezután, 80 Ma (Warburton et al 1990) környékén tolódott rá a kontinentális peremre. Tehát az eklogitos metamorfózisnak semmi köze az obdukciós folyamathoz. A dilemma feloldására az ausztrálok (Grey et al. 2002; Miller et al. 1998) és a franciák (Le Métour et al. 2000, Breton et al. 2006) a következő modellt ajánlották. Az arab kontinentális szegély észak felé a saját óceáni lemezével együtt szubdukált egy óceáni lemez alá (15a ábra). Amikor a kontinentális szegély kellő mélységbe vonszolódott, elszenvedte a magas nyomású metamorfózist. Mindeközben az óceánban kialakult a majdan obdukálódó lemezrész, s az a hátság közelében lemezpárjára tolódott. A kialakult friss szubdukció az obdukált egységet az arab lemez szubdukált pereme irányába hozhatta, s az obdukált lemez a szubdukció révén a kontinentális szegély fölé kerülhetett.



16. ábra: az omani ofiolit feldarabolt részeinek rekonstruálása, részben Nicolas et al. 2000 nyomán. A, jelenlegi helyzet. B, zöld vonalak: rekonstruált helyzet. A piros és zöld vonalak jelezte helyzetek közötti mozgásokat a fekete vektorok, a keletkező nyílást a lila nyíl párok jelölik. (Csontos et al. előkészületben)

Ekkor alakulhatott ki az általános lapulás az autochtonban és az óceáni eredetű takarókban. A szubdukció csak bizonyos ideig folytatódhatott, hiszen a felhajtóerő nem engedte a kontinentális szegélyt teljesen lebukni. Az óceáni lemezrész lecsatolódása után a jelentős felhajtóerő a kontinentális szegély egyes darabjait felfelé nyomta (sötét ékek a 15. ábrán). Ezenközben alakultak ki azok a tektonikai felületek, amelyek a metamorf fok ugrások színhelyei. Ugyancsak e folyamatok alatt alakulhattak ki az általános feltolódással szembeni nyírásos szerkezetek, palássággal egyidejű redők. A kontinentális szegély ékjeinek felfelé vándorlása megvastagította a litoszférát, ami izosztatikusan eredetű kiemelkedést indított.

Mindeközben az alábukó szegélyre és előterére két forrásból hathatott deformáció. A fent leírt folyamatok csak az egyik (és nem feltétlenül a legmeghatározóbb) forrást jelentették. Az összes fenti folyamat ugyanis szigorúan a szegélyt érintette, s leginkább helyi, gyakran húzásos jellegű feszültségtereket gerjeszthetett. A szegélyre általánosan hathatott a lemezen belüli feszültség, ami Oman esetében a kései krétában ÉNy-DK-i irányú (azaz az ofiolit kontinensre nyomulási irányára merőleges!) kompresszió volt (Filbrandt et al. 2006). A lemezen belüli feszültség az autochtontól az ofiolitig az összes egységre hatva eltolódásokat hozott létre, s ezáltal feldarabolta az ofiolitot (is). E törések a felső részeken rideg, az alsó részeken képlékenyebb nyírési zónákként jelenhettek meg. Hasonló folyamatok a Bükkben is hathattak, s létrehozhatták az autochtonban a Darnó menti képlékeny-eltolódásos rendszert. Omanban a szétvágott ofiolit-darabok még ma is megtalálhatók és összeilleszthetők (16. ábra; Nicolas et al. 2000). Szegélyeiket részben eltolódásos, részben normál vetős zónák alkotják. E zónák mentén az egyes darabok a tektonikai ablakokról lecsúsztak, amelyek így dupla izosztatikus felhajtóerő segítségével kiemelkedtek. A Bükkben a termális adatok azt sugallják, hogy a mély betemetődést okozó ofiolitos takaró a kései krétában kelet felé csúszott le a hegységről a Hernád vonal mentén (ld fent).

Összefoglalásul elmondható, hogy a bükki és omani szegély nagyfokú szerkezeti-történeti hasonlósága abból adódik, hogy az obdukció és a tektonikai ablakok kinyílásra igen hasonló minta szerint történhetett.

A késő jura-kora kréta események értékelése alpi-dinári keretben

A bükki, pilisi, gerescei, bakonyi vizsgált eseményeket alpi keretbe helyezve egy olyan, kései jura-korai kréta takaróképződés körvonalazódik (Tari 1994, Árgyelán és Császár 1998, Mindszenty et al. 2000), amelynek egyik, a Gerecséhez közeli eleme Dachsteini Mészkö dominanciájú, távolabbi eleme pedig ofiolitos takaró. A takarórendszer a Bükköt betemetve a Gerecsétől északra-északkeletre helyezkedhetett el és vak feltolódások révén alakíthatta ki az uralkodóan délnyugatra dőlő lejtőt.

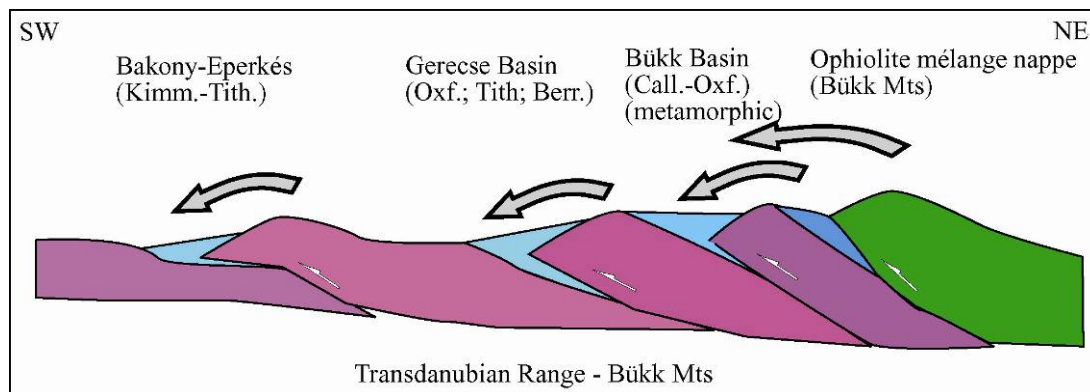
Az eredeti, mindent elindító folyamat a Tethys belsejében, óceáni környezetben a jurában zajló szubdukció volt. Ennek egyik fázisában friss jura óceáni ofiolitok obdukálódhattak az alábukó óceáni litoszférára. Az omani példából okulva vagy ezzel párhuzamosan, vagy e folyamat befejeződésékként a dinári lemez is szubdukció áldozata lett. Ez azt jelentette, hogy a bükki, belső-dinári kontinentális perem kis hőmérsékletű, nagy nyomású metamorfózist szenvedett. Mindeközben az ofiolit-takaró a kései jurára az alábukott kontinentális szegély felé ért, azaz a kontinentális szegélyre tolódott. E feltolódás a dinári észlelések alapján a kontinensperemmel szinte párhuzamos lehetett.

A dinári peremhez csatlakozó óceáni litoszféra lecsatolódása után az alábukott kontinentális szegély izosztatikus okoknál fogva emelkedni kényszerült. Ekkor jöhettek létre azok a képlékeny (főként palás, redős) szerkezetek, amelyek egyaránt érintik az alábukó egységet (Autochton) és a felette lévő lenyírt óceáni üledékeket. A várttól eltérő vergenciák esetleg passzív visszatorlódás (hangingwall backthrust) eredményei. E folyamatokat elsősorban a Belső Dinaridák anchimetamorf és a Bükk szintén anchimetamorf egységeiben követhetjük nyomon. Mivel az alábukó kontinentális szegélyek visszanyomulása leginkább a peremre merőlegesen történt, ezért a visszarúgás egyes fázisai a peremre merőleges kompressziót okoztak. E kompressziók akár az anchimetamorf szegély előterét, azaz a Gerecse térségét is érinthették. Mivel a feltolódások az előtér felé haladnak (propagálnak), az egyes kompressziós fázisok a Bakony felé későbbben jelentkezhetnek (17. ábra). A jobbára vak feltolódások felett üledékes medencék alakulhattak ki (ld Gerecse), amelyekben áthalmazott üledékek halmozódhattak fel.

Úgy tűnik, hogy a kompresszió két nagyobb ütemben, a kései jurában és a korai krétában (az aaptiig beleértve) érte a szegélyt.

Az albai folyamán a Gerecsében és a Bakonyban feltehetően forgások miatt jelentős változás állt be a rövidülési irányokban.

Kutatási eredményeinkről több konferencián (legutóbb a 2008 január elején megrendezett Tethys Geological Society III. Aswan) számoltunk be. A témáról több cikk van előkészületben és szinte teljesen kész állapotban.



17. ábra: Vázlatos szelvény a Magyar Középhegységen keresztül. Az egyes feltolódások, medence-képződések nyugat felé egyre fiatalabb korban tűnnek keletkezni (Csontos et al. előkészületben).