

Tektonikai következtetések lehetősége alaphegységi metamorf kőzetben

ZILAHÍ-SEBESS L.[@], SZILI GY.-NÉ[&]

[@]E-mail: zilahisebessl@gmail.com; [&]E-mail: sziligy7@t-online.hu

Tanulmányunkban összefoglaljuk, (kísérletet teszünk) a tektonikai értelmezés lehetőségeit alaphegységi metamorf kőzetekben fúrásból származó információk alapján. Közvetlenül tektonikára utaló nyomokat elsősorban csak fúrómagokon lehet vizsgálni, az összes többi módszerrel csak közvetett úton lehet rá következtetni. Azonban önmagában a fúrómagvizsgálatok korrelációja a fúrások között nem rétegzett közegben kétséges, ha a fúrások túl messze vannak egymástól, és a képződmény felszínétől számítva nem ugyanazt a mélységszakaszt képezik le. A hagyományos mélyfúrású geofizikai méréseken általában direkt módon nem lehet kijelölni biztos tektonikai nyomokat, viszont a mérés-görbe jellegzetességei alapján lehet következtetni rá. A fúrómagok állapota és a geofizikai paraméterek az alaphegységi kőzetekben többnyire korrelálnak egymással, így a bontott, tektonizált zónák azonosíthatóak. Több szelvény együttes alkalmazásával nemcsak a kőzet mechanikai és kémiai bontottságára lehet következtetni, hanem a fúrómagvizsgálatok alapján megállapított fő kőzettípusokra is. A mélyfúrás-geofizikai szelvények alapján elkülöníthetők a metamorf kőzet egykori felszínhez kötött mélységtől függő mállási fokozatai. A görbekorreláció alapján következtetni lehet elsősorban vertikális tektonikai mozgásokra is.

Zilahi-Sebess, L., Szili, Gy.-né: Possibility of tectonic inferences in metamorphic rocks of base mountains

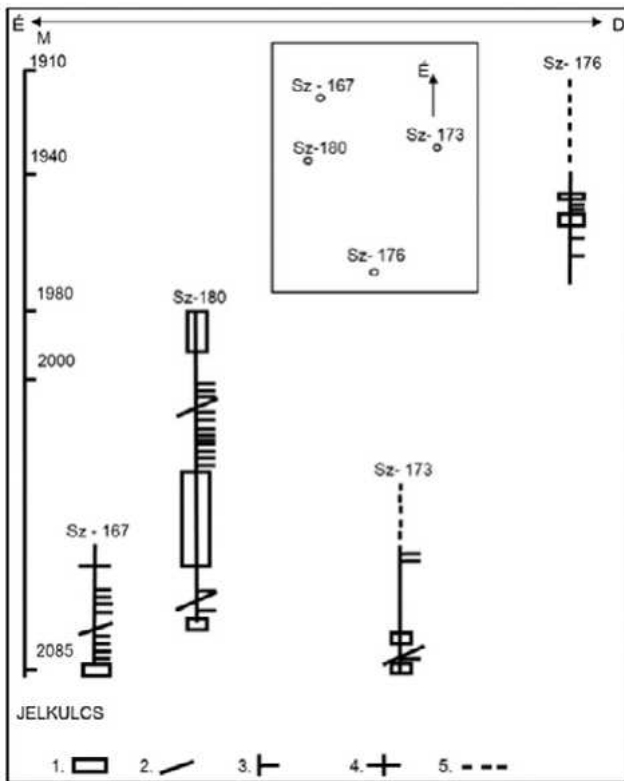
In our study, we summarize (make an attempt) the possibilities of tectonic interpretation based on information from drilling in metamorphic rocks of the base mountains. The main contradiction of tectonic studies is that traces directly referring to tectonics can only be examined on drill cores and can only be inferred indirectly by all other methods. On the other hand, the correlation of drill core studies in a non-stratified medium between boreholes is doubtful if the boreholes are too far apart and do not map the same depth section from the surface of the formation. In traditional deep-borehole geophysical measurements, it is usually not possible to directly designate certain tectonic traces, but it can be inferred based on the characteristics of the measurement curve. The mechanical condition of the drill cores and the geophysical parameters in the bedrock rocks are mostly correlated with each other, so the decomposed, tectonized zones can be identified. By using several sections together, not only the mechanical and chemical decomposition of the rock can be deduced, but also the main rock types determined based on drill core studies. Based on the deep borehole geophysical sections, the weathering stages of the metamorphic rock can be distinguished, depending on the depth bound to the former surface. Based on curve correlation, it is possible to draw conclusions, primarily, on vertical tectonic movements.

Beérkezett: 2025. június 5.; elfogadva: 2026. február 26.

Bevezetés

A szeghalmi alaphegységi kiemelkedés legnagyobb (Halom-1.) telepe készletének jelentős része a kristályos alaphegységben volt található. A szeghalmi kutatási terület a Tiszántúlon helyezkedik el a Körös-Berettyó folyók vidékén és a Tiszai-főegységhez tartozik [2]. A jelenleg 2000 m körüli mélységben található metamorf aljzat a Pannon-medence keletkezése előtt sokáig felszínen volt. A fedetlen időszakban a kristályos aljzat felszíne, a felszíni erők hatá-

sára bizonyos mértékben felaprózódott, lepusztult. Miacén, faunával bizonyítottan bádenien kőzetekkel kezdődően fedik üledékes kőzetek a kristályos aljzatot. Egy fúrás pedig az aljzat felett feltehetően bazalt előfordulást tárt fel. Az Sz-167, -173, -176, -180. fúrások folyamatos magfúrással mélyültek az 1980-as évek végén. A többi fúrástól lényegesen nagyobb magnyereséggel (33,5 m, 27 m, 29,3 m, 49,9 m) tárták fel a metamorf aljzatot (1. ábra), amelybe 2100 m-ig fúrtak bele, kivéve az Sz-176-os fúrást, ahol mindössze 8 m hiányzott az említett értékhez.



1. ábra Az Sz-167, -180, -173, -176. fúrások szerkezeti sémája és területi elhelyezkedése. *Jelkulcs:* 1. sikertelen magkihozatal, 2. vető, 3. breccsásodott sáv, 4. közel vízszintes elmozdulás, 5. nem történt magfúrás. A fúrások mélységintervalluma a variszkuszi felszíntől a magfúrás aljáig tart (Szerkesztette: Szili Györgyné 2023, digitalizálta: Kakuk Zénó, 2025)

Figure 1 The structural scheme and territorial location of the boreholes Sz-167, -180, -173, -176. *Key:* 1. unsuccessful core recovery, 2. fault, 3. brecciated bands, 4. near horizontal displacement, 5. core drilling did not happen. The depth interval of the boreholes runs from the Variscan surface to the bottom of the core drilling (Edited by Györgyné Szili 2023, digitized by Zénó Kakuk 2025)

A fúrások variszkuszi kőzetmagjain megfigyelt töréses szerkezeti formákat, a levonható tektonikai következtetéseket és vázlatosan a kutatástörténetet Szili Györgyné ismertette [9].

A metamorfitonokon észlelhető töréses szerkezeti formák feltehetően több nem egyidejű tektonikai események nyomait regisztrálják, amelyekből az események idejére, egymásutánosságára nem lehet egyértelműen következtetni. A fúrómagleírást a kőzet állagát kifejező kódokkal egészítettük ki. A kódokból készített szelvények egyezést mutatnak a karotázsgörbékkel. Annyi bizonyossággal megállapítható, hogy a variszkuszi felszín egy diszkordancia felület, amely valószínűleg a meredek dőlésű vetődések miatt az egyes fúrásokban eltérő mélységben található, és ezzel összefüggésben a többszörös tektonikát elszenvedett kőzet-típusok is eltérő mélységbe kerültek. A több egymás utáni nem egyidejű tektonika ellenére lokálisan lehetséges, hogy a kőzettípusok megőrizték települési viszonyaikat.

Véleményünk szerint radiometrikus korrallal lehetne bizonyítani, hogy a variszkuszi felszínhez viszonyítva, fúrás-

sokként eltérő mélységű szerkezeti helyzetbe került kőzet-típusoknak fennmaradt-e a települési viszonya. A kevés számú fúrás nagyrészt az alaphegység mállási zónáját tárta fel, ezért többféle értelmezési felfogás szerint lehet azokat kiértékelni.

Néhány kőzettani jellegzetesség

A folyamatos magfúrással feltárt Sz-167, -173, -176, -180. fúrások magjainak kőzettani vizsgálata [5, 7] alapján megállapítható, hogy az első, progresszív metamorfóziskor keletkezett ásványi elegyrészek többsége kissé vagy néhol teljes átalakulást szenvedett a retrográd metamorfózis során, mely utóbbi ritkán történik, mivel a reakciók alacsonyabb hőmérsékleten lassabbak, és a fluidumok gyakran hiányoznak.

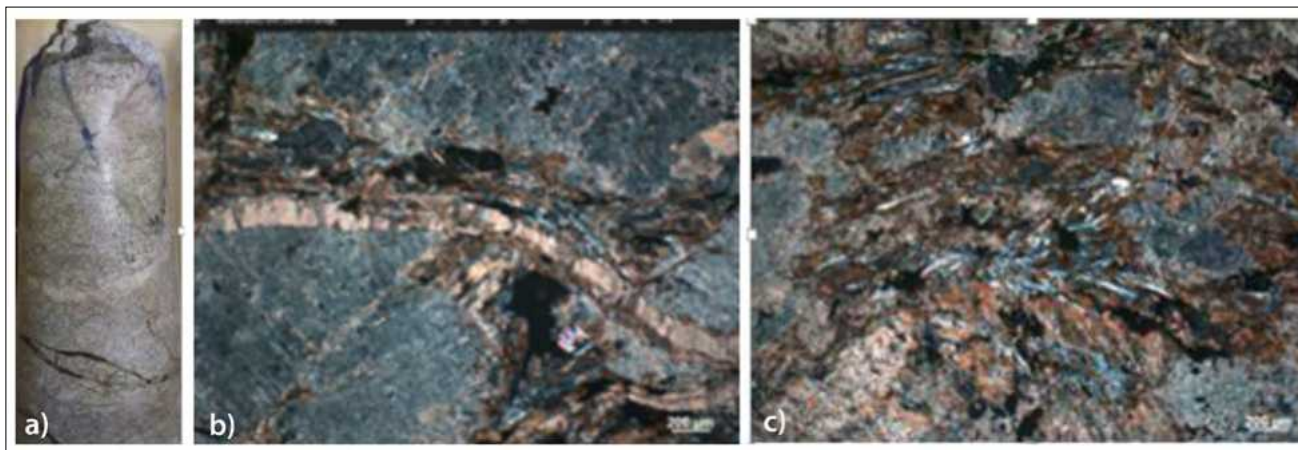
Az említett fúrások kőzetmagjai repedéseiből, fellazult kőzetrészeiből származó mintákban Tasnádi Eleonóra és Kiss Sándor elemezték [8] a röntgenvizsgálattal definiált agyagásványokat a gneiszes szerkezetben (illit, kaolinit és alárendelten Na-montmorillonit), ami összhangban van azzal, hogy karotázsszelvények értelmezése alapján is kimutatható az agyagásványosodás.

Az Sz-173. fúrás amfibolit összetételében csak az 1. mintában lehetett meghatározni nyomokban illitet. Vékonycsiszolati vizsgálat alapján az ásványi elegyrészek üde állapotban vannak több mintában az összetételt teljesen átjáró repedezettség ellenére.

Az agyagásványok keletkezésében bizonyára szerepet játszhattak az egykori felszíni, ill. felszínközeli szerkezeti helyzetből adódóan a mállási folyamatok, de hidrotermális fluidumból történő kiválás sem zárható ki, azonban az illit nagyon kis fokú metamorfózist jelölhet. Az Sz-180. fúrásban még 79 m-rel a variszkuszi felszín alatt is meghatározható illit.

Agyagásványok a szilikátok – elsősorban földpátok – kémiai mállása során keletkeznek, nem magas hőmérsékleten. A kémiai mállás alapvető folyamata a hidrolízis, amely úgy zajlik, hogy a szén-dioxidban gazdag, enyhén savas víz reakcióba lép a földpát szerkezetével, és az oldatba kerül. Ezekből az oldatokból új ásványok, köztük agyagásványok kristályosodnak ki.

Az agyagásványosodás azért következik be, mert a szilikátszerkezetek nagy mennyiségű kötött vizet vesznek fel, miközben a szerkezet stabilizálását biztosító interlayer kationok kioldódnak és távoznak belőle. Ezek egy része kálium, amelyben a K-40 izotóp radioaktív. A kötött víz mennyiségének növekedése mellett csökken a természetes gamma. Ezért a hidrogéntartalommal arányos neutronporozitás és a természetesgamma-érték hányadosa arányos az agyagásványosodás mértékével. Mivel a természetes gamma jellemző értéke kőzettípusonként tág tartományban változhat, a hányados közvetlen használata zavaró lenne, ezért a bontottság mértékét célszerű inkább az $\arctg(N_{\text{por}}/GR)$ kifejezéssel jellemezni. Ez lényegében egy látószöveget jelent a $N_{\text{por}}-GR$ crossplot origójából nézve.



2. ábra a) Világos színű gneisz (Sz-167). b), c) Átkristályosodott gneisz szövete. Másodlagos elegyrészekből álló mátrixban (szericit, illit, kaolinit, karbonát), átalakult ásványok töredékei és karbonáttal kitöltött repedések láthatók, az epoxigyantás átítástól a csiszolat kékre színeződött (+N, 200 millimikron, Sz-167)

Figure 2 a) Light colored gneiss (Sz-167). b), c) Texture of the recrystallised gneiss. In the matrix consisting of secondary components (sericite, illite, kaolinite, calcium carbonate) fragments of altered mineral and cracks filled with carbonate are visible, the thin section turned blue due to the epoxy resin impregnation (+N, 200 millimikron, Sz-167)

A legnagyobb magnyereséggel (49,9 m) rendelkező Sz-180. fúrás kőzetmaggal harántolta a bádenien-variszkuszi határt. Az 1 m vastagságban feltárt bádenien homokkő és a 20 cm-es variszkuszi amfibolit szorosan kötődnek egymáshoz, képződménysort alkotva. Mivel az amfibolit metamorf kőzet, a 2. magrész 20 cm-es amfibolitja indokolhatja a bádenien-variszkuszi határ kijelölését annak ellenére, hogy alatta 10,8 m-en át nem lehetett magot fúrni a kőzet rossz állékonysága miatt. Az is lehetséges, hogy az amfibolit folytatódott, amely hajlamos erős felaprózódásra. A magfúrás Sz-173. fúrásban 19 m-rel, az Sz-176. fúrásban 26 m-rel a fúróállalat által kijelölt variszkuszi határ alatt kezdődött.

Az Sz-167. fúrás az egyetlen, amely 1 m-es eltéréssel, a fúróállalat által meghatározott variszkuszi felszíntől tárt

fel folyamatos magfúrással az aljzat gneisz szerkezetét (M. Tóth szerint ortogneisz [3]) 33,5 m-es magnyereséggel. Szili Gy.-né vizsgálati jelentését [5] alapul véve a felső, egykor fedetlen variszkuszi felszínnek tekinthető, 2049–2067 m közötti 18 m-es szakasz (1. és 2. mag) nagy mértékű retrográd átalakulást és kémiai mállást szenvedett, amely jelenség más fúrásban ilyen vastagságban magvizsgálati alapon nem tapasztalható. A kőzetszakasz lényegében nem tartalmaz színes elegyrészt, és uralkodóan világos színű (2a. ábra). Vékonycsiszolati vizsgálat alapján a kvarcon kívüli főelegyrészek szinte teljesen átalakultak. A földpátok kémiai mállásának egy részletét szemlélteti a 2b. ábra vékonycsiszolati képe. Az átalakulási termékek alapján nem valószínűsíthető, hogy tartalmazott amfiból ásványt.

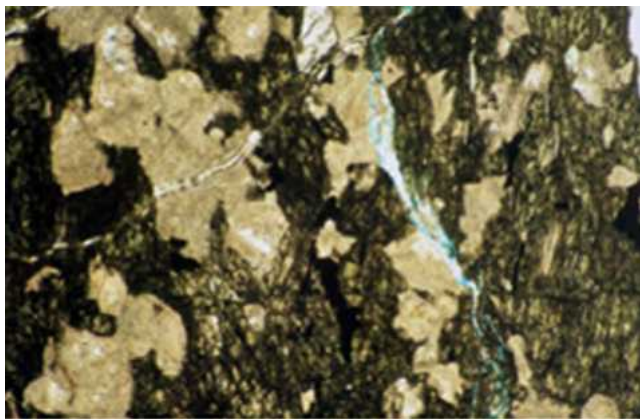


3. ábra Sávos szerkezetű biotit gneisz szövete. a) Halformát alkotó biotitok által közrefogott földpátok és kvarcsemcsék sávja látható (+N, Sz-176, 500 millimikron). b) Az ortoklász hasadási nyomvonalai által bezárt 90° szög jól felismerhető, valamint karbonáttal kitöltött mikrorepedés (+N, Sz-176, 500 millimikron)

Figure 3 a) Texture of the banded structure biotite gneiss. Feldspars enclosed by biotites forming a fish-like shape and band of quartz grains can be seen (+N, Sz-176, 500 millimikron). b) The 90° angle formed by the cleavage traces of orthoclase is clearly recognizable, as well as microcracks filled with carbonate (+N, Sz-176, 500 millimikron)

4. ábra Amfibolit hornblende ásványi elegyrészei (+N, 500 millimikron, Sz-176)

Figure 4 Hornblende mineral components of amphibolite (+N, 500 millimikron, Sz-176)



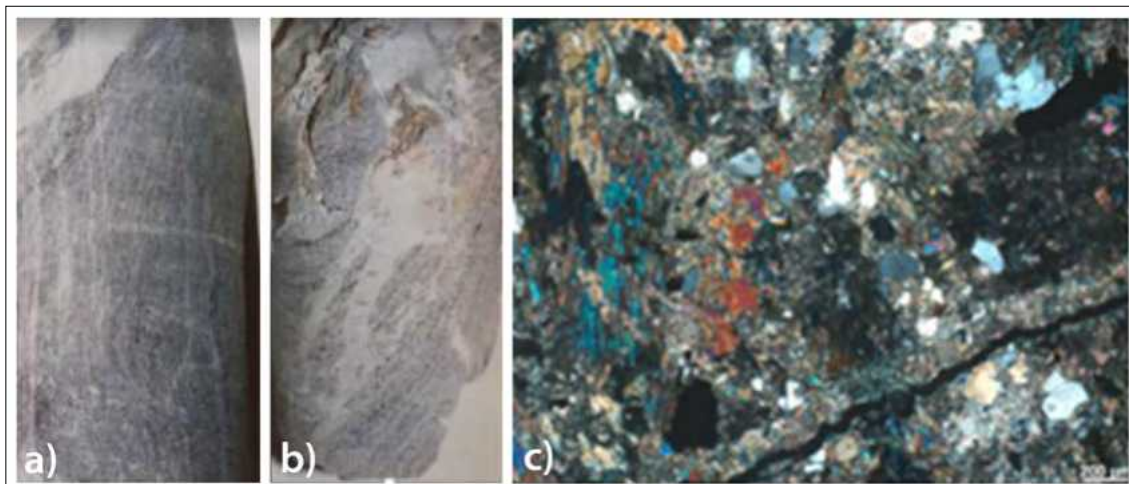
5. ábra Amfibolit földpát, hornblende ásványi elegyrészei (1N, N 50×, Sz-180., 2. mag)
 Figure 5 Feldspar, hornblende mineral components of amphibolite (1N, N 50×, Sz-180., 2.core)

2067 m alatt (3, 4 mag) változó mértékű az átkristályosodás, és amfiból ásvány határozható meg, amely az alsó 9 m-en a kvarccal, biotittal, földpáttal együtt lényeges ásványi elegyrészként fordul elő. 2067–2076 m között gyakran tagolt granitoid telérekkel.

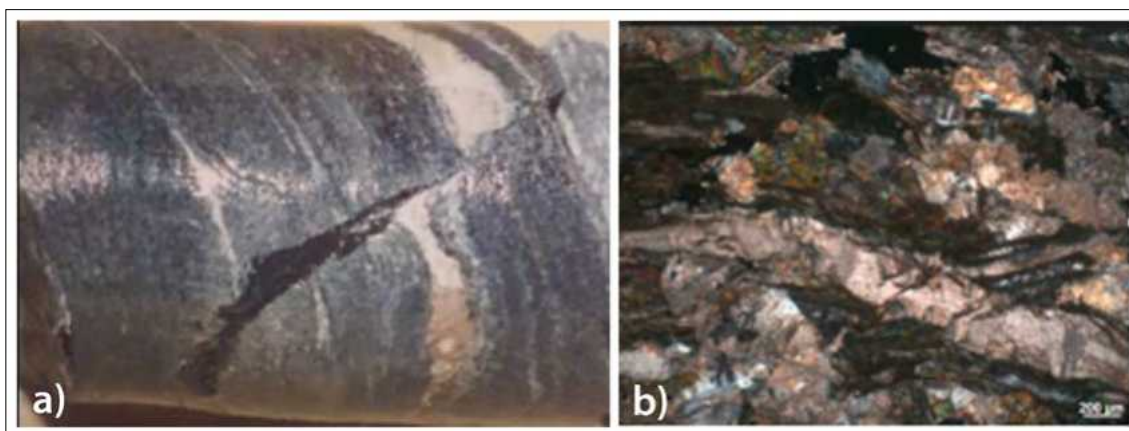
Az Sz-167. fúrás esetéből arra lehet következtetni, hogy az aljzat felső kb. 18 m körüli vastagságú zónája különösen érintett lehet a felszíni mállási folyamatok által, amelyet az agyagásványosodás jelez.

Az Sz-167, -176, -180. fúrásokban megállapítható a kőzettípusok vertikális váltakozása, a biotit gneiszes szerkezetet különböző vastagságban főleg amfibolit tagolja. Az Sz-167. fúrásban a gneiszes szerkezetnek csak az alsó szakaszán, 2073–2073,4 m között van egy vékony amfibolitsáv, kb. 80 fok dőlésű vetődési nyommal.

A 29,3 m-es magnyereségű Sz-176-os fúrás biotit gneisz öszszletét földpát+kvarc- és biotitdús sávok, lencsék alkot-



6. ábra a) Gneiszes szerkezet (Sz-180). b) Palás szerkezet (Sz-180). c) Átkristályosodott amfibolit(?), vagy amfibólos gneisz(?) kissé kataklasztosodott szövete, az amfibólból megőrződtek maradványok a földpátok sericités, agyagos (illit) átalakulási termékeiben (+N, 200 millimikron, Sz-180. 7. mag)
 Figure 6 a) Gneiss structure (Sz-180). b) Foliate structure (Sz-180). c) Slightly cataclastic texture of recrystallised amphibolite(?), or amphibole gneiss (?), remains have been preserved from the amphibole in sericite, clayey (illite) transformation products of feldspars (+N, 200 millimikron)



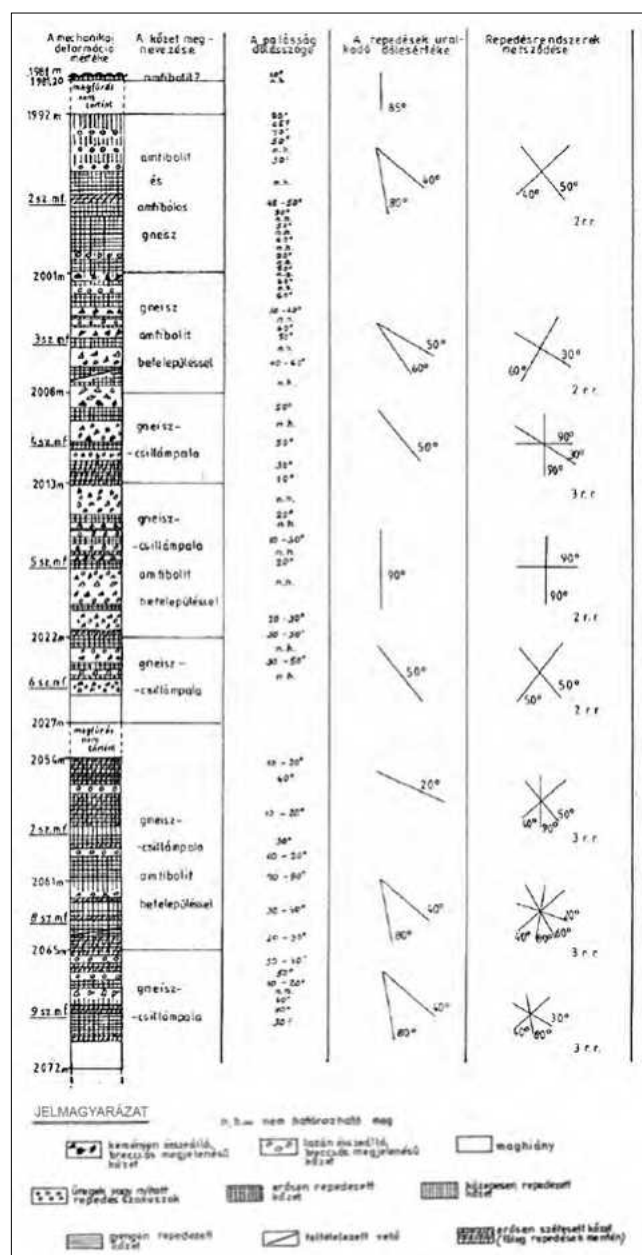
7. ábra a) Amfibolit, elvált repedés mentén eltolódott leukosávval (Sz-173). b) Átkristályosodott amfibolit szövete, az amfiból szinte teljesen karbonáttá, epidottá alakult (+N, 200 millimikron, Sz-173)
 Figure 7 a) Amphibolite with displaced leuco band along a separated crack (Sz-173). b) Texture of the recrystallised amphibolite, the amphibole has almost completely transformed into carbonate and epidote (+N, 200 millimikron, Sz-173)

ják. A sávok képlékeny deformáció következtében palásság szerint orientáltak, többnyire „kihengerelt” szerkezetűek. Ilyen megjelenés felfedezhető néhol az Sz-180, -167. fúrásokban is. Az Sz-176. fúrás vékonycsiszolati képei (3a,b. ábra) érzékeltetik a „kihengerelt” szerkezetet.

A biotit gneisz összlet, 1956 m alatt, max. kb. 1 m vastag, leukoeres, gránátartalmú amfibolittal (4. ábra) vagy amfibolos gneisszel tagolt.

Az Sz-180. fúrás legfelső, maghiányt követő 1992–2001 m közötti szakaszára az amfibolit (5. ábra) és amfibolos gneisz a jellemző.

Az alatta lévő sillimanit tartalmú biotit gneissben (6a. ábra), kvarc, biotit összetételű, vékony, csillámpala (6b.



8. ábra Az Sz-180. fúrás földtani szelvénye. (Szerkesztette: Szili Györgyné, 1989)

Figure 8 Geological section of borehole Sz-180. (Edited by Szili Györgyné, 1989)

ábra) közetsávok fordulnak elő, az amfibolit sávok mellett. Az 6c. ábra a diafortitosodott amfibolit(?), vagy amfibolos gneisz(?) ásványainak kémiai mállását mutatja be a 7. magban.

A fúrásban 1981,20-1992m és 2027-2054m között nem történt magfúrás, ezért a 10,8m-es és 27m-es szakasz közöttani ismertetése hiányzik.

Az előző fúrásoktól eltérően az Sz-173. fúrás gránátartalmú amfibolit összletet (7a. ábra) tárt fel 2049–2083 m között, 27 m magnyereséggel, amelyben néhol erős mértékű retrográd átalakulás előfordul (7b. ábra). Helyenként a kvarctartalom lényeges elegyrészként határozható meg, és a kőzetrészt feltehetően inkább amfibolos gneissnek nevezhető.

Az amfibolit összletben vékonycsiszolati vizsgálattal meghatározott granitoid telér [9] legnagyobb vastagságban 2049,5–2051 m között észlelhető, amely laza breccsás megjelenésű. Az amfibolitban felfedezhetők valószínűleg metamorf differenciáció eredményeként keletkezett vékony leukosávok, erek is, amelyek jól jelzik a képlékeny deformáció által kialakult gyűrű szerkezetet.

Granitoid sávok leggyakrabban az Sz-167. fúrás gneisszes szerkezetében és az Sz-173. fúrás amfibolit összletében található, amelyek bizonyára könnyen illókbán gazdag magma telérközetei és posztmetamorf képződésnek tekinthetők [9].

Az egymás közelében lévő Sz-180. és -167. fúrásokban gyakori a breccsás szerkezet (1. ábra). Az Sz-180. fúrás legtöbb, uralkodóan vékony breccsásodott sávot tartalmazó 2001–2027 m közötti, sillimanittartalmú szakasza magában foglalja a 3., 4., 5., 6. magokat, amelyek a 6. mag kivételével, 100%-os magnyereségűek.

A 67%-os magnyereségű 6. mag rossz állékonyságú, magfúrásra alkalmatlan, kb. 2025–2027 m közé tehető maghiányos része, kezdete a 27 m vastag, 2054 m-ig tartó kőzetmag nélküli szakasz (8. ábra, amelyen a 10,8 m és 27 m kőzetmag nélküli szakaszok nem méretarányosan szerepelnek a szelvényen).

Az Sz-167. fúrásban a gneisszes szerkezet 2067 m fölötti és alatti szakaszának közös jellemzője a breccsásodott vékony sávok (9. ábra) megjelenése, amelyek 2061,75 m-től kezdődnek és 2080,70 m-ig tartanak. Tektonikai mozgások



9. ábra Brecciaszerkezet (Sz-167., 2. mag)

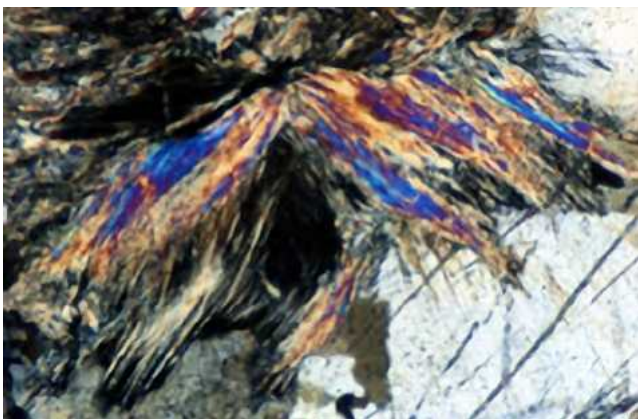
Figure 9 Breccia structure (Sz-167, 2. core)

nyomát regisztrálják a 4. mag alsó részén előforduló, kissé fényes, rovátkolt, kb. 50 fokos dőlésű csúszási felületek.

Az Sz-167. és -180. fúrások közötti 67 m-es vetődésre utal, a kőzettani eltéréseken túlmenően, az Sz-167. fúrásban lévő, magátmérőt meghaladó, legkarakteresebb meredek vetődési nyom és a Sz-180. fúrásban lévő vetődési nyomok is, a többi kis méretű vetődéses deformációval együtt.

Az Sz-180. fúrásban vékonycsiszolati vizsgálat alapján a breccsaszerkezet köztes anyagában a mikrobrecsa megjelenésén kívül nyírásos erőhatásra utaló, irányított jellegű mikroszöveti elem is előfordul, amely a makroszkópos megjelenésre nem jellemző.

A fúrások kőzettani tagolódása bizonyára visszavezethető a protolitra, vagyis az üledékes, magmás eredetű vagy azok keveredéséből álló premetamorf litofáciesre, amely a Winkler-kritériumok (1976) szerint, közepes fokú Barrow-típusú metamorfózist szenvedett, közepes, néha magas hőmérséklettel. A 10. ábrán látható a magas hőmérsékleten keletkezett sillimanit vékonycsiszolati képe. M. Tóth meghatározása [3] alapján, a sillimanittartalmú gneiszben kianit is található.



10. ábra | Sillimanit, kévészerű, szálás-rostos megjelenése (+N, N = 60×, Szeghalom)

Figure 10 | Sillimanite, appearing as thread-like fibrous mineral (+N, magnification 60×, Szeghalom)

A kőzetmagok fontosabb tektonikai jellegzetességei

A metamorfitonokon észlelhető töréses szerkezeti formák feltehetően több, nem egyidejű tektonikai események nyomait regisztrálják, amelyekből az események idejére, egymásutánosságára nem lehet egyértelműen következtetni. A kőzet állagát és a tektonizáltságot kifejező nyomok kódjai jó egyezést mutatnak a karotázsgörbékkel.

Annyi bizonyossággal megállapítható, hogy a variszkuszi felszín egy diszkordanciafelület. Az 1. ábra szemlélteti, hogy az Sz-167, -173, -176, -180. fúrásokban valószínűleg a meredek dőlésű vetődések miatt fúrásokként a variszkuszi felszín eltérő mélységű szerkezeti helyzetbe került. Ennek következtében a többszörös tektonikai hatást elszenvedett, vertikálisan váltakozó kőzettípusok is. Lehetséges, hogy a kőzettípusok megőrizték települési viszonyaikat. Zilahi Sebess László szerint radiometrikus

korral lehetne bizonyítani, hogy a variszkuszi felszínhez viszonyítva fúrásokként eltérő mélységű szerkezeti helyzetbe került kőzettípusoknak fennmaradt-e a települési viszonya.

A töréses szerkezeti formák eredményezték a CH-tárolásra alkalmas másodlagos porozitás kialakulását, amelynek volumenét csökkentik az ott kivált ásványok.

A szeghalmi területen, anyagvizsgálat alapján [6] a magasabb rendű repedési síkok dőlésértékei főleg vetőket és alárendelten lapos szögű elmozdulásokat jelezhetnek, ami összhangban van a területet érintő, Albu és Pápa [1], Redlerné és Kummer [4] által végzett szeizmikus értelmezésekkel. Az egész területen előforduló nyírásos repedési síkok kapcsolt repedésrendszere és az Sz-180. fúrásban megjelenő nyírásos mozgási felületek, valamint mikroszkópos vizsgálat alapján észlelt, nyírási zónára jellemző, porfiroklasztokat körülölelő újrakristályosodott kvarcsávocsokak „folyási szerkezete” utalhat arra, hogy nyírásos jellegű mozgások történtek, amelyek szerepet játszhattak a kőzetek bizonyos mértékű felaprózódásában, elmozdulásában is [9].

Az Sz-180. fúrás földtani szelvényének (8. ábra) [8] egyik oszlopa tartalmazza a magasabb rendű repedési síkok uralkodó dőlésértékeinek változását. Lehetséges, hogy azok különböző dőlési értéket eredményező mozgások nyomainak tekinthetők, amelyeket felülírhatták a későbbi, a területen uralkodó jellegű, az aljzat jelenlegi szerkezeti helyzetének kialakításában kulcsfontosságú meredek dőlésű vetődések (1. ábra).

Kőzetmagok vizsgálata alapján, az 1. ábra a mélységnek megfelelően hitelesen szemlélteti azokat a szakaszokat, ahol a magkihozatal sikertelen (10,8 m és 27 m) vagy nem 100%-os volt, továbbá a breccsásodott sávokat, vetődési nyomokat és a közel vízszintes elmozdulást. A kőzetmagban a vetődés nyoma, a mikrovetődéses deformáción túlmenően ritkán több centiméteres, az Sz-167. fúrásban a magátmérőnél nagyobb, kb. 80 fokos dőlésű vetődést mutat [9].

Feltehetően a lapos szögű elmozdulásoknak a néhány centiméter átmérőjű magban nem marad a vetődésekhez hasonló karakteres nyoma. Nagyjából vízszintes elmozdulás nyoma a 167-es fúrás első magjában észlelhető. Az eltolódás nagyobb távolságban történhetett a magátmérőnél, mivel a közel vízszintes, alacsonyabb rendű, vékony repedés elvágja a szintén alacsonyabb rendű meredek dőlésű vékony repedéseket, és a folytatásuk nem figyelhető meg a magátmérőn belül, azonban makroszkóposan meghatározható felaprózódás nem kíséri. Ugyanakkor láthatók olyan meredek dőlésű repedések, amelyek mentén a közel vízszintes repedések kb. 0.5 cm-t eltolódtak. Másrészt helyenként előfordulnak repedések, amelyek jól észlelhető dőlése kb. 80, 70, 45, 35, 20 fokos értéket mutat a sokféle tektonikának köszönhetően.

A vetők jelentős mértékben hozzájárulhattak a magfúráshoz alkalmatlan, rossz állékonyságú szakaszok és breccsásodott sávok (1. ábra) létrejöttéhez. Ezek keletkezése, az erőhatások bizonyos mértékéig összefügghet a kőzetek szerkezeti sajátosságaival, az uralkodó ásványi elegy-

részeivel is. A metamorfózis fokát meghatározó index-ásványok szórványos vagy kis mennyiségben történő előfordulásuk miatt bizonyára nem lehetnek befolyásoló tényezők.

Uralkodóan amfiból-földpát összetételű képződményekben erőhatásra erős felaprózódás léphet fel, de megközelíthetik a porhoz hasonló fizikai állapotot és rossz állékonyságúvá, magfúrásra alkalmatlanná válhatnak.

A breccsaszerkezet kialakulásának kedvez, a földpáton kívül uralkodó elegyrészként szereplő kvarc és a mozgást jól közvetítő biotitban dús sáv.

A metamorf aljzat fizikai fellazulása lehetővé teszi fluidumok áramlását, de az ásványok kémiai bontottságára vonatkozó információt nem ad. A 167-es fúrás 1. és 2. magja jól példázza, hogy a kémiai mállás termék cementálja az erősen repedezett gneiszes szerkezetet. Ugyanakkor az Sz-173. fúrás amfibolitösszlete, palásság és repedések mentén a magkihozatal során szétesett a többi fúrásnál jóval nagyobb mértékben a nem elégséges cementálódás, ill. annak hiánya miatt. Tehát, az Sz-167-hez hasonló intenzitású kémiai mállás nem működhetett.

Rossz állékonyságú, magfúrásra alkalmatlan szakaszok, a nem 100%-os magnyereségű helyek maghiányos részén és az Sz-180. fúrásban 10,8 m és 27 m vastagságban fordulnak elő (8. ábra). Ezek mentén a metamorfitek nagy mértékű fellazulása és elmozdulása történetelt. A sikertelen magvételt és breccsásodást jelölő szakaszok, regionálisan, a négy fúrás esetében nem képeznek mélységintervallummal jellemezhető zónát (1. ábra). Ez megerősítheti, hogy kialakulásukat befolyásolhatták a fúrásoként eltérő szerkezeti helyzetbe került, vertikálisan váltakozó közzettipusok.

Az aljzat és a közvetlen rátelepülő miocén üledékes kőzetek eltérő törési igénybevétele alapján, az aljzati törési szerkezetek kialakulása feltehetően nagyrészt a miocén előtt történetelt, a törési szerkezeti zónában, a terület süllyedésével járó tengerelöntés előtt, a miocén üledékes kőzetek kialakulását megelőzheték. Egybeeshettek a Tiszai főegység alsó miocénben, a jelenlegi helyére történő megérkezése előtti takaró képződéssel járó globális tektonikai mozgásokkal.

Tektonikai jelenségek azonosítása különböző mérettartományokban

Mielőtt bármilyen tektonikai következtetést tennénk, először tisztázni kell, hogy a legutolsó működő tektonikát, vagy egy tektonikatörténetet akarunk-e rekonstruálni. Ehhez külön-külön kell megvizsgálni a különböző módszerek lehetőségeit. A módszerek legfontosabb tulajdonsága az információ kiterjeszhetőségének szempontjából a felbontóképesség és a kutatási mélység. Meg kell különböztetni a fúrásos módszerekkel megállapítható tektonikai jelenségeket a tektonikai rekonstrukciótól, amit elsősorban szeizmikus szelvények alapján lehet megtenni. Azonosítható bontási jelenségek az alaphegységi meta-

morfitokban a felszínközeli fellazulási trendek és a tektonikai törésszónák. Ezek a különböző vizsgálati módszerekkel vizsgálva különbözőképpen jelennek meg. Ez azt is jelenti, hogy nemcsak a mérettartománybeli különbségekről van szó, hanem mérési körülmények különbözőségeiből eredő eltérésekről is.

Szeizmika. A tektonikai vizsgálatok legfőbb eszköze. Előnye, hogy még a hagyományos szeizmika is kétdimenziós képet ad. 2000 m mélységben alaphegységi kőzetben 40–50 m-es felbontóképességgel. Általában a közel horizontális váltásokat mutatja ki. A lapos szögű feltelődásokat direkt módon mutatja ki, de a meredek szögű vetődéseket másodlagosan lehet kimutatni azzal, hogy a horizontok megszakadnak és más mélységben folytatódnak. A szeizmikus időszelvényt mélységszelvényre az idő mélységszelvény alapján alakítják át a VSP-mérés alapján.

Mélyfúrási geofizika. Mélység szerinti fizikai paraméterváltozásokat ír le egy a fúrás adta vonal mentén módszertől függően 10–50 cm-es felbontással. Önmagában elsősorban a korreláció révén azonosítható vele tektonika. A hátránya, hogy egy mélységpont a térképen horizontálisan pontszerű az információ, így az információ fúrások közötti térbe történő kiterjesztésének elsődleges eszköze a fúrások közti réteggkorreláció.

Gravitációs felszíni módszer. Nagyobb léptékű változások bemutatására alkalmas általában, de a nagyobb léptékű tektonika következtethető belőle.

Magleírás. Tektonika okozta elváltozásokat lehet azonosítani vele, azokat kor szerinti sorrendbe lehet állítani. A hátránya, hogy a vizsgált magszakaszok hossza általában nem reprezentatív nagyobb léptékben, emiatt nem köthető önmagában össze szerkezetté. Ahhoz, hogy ebből tektonikai következtetést lehessen levonni, fel kell használni az aljzati képződmény tetőmélységét és egyéb korrelálható jellegzetes pontot a fúrómag mentén, adott mélységig, amely összemérhető a fúrások távolságával. Közvetlen korrelációs lehetőség a mélyfúrási geofizikával úgy lehetséges, hogy a magon megállapított tektonizált szakaszok a karotázsszelvényen gyengeségi zónaként jelentkeznek. A magon tapasztalható különböző korú tektonikai dölések és irányok egy nagyobb kőzetblokkra jellegzetes, rózsadiagrammon ábrázolható eloszlást adnak, ami a neotektonika szempontjából egy mintázat, és ennek alapján megállapítható, hogy két egymással érintkező blokk elmozdult-e egymáshoz képest. Szeghalom esetében a magokon tapasztalt tektonikai meredekségek jóval nagyobbak, sem hogy a fúrások közt közvetlenül korrelálni lehetne.

Vékonycsiszolatok. Elsősorban az anyagi minőség ásványos összetételének meghatározása a cél, a karotázssal az átlagos összetételt akkor lehet összevetni, ha az megfelelő mennyiségű, és mintavételi stratégiával készültek a vékonycsiszolatok.

A földtani objektumok lépték szerinti vizsgálhatósága

A jelenségek lépték szerinti vizsgálhatósága összefügg a vizsgálati módszerek felbontóképeségével és a leképezett tartomány a vizsgálandó objektumhoz képest mért nagyságával. Ha egy objektum vagy jelenség mérete meghaladja a módszer által vizsgált tartomány kiterjedését, akkor az csak megfelelő mintavételi stratégiával vizsgálható.

Ilyen jellegű objektumok, például a tömörödési [17] és a fellazulási trendek, amelyek csak akkor észrevehetőek, ha legalább olyan vagy inkább nagyobb hosszúságú fúrási adatrendszerrel vizsgálunk. A tektonikai jelenségek abba a körbe tartoznak, amelyek minden nagyságrendben megnyilvánulnak [15]. Egy bizonyos erőterhez egy meghatározott iránystatisztika tartozik, amelynek fő elemei kis méretarányban is hasonló irány statisztikával jellemezhetőek, mint nagy léptékben (a fő feszültség iránya és az arra merőleges legkisebb feszültségi irány és nyírási igénybevétel esetén a Riedel-törések rendszere)

Mélyfúrásokban, ha nincs iránystatisztika, csak dőlése-eloszlás, akkor csak a fúrások közti korreláció alapján lehet azonosítani a tektonikai jelenséget, amennyiben a korrelálandó fúrások harántolták ugyanazt a tektonikai elemet. Ha nem harántolták, akkor még az egyetlen erőterhez tartozó iránystatisztika is csak egy, a területen uralkodó, feszültségtér jellemzője. A probléma elsősorban a különböző léptékben észlelt jelenségek együttes értelmezésénél az, hogy a kis mérettartományt vizsgáló módszerek önmagukban nem okvetlenül reprezentálják a nagyobb térfogat tulajdonságait, míg a nagyobb léptékű vizsgálat viszont a kis léptékű változásokat csak átlagolva mutatja. Ha többféle tektonikai erőter működött, akkor a rezervoártulajdonságok vizsgálata szempontjából a feladat a neotektonikai irány kiválasztása. A metamorf kőzetek esetében gyakori, hogy a váltakozó kőzettípusok palásága nem egyezik, és a tektonikai hatásra létrejött repedezettség nem követi a paláság irányát. Ez összeegyeztethető a kőzetmag leírásokkal.

A mérési adatok reprezentativitása

A reprezentativitás (az információ kiterjeszhetősége) függ a közegetől is. Üledékes kőzeteknél a rétegzettség eleve adott, ezért a reprezentált térfogat adott esetben több nagyságrenddel nagyobb lehet, mint a ténylegesen megmért. A metamorf alaphegységi kőzetek esetében paláságról lehet beszélni. A rétegesség legfeljebb csak gyenge metamorfózis esetén észlelhető, de itt nem ez az eset áll fenn. A korrelálhatóság attól függ, hogy mit akarunk korrelálni: a kőzetanyagot vagy a porozitással repedezettséggel összefüggő fizikai paramétereket [11]. Ha csak elektromosellenállás- és akusztikussebesség-mérések állnak rendelkezésre, a kőzetanyag szerinti korreláció geofizikai szempontból kétséges, amennyiben nincs valamilyen előzetes információ arról. Anyagi minőség szerinti azonosítást alaphegységi kőzetekben olyan mérések alapján le-

het tenni, amelyek a kőzetváz tulajdonságaira is érzékenyek. Ilyen a neutronporozitás, sűrűség, természetes gamma. Önmagában véve a mérések – ha nem lennének korrelálható elemek – csak a megmért térfogatra lennének reprezentatívak. Ebből azonban nem következik, hogy a rétegzetlen közegek megismerhetetlenek lennének. Megfelelő mintavételi stratégia mellett legalább az átlagos tulajdonságok megismerhetőek. Megfelelő az a mintavételi stratégia, amelyiknél egy bizonyos térfogat esetében a minták fizikai tulajdonságainak átlaga hibahatáron belül egyezik egy másik ugyanolyan térfogat mintáinak átlagával. Ha ez teljesül, akkor a kiválasztott mintasokaság paraméterátlaga reprezentatív mind a két részmintasokaságot tartalmazó térfogatra. Amikor hibáról beszélünk egy földtani közeg megismerésénél, akkor nem a mérés hibákról, hanem a földtani közeg paramétereinek fluktuációjáról van szó.

Korreláció definiálása metamorf kőzetösszletben

A tektonikai értékelés fontos eleme, hogy találjunk korrelálható elemeket, amelyekhez hozzátartozik a magokon észlelt tektonikai jelenségek, a paláság és a mélyfúrás-geofizikai mérés görbék korrelációja is. A metamorfit összletben többféle módon definiálhatjuk a korrelációt. A neotektonika szerinti korreláció, amely szerint a kőzetblokkok tektonikus eredetű repedésrendszere a blokkra jellemző mintázatot ad.

A kőzetanyag szerinti korreláció, amely a kőzet ásványos összetételének változását követi. Ezt a geofizika a sűrűség, a neutron és a természetes gamma együttes alkalmazásával tudja kimutatni. Ez nem állt rendelkezésre a négy maggal vizsgált fúrás esetében, viszont a Szeghalom–50 jelű fúráson igen. Amennyiben ezt kapcsolatba lehet hozni valamilyen bontottságot kifejező paraméterekkel, akkor lehetséges rétegszerűen korrelálni, ami nagyon nagy mértékben eltérhet a paláság adta strukturától. Ilyet lehetett tapasztalni a KTB fúráson (Bajorország), ahol a mélyfúrás-geofizika a sűrűség és neutronporozitás mérések alapján egy rétegisméltődéseket tartalmazó struktúrára lehetett egyértelműen következtetni, miközben a szeizmikus horizontokon egy viszonylag nyugodt, vízszinteshez közeli rétegzettség látszik.

A paláság szerinti értékelés

A hagyományos karotázs felbontóképesége nem elég jó a paláság közvetlen kimutatásához, erre csak a lyukfal-leképező módszerek, mint az akusztikus lyukfal TV alkalmazások [13]. A hagyományos karotázsmódszerek a fúrás-palás kőzetre gyakorolt fellazító hatását tudják kimutatni az adott módszerre érvényes felbontóképeség szerint átlagoltan. Ezért a magon észlelt paláság dőlésszögét lehet összevetni a mélyfúrás-geofizikai mérésekkel, elsősorban az akusztikus és elektromos mérésekkel, mivel a nagyobb dőlésszögű paláság mellett a kőzet nagyobb fellazulása várható a lyukfal közvetlen környezetében.

A 167-es fúrásban a palásság meredeksége szerint a 2049–2058 m közti magszakasz valószínűleg diszkordánisan érintkezik az alatta levő résszel, mert az azt létrehozó stressz iránya biztosan különbözött a 2058–2076 m közti szakasztól. Az említett irányváltás egybeesik az elektromos ellenállás minimumával, ami valószínűsíti a tektonikai érintkezést. Valószínű, hogy valamilyen, a metamorfózis koránál jóval későbbi tektonikáról van szó. Az alsó magszakasznál (2076–2085 m) közt körülbelül 10–50 fok között változó, átlagosan 30° dőlésű a palásság. Sziliné 2067–2076 m között granitoid teléreket említ [9]. (A 176-os fúrásnál a nagyobb palásságmeredekségű szakasz a mechanikai állag szerinti rosszabb szakasszal esik egybe.)

A metamorf alaphegységi kőzetek egykori felszínközeli bontottsági öve

Hasonlóan a bátaapáti gránithoz [18], a szeghalmi metamorfit komplexumot is vastag mállási öv fedi. A kristályos kőzetek vagy csak általában a kemény formációk mállási kérgében a fizikai paraméterek többé-kevésbé hasonlóan változnak, mint egy konszolidálatlan üledék tömörödési [17] trendje esetében. Természetesen ezek a paraméterváltozások gyorsabbak és kevésbé egyértelműen mélységfüggők, mint a kompaktációs trendek esetében. Ennek oka, hogy nincs osztályozottság, mivel a folyamat egyfajta bomlás, nem pedig törmelékfelhalmozódás. A kőzet átalakultsága főleg repedezettségben és kémiai mállottságban nyilvánul meg.

A fizikai paraméterek mélység szerinti változása és azok egymás közti kapcsolatai alapján a metamorfit anyagú alaphegység mállási zónáját két fő részre lehet tagolni. A bátaapáti gránitra alkalmazott négy bontottsági övet [14] (GI homok, murva G II törmeléktől a kötött breccsáig G III, kémiailag némileg bontott, de már az akusztikus nyíró hullámokat vezető kőzet G IV erősebben repedezett közel a bontatlan kőzethez hasonló szónikus sebességű zóna) nem lehet egy az egyben alkalmazni. Ennek egyik oka, hogy még a mélyfúrás-geofizikai mérések intervalluma sem érte el az egykori felszíni bontottságtól érintetlen kőzeteket, másik oka pedig a 2000 m közeli fedettség és az ebből eredő fizikai változások. Ezzel együtt feltételezhető, hogy a felszínközeli bontási trend alja alatt a kőzet nagyjából a G III-nak esetleg a G IV-nek megfelelő bontottsági fokú.

A mállási zóna vagy bontottsági öv felső részében a kőzetnek jelentős porozitása és vízáteresztő képessége van, a fizikai paraméterek változása a mélységgel nagymértékű. A kőzet többé-kevésbé durvatörmelékes tulajdonságai, a mélységgel fokozódó cementáltságú, helyben maradt üledékekhez hasonló – lényegében ettől válhat rezervoárrá. A bontott övezet alsó, nagyobbik hányadában a repedések csak kis porozitást képviselnek, a fizikai paraméterek mélységi változása csak kismértékű, a kőzet repedezett sziklakőzetnek tekinthető, melynek nagyság-

rendekkel kisebb a vízáteresztő képessége, mint a felső résznek.

Metamorf kőzetek agyagásványos bontottságának kimutathatósága mélyfúrásgeofizikai mérésekkel

Figyelembe véve, hogy minden földtani jelenséget az elektromos és a szonikus hullámterjedésen alapuló módszerek lényegében a kőzet folytonossági hiányai és azok kitöltöttségi fokán keresztül tükröznek vissza – az anyagi minőség változásai elhanyagolhatók –, eleve hasonlóság kell legyen a bontott kristályos kőzetek és az üledékek fizikai modelljében. A mállási kéregben szinte minden repedés nyitottnak tekinthető, és ezért minimális a tortuozitás. Ez azt eredményezi, hogy az elektromos ellenállás sokkal kevésbé érzékeny a repedés geometriai változásaira, mint a kőzet cementáltsági állapotára jóval érzékenyebb akusztikus mérés.

A korrelálhatóság és ezzel a tektonikai értékelés lehetséges eleme a bontott zónák korrelálhatósága. A metamorf és magmás kőzetek esetében az agyagásványosodás azért következik be, mert a szilikátszerkezetek nagy mennyiségű kötött vizet vesznek fel, miközben a szerkezet stabilizálását biztosító interlayer kationok kioldódnak és távoznak belőle. Ezek egy része kálium, amelyben a K-40 izotóp radioaktív. A kötött víz mennyiségének növekedése mellett csökken a természetes gamma. Ezért a hidrogéntartalommal arányos neutronporozitás- és a természetesgamma-érték hányadosa arányos az agyagásványosodás mértékével. Gyakorlati okokból a bontottság mértékét célszerű inkább az arctg (N_{por}/GR) kifejezéssel jellemezni. A neutronporozitás hiányában vagy a mellett is, az akusztikus mérésből is lehet következtetni az agyagosságra kissé hasonló logikával, azaz az arctg ($A_{k_{\text{por}}}/\text{GR}$)-t használni bontottsági indexként.

Az agyagosság a mért V_p sebességből számított porozitás és a kőzet sűrűségporozitása közti különbséggel arányos. Tiszta agyag esetén ez a különbség 14–15%. Üledékes kőzetek esetében a mért akusztikus porozitás és az agyagmentes porozitás tömörödési trend [17] közti különbséggel arányos, mert az akusztikus hullámterjedési sebességre is hatással van az adszorbciónal kötött víz jelenléte.¹⁾ Alaphegységi metamorf és magmás kőzetek esetében a teljesen repedezésmentes bontatlan kőzet sebessége és az agyagra jellemző mátrixsebesség közti különbséggel arányos a számított agyagosság. Röviden összefoglalva az akusztikus porozitás hasonlóan a neutronporozitáshoz tartalmazza az adszorbciónal víz térfogatát is.

Karotázsszelvények értelmezése

A Karotázs szelvények értelmezése két fő részből áll:

- I. Mélyfúrás-geofizikai mérések és a magvizsgálatok együttes vizsgálata
- II. Mélyfúrásgeofizikai mérések egyedi értelmezése és korrelációs

I. Mélyfúrás-geofizikai mérések és a magvizsgálatok együttes vizsgálata

A fúrómagok állapota azok tagoltsága kapcsolatban van a kőzet eredeti mechanikai állapotával [12, 19]. A karotázs-szelvényekkel mért fizikai paraméterekkel való összehasonlíthatóság érdekében a fúrómagokat a következő kategóriák szerint kódoltuk a kőzet Szeghalmi fúrások magleírásában szereplő kategóriáknak megfelelően úgy, hogy az várhatóan a magok mechanikai állagát tükrözze:

- 10 keményen összeálló,
- 9 gyengén repedezett,
- 8 közepesen repedezett,
- 7 erősen repedezett,
- 6 üregek vagy nyitott repedés szakaszok,
- 5 lazán összeálló breccsás megjelenésű,
- 4 erősen széteset kőzet,
- 3 feltételezett vető,
- 2 maghiány.

A kőzetek elektromos ellenállása és az akusztikus hullámterjedési sebesség tükrözik vissza leginkább a kőzet *in situ* mechanikai állapotát. Természetesen nem várható a teljes egyezés, mivel a vizsgálatok körülményei nagyon különbözőek. A magelváltozások egy része a kihozatal körülményeivel függ össze szükségszerűen különbözik az *in situ* vizsgálat eredmény a labor méréstől [16].

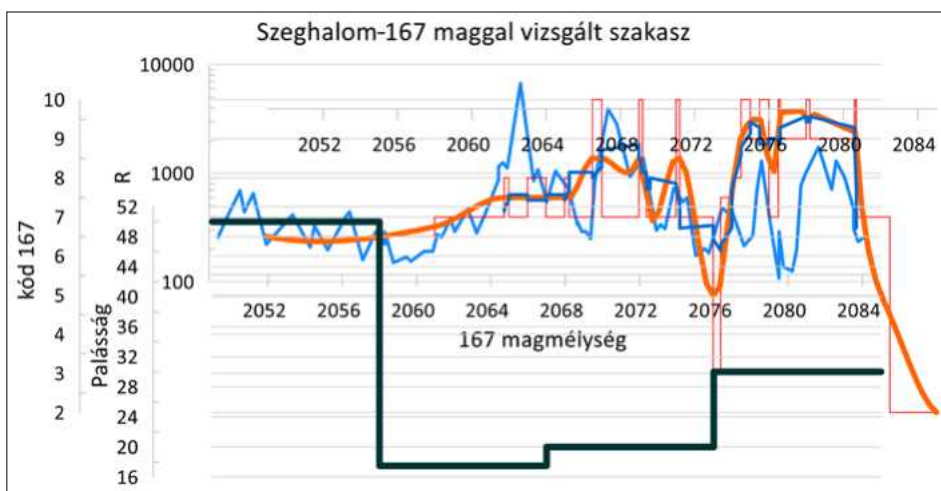
A magokat 2000 m-ről körülbelül 500 bar nyomásról hozzák fel, ezért természetes, hogy a magvizsgálat eredményei különbözhetnek az *in situ* vizsgálatétól. A sebességben ez azt jelenti, hogy amit a fúrásban 4000 m/s azt a fúrómagon 2000–2500 m/s-nak mérnek, ha egybeálló a mag. Tapasztalat szerint a nagyon ép repedésmentes magok esetében a fúrásban mért hangterjedési sebesség és a magon mérhető közt körülbelül 5000 m/s-nál egyezik. A lényeg, hogy az *in situ* mechanikai különbségek akár a kétszeresére is nagytódva jelentkeznek a magon. A kémi-

ai mállást a szeizmikusan mélységgel már kemény G-III zóna esetében eredetileg úgy definiáltuk, hogy a különféle részkötegek oldódnak ki vagy agyagásványosodnak. A szeizmikusan kemény azt jelenti, hogy az akusztikus hullámként a nyíróhullám beérkezése is már kimutatható. A teljes tömegben való átalakulás legfeljebb a G-I homok murvaállagú zónára sem biztos, hogy jellemző. A geofizikai mérések alapján megállapítható bontottsági zónákat csak trendek, mivel a bontottság fizikai paraméterekben való megnyilvánulásának való tendenciáját fejezi ki. Ebbe belefér az is, hogy a kőzet nagyobb akár 10 cm-es nagyságrendű darabokat tartalmaz még a G-II (törmelékű a breccsáig). A kémiai jellegű mállást egyébként csak következtetni lehet pusztán ellenállásmérés alapján, a teljes egzaktáshoz sok egyéb mérésre lenne szükség, amelynek nem vagyunk a birtokában (pl. spektrálgamma, neutronporozitás, sűrűség), így csak analógiákra tudunk támaszkodni, lényegében ezért szükségesek a pillérfúrások.

Mindegyik fúrásban a mechanikai állapot szerinti kódokból alkotott szelvények LOESS közelítéssel (Locally Weighted Regression and Smoothing Scatterplots, helyi súlyozott regresszió) lettek szűrve, hogy a karotázs-szelvényhez hasonlóak legyenek. Ez egy helyi súlyozott átlagot alkalmazó simító szűrést jelent.

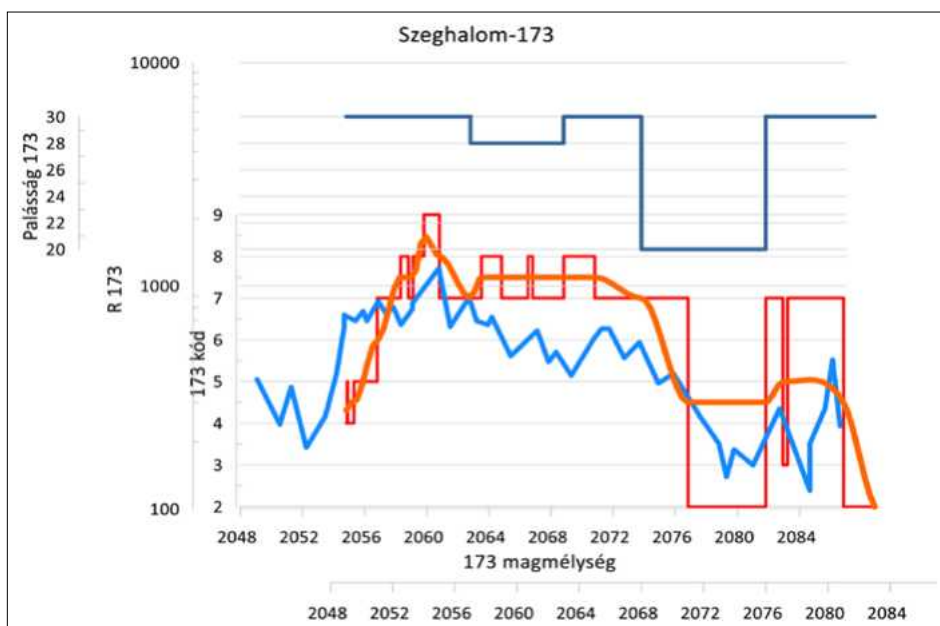
A Szeghalom-167 fúrás maggal vizsgált szakaszán (11. ábra) az ellenállásgörbe nagyjából 2 m-rel kisebb mélységgel illeszkedik a kódolt görbéhez. Figyelembe kell venni, hogy az ellenállásváltozás még logaritmikus léptékben is jóval nagyobb amplitudóval mutatja a mechanikai állapotbeli különbségeket.

A 2049–2067 m mélységközben diaforitosodott szürkésfehér gneisz található. Az 1. és 2. mag határán (2058 m) a palásság lefelé 50 fokról 15–20 fokra változik, ami diszkordáns érintkezésre utal (valószínűleg az 1. mag aljához közel a valódi határ). A nagy irányváltásból és a fajlagos ellenállásra való kis hatásból következtethető, hogy



11. ábra Fúrómagállapot és mélyfúrás-geofizikai ellenállásmérés közti egyeztetés a Szeghalom-167 fúráson. Piros: szűrt fúrómagállapot kód, kék: elektromos ellenállás

Figure 11 Fitting between the core condition and the deep borehole-geophysical resistivity measurement at the borehole Szeghalom-167



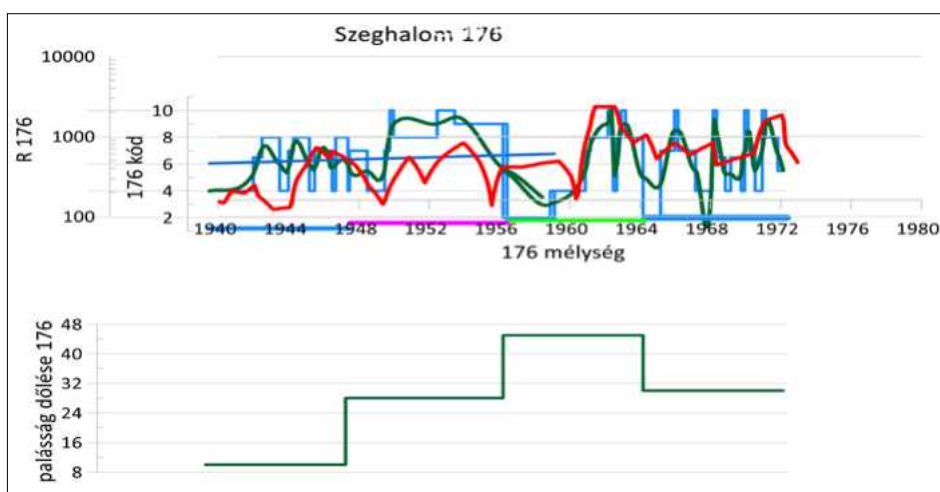
12. ábra Fúrómagállapot és mélyfúrás-geofizikai ellenállásmérés közti egyeztetés a Szeghalom-173 fúráson. Piros: szűrt fúrómagállapot kód, kék: elektromos ellenállás

Figure 12 Fitting between core condition and deep borehole-geophysical resistivity measurement at the borehole Szeghalom-173

ez a diszkordancia nem tartozik a neotektonikához, a Panon-medence beszakadásánál régebbi.

A 2067–2085 m mélységközben a fúrás zöldes sötétszürke, változó mértékben diaforitosodott gneiszt harántolt a fúrás, amelyben 2067–2076 m közt gyakoriak a leukosávok, 2076-nál a palásság szerint diszkordáns az érintkezés az alatta levő szakasszal. Ezt megerősíti, hogy 2076 m-nél ellenállásminimum van, amely egy 2068–2073 m mélységközben azonosított ellenállás-csökkenési trend alsó vége. Feltételezhető, hogy ahol alul van a minimum, az normál meredek vetőre utal.

A 2062,5–2066 m között a 2068–2073 m közti trendhez hasonló normál vetőre utaló ellenállástrend látható, amely a magállapot kódoló görbén 2069 m-nél jelenik meg. Az ellenállásminimum alapján feltételezett vetőtől felfelé a mag állaga átlagosan rosszabb, mint alatta. A 2076 m-ben azonosított palásság szerinti diszkordancia ugyan csak kicsi, viszont éppen ezért valószínű, hogy itt a meredek normál vető, amelyre a karotázis görbe alakjából lehet következtetni, az árokképződéssel kapcsolatos, vagyis neogén mozgás nyoma lehet. Ezt az állítást az erősíti, hogy az ellenállásgörbén azonosítható jelenség a felszínről induló



13. ábra Fúrómagállapot és mélyfúrás-geofizikai ellenállásmérés közti egyeztetés a Szeghalom-176 fúráson. Piros: elektromos ellenállás, zöld: szűrt fúrómagállapot kód

Figure 13 Fitting between core condition and deep borehole geophysical resistance measurement at the borehole Szeghalom-176

mélységtrendbe már nem esik bele az Sz-167. fúrásban. Az Sz-167. fúrás gneiszes szerkezete 2076 m alatt 9 m vastagságban amfibólos gneisznek tekinthető [9]. A normál vetőnél nincs rétegismétlődés, nem fordul meg a sorrend, viszont korábbi tektonikus mozgás eredményeképpen előfordulhat.

A 173-as fúrásban az említett az egykori felszínközeli bontástól legkevésbé érintett G III vagy G IV szakaszt fúrómaggal vizsgálták. A magállapot szerinti kódolás összhangban van az ellenállás változásaival a magmélység és a mélyfúrás-geofizika közt valószínűleg vonatkoztatási pont különbség miatt 6 m különbség van (12. ábra).

A 167-es fúráshoz hasonlóan itt is az ellenállás-csökkenési trendek legalsó pontján harántolhatta vetődés a fúrást, ami itt egybeesik a maghiányos szakasszal. A palásság dőlésszögátlag a egész maggal vizsgált szakaszon egységesen 30 fok, kivéve a maghiányt tartalmazó szakaszon, ahol az átlag 10 fokkal kevesebb, amit az is valószínűsít, hogy az ellenálláson 2080 m körül azonosítható a fúrást harántoló vetődéstől felfelé van maghiány, és felett van elvonszolódáshoz kapcsolódóan az átlagos palássági dőlés-től laposabb szögű palásság. A vetődés felett hosszan követhető ellenállástrend a kódolt kőzetállapoton kevésbé azonosítható. Nagy valószínűséggel ez is meredek szögű, közel vertikális a Pannon-medence lesüllyedése közben létrejött vető.

A Szeghalom-176 fúrás maggal vizsgált részén (13. ábra) a legrosszabb állapotú szakasz a legmeredekebb átlagos palássági dőlés környezetében található. Lehetséges, hogy a nagyobb észlelt palásság valójában meredek normál vetődéshez kapcsolódó elvonszolódás hatását tükrözi a palásságon, amit a Szeg-176 fúrásban mért rétegdőlésmérés (Szeghalom-176 mérések, SZTFH adattár) is alátámaszt.

A Szeghalom-180 fúráson (14., 15. ábra) mélységegyeztetés után a magállapotot jellemző kódolt görbe jól

egyeznek az ellenállásgörbével. A kőzet rossz állaga miatt 2027 m-től 2054m-ig 27 m maghiány van. Ezért a mélységegyeztetést is két részletben ábrázoljuk.

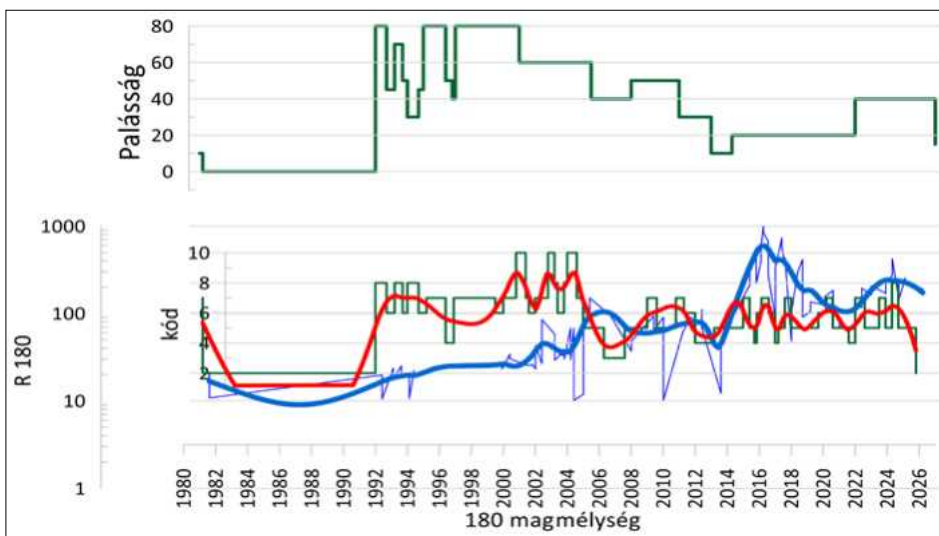
A felső maghiányos szakaszon az elektromos ellenállásgörbén minimum van. 1992-től a mag állaga ott válik jobbá, ahol az ellenállás meghaladja a 20 ohmm-t. 1992–2014 m között a felfelé egyre meredekebbé váló palássággal az ellenállás felfelé egyre kisebb. Ez meredek dőlésű tektonikai zónára utal (a vető dőlése valószínűleg 80 fok lehet), viszont a palásság valódi dőlésértéke valószínűleg 20–40 fok között van.

A Szeghalom-180 alsó maggal vizsgált szakaszán (15. ábra) a magállapot (piros) és az ellenállás (kék) jobban illeszkedik egymáshoz, mint a felső maggal vizsgált szakaszon, a palásság kisebb dőlés értékei inkább lokális ellenállásmínimumokhoz köthetők. Megjegyezzük, hogy a variszkuszi tetőt 1981 m-ben a többi fúrástól eltérően fúrómag harántolta. Azonban az 1. mag fúrását 2081,20 m alatt a kőzet rossz állékonyága miatt nem lehetett folytatni a kristályos aljzatban. Mindössze egy 20 cm-es amfibolit rész tudott hozzákötődni a bádenien homokkőhöz.

Összegezve a négy maggal vizsgált fúrás esetében a legvalószínűbb palásságdőlés-érték maximum 40 fok körüli, ami ennél nagyobb, az utólagos tektonikai hatás lehet.

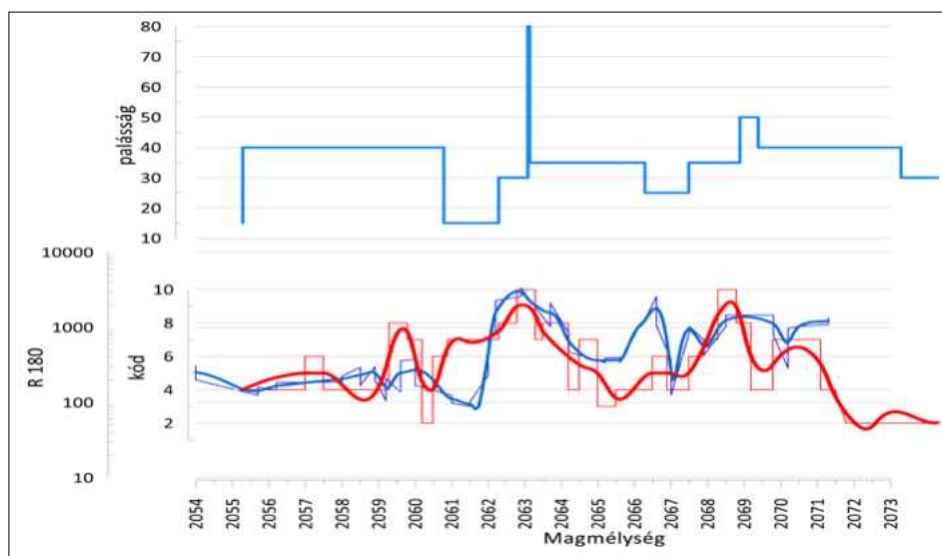
II. Mélyfúrásgeofizikai mérések egyedi értelmezése és korrelációs lehetőségek

A négy legtöbb maggal mért fúráson nem állt rendelkezésre olyan digitalizált mélyfúrásgeofizikai szelvény, mint a Szeghalom-50 fúráson, ahol az elektromos ellenálláson kívül természetesgamma- (GR), sűrűség- (DEN), akusztikus dt-, SP-mérést is végeztek. Ezért a Szeghalom-50 fúrás példáján mutatjuk be az alaphegységbeli agyagosság érté-



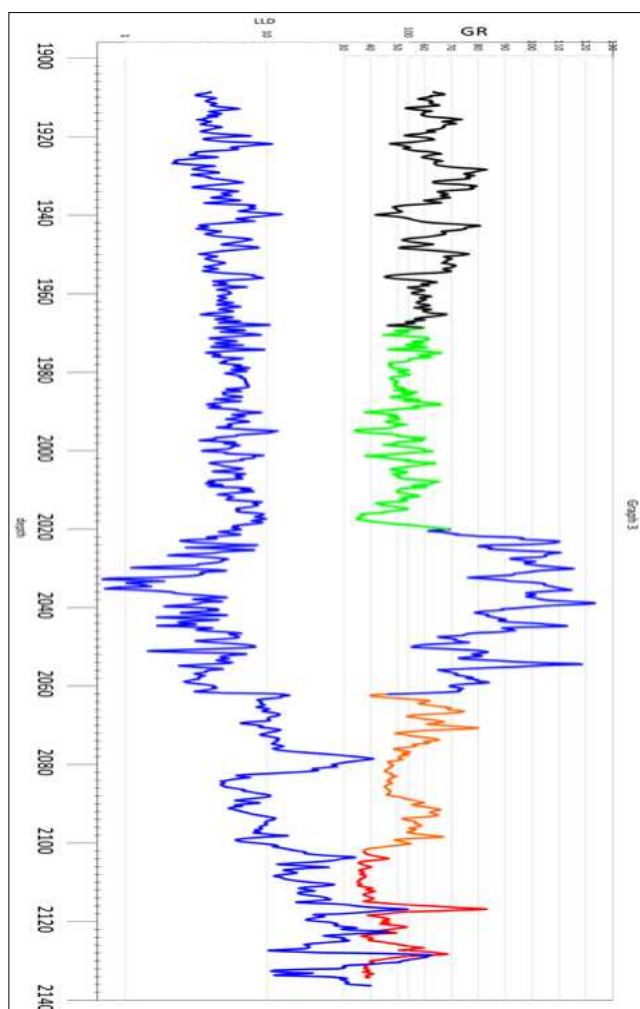
14. ábra Fúrómagállapot és mélyfúrás-geofizikai ellenállásmérés közti egyeztetés a Szeghalom-180 fúráson az 1981–2027 m mélységszakaszon. Piros: szűrt fúrómagállapot kód, kék: szűrt elektromos ellenállás

Figure 14 Fitting between core condition and deep borehole geophysical resistance measurement at the borehole Szeghalom-176, in the section 1981–2027 m



15. ábra Fúrómagállapot és mélyfúrás-geofizikai ellenállásmérés közti egyeztetés a Szeghalom–180 fúráson a 2054–2073 m közötti szakaszon. Piros: szűrt fúrómagállapot kód, kék: szűrt elektromos ellenállás

Figure 15 Fitting between core condition and deep borehole geophysical resistance measurement at the borehole Szeghalom–180, in the section 1981–2027 m



16. ábra A Szeghalom–50 mérés görbéi
Figure 16 Measurement curves of Szeghalom–50

kelését az üledékes kőzetekben szokásos agyagindikátorokhoz képest. A természetes gamma-szelvényen (GR) a fekete és a zöld szakasz aljág (2022 m-ig) alsó-Pannon, szarmata átmenetnek felelnek meg.

A piros szakasz (16. ábra) a metamorf alaphegységben lett mérve. A kék színű szakasz (2020–2062 m) és a narancs színű szakasz (2062–2102 m) felelnek meg együttesen a bádeni korú összletnek.

Az Sz–50. fúrás eredeti fúrómagok szerinti leírása:

1. mag: 2047–2053 m (6,0 m)

1/1 rész 0,25 m márga

1/2 rész (0,5 m) homokkő

1/3 rész (5,25 m) meszes aleurolit, agyagmárga

Kor: bádeni-szarmata átmenet, gazdag fauna alapján

2. mag: 2076–2078 m (2,0 m) homokkő

Kor: miocén fauna alapján

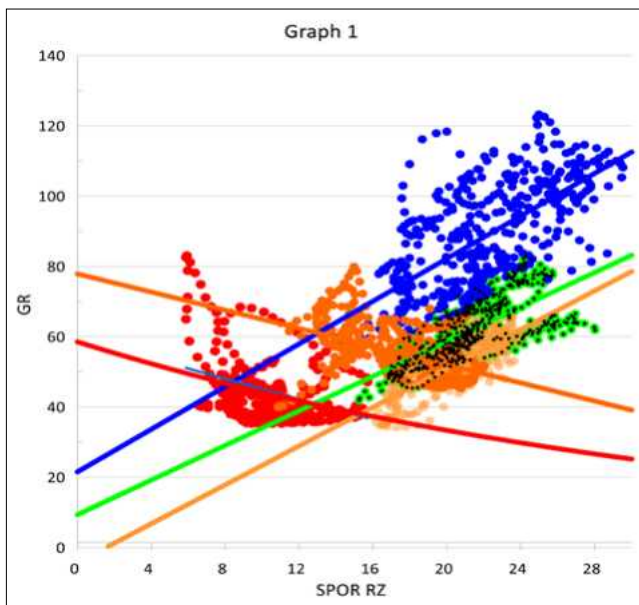
3. mag: 2138–2141 m (2,8 m)

erősen diaforitosodott amfibólos gneisz?, amfibolit?

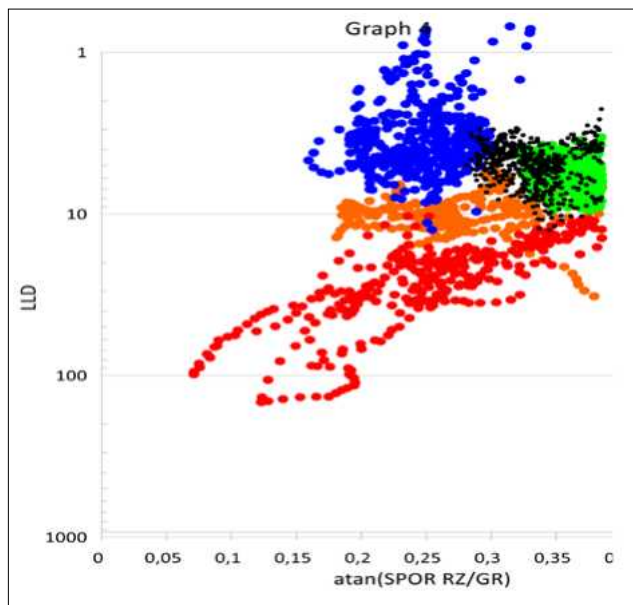
Korbeosztás: 2022 m-ig alsó-pannoniai, 2022–2102 m

bádeni–szarmata átmenet, 2102–2141 m prekambrium²⁾

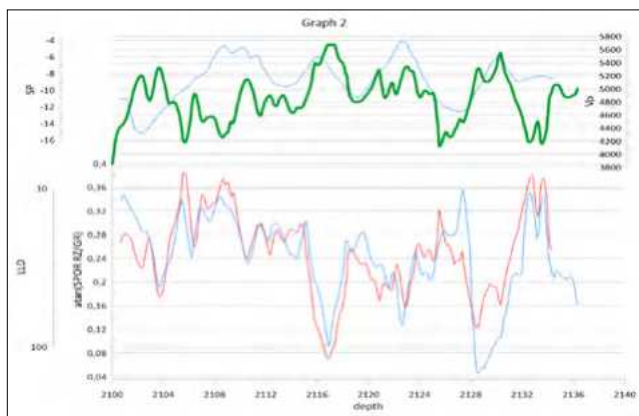
A bádeni–szarmata átmenet határozottan két részre különül a természetes gamma (GR) szerint, amit külön szín jelez (16. ábra). A felső rész túlnyomóan agyagmárga, az alsóban több a homok. Ami viszont még inkább különbözőnek mutatja a két részt, az az elektromos ellenállás és a GR viszonya. Az összes pontról készített crossploton (17. ábra) ez jól látszik. A crossploton a pontok színe a görbén színnel jelölt intervallumaira utal. Mindegyik intervallumon a pontokra illesztett lineáris regresszió is fel van tüntetve. Ez alapján a miocén alsó része (narancs színű) esetében a porozitás növekedésével csökken a természetes gamma ugyanúgy, mint a metamorfit összletben, ami azt jelenti, hogy a szállítási távolság nem lehetett nagy.



17. ábra | A Szeghalom-50 akusztikus porozitás-GR crossplot
 Figure 17 | Szeghalom-50 acoustic porosity-GR crossplot



18. ábra | Szeghalom-50 bontottsági index – elektromos ellenállás crossplot
 Figure 18 | Szeghalom-50 alteration index – electrical resistivity crossplot



19. ábra | Bontottsági index a Szeghalom-50 fúrás metamorfitot harántolt szakaszán
 Figure 19 | Alteration index of the well Szeghalom-50 metamorphite in its transverse section acoustic porosity-GR crossplot

A fentiek alátámasztására mutatjuk be a bontottsági index ($\text{atan}(\text{SPOR RZ}/\text{GR})$) és az elektromos ellenállás kapcsolatát (18. ábra). Látható, hogy a metamorfit összlet (piros) esetében az elektromos ellenállás annál kisebb, minél nagyobb a bontottság, a fedő miocén bádeni alsó része (narancssárga) majdnem közömbös, kb. 10 ohmm körüli az ellenállás függetlenül a bontottsági indextől. A fedő üledékes kőzet többi részében úgy néz ki, mintha az ellenállás gyengén növekvő tendenciát mutatna, azaz lényegében egyáltalán nem érvényes rá az alaphegységre érvényes összefüggés.

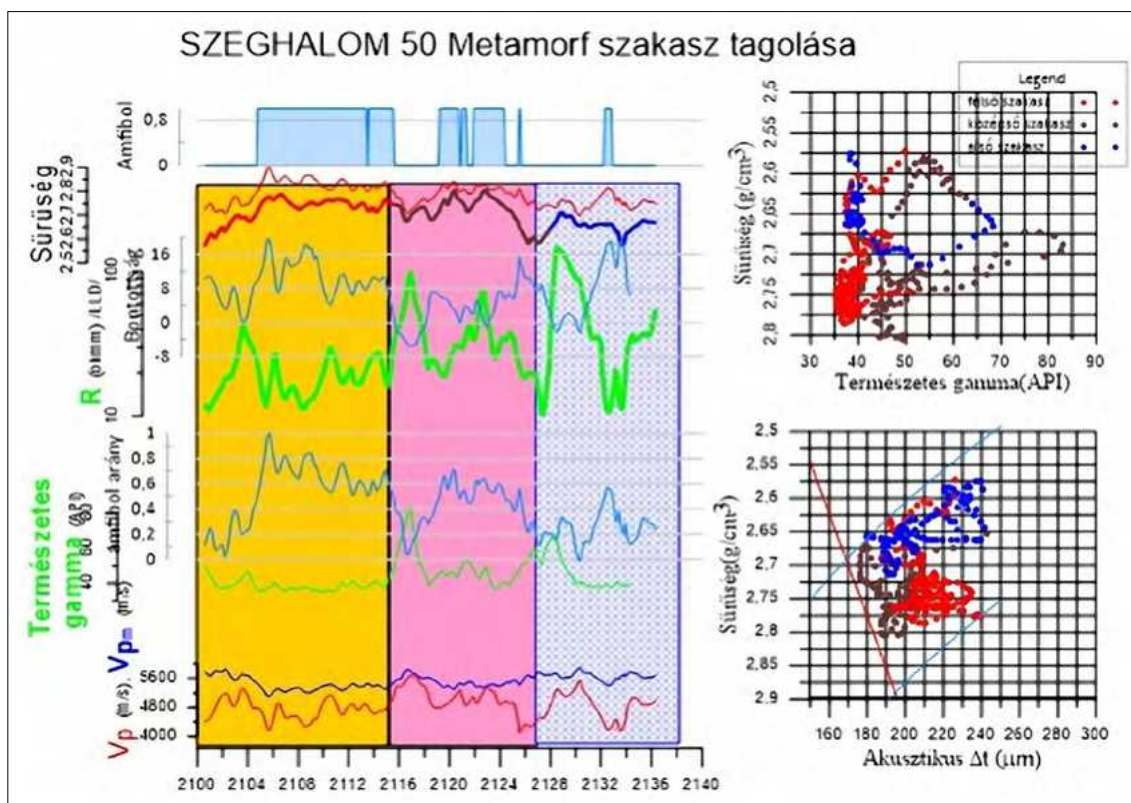
A 19. ábra a Szeghalom-50 fúrás metamorfit szakaszán a bontottsági index (piros) és az elektromos ellenállás (LLD) (kék) korrelációját mutatja be kiegészítve az akusztikus sebesség (zöld) és az SP-mérésgörbével. Szembetűnő, hogy a fordított skálán ábrázolt ellenállásgörbe jól korrelál

az akusztikus porozitásból és a természetes gammából számított bontottsági indexszel, vagyis valóban az agyagásványosodást fejezi ki.

Metamorf kőzetek litológiai komponensek szerinti értelmezése

A természetes gamma a sűrűség- és akusztikus mérések alapján két mátrixkomponens aránya lett számolva (amfibolarány) (20. ábra). A két komponens az amfibolitnak megfelelő $2,9 \text{ g/cm}^3$ sűrűségű, $195 \text{ } \mu\text{s/m}$ (5128 m/s) fajlagos terjedési idejű összetevő és a (vagy másként, a fizikai paraméterek szerint a felsőkéreg granitoidjainak) megfelelő $2,68 \text{ g/cm}^3$ sűrűségű, $172 \text{ } \mu\text{s/m}$ (5814 m/s). A mátrixkomponensek fizikai paraméterei a mérésadatokból felvett crossplot alapján lettek felvéve. Messze vannak az amfibolitra vonatkozó elméleti értéktől, viszont ha a sarokparaméter egy alapvetően granitoid összetételnek megfelelő kőzet, színes elegyrészekkel lényegében elvi értékek [10].

Ez alapján az amfibolitkomponens valójában amfibolos gneisznek felel meg. A sarokpont számított értéke, ami a méréspontfelhő érintő porozitásmentes pontok halmazát tartalmazó egyenes metszés pontja a porózus anyagnak megfelelő függvénygörbével. A mátrixkomponensek alapján a metamorfitot harántolt szakasz három részre osztható, ami az amfibol fejlécű szelvényen jelenik meg. A sűrűség mellett ugyanazzal a fejléccel a mátrix sűrűsége is meg lett jelenítve. Ugyanígy a mért V_p -vel együtt a számított mátrix V_p görbe is megjelenik (V_{pm}). A 20. ábrán látható a bontottság ($\text{atan}(\text{SPOR RZ}/\text{GR})$). A görbék alapján az amfibolszakaszokon kisebb az ellenállás, nagyobb a bontottság, nagyobb a mátrixra jellemző sűrűség, viszont ki-



20. ábra | Litológiai komponensek számítása a metamorf anyagú aljzatban mélyfúrásgeofizikai mérésekből
 Figure 20 | Calculation of lithological components in the metamorphic material substrate from well logs

sebb a mátrixsebesség. A gneiszkomponensre nagyobb természetes gamma, nagyobb mátrix sebesség, de kisebb sűrűség jellemző.

Korreláció mélyfúrás-geofizika alapján

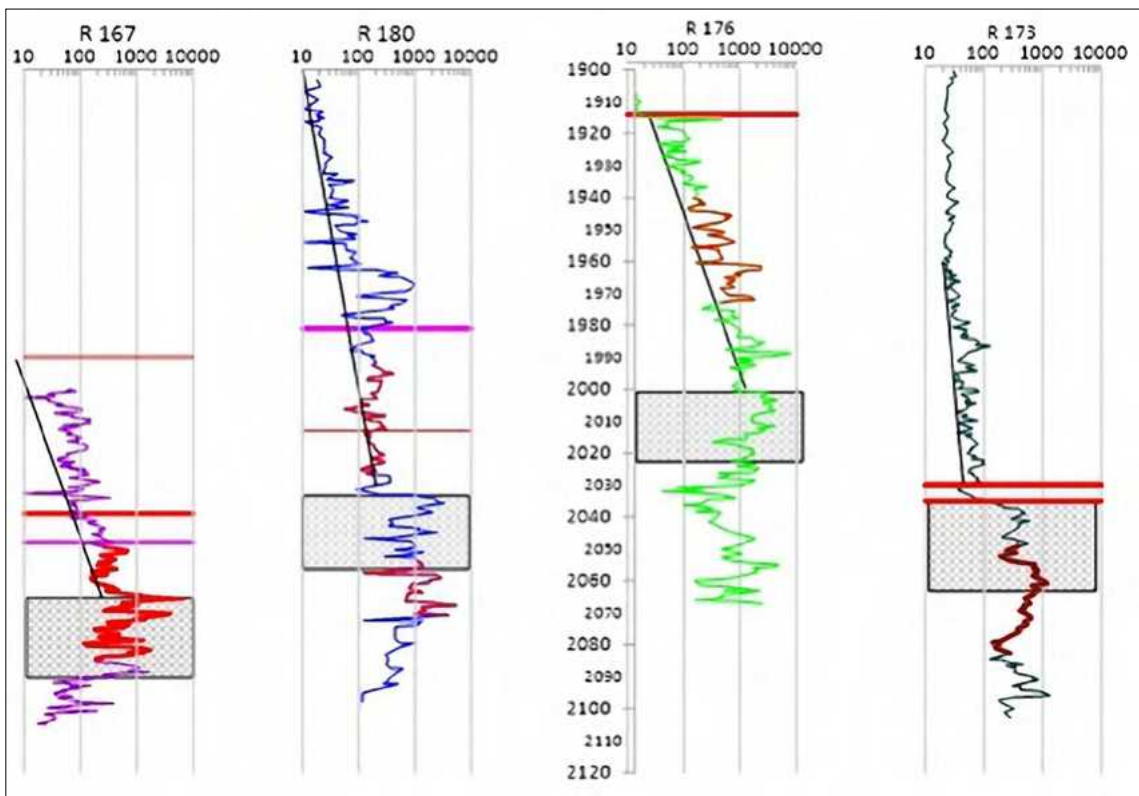
Üledékes környezetben a rétegleírásból kapott információk alapján a fúrásokat korrelálni lehet egymással, alaphegységi kőzetekben ez nem annyira egyértelmű. A korrelációhoz szükséges valamilyen rétegszerű alakzat. Ilyen lehet a felszínközeli bontottsági zóna. A szálban álló aljzat legfelső zónája különösen érintett lehet a felszíni mállási folyamatok által, amely a szeizmikus sebesség alapján nem különül el egyértelműen a fedő üledékes kőzettől. Az ellenállásgörbén a konszolidációs trend azért látható, mert a bontott alaphegységi kőzet belső fajlagos felülete kisebb, mint a felette lévő üledékes kőzeteké, így nagyobb az elektromos ellenállása [18].

Az ellenállásgörbék alapján a bontottsági zónát fel lehet osztani egy felszíntől induló mélységtrenddel jellemezhető fellazulási trendre és a felszíni hatásoktól közvetlenül nem érintett részre. Feltételezhető, hogy a felszínről induló bontási hatások nagy valószínűséggel mindenhol hasonló mélységig értek le. Ezért a valószínű tektonika megállapításához mélységtrendek alatti felszíni hatásoktól nem érintett kőzet tetejét használtuk. A 21., 22. ábrán sraffozott téglalappal jelöltük a legfőbb korrelálható elemet. Ha a mért görbéket mélység szerint egy szintbe toljuk el úgy,

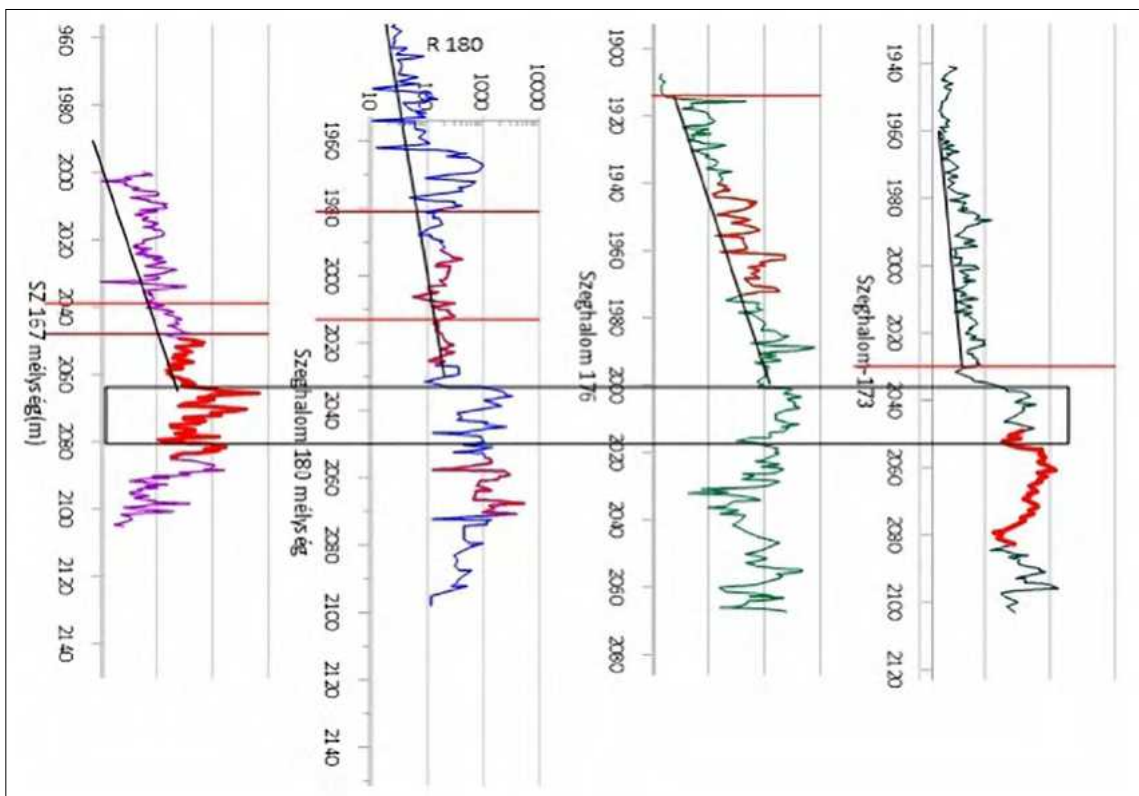
hogy bejelölt elemek egy szintbe essenek az eltolás mértékéből megkapjuk a vélt vertikális tektonikai elmozdulás mértékét (22. ábra).

A variszkuszi tető megállapítása magvizsgálatok alapján meglehetősen bizonytalan, mivel egyedül a 180-as fúrásban van egy 20 cm-es magdarab, amely a bádeni-variszkuszi határt bizonyítja. (Meg kell említeni azonban, hogy ez alatt 10 m maghiány van, mert a kőzet rossz állékonysága miatt nem lehetett folytatni az 1. sz. mag fúrását.)

Az 21. ábra alapján megállapítható, hogy a fúrómaggal vizsgált szakaszok (a görbéken piros színnel jelölve) más-más részét mintázzák meg a mállási övnek, ezért az ilyen alapú korrelációjuk önmagában nem elvárható. Ebből a szempontból érdemes megvizsgálni a 167-es és a 173-as fúrások közti korrelációt. Megemlítjük, hogy önmagában a mélyfúrás geofizika alapján meghatározható variszkuszi tető meghatározás is bizonytalansággal terhelt, mivel az alaphegységi kőzet fellazulási trendje hasonló a fedő miocén bádeni, főleg metamorf törmelékből álló homokkő felfelé finomodó összletként értelmezhető ellenállás-csökkenési trendjéhez. A 21. ábrán látható, hogy a 167-es és 176-os fúrásban a fellazulási trend szinte ugyanazzal a függvénnyel írható le. A 180-as fúrásban és a 173-asban az utóbbi mélységtrendje egyértelműen már üledékre utal, míg az előbbi egy erősen fellazult, de szálban álló kőzetre.



21. ábra Korreláció ellenállásgörbék szerint
 Figure 21 Correlation between wells according to resistivity curves



22. ábra A görbekorreláció szerint legvalószínűbb neotektonikai elmozdulások rekonstruálása
 Figure 22 Reconstruction of the most likely neotectonic displacements according to the curve correlation

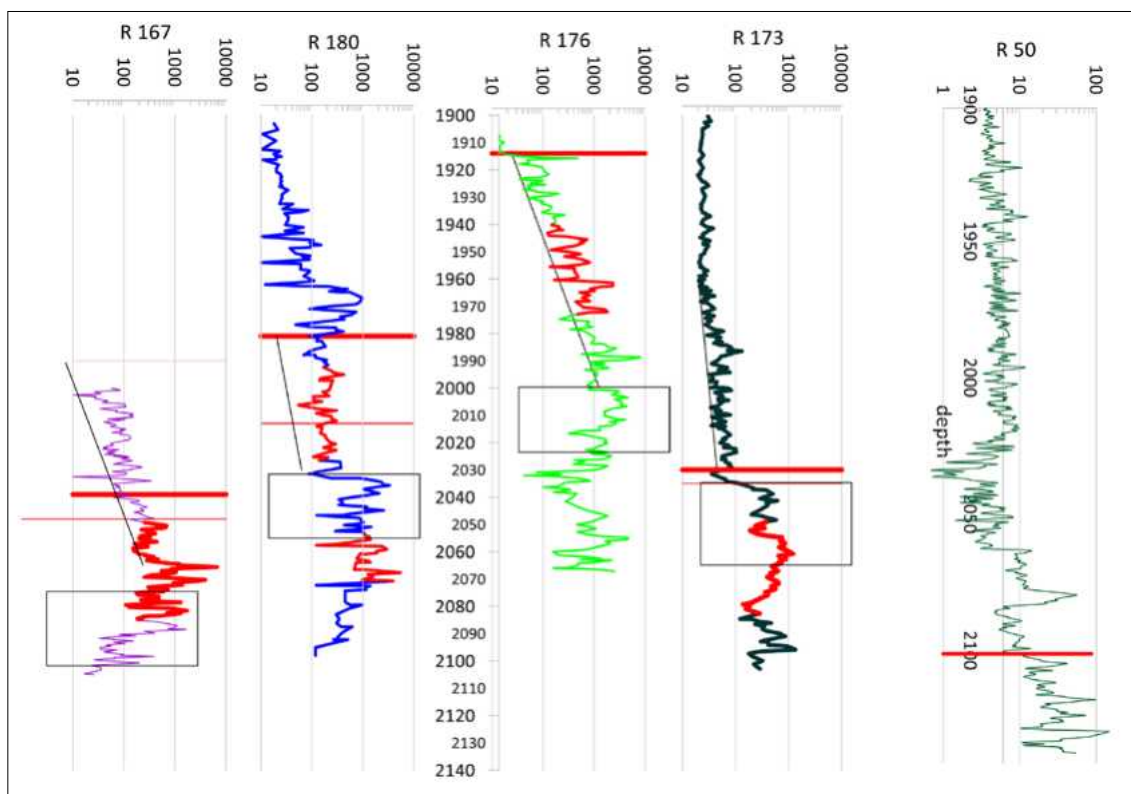
Mind a négy fúrásnál megfigyelhető, hogy a téglalappal megjelölt szint alatt, a fúrás talpa felett fellazulásra utaló ellenállás minimum található. A 167-es és 180-as fúrásban ez lefelé csökkenő ellenállástrendet jelent. Fúrás mélységben ez a 167-esben a 2090–2105 m mélységek között jelenti, a 180-asban pedig a 2070–2100 m szakaszt. A 176-os és a 173-as fúrásban a másik kettőhöz hasonló helyzetben szintén található a téglalappal jelölt egység alatt szintén megtalálható lefelé csökkenő ellenállástrend, azonban ez csak a 173-asban egyértelmű 2060–2080 m között. A 176-os fúrásban ez csak akkor áll össze trenddé, ha 2010–2030 m között vesszük. Sokkal dominánsabb jelenség mindkét fúrásban az említett trendek alatt található, lefelé ellenállás-növekedési trend, amely inkább kompresszióra feltolódásra utal. A 176-os fúrásban 2030 m-nél tételezhető fel, hogy vető harántolja a fúrást a 173-asban pedig 2080-ban. A két fúrásban csak akkor tartozhat össze a két vető, ha azok közel horizontálisak, azaz egy korábbi tektonikára utalnak.

Az eredeti négy fúrást korreláltuk a Szeghalom–50 fúrással. A Szeghalom–50 fúrás metamorfitot harántolt szakasza 2100 m alatt kezdődik. Az értelmezés szerint a metamorfit felső része döntő részben „amfibolit”, és az alsó részen 2126 m-től lefelé gneiszt harántolt.

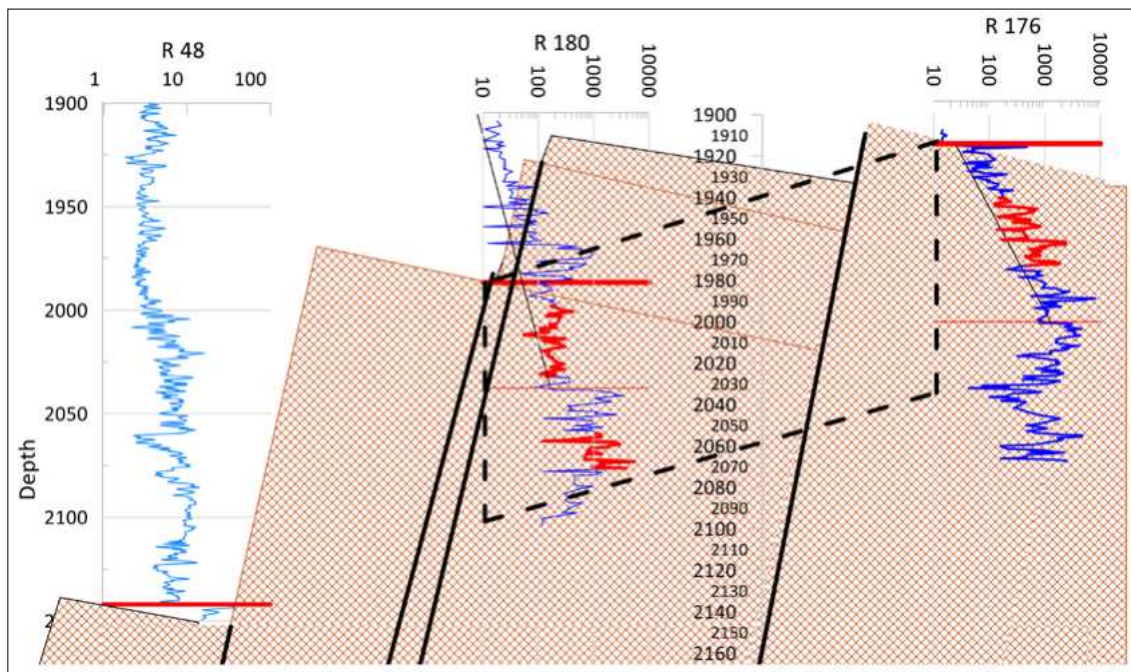
A vastag piros vízszintes vonalak a variszkuszi tetőt jelzik. A 23. ábrán az Sz–176, Sz–173 fúrások és az Sz–50 esnek egy vonalba a valóságban. Feltűnő, hogy az Sz–173 fúrásban a téglalappal jelölt egység felett rögtön az üledé-

kes összlet következik kis gradiensű konszolidációs trenddel, azaz hiányzik a metamorfit bontottsági övének konszolidációs trenddel jellemezhető része. Ebből következtethető, hogy az általános az Alföld aljzatának lesüllyedésével kapcsolatos tektonikához igazodva meredek vetődések sorozatával magyarázható a korreláció.

A 24. ábrán az Sz–180-as fúráshoz közeli Sz–48 fúrással együtt az Sz–50, Sz–180, Sz–176 korrelációs vonalon található elektromos ellenállás-görbék alapján jelenítettük meg a normál vetők eredményeként kialakult lépcsőzetes aljzati geometriát. Ábrázolásunk szerint az Sz–50 fúrásban a metamorfit fölött diszkordanciával következik az üledékes kőzetösszlet, nincs átmenet. Az Sz–180 fúrás valószínűleg egy meredek vető közvetlen közelében helyezkedik el, és valószínűleg az harántolta is. Az Sz–176 fúrásban a bontottsági zóna fellazulási trenddel jellemezhető felső része vastag, valószínű ez a fúrás nem harántolt nagyobb meredek vetőt. Valószínű, hogy a lépcső tetejéhez közel vastagabb az aljzaton belüli bontott zóna felső része, miközben a lépcsők tövében a klasztikus üledékes kőzet összlet vastagabb. A bádeni homokkőösszlet alsó része eszerint nagyon közelről származó metamorfit törmelék, viszont a felső rész messzebből szállított. Ezt a 17. ábra crossplotja támasztja alá, aminek értelmében a metamorfit anyagú üledékes kőzetben a látszólagos porozitással csökken a természetes gamma. A távolabbról szállított üledékből származó kőzetekben ez fordítva van (ezért lehet a természetes gamma agyagindikátor távol a forráskőzetektől). Az így felvázolt



23. ábra Korreláció a Szeghalom–50 fúrással mint pillérfúrással kiegészítve
Figure 23 Correlation with the well Szeghalom–50 as a pillar well



24. ábra | A szeghalmi fúrásokból következtethető tektonikai stílus
 Figure 24 | Tectonic style inferred from the boreholes at Szeghalom

tektonikai stílus a rezervoár szerkezete szempontjából lényegében azt jelenti, hogy az alaphegységi kőzetekben egy nagyobb rezervoár sok, egymással viszonylag gyenge hidraulikai kapcsolatban lévő kis rezervoárokból áll.

A vastag vízszintes piros vonal jelzi a variszkuszi tetőt, a vastag fekete vonalak jelzik a feltételezett meredek vetőket. Az ellenállásgörbéken pirossal van jelölve a maggal vizsgált szakasz.

Összefoglalás

A szeghalmi területen folyamatos magfúrással mélyült Sz-167, -173, -176, -180. fúrásokban, 33,5 m, 27 m, 29,3 m, 49,9 m vastagságban feltárt variszkuszi felszíni, felszínközeli metamorf kőzetmagok és a fúrások teljes hosszán mért karotázsmérések a jelenlegi állapotot tükrözik.

A fúrások metamorf képződményei heterogén jelleget mutatnak, a kőzettípusok vertikális váltakozása, az eredeti metamorf ásványok különböző mértékű retrográd átalakulása, kémiai mállása, a sokféle tektonikai mozgás által kiváltott elmozdulások, vetődések, gyakori töréses szerkezeti formák miatt.

Közel függőleges vetődések következtében jelentős mértékű fizikai fellazulás a magfúrásra alkalmatlan, rossz állékonyságú szakaszokon történhetett meg, elmozdulást eredményezve és a vetőbreccsának tekinthető breccsásodott sávokban.

A szeghalmi terület egészére vonatkozó meredek dőlésű vetődések túlsúlyba kulcsfontosságú lehet az aljzat szerkezeti helyzetének kialakításában.

Nyírással jellegű mozgások is szerepet játszhattak a kőzetek bizonyos mértékű felaprózódásában, elmozdulásában.

A retrográd metamorfózis és az egykori fedetlen felszíni kitérttség miatti mállási folyamat egyaránt az ásványok kémiai mállását eredményezte, az utóbbi főleg a földpátok kémiai lebontását, agyagásványosodását.

A metamorf aljzat bontottsági öv alatti fellazult zónáinak kialakulása főleg a neogén előtti tektonikai mozgások következménye lehet, amelyek megelőzheték a miocén üledékes kőzetek kialakulását. Erre utalhat a szeghalmi kristályos aljzat és a közvetlen rátelepülő miocén üledékes kőzetek eltérő töréses tektonikai igénybevétele. Egybeeshettek a Tiszai főegység alsó miocénben, a jelenlegi helyére történő megérkezése előtti takaróképződéssel járó globális tektonikai mozgásokkal.

A Pannon-medence süllyedése során, amely az Alpi kompressziós tektonika után történt, az Alföldön elsősorban extenziós jellegű tektonika történt, ezért a neogénban nem valószínű, hogy a térségben feltolódásos jellegű tektonika lett volna. A takaróképződésnek a miocén előtt kellett létrejönnie. Általánosságban, ha megfelelően hosszú mélységszakaszt fúrtak volna, takaróképződés során rétegismétlődést kellene látnunk. Ezt fúrásban csak kevés helyen igazolták, mert az aljzatba csak kevés helyen fúrtak bele olyan hosszúságban, hogy ez egyértelmű legyen. Az egyik kivétel a Sáránd-1 fúrás, ahol 924 m vastagságban feltárt metamorfit összlet után megint mezozoós rétegek következtek. A Battonyai-hát területén több helyen a mezozoikumon belül van réteggösszlet-ismétlődés. A miocénben az andezites vulkánosság befejeződése után kezdődött a medence süllyedése. A süllyedés során elsősorban

meredek dőlésű vetők jöhettek létre, ami lépcsőzetes alaphegységi domborzatot hozott létre, és ennek következtében a rezervoár erősen széttagolt, hidraulikailag egymással gyenge kapcsolatban álló részekből áll.

Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönik szépen dr. Bodoky Tamás főszerkesztőnek az előzetes véleményezését tanácsait, a bírálók és a tisztelt Szerkesztőbizottság és a technikai szerkesztő munkáját.

Szili Györgyné: Részemről hálás köszönet illeti Lukács Andreát és Nusszer Andrást, akik részt vettek az Sz-167, -173, -176. fúrások ásványos összetételének vékonycsiszolati meghatározásában, Tasnádi Eleonórárt és Kiss Sándort néhány kőzetminta röntgenvizsgálataért, Hámor Nándornét a 8. ábra megrajzolásáért és Kakuk Zénó unokámat az 1. ábra digitalizálásáért. Szeretettel gondolok férjemre a hasznos tanácsaiért, bírálatáért.

A tanulmány szerzői

Zilahi-Sebess László, Szili Györgyné

Rövidítések

Akdt, dt – fajlagos akusztikus hullámterjedési idő ($\mu\text{s}/\text{m}$)
 $A_{k_{\text{por}}}$ SPOR RZ – az akusztikus dt-ből számított porozitás
 GR – Gamma Ray ($\mu\text{R}/\text{h}$)
 TG – Természetes Gamma ($\mu\text{R}/\text{h}$)
 Fiads – adszorbcíósan kötött vízzel kitöltött porozitás
 V_p – akusztikus kompressziós hullámterjedési sebesség

Jegyzetek

¹⁾ Ha az üledékes vagy a magmás és metamorf kőzetek átlagos ásványszemcséit átlagos fajlagos akusztikus hullámterjedési idővel (dt) jellemezzük, az nagyjából a homokszemcsékre jellemző, körülbelül $170 \mu\text{s}/\text{m}$ (kb $6000 \text{ m}/\text{s}$ sebesség). Ha az ásványszemcsé sűrűségéből számítunk porozitást, akkor a homok és az agyagszemcsék sűrűségét egyenlőnek véve kapjuk a sűrűségporozitást. Agyag esetében a sűrűségporozitás a kapillárisban kötött porozitást jelenti, amely azonban nem tartalmazza az adszorbcíós víz által elfoglalt pórustérfogatot, amit úgy is lehet tekinteni, mint a homokok esetében az effektív porozitást. A homok és a bontatlan metamorf és magmás kőzetek esetében a sűrűségéből számított porozitás, az effektív porozitás megegyezik a totálporozitással, mert egyéb vízzel kitöltött pórustér nincs. Adszorbcíós vízmentes kőzetek esetében ugyanez vonatkozik az akusztikus dt-ből számított porozításra is.

Az agyagszemcsék fajlagos akusztikus hullámterjedési ideje (dt) az adszorbcíós vízzel kitöltött porozitással számítva az akusztikus porozitást számító képlet inverze alapján adódik, ha tudjuk mennyi az adszorbcíós víz tartalma egy agyagásványszemcsének. Ha az agyagásványok ($2,62 \text{ g}/\text{cm}^3$) szilikátvázának sűrűségét a csillámokéval egyenlőnek (kb. $2,9 \text{ g}/\text{cm}^3$) vesszük, akkor kb. 15% Fiads-nál, kb. $265\text{--}285 \text{ ms}/\text{m}$ dt adódik ($3500\text{--}3800 \text{ m}/\text{s}$ sebesség) a szemcsékre jellemző fajlagos terjedési időre.

²⁾ A prekambrium szerepel az eredeti leírásban a jelenleg helyesenek tartott paleozoós variszkuszi megnevezés helyett.

Hivatkozások

- [1] Albu L., Pápa A. (1992): Application of high-resolution seismics in studying reservoir characteristics of hydrocarbon deposits in Hungary. *Geophysics*, 57/8, 1068–1088.
- [2] Magyarország prekainozoos medencealjának földtana, Magyarázó „Magyarország prekainozoos földtani térképéhez” (1:500000) Szerkesztette: Haas János, Budai Tamás. Írta: Haas János, Budai Tamás, Csontos László, Fodor László, Konrád Gyula, Koroknai Balázs, 2014.
- [3] M. Tóth T. (2008): Repedezett metamorf fluidumtárolók az Alföld aljzatában. MTA doktori értekezés.
- [4] M. Tóth T., Redlerné Tátrai M., Kummer, I. (2008): A Szeghalom környéki metamorf aljzat kiemelkedés szerkezetfejlődése és felépítése kőzettani és szeizmikus adatok alapján. *Magyar Geofizika*, 49/4.
- [5] Szili Gy.-né (1988a): Jelentés a Sz-167, -173, -176. sz. paraméterfúrások 13 db magintervallumból származó mintáinak kőzettani vizsgálatáról. OKGT Kézirat. 74 o. +melléklet
- [6] Szili Gy.-né (1988b): A szeghalmi Halom-1 szénhidrogéntelepet felépítő kőzetek repedezettségének vizsgálata. *Kőolaj és Földgáz*, 21. (121.) évf., 10. sz. 306–311.
- [7] Szili Gy.-né (1989a): Jelentés az Sz-180 sz. paraméterfúrás 9 db magintervallumból származó mintáinak kőzettani vizsgálatáról. OKGT Kézirat. 59 o. + melléklet
- [8] Szili Gy.-né (1989b): A metamorf tárolókőzet petrográfiai jellemzése a Halom-1. (Szeghalom) telepben mélyített paraméterfúrások anyagai alapján. *Kőolaj és Földgáz*, 22. (122.) évf., 7. sz. 201–207.
- [9] Szili Gy.-né (2022): Variszkuszi aljzat töréses szerkezeti formái a szeghalmi kutatási területen. – *Magyar Geofizika*, 63/1, 34–44.
- [10] Western Atlas Log Interpretation Charts
- [11] Zilahi-Sebess L. (2009): A repedezettség hatása a mélyfúrás-geofizikai mérésekre. A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése, 2009.
- [12] Szongoth G., Hegedűs S., Zilahi-Sebess L., Buránszkij, Perlaky F. (2009): Kőzetállapot-előrejelzés mélyfúrás-geofizikai mérések alapján. A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése, 2009.
- [13] Szongoth G., Zilahi-Sebess L., Szücsi P. (2003): Mélyfúrás-geofizikai mérések a Bataapáti (Üveghutai)-telephelyen. A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése, 2003.
- [14] Zilahi-Sebess László, Rigler György, Szongoth Gábor (2000): Division of the weathering crust of the Üveghuta granite based on well logging data (Az üveghutai gránit mállási kérgének tagolása mélyfúrás-geofizikai adatok alapján). Annual Report of the Geological Institut of Hungary, 1999 (A Magyar Állami Földtani Intézet Jelentése 1999-ről), 2000, pp. 213–224.
- [15] Zilahi-Sebess László, Mészáros Ferenc, Szongoth Gábor (2000): Characterisation of fracture zones in granite, based on well-logging data (A gránit töréses öveinek jellemzése mélyfúrás-geofizikai adatok alapján az üveghutai telephelyen). Annual Report of the Geological Institut of Hungary, 1999 (A Magyar Állami Földtani Intézet Jelentése 1999-ről), 2000, pp. 253–266.
- [16] Zilahi-Sebess László: Mélyfúrás-geofizikai adatokból kapott geomechanikai paraméterek összevetése laboratóriumi adatokkal és a magmintatöredettség-adatokkal az

- üveghutai mélyfúrásokban (A kis és közepes radioaktivitású eróművi hulladékok végleges elhelyezése. Az R. 4. 09/94 PHARE-projekthez kapcsolódó földtani kutatás, 2001, Budapest, Geo-Log Kft. p. 10)
- [17] Mészáros Ferenc, Zilahi-Sebess László (2001): Compaction of the sediments with great thickness in the Pannonian Basin (Nagy vastagságú üledékek kompakciója a Pannon-medencében), 2001. Budapest Geophysical Transaction, Vol. 44 No. 1, pp. 21–48.
- [18] Zilahi-Sebess László, Mészáros Ferenc (2002): Mélyfúrás-geofizikai módszerfejlesztés. Repedezett kristályos elsődleges porozitással nem rendelkező kőzetek vizsgálata II. (Mélységi paraméter változási trendek. Jelentés a 2002. évi feladatok megvalósításáról, Budapest, 2001, MGSZ Adattár)
- [19] Szongoth Gábor, Zilahi-Sebess László, Szücsi Péter (2004): Geotechnikai jellemző (RMR) meghatározása mélyfúrás-geofizikai mérésekből, 2004. Jelentés az RHK. Kht. és a Bátorom Kft. megbízásából. Kézirat Geo-Log Kft., Budapest.