

Egyetemi doktori (PhD) értekezés tézisei

A BÜKKIUM MORFOTEKTONIKÁJA

PhD thesis

MORPHOTECTONICS OF THE BÜKKIAN REGION

McIntosh Richard William

Témavezető: Dr. Kozák Miklós



DEBRECENI EGYETEM
Földtudományok Doktori Iskola

Debrecen, 2014

BEVEZETÉS

A Bükk hegységet több száz éve vizsgáló kutatók mind megjegyezték, illetve egyetértettek abban, hogy nemigen található olyan terület a Pannon-medencében, melynek felépítése és szerkezetföldtani viszonyai bonyolultabbak lennének.

Új típusú megközelítésben szerkezetföldtani vizsgálatainkat olyan mérési körzetekben végeztük, amelyek egy-egy sávszelvénybe fűzhetők fel. Így keresztülvágva a jellemző szerkezeteket, a látszólag kevésbé markáns deformációs elemeket is érzékelhettük.

Ma már egyre gyakrabban keresik a földtani folyamatok nyomait a morfológiában, igaz a morfortektonikai megközelítést általában neotektonikai elemzésekhez alkalmazzák. Felfogásom szerint azonban az erózió munkáját meghatározó tényezők körében az egyik legfontosabb a földtani közeg szerkezeti jellemzője. A rideg és a plasztikus deformációs elemek – olyan területeken, ahol a kemény, ellenálló kőzet a felszín közelében van, és mélyedéseit nem tölti ki nagy vastagságú laza üledék – meghatározzák a morfológia domináns elemeinek (gerincek és völgyek) lefutását. Így a morfológiai kép nemcsak a neotektonikai folyamatokra, hanem az alapkőzet idősebb szerkezeti jellemzőire is utalhat, és az átlagostól eltérő morfológiai formák genetikájára magyarázatot adhatnak a bonyolult szerkezeti viszonyok.

ANYAG ÉS MÓDSZER

A dolgozat eredményeit és megállapításait számos különböző típusú vizsgálatra alapozom (pl. petrográfiai, kémiai, röntgen elemzések, K/Ar kormeghatározás), de a szerkezetföldtani következtetéseket a rideg és plasztikus deformációs elemek vizsgálatából vontam le. A több mint 18000 mikrotektonikai mérés során palásági síkokat, redőfelszíneket, redőtengelyeket, frontális töréseket, haránttöréseket és konjugált litoklázisokat mértünk. A szelvényeket, mérési pontokat mérési körzetekbe, a körzeteket pedig sávszelvényekbe csoportosítottuk. A hegység területét lefedő 10 sávszelvényt úgy jelöltük ki, hogy az uralkodó vergenciáirányokra merőleges csapásirányú legyen.

EREDMÉNYEK

1. tézis: A Bükk hegységfejlődését a késő jurától kezdődően alapvetően három erőrendszer határozta meg. Az időben elsődleges (P_I) K-ÉK-i, a másodlagos (P_{II}) ÉNy-i, a kettő eredő erőhatásként fellépő erőrendszer (P_{III}) pedig ÉÉK-i vergenciával rendelkezett.

Méréseink alapján a Bükkiumot alapvetően három, a késő jura óta többször ismétlődő kompressziós erőhatás deformálta, s juttatta mai helyzetébe. Közülük időben elsődlegesnek tekinthető a K-ÉK-i (P_I), másodlagosnak az ÉNy-i (P_{II}) vergenciájú erőrendszer. A későbbi ismétlődések során ezek együttes hatásaként, azaz e kettő eredőjeként jelentkezik egy ÉÉK-ies vergenciájú (P_{III}) feszültségtér. E három erőrendszer deformációs elemei a Bükk hegység egészében kimutathatók, a hegységrészek között helyileg eltérő dominanciával. Az alpi orogén tektonika kezdetén (késő jura – kora kréta) a P_I dominált a terület máig legnagyobb, több hullámú, diszharmonikus redőződését okozva. A P_{II} erőrendszer feltehetően már a krétában megjelenik, s ismétlődései során a Bükk térségében csak helyenként tudott valódi gyűrődéseket és kisebb mértékű palásodást okozni. Ezért gyakran csak redőszerű, apró törésekből álló sajátos törésprofilokat eredményezett. Hatása helyileg eltérő aszerint, hogy

milyen szög alatt érte az előzőleg már deformált és helyükről kimozgatott szerkezeti blokkokat. A P_{III} erőrendszer véleményem szerint a két erő együttes működésének eredőjeként lépett fel ÉÉK-ies vergenciával, ezért deformációs hatásai főként a D-i és É-i hegység részen, illetve blokkszegélyeken érvényesült, míg a szerkezeti blokkok belsejében csak ritkábban és gyengébben mutatható ki.

2. tézis: A különböző bükki kőzetfajtákon ugyanazok a deformációs elemek jelennek meg.

A Bükkben található valamennyi kőzetfajtán (mészkövek, dolomitos mészkövek, dolomitok, tűzköves mészkövek, radiolaritok, homokkő-mészkő váltakozások, agyag- és aleurolitpalák, konglomerátumok, bazaltok, andezitek, riolitok, ofiolitok) kimérhetőek voltak a hegység szerkezetfejlődését meghatározó kompressziós erőrendszerek jellemző deformációs és tönkremeneteli elemei. Ezek kialakulását tehát döntően nem a kőzetek mechanikai szilárdsága befolyásolta, hanem az adott kőzettest relatív térbeli helyzete (centrális, vagy szegély pozíció a hegységen, illetve a szerkezeti blokkokon belül, fedettség) és a feszültségfeloldódási zónákhoz való közelsége.

3. tézis: A feszültségfeloldódás mértéke a Bükk hegységben térben változó, így bizonyos helyeken a képződmények erősebb metamorfózist szenvedhettek.

Mindhárom erőrendszer esetében megfigyelhető, hogy feszültségterének hatásai a kőzettömeg kompaktabb részein minimálisan érvényesülhetnek, valószínűleg fokozták a karbonátos kőzetek kristályosságának fokát, esetleg szabálytalan lefutású hajszálér hálózatot hozhattak létre. A kompressziós tönkremenetek (haránt- és frontális törések, konjugált litoklázisok) a kevésbé igénybevett és az erősen gyúrt, morzsolt zónákban egyaránt megjelennek. Az igazán markáns hatások azonban a feszültségfeloldódás zónáiban jelennek meg legfejlettebb formában, részben gyűrődéses deformációk, diszharmóniák, torlódások, helyi, illetve zonális palásodások, törések, vetődések, lineárisan orientált breccsásodások formájában. Hasonló jelenségek már a bükki paleozóos képződmények varisztid hegységképző mozgásai során is érvényesülhettek, ahogy ezt a Szilvásvárad határában talált deformált szegregációs kvarcit lencsék és a palás textúrájú csillámgneisz bizonyítja.

A töréses elemek az ismétlődő hatások során megújulhattak, státuszt válthattak, vetőfelszínekké formálódhattak. Húzásos jelenségek elsősorban a hegység szegélyein a nagyobb előretolódások idején, a hegység belsejében, K-i és ÉNy-i szegélyein pedig a rotáció során érvényesülhettek, de alárendeltek a kompressziós hatásokhoz képest a hegység fejlődésében.

4. tézis: A P_{II} és P_{III} erőrendszerek együttes hatása által előidézett rotáció a Bükk alaphegységi területén is kimutatható. A hegység fiatal É-i vergenciájú feltolódásához kapcsolódva D-ies vergenciájú visszapikkelyeződés jött létre.

Az erőrendszerek dominanciaviszonyai fokozatosan tolódtak el és a neogén során már a P_{II} sokkal erőteljesebb hatása nyomta rá a bélyegét a hegység szerkezeti mozgásaira, fejlődésére. A P_{II} és a P_{III} együttes hatása okozta a hegység mai helyére történő eltolódását és a szarmatát követően a fokozatos kiemelkedését, valamint az É-i nagyredő létrejöttét. Ez az együttes hatás a P_{II} fokozatos fölénybe kerülésével a feltolódás, de főként a helyfoglalás

idején és azt követően a hegység tömegének ÉNy-ias, tehát az óramutató járásával ellentétes irányú rotációját idézte elő. A ma 20-35°-osnak mérhető rotáció legintenzívebb szakaszai a P_{II} és P_{III} felerősödésének idején részben kiváltotta a felsőköpenybeli és kéregbeli magma aktiválódást, az előterek neutrális és savanyú vulkanizmusát, valamint a feltolódó takaró D-ies vergenciájú visszapikkelyeződését.

5. tézis: A Bükk hegységben a hármas erőrendszer interferenciája észlelhető 'S' alakzatokat formáló deformált redők, erősen összetört breccsazonák, vagy összepréselt szerkezeti elemek formájában.

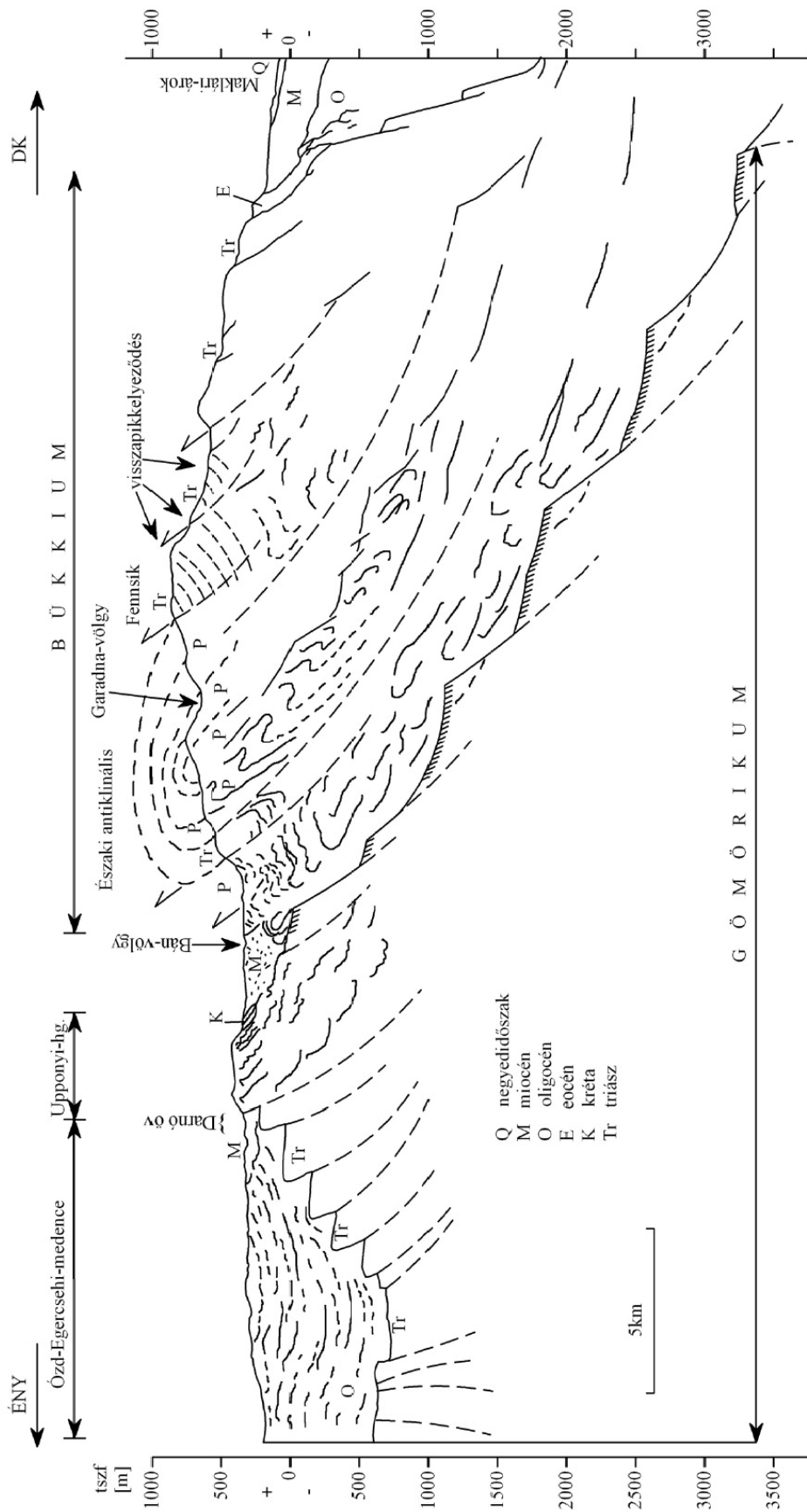
A Bükk hegység számos területén látható különleges szerkezeti elemek P_I és P_{II} erőrendszerek interferenciájának következményei. Mindkét többször ismétlődő erőhatás létrehozta saját plasztikus és rideg deformációs elemeit, majd kölcsönösen felülbélyegezték és deformálták azokat. Részben fölhasználták egymás szerkezeti elemeit megváltozott funkcióval, vagy nagyobb blokkok formájában elforgatták azokat saját rendszerükhöz közeli helyzetbe. Kritikus, 90°-nál kisebb határérték szögek esetén a gyúrt formák egy része úgy forogtódik át helyenként a másik rendszer valamelyik gyúrt formaegyüttesébe, hogy folyamatos irányváltással S-alakzatokat formáló „Möbiusz szalagra” emlékeztető csavartengelyű redőket hoznak létre. Más területeken a többszöri deformáció erősen összetört, morzsolt breccsazonákat eredményezett. A szerkezeti blokkok É-i szegélyén felszínre bújó korábbi gyűrődéses szerkezeti elemek kompressziósan összepréselődve jellegzetes alakzatokat formáltak (pl.: két dimenziós „hajóorr” rajzolat, elliptikus redőtörzulás).

6. tézis: A Bükk hegységben szerkezeti blokkok, mint „tektonikus elemi cellák” határolhatók le, amelyekben az erőrendszerek dominanciaviszonyai meghatározott törvényszerűséget mutatnak.

A Bükk egyes részeinek szerkezeti egységekre való tagolódását az adott rögdarab Bükkön belül elfoglalt pozíciója határozta meg. E szerkezeti egységeken belül viszonylag konzekvensen követhetők a szerkezeti jelenségek és nyomozhatók azok kiváltó okai, de még ezek között is vannak lokális eltérések, mivel mindkét erőrendszer esetében bekövetkeztek kisebb irányeltolódások. E „szerkezeti (elemi) cellák” főleg a D-i és É-i szegélyén érzékelhetjük P_{III} jelenlétét, míg P_I, és P_{II} dominanciája érvényesül a vergenciáirányaiknak megfelelő közelebbi és távolabbi hegységsgégyelyeken és szerkezeti blokksgégyelyeken.

7. tézis: A Bükk törvegyúrt allochton takaró a gömöri aljzatra tolva

A Bükk allochton helyzetű, visszapikkelyeződött takaró szerkezetének (1. ábra) a létrejötte egyben feltételezi azt is, hogy eredeti aljzatáról lenyíródott. Erre enged következtetni az is, hogy az É-i bükksgégyelyen karbonnál idősebb bükki képződményeket nem sikerült kimutatni. Az allochton helyzetű Bükk mai aljzata a Dél-Gömörikum kristályos alaphegységének többnyire a paleozoikumig lepusztult felszíne lehet. A Bükk ÉK-i szegélye alatt a geofizikai anomáliák szerint mélyen rejtőző magmakamra a miocén aljzatmozgások kompressziós hatására a hálózatos tektonikai vonalak mentén szétáramolva felnyomult és elsősorban andezit piroklasztikumot szolgáltatott Miskolctapolcától Putnokig. Az andezittufában részben a paleozóos gömöri aljzat csillámpalái, agyagpalái, gneisz blokkjai, gránit fragmentumai és blokkjai, sőt néhány helyen metabázitok és szerpentinisedett



1. ábra: A Gömörikum és a Bükkium rendszere mélyfúrások és geofizikai szelvények felhasználásával

ultrabázitok található kisebb mennyiségben gömöri típusú abráziósan feldolgozott, többnyire kavicsá formált triász és jura mészkövekkel, radiolarittal. Az ilyen zárványok az andezittufában és annak erodált felszínén általánosan elterjedtek az egész térségben, de az egyes kőzetfajták gyakorisága helyenként változik. A max. 40–90cm átmérőt is elérő granitoid zárványblokkok radiometrikus kora K/Ar vizsgálat alapján három intervallumba sorolható: 89-84Ma, 75-77Ma, 53Ma. Ezek lehetnek a kompressziós alpi tektonika legintenzívebb, lokális kéregolvadást is okozó időszakai az együtt formálódó Bükkium – Dél-Gömörikum rendszerben. Ezzel szemben a szintén igen aktív alsó-középső miocén, majd plio-pleisztocén tektonika már nem okozott ilyen erőteljes változásokat, de szerepe volt a vulkanizmusban, a hegység kiemelkedésében, rotációjában és máig tartó lepusztulásában.

8. tézis: A felszíni és felszínalatti alaktani adottságok és a szerkezeti elemek között szoros összefüggés mutatható ki a Bükk hegységben.

A bükki fővölgyek közé sorolható a Garadna-völgy és a Szinva-völgy. Mindkettőre jellemző, hogy egésze és lényeges részletei közel K-Ny-i irányultságúak, ami megfelel a P_{III} erőrendszer redőfronti csapásának és az e frontot átmetsző radiális törési iránynak és/vagy az utóbbiból torlódási zónákban helyenként kifejlődő palásodási, illetve feltolódási síkok csapásának. E fővölgyek D-i és É-i oldalának gyakori sziklafelszínein igen sok mérést végezve rajzolódott ki, hogy e felületek helyileg gyakran ismétlődő módon fűrészfogszerűek, vagyis váltakozva P_I és P_{III} redőfronti csapásirányainak felelnek meg. Attól függően, hogy ezek a váltakozó irányú felszínek a szerkezeti „celláknak” ÉNy-i, középső, vagy ÉK-i szegélyén található, a szerint válik egyik, vagy másik elem meghatározóvá, vagy alárendeltté. Legszembeötlőbb példa erre a Garadna-völgy, amelynek felső szakaszán a P_{II} erőter dominanciája mellett megjelenik lokális elemként a P_I -nek megfelelő frontális csapású felszín is, míg a völgy tőfelőli, K-i szakaszán ennek ellenkezője a jellemző. Középpütt viszont a P_{III} elemei és frontális csapása jellemzi leginkább a mérhető kőzetfelszíneket.

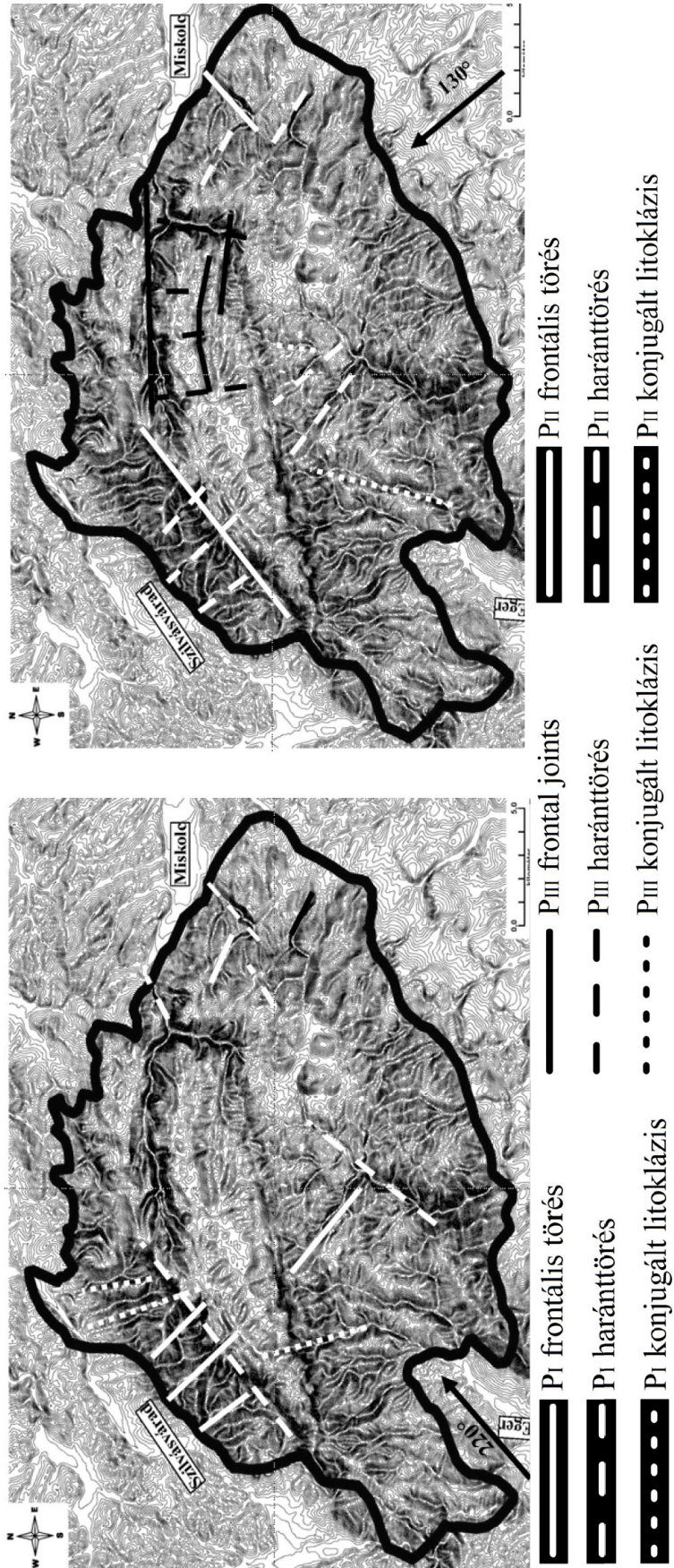
Kevésbé szabályszerűen, de hasonló cikk-cakkosság figyelhető meg a hegységből ÉK-re, É-ra és ÉNy-ra radiálisan kifutó völgyeknél is. Ezek szakaszai szintén a 3 erőrendszer egyes töréses elemeinek összekapcsolódó vonalai mentén alakultak ki (pl.: Tatár-árok, Bán-völgy, Szalajka-völgy, szarvaskői szurdok) (2. ábra).

Hasonló orientált tagoltság a hegység szegélyein, főleg az É-i lejtőoldal lefutásában is tapasztalható, ahol a gerincek és a köztes völgyek a kapcsolódó szerkezeti töréselemek lefutását követik. Mivel a feltolódások északiasak, ezért legmarkánsabban az É-i hegység szegélyén és az Upponyi-hegység völgyeinél voltak megfigyelhetők ezek az összefüggések (2. ábra).

Hasonló elv alapján az egymást részben felülbélyegző és részben megújító erőrendszerek egyes töréses elemeinek az összekapcsolódása rajzolódik ki a többsorok irányában és a barlangjáratok irányában is. Utóbbiaknál – főleg a főágakban – gyakran figyelhető meg a járat oldalfalainak cikk-cakk lefutása, ahol a völgyekhez hasonlóan P_I , P_{II} és P_{III} frontális csapásirányát követik az egyes rövid szakaszok 10-100m hosszú nagyságrendben, miközben a járat középvonala egy jól definiált főirányt követ.

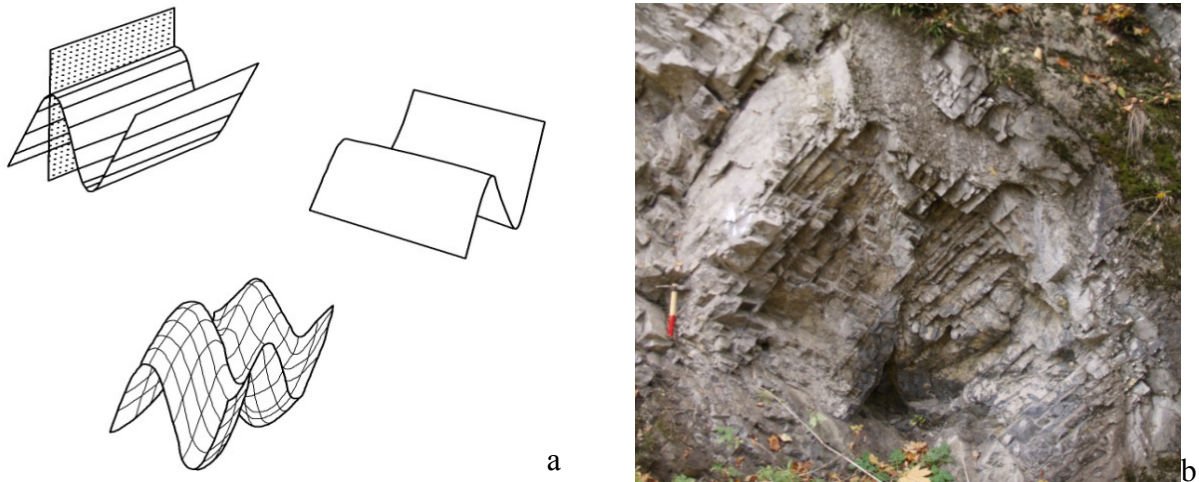
9. tézis: A kétirányú gyűrődéses deformációk és az üregképződés között szoros összefüggés rajzolódik ki a Bükk hegységben.

Számos üreg, víznyelő, illetve barlang felszíni nyílása ott kezdődik, ahol a szerkezeti igénybevétel a legerőteljesebb deformációt hozta létre, mint például redők belső



2. ábra: A nagyobb völgyek korrelációja a Bükk hegységben mért fő törések átlagos csapásirányával

magrégiójában, vagy leggyakrabban két egymásra szuperponálódó redőződés közötti zónában (3. ábra), mivel ilyen helyeken az erősen tönkrement, felmorzsolts kőzetben hatékonyabb lehet az erózió és akár a karsztosodás is (pl.: Közép-Garadna bánya, Bánkút, Gerenna-vár, Lillafüred).



3. ábra: Két egymásra merőleges redőződés interferenciájának elvi modellje (a), valamint a Garadna-völgyben kialakult példája (b)

10. tézis: A „Tektotéka” adatbázis a regionális szerkezetföldtani adatbázisépítés alapja lehet

Több fázisban plasztikus és rideg deformációt szenvedett kőzettömegek esetén, ahol a szerkezeti igénybevételek interferenciája miatt torzult szerkezeti elemekkel találkozunk segítheti a rekonstrukciót ha különböző irányítottságú sávszelvények mentén dolgozzuk fel az egyes feltárásokat. Mivel a Bükk hegységben egy hármass erőrendszer több szakaszban kialakult gyűrődéseit és különböző töréses szerkezeteit azonosíthatjuk, ezek szétválasztása az interferencia jelenségek nélkül is nehézkes és időigényes. Az erőrendszerek egymást torzító hatása miatt bonyolulttá váló felépítés azonban kaotikusnak látszó szerkezeti elemeket eredményez. Egy ilyen rendszerben megkönnyíti az eligazodást, ha rendelkezésünkre áll több irányból készített fotófelvétel minden egyes feltárásról, illetve a fotók, terepi vázlatok és mérések segítségével készített valóság-hű rajz. Ezek rendszerezésére, tárolására, valamint kezelésére ajánlom a „Tektotéka” adatbázist (lásd 4. fejezet).

INTRODUCTION

Scientists studying the Bükk Mountains for several decades noted and agreed that no area could be found in the Pannonian Basin with more complex structure.

With a new approach the structural geological measurements were carried out in districts that are orientated in a row forming a “belt profile”. Along this profile the characteristic structures were cut and in this way the seemingly less marked deformation elements were also detected.

Signs of geological processes are frequently analysed in morphology nowadays. The morphotectonic approach is generally applied in neotectonic analyses. In my opinion, however, one of the most important factors determining the operation of erosion is the structural conditions of the rocks forming the land. Brittle and ductile deformation elements – where the solid rock is located near the surface and its depressions are not filled by thick loose sediments – define the orientation of the dominant elements of the morphology (ridges and valleys). Therefore morphology indicates not only neotectonic processes but the older structural features of the underlying geology. The genetics of the unusual morphological forms could be explained by the difficult structural conditions as well.

MATERIAL AND METHODS

Results and statements in the thesis are supported by some different types of analyses (e.g. petrographic, chemical, X-ray analyses, K/Ar age determination) but the structural geological conclusions were drawn from studying the brittle and plastic deformation elements. Cleavage planes, fold limbs, fold axes, frontal faults, transverse faults and conjugated lithoclasts were measured producing more than 18000 structural data. Sections and measurement points were analysed in measurement districts and in “belt profiles”. The ten “belt profiles” (*Figure 6.1.*) are located so that they cross the prevailing structural vergencies.

RESULTS

Thesis 1: The structural development of the Bükk was determined fundamentally by three stresses from the Late Jurassic. The first in time had E-NE vergence (P_I), the second had NW vergence (P_{II}) and the stress acting like the resultant stress of the two previous one had NNE vergence (P_{III})

According to our measurements, the Bükkium was deformed and placed to its current position fundamentally by three compressional stress fields reactivated several times since the Jurassic. The first in time was an E-NE verging (P_I) stress while the second in time was a NW verging (P_{II}) force. In their later reactivation a third compression acting like a resultant force of the joint effects of the first two stresses occurred with a northern-northeastern vergence (P_{III}). Deformation elements of the three stresses can be studied in the entire Bükk Mts. with variable dominance. At the beginning of the Alpine orogen (Late Jurassic – Early Cretaceous) P_I was dominant producing the greatest disharmonic folds of the area. The P_{II} stress becomes active probably in the Cretaceous, however, it could form real folds and cleavage only at a few places since the earlier stress partly uplifted the area. Therefore P_{II} resulted mostly in fold like small fracture series. Its effects vary according to the angle it closes with the structural blocks deformed and dislocated by the previous stress. The P_{III} stress, in my opinion, acted as

the resultant stress of the interaction of P_I and P_{II} with a northern-northeastern vergence. Therefore the effects of P_{III} are strongest in the northern and southern edge of the mountains and in the margin of smaller structural blocks. Generally its elements cannot be detected in the interior of the structural blocks.

Thesis 2: Similar types of deformations occur in different rocks in the Bükk Mts.

Characteristic deformation elements of the compression stresses forming the structure of the mountain were detected in all rock types of the Bükk (limestone, dolomitic limestone, cherty limestone, radiolarite, alteration of sandstone and limestone, slate, conglomerate, basalt, andesite, rhyolite, ophiolite rocks). The formation of the structures has not been influenced significantly by the mechanical strength of the rocks, the relative position of the block within the mountain or within a structural block (central or marginal position) has been more decisive.

Thesis 3: The grade of stress release is variable in the Bükk Mts. thus certain formations could suffer stronger metamorphism.

In the case of all three stresses, their effects are slight in the more compact parts of the rockmass. They intensified the crystallinity of the carbonates and produced an irregular joint network. Joints associated with compression (transverse joints, frontal joints and conjugated lithoclasts) appear both in the less deformed and the strongly folded and fractured zones as well. Real striking effects appear in the zones of stress release in the form of folds, disharmonies, pressed structures, cleavage, faults and brecciations. Similar features were probably formed before when the Palaeozoic rocks were deformed in the Variscian orogen indicated by quartzite lenses and foliated gneiss in the surroundings of Szilvássvár.

Brittle elements were reactivated and renewed in function by the subsequent stresses. Tensional stress appeared primarily in the margin of the mountains at the time of greater movements. In the interior and on the eastern and northwestern edges tension appeared in the course of the rotation of the mountains, however, tension is subordinate compared to the effects of compression.

Thesis 4: The rotation caused by the P_{II} and P_{III} stresses can be detected in the Palaeo-Mesozoic mass of the Bükk as well. Associated with the north verging thrusting of the mountains south verging backthrusts were formed.

Dominance of the stresses was shifted gradually and in the Neogene P_{II} became much more dominant. The movement of the mountains into its current position was caused primarily by the joint effects of P_{II} and P_{III} . These joint effects and the gradual strengthening of P_{II} caused the counter-clockwise rotation of the mountains. The rotation can be measured to be around 20–35° and it triggered magma generation in the upper mantle and in the crust producing the neutral and acid volcanism of the forelands. The joint effects of P_{II} and P_{III} also include the south verging backthrust structure of the mountains.

Thesis 5: Interaction of three stresses can be observed in the Bükk Mts. in the form of deformed folds forming ‘S’ like shapes, of strongly fractured breccias zones or of compressed structural elements.

Special structural elements seen all over the Bükk Mountains are the result of the interaction of P_I and P_{II} . Both stresses formed their own sets of ductile and brittle deformational elements and then they both deformed them, partly using them in their own network with different function or rotated them towards their orientation. When the two stresses close an angle with each other smaller than 90° the deformed folds form ‘S’ shaped forms resembling a Möbius strip. In other areas multiple deformation results in strongly fractured and brecciated zones. In the northern edge of the structural blocks strong compression results in deformed folds pressed into the flattened fold surfaces or slickensides.

Thesis 6: Structural blocks as „tectonic elementary cells” can be identified in which the dominance of the stresses show certain regularities.

The setting of the structural units of the Bükk is determined by the position of the given block. Within these structural units the structural elements can be detected relatively consequently. Along the margins of these “structural (elementary) cells, however, the interaction of the stress systems become stronger and the deformation of the structural elements make the structural reconstruction more difficult. Along the eastern structural unit boundaries P_I while along the western boundaries P_{II} become dominant.

Thesis 7: The Bükk is an allochthonous nappe system thrust onto Gemerian basement.

The formation of a nappe with backthrust structures presumes that the unit was sheared off its original basement. In our opinion the Bükk Mountains as a nappe system was thrust onto the Gemerian basement while the south verging backthrust structures developed (*Figure 1*). This is supported by the lack of formations older than Carboniferous in the northern edge of the Bükk. The current basement of the Bükk could be the crystalline part of the Gemerian basement. Magma from chambers located deep in the northeastern foreground of the Bükk erupted along the crossing tectonic lines and produced primarily andesite pyroclasts found widely from Miskolctapolca to Putnok. In the andesite tuff the micaschist, slate, gneiss blocks, granite fragments and blocks and even serpentized ultrabasic rock fragments of the Gemerian basement can be found frequently mixed with Gemerian type limestone gravel and radiolarite. The radiometric ages of the granite extraclasts (having a max. diameter of 40–90cm) can be grouped into three intervals: 89–84Ma, 75–77Ma, 53Ma. These ages might represent the most intense Alpine tectonic phases when the local melting of the crust also took place.

Thesis 8: Strong relationship can be shown between the surface, subsurface morphology and the structural elements in the Bükk Mts.

Some of the major valleys in the Bükk Mts. like the Garadna and Szinva valleys have parts that are orientated E–W. This correlates to the frontal fault and thrust fault of the P_{III} stress. The direction of such major valleys is not straight, mostly the smaller valley sides have a regular zig-zag orientation as these follow the major joints of one of the three stresses in

turn. One of the fine examples is the Garadna valley in the western edge of which the elements of P_{II} dominate and that of P_I are local while in the eastern margin the elements of P_I dominate and that of P_{II} become subordinate.

Similar zig-zag character can be seen in the valleys running towards NE, N and NW from the northern edge of the mountains (*Figure 2*). Similarly the rows of ponors and the average direction of cave tunnels also show good correlation to the joint directions measured in their vicinity.

Thesis 9: Strong relationship can be observed between double verging folding and hole formation in the Bükk Mts.

Several karst holes, ponors or cave entrances start where structural deformation was the strongest, like the core zone of folds or the internal zones of superposed folds (*Figure 3*) probably because erosion and even karstic processes could be more intense in such strongly fractured zones.

Thesis 10: The „Tectotec” database may become a fundamental basis for regional structural geological database construction.

In the case of rocks with several phases of plastic and brittle deformation when distorted structural elements are measured due to the interference of structural deformations, reconstruction could be helped by analysing the given outcrops along variably orientated “belt profiles”. Since in the Bükk Mts. the folds and fractures of three stresses can be identified their separation is relatively difficult even without the interference features. The even more complex structure results in the development of rather chaotic structural elements due to the deforming effects of subsequent stresses. In a system like this variously orientated photos, and detailed drawings based on field-sketches, photos and measurements can improve the analysis significantly. The “Tectotec” database is suitable for the storage and handling of such data.

A SZERZŐ FONTOSABB PUBLIKÁCIÓI

Kiemelt közlemények

1. **KOZÁK M. – MCINTOSH R.W. – PÜSPÖKI Z. (2002):** Structural development outline of the Bükk mountains reflecting recent regional studies – *Geologica Carpathica*, Vol. 53, 73–79. IF: 0,147
2. **SZALAI K. – DEMETER G. – PÜSPÖKI Z. – MCINTOSH R.W. – GÖNCZY, S. (2002):** The connection between tectonic endownments and valley development on a Palaeo-Mesozoic block and in an area consisting of Tertiary Molasse sediments (NE Hungary) – *Geologica Carpathica*, Vol. 53, 132–136. IF: 0,147
3. **PÜSPÖKI Z. – SZABÓ SZ. – DEMETER G. – SZALAI K. – MCINTOSH R.W. – VINCZE L. – NÉMETH G. (2005):** Statistical Relationship between lithological characteristics and morphological factors – an example for statistical surface analysis – *Geomorphology*, Vol. 71. 424–436. IF: 1,508
4. **PÜSPÖKI Z. – TÓTH-MAKK A. – KOZÁK M. – DÁVID Á – MCINTOSH R.W. – BUDAY T. – DEMETER G. – KISS J. – PÜSPÖKI-TEREBESI M. – BARTA K. – CSORDÁS Cs. – KISS J. (2009):** Truncated higher order sequences as responses to compressive intraplate tectonic events superimposed on eustatic sea-level rise – *Sedimentary Geology*, Vol. 219. 208–236. IF: 1,757
5. **PÜSPÖKI Z. – KOZÁK M. – VINCZE L. – MCINTOSH, R.W. (2002):** Sequence stratigraphy of the coal bearing Ottományian (?) – Karpáthian sediment series in the East Borsod Basin (N Hungary) – *Geologica Carpathica*, Vol. 53, 108–113. IF: 0,147
6. **PÜSPÖKI Z. – FORGÁCS Z. – KOVÁCS Zs. – KOVÁCS E. – SOÓS-KABLÁR J. – JÄGER L. – PUSZTAFALVI J. – KOVÁCS Z. – DEMETER G. – MCINTOSH R.W. – KOZÁK M. – VERBÓCI J. (2012):** Stratigraphy and deformation history of the Jurassic coal bearing series in the Eastern Mecsek – *Coal Geology*, 102, pp.: 35–51. IF: 2,92
7. **PÜSPÖKI Z. – KOZÁK M. – KOVÁCS-PÁLFFY P. – FÖLDVÁRY M. – MCINTOSH R.W. – VINCZE L. (2005):** Eustatic and tectonic/volcanic control in sedimentary bentonite formation – a case study of Miocene bentonite deposits from the Pannonian Basin – *Clays and Clay Minerals*, Vol. 53./1. 53–93. IF: 1,364
8. **PÜSPÖKI Z. – KOZÁK M. – KOVÁCS-PÁLFFY P. – SZEPESI J. – MCINTOSH R.W. – KÓNYA P. – VINCZE L. – GYULA G. (2008):** Geochemical records of a bentonitic acid-tuff succession related to a transgressive systems tract – indication of changes in the volcanic sedimentation rate – *Clays and Clay Minerals*, Vol. 56/1. 23-38. IF: 1,375
9. **DÁVID A. – PÜSPÖKI Z. – KÓNYA P. – VINCZE L. – KOZÁK M. – MCINTOSH R.W. (2006):** Sedimentology, paleoichnology and sequence stratigraphy of a Karpáthian sandy facies (Salgotarjan Lignite Formation, N Hungary) – *Geologica Carpathica*, Vol. 57/4. 279–294. IF: 0,364

Szakkikkek folyóiratban

10. **MCINTOSH R.W. (2007):** Módszertani észrevételek egy bükki mikrotektonikai típusszelvény feldolgozása kapcsán – *Acta Geographica ac Geologica et Meteorologica*, Tom. XXXVII. 103-115.

11. KOZÁK M. – MCINTOSH R.W. (2011): Új típusú morfotektonikai elemzések alkalmazásának indokai és módszerei a Bükkben – A Miskolci Egyetem Közleményei, A sorozat, Bányászat, Vol. 82. 183–188.
12. KOZÁK, M. – PÜSPÖKI, Z. – MCINTOSH R.W. (2001): Structural Development Outline of the Bükk Mountains Reflecting Recent Regional Studies – Acta Geographica, Geologica ac Meteorologica Debrecina, Tom. XXXV. 135-174.
13. FORGÁCS Z. – PÜSPÖKI Z. – SOÓS NÉ KABLÁR J. – JÄGER L – MCINTOSH R.W. – KOVÁCS Z. – KOVÁCS Zs. – KOZÁK M. (2011): A Máza-Váralja-Dél kőszenes terület földtani szerkezetének rekonstrukciója – Bányászati és Kohászati Lapok, 144/3, 1–7.
14. PÜSPÖKI Z. – KOZÁK M – CSÁMER Á – MCINTOSH R.W. – VINCZE L. (2003): A Tardonai-dombság szarmata-pannon üledéksorának öskörnyezeti vizsgálata és szekvenciasztratigráfiája – Földtani Közlöny, Vol. 133/2. 191-209.

Szakkikkek konferencia kiadványban

15. KOZÁK M. – BUDAY T. – MCINTOSH R.W. – BÁLINT B. (2009): Geological background of the geothermal – hydrogeological modeling of the eastern Transisza region – proceedings of the 15th “Building Services, Mechanical and Building Industrial Days” international conference, Debrecen, pp. 23-30.
16. BUDAY T. – KOZÁK M. – MCINTOSH R.W. (2008): International experience of geothermal energy production regarding sustainability – 14th “Building Services, Mechanical and Building Industry days” International Conference 30-31. October 2008. Debrecen kiadványa, pp. 23–30.
17. MCINTOSH R.W. – KOZÁK M. – BÁLINT B. (2008): Morfotektonikai rekonstrukció a bükki Garadna-völgyben – EMT X. Bányászati, Kohászati, Földtani Konferencia kiadványa EMT Nagyszében, pp. 197-201.
18. MCINTOSH R.W. – KOZÁK M. (2007): Morfotektonikai rekonstrukció a Bükk hegységben – EMT IX. Bányászati-Kohászati-Földtani Konferencia kiadványa EMT Buziásfürdő pp. 241-246.
19. MCINTOSH R.W. – KOZÁK M. (2006): Tektonikai felvételezés tapasztalatai a Bükk-hegységben – Bányászat, Kohászat, Földtan Konferencia kiadványa EMT Sepsiszentgyörgy, pp. 262-267.
20. MCINTOSH R.W. – KOZÁK M. – BÁLINT B. (2008): A bükki Közép-Garadna kőbánya morfotektonikája – Geographia generalis et specialis, Tanulmányok a Kádár László születésének 100. évfordulóján rendezett tudományos konferenciára pp. 203-208.
21. KOZÁK M. – BUDAY T. – UJHELYI J. – MCINTOSH R.W. – BÁLINT B. (2009): A bükkelőtéri mélykarszt hévizeinek valószínű áramlási rendszere és terhelhetősége – Változó Föld, változó társadalom, változó ismeretszerzés tudományos konferencia kiadványa, Eger, pp. 96-103.
22. MCINTOSH R.W. (2014): Szerkezeti elemek és a morfológiai kép kapcsolata a Bükk-hegység (ÉK-Magyarország) példáján – XVI. Bányászati, Kohászati és Földtani Konferencia kiadványa, EMT, Székelyudvarhely, pp. 218–222.

Egyéb

23. MCINTOSH, R.W. – PÜSPÖKI, Z. (2005): Chapters from Structural Geology – Kossuth Egyetemi Kiadó Debrecen p. 108.

24. **MCINTOSH, R.W. (2004):** Plate tectonics – in Püspöki, Z. (ed.): Chapters from Geology – Kossuth Egyetemi Kiadó Debrecen p. 84.
25. **CATT, J. – SZALAI K. – MCINTOSH R. W. – VINCZE L. (2003):** Guidebook for Geological Tour of Hungary, June 14-28, 2003 – publication of the Hertfordshire Geological Society, St. Albans, UK p. 42.
26. **MCINTOSH R. W. – KOZÁK M. (2006):** Szerkezet-morfogenetikai rekonstrukció a bükki Kisfennsík egy mintaterületén – Földrajzi tanulmányok dr. Lóki József tiszteletére – különkiadvány, Kossuth Egyetemi Kiadó, Debrecen, pp. 143-155.
27. **MCINTOSH R.W. – KOZÁK M. (2007):** A tektonika és a morfogenetika kapcsolatáról – Kedvező széllel Kunhegyestől Debrecenig tiszteletkötet Dr. Tar Károly 60. születésnapjára – különkiadvány, Kossuth Egyetemi Kiadó, Debrecen, pp. 143-155.
28. **KOZÁK M. – MCINTOSH R.W. – BUDAY T. (2010):** A mélyszerkezetek szerepe a tiszántúli regionális geotermikus potenciál és annak kiaknázási lehetőségei szempontjából – Interdiszciplinaritás a természet és társadalomtudományokban. Tiszteletkötet Szabó József geográfus professzor 70. születésnapjára, Debreceni Egyetem Természetföldrajzi és Geoinformatikai Tanszék, pp. 181-188.

NEM A DISSZERTÁCIÓ TÉMÁJÁHOZ KAPCSOLÓDÓ KÖZLEMÉNYEK

Kiemelt közlemények

29. **PÜSPÖKI Z. – DEMETER G. – TÓTH-MAKK Á. – KOZÁK M. – DÁVID Á. – VIRÁG M. – KOVÁCS-PÁLFFY P. – KÓNYA P. – GYURICZA Gy. – KISS J. – MCINTOSH R.W. – FORGÁCS Z. – BUDAY T. – KOVÁCS Z. – GOMBOS T. – KUMMER I. (2013):** Tectonically controlled Quaternary intracontinental fluvial sequence development in the Nyírség – Pannonian Basin, Hungary – *Sedimentary Geology*, 283, pp. 34-56. IF: 1,537
30. **MAJÁN, GY. – KOZÁK, M. – PÜSPÖKI, Z. – MCINTOSH, R.W. (2001):** Environmental geological examinations of chromium contamination in Eastern Hungary – *Journal of Environmental Geochemistry and Health*, Vol. 23/3. 229-233. IF: 0,52

Szakkikkek folyóiratban

31. **MCINTOSH R.W. – MAJÁN GY. – KOZÁK M. – PÜSPÖKI Z. (2001):** Veszélyes antropogén hulladék kezelésének általános és környezetföldtani tanulságai Debrecenben – *Acta Geographica ac Geologica et Meteorologica Debrecina*, Vol. XXXV. No. 81. 183-198.
32. **SÜTŐ I. – KOZÁK M. – MCINTOSH R.W. – BESZEDA I. (2007):** Secondary mineralization processes on burnt spoil heaps in Northern Hungary - *Acta GGM Debrecina Geology, Geomorphology, Physical Geography Series*, Vol. 2. 41-45.
33. **MCINTOSH R.W. (2000):** Természeti és kultúrtörténeti értékek védelme az abrázíósan pusztuló Észak-Ír tengerparton – *Földtudományi Szemle I.*, Vol. 1. 104-108.
34. **FARKAS I. – MCINTOSH R.W. (2000):** A franciaországi területi értékvédelem a nemzetközi ajánlások tükrében – *Földtudományi Szemle I.*, Vol. 1. 100-103.

Szakkikkek konferencia kiadványban

- 35. KOZÁK M. – MCINTOSH R.W. – BÁLINT B. – BUDAY T. (2009):** Hőbányászati alternatívák az észak-alföldi termokarszt bázison. – In: Orosz Z. – Szabó V. – Fazekas I. (szerk.): Környezettudatos energiatermelés és -felhasználás, konferenciakötet, Debrecen, pp. 105–110.
- 36. VARGA L. – KOZÁK M. – MCINTOSH R.W. – FINTA B. (2008):** A kármentesítés, mint a városfejlesztés limitáló faktora Debrecen szegélyzónáiban – IV. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia kiadványa pp. 26-32.
- 37. RADNAI G. – KOZÁK M. – MCINTOSH R.W. (2009):** A keresztúri riolittufa földtani újvizsgálata és termékminőséget befolyásoló jelenségei – Változó Föld, változó társadalom, változó ismeretszerzés tudományos konferencia kiadványa, Eger, pp. 130-138.
- 38. BUDAY T. – KOZÁK M. – MCINTOSH R.W. – BÁLINT B. (2010):** Környezetkímélő hőbányászat és hévízgazdálkodás. – In: Szabó B. – Tóth Cs. szerk.: VI. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia. Nyíregyháza, 2010. április 22–24., Bessenyei György Könyvkiadó, pp. 367–372.

Egyéb

- 39. MAJÁN GY. – MCINTOSH R.W. – KOZÁK M. – PÜSPÖKI Z. – MIKÓ L. (2000):** Nehézfém szennyeződés környezetföldtani vizsgálata a debrecen-szigváti hulladéklerakó környezetében - Területfejlesztés és környezetvédelem-energia-hatékonyság Északkelet Magyarországon; Szakmai Kiadvány, Perfekt Rt. pp. 36-41.
- 40. KOZÁK M. – MCINTOSH R.W. – BUDAY T. (eds.) (2011):** Hidrogeotermikus rendszerek és földtani vetületeik – Geotermikus rendszerek fenntarthatóságának integrált modellezése, Vol. 3, Debreceni Egyetem Kiadó, Debrecen, 140 p.
- 41. BUDAY T. – MCINTOSH R.W. – HILGERT L. – VINCZE-GÁL SZ. – FÜLÖP N. – FARAGÓ E. – JUHÁSZ K. (2012):** Geological possibilities and problems in the exploitation of geothermal energy in Hajdú-Bihar and Bihar county – in: COSTEA M. – GORDAN M. (szerk.): Hozzájárulások a megújuló energiaforrások hatékony felhasználására Bihar és Hajdú-Bihar megyékben, Nagyvárad Egyetem – Debreceni Egyetem, Nagyvárad, pp. 62-68.
- 42. MCINTOSH R.W. – BUDAY T. – HILGERT L. (2012):** Az aljzatpetrográfia geotermikai értelmezése Hajdú-Bihar és Bihar megyék területén – in: COSTEA M. – GORDAN M. (szerk.): Hozzájárulások a megújuló energiaforrások hatékony felhasználására Bihar és Hajdú-Bihar megyékben, Nagyvárad Egyetem – Debreceni Egyetem, Nagyvárad, pp. 96-101.