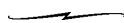


A Nógrádi-szénmedencében végzett módszertani kutatások legújabb eredményei

Recent results of new exploration methodologies in the Nógrád Coal Basin

HÁMORNÉ VIDÓ MÁRIA, PÜSPÖKI ZOLTÁN, ZILAHÍ-SEBESS LÁSZLÓ

Magyar Földtani és Geofizikai Intézet H-1143 Budapest Stefánia út 14.



Tárgyszavak: kőszén, adatbázis, mélyfúrás geofizika, kőzettani rétegazonosítás, szekvencia sztratigráfia

Kivonat

A hazai mélyművelésű szénbányászat megnyitási lehetőségének felülvizsgálatához elengedhetetlen a részletes földtani és bányaművelési, gazdaságossági ismeretek bővítése.

2012-ben megtörtént a hazai szénvagyon országos áttekintése és térképi bemutatása a Nemzeti Energia Stratégia Ásványvagyon-hasznosítás és készletgazdálkodási Cselekvési Tervében. A 248 bányaterületet bemutató térképsorozat a földtani, ill. a hagyományosan elérhető technológiákkal az ún. „kitermelhető” vagyonra vonatkozóan mutatott be tematikus térképeket.

A fenti eredmények alapján fogalmazódott meg a Cselekvési Tervben, hogy az „ipari” vagyon számítása csak szénmedencénként kijelölt referenciabányák tervezésével kezdhető meg. Az itt nyert tapasztalatok alapján képzelhető el a medence többi bányaterülete által reprezentált vagyonelemek műrevalóságának közelítő becslése, analógiák alapján. A referenciabánya tervezéséhez szükséges adatrendszer létrehozása 2013-ban megkezdődött a Nógrádi-medencében, ahol a földtani adatok sűrűsége alapján a bányanyitás a társadalmi körülményeket is figyelembe vevő gazdaságos kitermelhetőség mellett perspektivikusnak tűnik.

A korszerű bányatervezés alapja a részletes, numerikus adatbázison alapuló, informatikai környezetben megjelenített földtani modell, mely az újabb adatok tükrében dinamikusan változtatható. Az intézet évek óta tudatosan fejleszti a szénbányászathoz kapcsolódó földtani modellezési gyakorlatát kezdve az adatbázis építéstől a komplex földtani (rétegtani, tektonikai) modellezés megvalósításáig. Ennek során a mélyfúrások dokumentációs anyagának részletes adatbázisát hoztuk létre. Adattábla formájában rögzítjük a földtani naplóban dokumentált valamennyi réteget (fekü, fedő mélység, kőzet megnevezése, jellege, színe, dőlése), ill. adatbázishoz kapcsoljuk a digitalizált mélyfúrási geofizikai görbéket. A digitális adatbázis alapján geofizikai korrelációs szelvények készülnek, melyeken nagyfelbontású rétegtani beosztás végezhető, majd a fúrásokon áthaladó vetőket azonosítjuk és minősítjük pontos hely, elvetési magasság szerint. Az így előállított adatok könnyen ábrázolhatók tetszőleges horizontális és vertikális léptékben, megalapozva a fúrások közötti adathiányos tér modelljének kialakítását és magát a bányatervezést.

Key words: coal, database, well-log, core correlation, sequence stratigraphy

Abstract

Detailed geological technological and economic information is essential for the investigation of opening possibilities of new underground coal mines.

In 2012 the Geological and Geophysical Institute of Hungary (here in after MFGI) prepared the countryside overview of registered coal resources and their GIS visualization in the Energy Resources and Utilisation Action Plan (here in after Action Plan) of the National Energy Strategy of Hungary.

A set of 248 coalfield's maps and their thematic versions exhibited the coal resources and the technically accessible reserves data considering the traditional underground extraction techniques.

As a result of this work a new concept was established in the Action Plan to achieve up to date technically and economically available reserves through succeeding planning of reference mines in a given coalfield. Results and experiences of reference coal mine planning like analogues can be transferable to other parts of the coal basin as well. Recently the geological establishment of the first reference coal mine planning has started on the Nógrád Coal Basin where the geological social and economic circumstances look more in favour for the new opening of underground coal mine.

Modern coal mine planning relies on detailed data base development of geological model in GIS where new data input in the system can be interpreted dynamically. MFGI has been developing this type of geological models connected to coal extraction for several years. It contains complex data base development on lithology, tectonics and coal quality. This process starts from well-log data digitalization, lithology standardization and registration to coal quality data up-loading.

Digital well-logs are interpreted in high resolution stratigraphic correlations through geological sections. These are followed by the evaluation of tectonics supporting the easy visualization of horizontal and vertical changes in different scales and make possible to build coherent geological model for the further mine planning stages.

Bevezetés

A Nemzeti Energia Stratégia Ásványvagyon Hasznosítási Cselekvési Terve (továbbiakban CST) keretein belül az MBFH–MFGI együttműködési projekt keretében 248 bányaterületen, 19 lapból álló térképsorozatban, elsősorban a földtani, ill. a napjaink technológiájával elérhető ún. „kitermelhető” vagyonra vonatkozó tematikus térképek készültek.

A bányanyitás lehetőségét a földtani, környezeti feltételek fennállása mellett a hasznosítás módja, a termék piacra kerülése és a piaci igények ismerete határozzák meg.

A fenti megfontolás alapján fogalmazódott meg a CST-ben, hogy a bányászati tevékenység támogatására a korábbi technológiával elérhető ásványvagyon mennyiség revíziója szükséges a szénmedencénként kijelölt referenciabányák térinformatikai alapon történő tervezésével. A referenciabányák tervezését ugyanakkor olyan előfordulásokon érdemes megkezdni, ahol a bányanyitás valóban perspektívus.

A korszerű bányatervezés alapja a részletes, numerikus adatbázison alapuló, informatikai környezetben megjelenített földtani modell, mely az újabb adatok tükrében dinamikusan változtatható. A módszertani tanulmány célja a fejlesztéssel elért, földtani modellezési gyakorlat bemutatása az adatbázis építéstől a komplex földtani (rétegtani, tektonikai) modellezés megvalósításáig.

Az MBFH együttműködés keretében 2012. év őszétől egy ilyen adatbázis létrehozását kezdtük meg a Nógrádi-szénmedencében (1. ábra), ahol a részletesen megkutatott, dokumentált, megfelelő földtani vagyonnal rendelkező mérlegterületek eddigieknél részletesebb adatbázisát állítjuk össze.

A Nógrádi-medence miocén barnakőszén-telepes összelete 211 Mt földtani, ill. 172 Mt kitermelhető vagyonnal szerepel az Állami Ásványvagyon Nyilvántartásban. Jelen tanulmányban a program során megvalósult módszertani fejlesztésekről és földtani megfigyelésekről számolunk be, melyek a továbbkutatás alapját jelentik s esetenként problémafelvetésül szolgálhatnak.

Módszertan

A módszertan három részre osztható, melynek célja a regionális szintű integrált sztratifiai feldolgozás lesz. Dolgozatunkban a területre eső részletes földtani kutatási adatok adatbázisba rendezését és az értelmezés eddigi módszertanát mutatjuk be.

Ennek érdekében a mélyfúrások dokumentációs anyagának részletes adatbázisát hoztuk létre. Adattábla formájában rögzítettük a földtani naplóban dokumentált valamennyi réteget (fekü, fedő mélység, kőzet megnevezése, jellege, színe, dőlése szerint), ill. digitalizáltuk a mélyfúrási geofizikai görbéket, és Mizserfa területén a laboratóriumi kőszénminőség vizsgálatok adatait. Az adatbázis terjedelmét illetően litológiai feldolgozásra került 437 fúrás, mélyfúrási geofizikai adatsor készült 206 fúrásról, laboratóriumi adatok kerültek rögzítésre 202 fúrásból (1. ábra).

Második lépésben megvizsgáltuk a mélyfúrás-geofizikai adatok és a magraktárban tárolt fúrási anyag azonosíthatóságát és a földtani értelmezés, felbontás korlátait, megbízhatóságát.

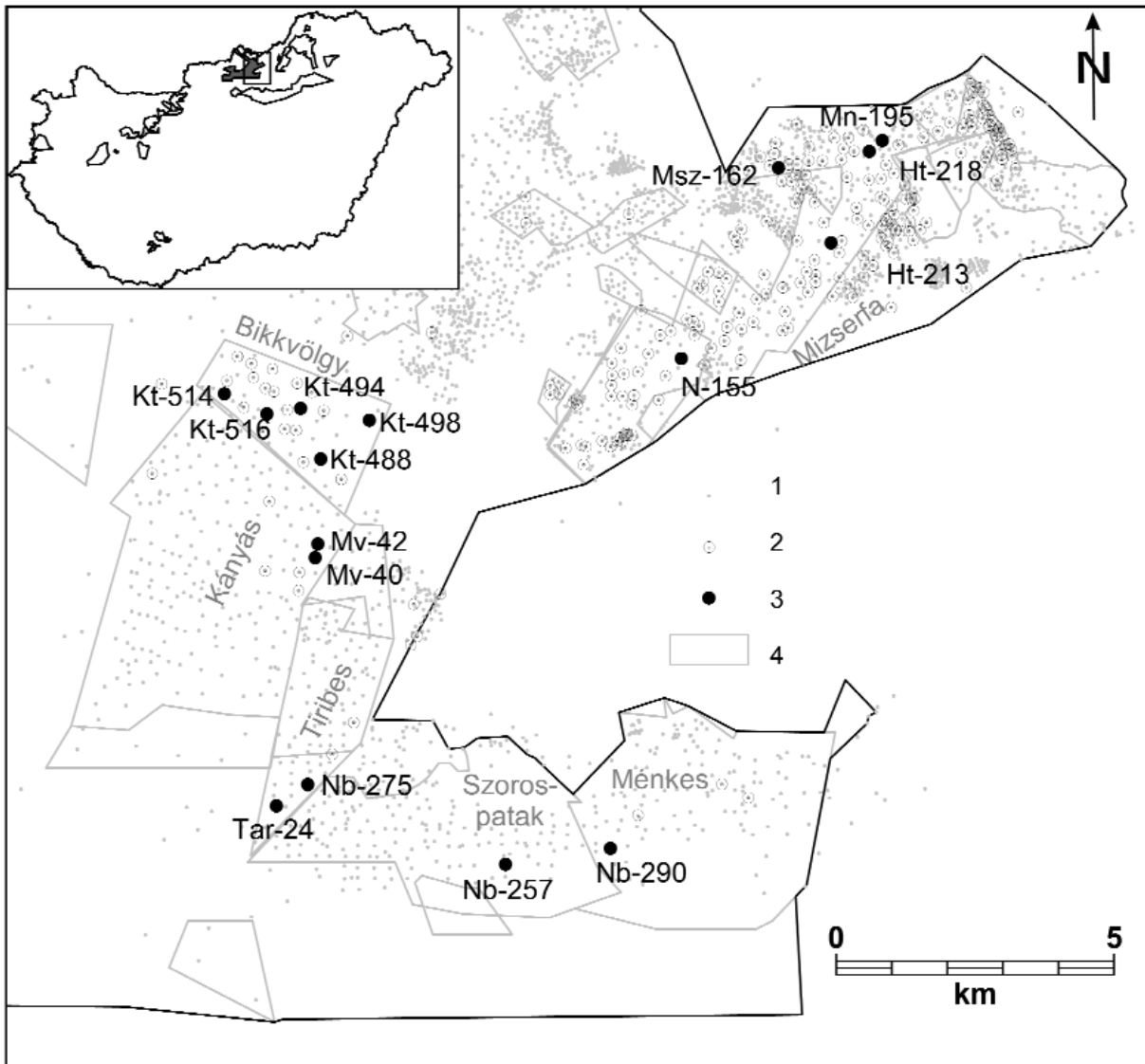
Végül a digitális adatbázis alapján geofizikai korrelációs szelvények készültek, melyeken nagyfelbontású rétegtani beosztás készült. A digitális adatbázis alapján feldolgozott horizontálisan nem távolságtartó, vertikálisan 1:400 felbontású mélyfúrás-geofizikai szelvényeket valamennyi fúrásban azonosítható, megközelítően izokon felület mentén kijelölt dátumvonal mentén korreláltunk. A dátumvonal alatt és fölött további korrelációs felszíneket határoztunk meg a rétegsorban, s a görbealak részletes fáciesstani elemzése és a litológiai leírás értékelése alapján fácieskorrelációt végeztünk, majd ciklusokon alapuló rétegtani beosztást készítettünk.

Eredmények

Az adatbázis fejlesztés elvi alapjai

A földtanban több mint 20 éve meghonosodott „integrált sztratifia alapú” telep és területminősítés nem új módszert, hanem új szemléletet, az informatika által biztosított nagy sebességű adatfeldolgozás módszertani alkalmazását jelenti. Teret ad a litológiai, mélyfúrás-geofizikai és szeizmikus adatok nagyobb területre vonatkozó együttes vizsgálatának, a nagy felbontású vertikális adatsorok és a jelenős horizontális áttekintést biztosító felszíni geofizikai módszerek kapcsolt, szénmedence szintű értékelésének. Ennek feltétele egy egységes szerkezetben kezelt adatbázis, melynek elemeit, a módszertan kialakításával kezdtük. A módszertan magában foglalja a vizsgálat adatok listáját tartalmazó metaadatokat és az egyes vizsgálati módszerek által előálló adatok rendszerezett tábláit, melyek a következők:

1. Kutató műhelyek, módszertan kialakítása
 - 1.1. Metaadatok



1. ábra. A Nógrádi Szénmedence átnézeti térképe

1. Kőszénkutató fúrás; 2. Az adatbázisban feldolgozott kőszénkutató-fúrás, 3. Szelvényben szereplő fúrás, 4. A bányatelek határa -

Figure 1. Sketch-map of the Nógrád Coal Basin

1. Exploration boreholes, 2. Boreholes recorded in the database, 3. Boreholes in the well-log correlation profiles, 4. Mining site

- 1.2. Fúrási adattábla
- 1.3. Technológiai adattáblák
- 1.4. Karotázs adattáblák
- 1.5. Litológiai adattáblák
- 1.6. Szerkezeti adattábla
- 1.7. Kőszénminőség adattábla
- 1.8. Szeizmikus szelvény adattábla
- 1.9. Vízföldtani adattábla

A projektre vonatkozó adattáblák feltöltését követően az integrált sztratigráfiai adatok harmonizációját végezzük el, amelyek azt követően az MFGI GEOBANK és MFGI ArcGIS rendszerbe kerülnek be. A metaadattábla létrehozásának célja a kutatásban felhasznált és keletkezett alapadatok rendszerezett tárolása, elérhetősége, a nemzetközi szabványok és INSPIRE kötelezettségek szerinti megfelelés kielégítése. Az INSPIRE, egy az Európai Bizottság által

létrehozott egységes térinformatikai adatrendszer, amely a környezet állapotával szoros összefüggésben lévő adatok elérhetőségét, felhasználhatóságát hivatott biztosítani pl. a Föld fizikai és kémiai tulajdonságait téradatokként tartja nyilván és nemzeti határokon átívelő fizikai és szervezeti keretben működik.

A fúrásazonosításhoz, a térinformatikai rendszerben való lekérdezéshez, alapvető fontosságú a fúrási adattábla megadása, mely lehetővé teszi az egy, két és három dimenzióban értelmezett adatok hozzáférését. Ezt egészíti ki a technológiai adattábla, mely a fúrás paramétereiről, a fúrási módról, a fúróberendezés típusáról és a magkihozatalról tartalmaz adatokat.

A technológiai táblák létrehozásának célja a területen végzett fúrások nyitott és zárt szakaszainak rögzítése a későbbi hidrogeológiai értékelés támogatásához. A hidro-

geológiai és esetlegesen a mélyfúrás-geofizikai adatokat befolyásoló adatok mint pl. a lyukátmérő változása és a rétegzárás külön adattáblában érhető el.

A fúrási adatbázis „karotazs_metadata” nevű táblája tartalmazza a geofizikai mérések leíró adatait. Az adattárban a geofizikai mérések eredményei általában papíron (fénymásolatban) található meg, a mérések 20–30 éve (esetleg régebben) készültek. Az akkori gyakorlatnak megfelelően a fúrásban húzásonként mért két-három paramétert a terepi filmekről átvilágító asztalon kézzel rajzolták át milliméterpauszra a filmen lévő jelek, illetve feljegyzések alapján egyeztetve a mélységet és rajzolták a görbék mellé a skálát. A fúrás rétegsora, valamint a kiértékelő geofizikus szöveges megjegyzése is rákerült a fejlécre. Az így létrejött kompozit szelvényeket a gépi feldolgozás számára digitalizálni kellett.

A nagyméretű — az eredeti kirajzolás mélységléptékének függvényében akár néhány méter hosszúságú — papírszelvényekből szkenneléssel digitális képfájlok készültek, melyeket könnyen kezelhető digitális adatsorokká alakítottunk. A digitalizált méréseket a nemzetközileg általánosan elfogadott LAS-formátumban tároljuk, amit a modellező szoftverek is be tudnak olvasni. A mélyfúrás-geofizikai metaadat-tábla mellett külön táblázat biztosítja a lyukferdeségi adatok rögzítését, mely különösen nagyobb mélységű fúrások szelvényben vagy térben értelmezett feldolgozása során válik fontossá.

A litológiai tábla a fúrási naplóban rétegeként leírt kőzet-típusok és makroszkóposan felismert jellemző genetikai bélyegeket foglalja össze. A „litologia_1” táblában az egyes fúrásokban szereplő, a leíró geológus által megadott adatokat rögzítjük. A „litologia_2” táblázatban a kódlista alapján legördülő kőzetneveket soroljuk föl a fúrási naplókban talált hasonló vagy azonos jelentéssel bíró kőzetnevek egységes megfeleltetésével a szintaktikai hibák elkerülése és a keresés, összesítés megkönnyítése céljából.

A fúrási naplókban talált azonos vagy fogalmilag egy kőzettani típust képviselő kőzetneveknek a litológiai listával történő egyértelmű megfeleltetéshez példaként néhány kőzetnevet és fogalmat szeretnénk itt kiemelni. A homok, homokkő elnevezést a litológiai tábla egységesen homokként rögzíti, tekintettel arra, hogy az üledékképződés fációs folyamatokat, melyeket külön mezőn, mint epigenetikus elváltozást rögzítünk a „litologia_1” táblában. Másik jellemző összevonás a kódlistában a korábbi bányaműveletekből, a leírás alapján egyértelműen azonosítható üreg, szerszámasés, bányafa, kiégett telep stb. kifejezések, melyeket az összevonás után „öregművelet” kifejezéssel jellemezzük.

A későbbiekben az integrált sztratigráfiai értelmezéskor a formációhatárok és esetenként az átértékelt litológiai korok, is beépülnek az értelmezést végző geológus nevével együtt.

A szerkezeti tábla létrehozásának célja a fúrásleíró személy által észlelt tektonikai deformációhoz kapcsolható jelenségek rögzítése volt.

A köszénminőség-tábla a köszénkutatáshoz kapcsolt laboratóriumi vizsgálatok fajtáit és adatait rögzíti. A MEO adatok egy részénél a labormérések a fúrás adott mélységközébe kerültek. Meg kell jegyeznünk azonban, hogy ezek a mélységadatok még csak előzetesnek tekinthetők, mivel a mintavétel minden esetben megelőzte a mélyfúrás-geofizikai mérésekkel megerősített mérést, kiértékelést. Több esetben a telepátífúrás utáni mintagyűjtés a telepfedőtől a talp felé megadott vastagságban történt. Itt a minta helyét a telep talpmélysége azonosítja, amely szintén a karotázs mérés előtti közelítő adatnak tekinthető. A MEO adatok feltöltése csak a karotázs-korrelációk MEO adattáblákba történő visszatöltése után tekinthető adattáblázatra alkalmasnak.

A szeizmikus adattábla listaszerűen felsorolja a projektben használt szeizmikus szelvények azonosítóját, nyomvonalát. A metaadat-táblában a földtani modellhez felhasznált szeizmikus szelvények nevét és nyomvonalát adtuk meg. A migrált szelvények letöltése, értelmezése az MFGI szeizmikus adatbázis támogatásával történik.

A vízföldtani adatok táblában a mélyfúrás-geofizikai görbékkel származtatott fizikai paramétereket és a termelési vízminőségi adatokat rögzítjük.

A karotázs és a magminta-vizsgálat mélységegyeztetés problémáinak lehetséges megoldási módjai

A mélységegyeztetéshez használt terepi és mélyfúrás-geofizikai mérések és alkalmazhatóságuk

A fúrómagmintákon mérhető és a mélyfúrás-geofizikai szelvényekből számítható kőzetfizikai paraméterek a gyakorlatban eltéréseket mutatnak. Ennek egyik oka, hogy a labormérések környezetükből kiszakított állapotban, míg a karotázsmérések eredeti helyzetükben vizsgálják a kőzetet. A különböző módon nyert adatrendszer összehasonlító elemzése új megközelítést adhat a mélyfúrás adatok földtani értelmezéséhez.

A magmintákon, kőzetraktárban végzett vizsgálatok és a mélyfúrás-geofizikai paraméterek adatainak összehasonlításához és együttes értelmezéséhez három köszénkutató fúrásban archivált magmintáin, több szakaszban vizsgálatokat végeztünk. Ehhez, azonos mintavételi sűrűséggel megmértük a reprezentatívnek minősített fúrómagszakaszokat. Az így kapott görbét, görbeszakaszokat a mélyfúrás-geofizikai mérés görbével mélység szerint egyeztetettük. A vizsgált szakaszon 100%-os magmintavételt feltételezve a nem duzzadó mag esetén a mélységegyeztetés elvileg csak egy eltolást jelentett. Ha az adott szakaszon a magvétel hézagos volt, illetve a mag anyaga zsugorodott vagy duzzadt, a kapott görbe a karotázsgörbéhez képest torzult volt, emiatt a görbék hasonlósága megmaradt, ami lehetőséget adott egy 10–20 cm-es pontosságú illesztésre.

A vizsgálat eredményei közül a legfontosabb az volt, hogy biztos ismeretet kaptunk arról, hogy az adott mélyfúrás-geofizikai mérés görbéhez képest a fúrómag szelvényében

pontosan hol történt a laboratóriumi mérés, ill., hogy mely labor- és karotázsadatok tartoznak össze mélység szerint.

A vizsgálathoz a természetes gamma vagy a mágneses szuszceptibilitás, karotázsgörbét vettük alapul, amelyek a magvizsgálat és a karotázsmérés során egyaránt elvégezhetők, így közös pontokat adnak a mélységegyeztetéshez. Mindkét mérés közös tulajdonsága, hogy a kőzet anyagára jellemző információt ad és csak kevésbé hatnak rájuk a mag kivétele közben történő változások. A természetes gamma görbe használata mellett szól, hogy a fúrólukvizsgálatok egyik alapméréséből származik, viszont bonyolítja a helyzetet, hogy a magot kívülről vizsgálva sokkal tovább kell mérni, mint ahogy a fúrólukban kell, mivel az egyszerre mért térfogat mindössze pár %-a a fúrólukban vizsgálható. (A természetes gamma információjának kb. 70%-a 15 cm távolságon belülről származik, azonban ez is körülbelül 30–40-szerese a magminta vizsgálatnál mért térfogatnak.)

A laboratóriumban a mágneses szuszceptibilitás-mérés gyorsabban végezhető, ezért könnyebben automatizálhatóan véljük, viszont hátránya, hogy a fúrólukbeli alkalmazása kevésbé elterjedt és a hitelesítése sem megoldott. (Bár önmagában a hitelesítés hiánya nem okoz problémát az egyeztetésben, mert a mélységegyeztetéshez elegendő, a magokon mért szuszceptibilitás-indikációkat, mint relatív értékeket kezelni.) További hátránya, hogy a mérés során a fémtárgyakat távol kell tartani, vagyis a mérés alapesetben mindig a mag egyedi kézbevitelével történik¹.

Intervallumstatisztika — mélységegyeztetés a görbe rekonstruálása nélkül

A karotázsgörbékkel nyerhető információk alkalmasak arra, hogy segítségükkel a lyukból vett magmintán végzett vizsgálati adatok összevethetők legyenek egymással és lehetőség legyen az információk fűrásközi térre történő kiterjesztésére. Ez a kiterjesztés akkor sikeres és pontos, ha a fűrómagon mért paraméter és a megfelelő mért vagy számított mélyfűrás-geofizikai paraméter között a korreláció erős. Adott mélységszakaszon a magminta és a mélyfűrás-geofizikai paraméterekre jellemző statisztikus leképezés jó korrelációját el lehet érni a karotázsmérés-görbe fűrómagon történő pontos leképezése nélkül is.

A magmintán történő és a karotázsmérések közti összehasonlíthatóság feltétele, hogy az adatok ugyanannak a közegnek a paramétereit képviseljék, vagyis kisméretű egyedi magminták helyett viszonylag hosszabb intervallumokat kell megfeleltetnünk egymásnak. Egyedi magminta megfeleltetése olyan esetben lehetséges, amikor a vizsgált közeg megfelelően homogén, vagyis a magminta fizikai jellemzője azonos vagy nagyon hasonló a mélyfűrás-geofizika által vizsgált körülbelül két nagyságrenddel nagyobb térfogatú anyag fizikai paraméter átlagával.

Ha a fizikai tulajdonság inhomogén, az adott intervallumon a magmintán vizsgált és a mélyfűrás-geofizikai

adatok statisztikai átlaga reprezentálja az adott szakaszt.

Ebben az esetben a pontszerű mélységegyeztetés helyett a vizsgált intervallumra vett adatátlagokat és szórásokat hasonlítjuk össze. Ennek feltétele, hogy a magmintán mért adatok mintavételi sűrűsége megfelelő legyen az adott intervallumon belül. Pontszerű mintavétel esetén a mintavételi sűrűséget akkor tekintjük megfelelőnek, ha a mintavételi helyek közötti távolság elegendően kicsi, legalább fele az adott görbe értéke megváltozásának az ábrázolás léptékében vizsgálva és az egész vizsgált intervallumot lefedik a minták. A mélyfűrás-geofizikai mérések általunk használt 10 cm mintavételi sűrűsége jóval nagyobb, mint ami a szondahosszak alapján minimálisan szükséges. Ezzel az intervallumon belüli geofizikai adatok statisztikus fluktuációjának hatását csökkentjük.

Közös paraméter nélküli mérések összehasonlíthatósága

Még 100%-os magvétel és a fűrás teljes hosszában történt karotázsmérés esetén is bizonytalanság állhat fenn a mélységegyeztetésben, ha nincs közös paraméter és nem tisztázott az esetleges hatók közötti kapcsolat a mélyfűrás-geofizikai görbék és a magmintán történt mérés között. Megemlítjük, hogy a mintán vett adatok, miután jóval kisebb térfogara vonatkoznak, nem mindig reprezentatívak a karotázis adatokkal jellemzett nagyobb térrészre. Ennek oka, hogy az egyes paraméterek lokális szinten nem feltétlenül korrelálnak jól egymással; más szóval a laborparaméterekből előállított karotázsgörbe „utánzat” elvileg sem szükségszerű, hogy ugyanazt a fűrómag menti eloszlást adja, mint egy az adott laborparaméterrel egyébként nagy léptékben szoros korrelációt mutató mélyfűrás-geofizikai paraméter. Az ilyen összefüggéseket ugyanis nem valamilyen képlettel leírható természeti törvény biztosítja, hanem általában mindkét paraméterben valamilyen harmadik hatótényező hatása tükröződik, vagyis nem egymással csak egy közös okra visszavezethető statisztikus kapcsolattal állnak összefüggésben.

Ennek egyik példája, ha a fűrómagon minden tíz centiméterről van agyagosság adatunk, de nem 100%-os a magvétel. Ha meg akarjuk állapítani a fűrómagon mért adatok és a karotázis természetes gamma mérés közti kapcsolatot, a két görbe csak akkor lenne biztosan illeszthető az egyes görbeszakaszok egymással fedésbe hozása útján, ha az agyagosság és a természetes gamma közt biztos (100%-hoz közeli) korrelációs kapcsolat lenne. Ha ez nem áll fenn, vagyis elképzelhető, hogy a kapcsolat szakaszról-szakaszra változik, illetve vannak nem az agyagossággal összefüggő anomáliák a természetes gamma görbén, akkor az egyes görbeszakaszokat elvileg sem lehet egyszerű mélységtolással illeszteni. Ekkor az agyagosságon kívül álló egyéb anomáliák, illetve mélységcsúszások hatását csak úgy lehet csökkenteni, ha megfelelő hosszú szakaszok statisztikus paramétereit vetjük egybe.

Másik példaként említhetjük a Kisterenye Kt-488 jelű fűrásban vizsgált Garábi Slír Formáció homokjainak mágneses szuszceptibilitás maximumait a természetes gamma minimumával. Ez az általánosan elfogadott összefüggéssel

¹(automatizálni csak úgy lehet, ha a magvizsgáló berendezés alkatrészei nem fémből vannak. Javaslatom a projekt számára, hogy az MFGI-ben működő lmaGeo magszkenner berendezés átalakítását.

ellentétesnek látszik, mert a természetes gamma maximum és a mágneses szuszeptibilitás maximuma általában agyagosság jelző. Itt azonban a homok valószínűleg torlat ásványokat tartalmazhat, anomális maximumot mutatva a magmintákon. Tehát a mérések értékelése előtt ajánlott a helyi sajátosságok körültekintő figyelembevétele.

A fűrőmagok állaga nem minden esetben volt megfelelő minőségű, sok esetben az alacsony magkihozatal miatt csak törmelék volt a ládában, vagy a kivett mag állékonysága már a magkivétel idején laza volt, így ömlesztett állapotban került megőrzésre. Az első kérdés az volt, hogy a ládát kitöltő törmelék, ömlesztett anyag a helyén maradt vagy sem a környezetéhez képest vagyis lehet-e a magon mért adatokból készíteni karotázsgörbével egyező információt szolgáltató adatrendszerrel előállítani.

A mért görbék alakításának kérdése a két mérés közötti korreláció szorosságától függ. Amennyiben a fűrőmagon mintavételi szakaszok sorrendje nem változott meg, jó esély van rá, hogy a kapott görbe torzult formában ugyan, de hasonlít a mélységhelyes mélyfúrás-geofizikai mérésgörbéhez. Ha a mélyfúrás-geofizikai és a fűrőmagon történt mérés ugyanarra a mérési paraméterre vonatkozik, akkor a minimumoknak és maximumoknak egybe kell esniük, és valóban csak össze kell tologatni a pontokat. Ez esetben sem várható azonban tökéletes egyezés még ép, hengeres magok esetében sem, mert a vizsgált térfogat egyrészt nem teljesen egyezik, másrészt pedig geometriai különbségek is vannak. A mágneses szuszeptibilitás esetében a magminta-méréshez használt KT-5 műszer egyszerre 6,5 cm átmérőjű területet mér, míg a fűrőlyukbeli mágneses szuszeptibilitás-szonda érzékeny hossza 20 cm. Amennyiben a mérendő közege horizontálisan homogén rétegekből áll, elvileg a fűrőmagon felvett görbe simító szűrésével a felbontásból adódó különbség helyreállítható.

Mivel egyik fúrás esetében sem állt rendelkezésre mélyfúrás-geofizikai mágneses szuszeptibilitás görbe, először tisztázni kellett, hogy a mágneses szuszeptibilitás görbék hogyan korrelálnak a többi a rendelkezésre álló mélyfúrás-geofizikai görbékkel. Természetesen ehhez tisztázni kellett a mélyfúrás-geofizikai mérések és a képződmények viszonyát is, amely a fűrőmagon említett mélységproblémái ellenére is viszonylag egyszerű feladat, ha több görbe áll rendelkezésre.

A Kisterenye Kt–488 fúrás vizsgálata

A vizsgált fúrásban a magmintákon mért mágneses szuszeptibilitás értékekből álló görbét mélység szerint egyeztetjük a természetes gamma illetve a neutron-neutron görbékkel. Az eredeti görbékben lévő kis változásokat dekonvolúcióval emeltük ki.

Az adott fúrásokban a Garábi Slír Formáció homokjaiban a mágneses szuszeptibilitás bizonyult nagyobbaknak, mint az agyagos szakaszokban, amelyek általában a természetes gamma maximumokkal, illetve a neutron-porozitás maximumokkal és az elektromos ellenállás minimumokkal esnek egybe. A mágneses szuszeptibilitás homokokkal szembeni nagyobb értéke arra utal, hogy a homok torlatásványokat tartalmazhat. Ugyanakkor az Egyházasgergei Homok Formáció a gyakor-

latban megszokott lokális minimum értékeket mutatták a feküben települt Salgótarjáni Barnakőszén Formációhoz képest. A továbbiakban ennek megfelelően kerestük a korrelációt a magmintán felvett mágneses szuszeptibilitási görbék és a mélyfúrás-geofizikai szelvények között.

A magmintákon mért mágneses szuszeptibilitás jellemző értéke 10^{-4} SI körül ingadozott. Ehhez képest a magládák környezetének mágnesezhetősége, azaz a ládák alatti közüzaléké: $3-4 \times 10^{-3}$ SI egység, meglehetősen nagy (40–50 szerese a magokénak) számított ezért megvizsgáltuk a mérés távolságfüggését is. A vasszőgek hatása a faládák sarkában sok esetben zavaró volt, ezért, ha lehetőség volt rá, az ilyen mintadarabokat a ládából kiemelve is megmértük.

A mérések végrehajtása

A mélységegyeztetésre kijelölt magminta szakaszok a Kisterenye Kt–488 jelű fúrásban 345–361 m, és 395,4–399,0 m közöttiek voltak.

A mérés kezdetekor fix mélységpontként a mélységjelző tiktettákat és a köztük lévő intervallumokat egyenletes távolságban rögzítettük, majd a fűrőmagon állagától függően mértük a minták mágneses szuszeptibilitását. Ezért egy 1 m-es magminta szakaszra helyenként csupán 5, másol 18 db mérési pont esett. Ezt már a terepen rajz formájában rögzítettük is, az adatokat excel táblázatba vittük majd a WellCad mélyfúrás-geofizikai feldolgozó programmal dolgoztuk föl.

A mágneses szuszeptibilitás-mérés távolságfüggése

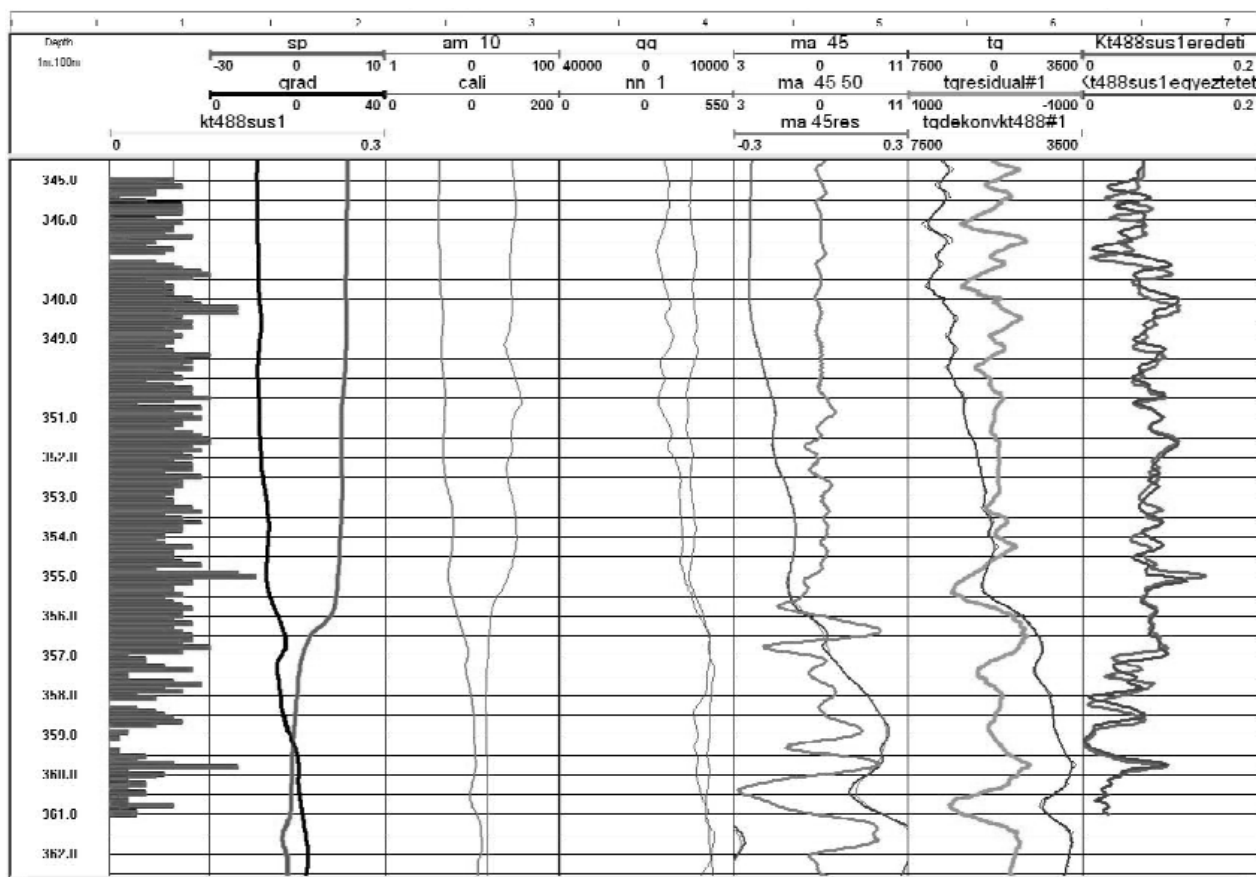
A KT-5 műszerrel a közüzaléktól 1 cm, 5 cm, 10 cm, 15 cm távolságban mért adatok alapján a mért érték távolságfüggése a következő:

$\kappa = \kappa_0 \times \exp(-0.7394510163 \times d[\text{cm}])$, ami 4×10^{-3} SI szuszeptibilitású háttér esetén 0.0025×10^{-3} SI értéket jelent. A tényleges méréseket jellemzően legalább 10 cm távolságban hajtottuk végre, a mintaraktár padlójára helyezett ládák alatt levő közüzaléktól. Ennek alapján a mérés ebből eredő maximális bizonytalansága 10^{-3} SI egység volt. Ez esetenként maximum 20% bizonytalanságot jelentett a kis mért értékeknél, ami lényegében megegyezik a kvantálási hibával.

A mélyfúrás-geofizikai görbék feldolgozása és értelmezése a magmintákon mért mágneses szuszeptibilitás adatokkal

A WellCad programmal a nyers adatokat átmintavételeztük (2. ábra), vagyis egyenletes eloszlású függvénygörbévé alakítottuk át 10 cm-es mélységközzel. A terepi mérések értékeit a 2. ábra bal szélső oszlopában piros oszlopdiagram formájában ábrázoltuk „Kt488sus1” név alatt, míg az egyenkénti mért értékeket a 2. ábra jobb szélső oszlopában piros vonallal és „Kt488sus1eredeti” névvel jelöltük.

Az eredeti mélyfúrás-geofizikai paramétergörbéket a 2. ábra középső oszlopaiban ábrázoltunk sorrendben balról jobbra a megjelenés sorrendjében:



2. ábra. A Kisterenye Kt-488 jelű fúrás magmintáin végzett mágneses szuszceptibilitás mérési eredményei

Kt488SUS1 = az eredeti mágneses szuszceptibilitásmérés oszlopdiagramként ábrázolva, sp = természetes potenciál, grad = gradiens elrendezésű látszólagos fajlagos elektromos ellenállás, am 10 = 10 cm-es am elektróda távolságú potenciál elektróda elrendezésű látszólagos fajlagos elektromos ellenállás mérés, cali = fúrólyukátmérő mm-ben, gg = gamma-gamma mérés beütésszám/perc(cpm) egységben, nn 1 = neutron-neutron mérés beütésszám/perc(cpm) egységben, ma 45 = 45 cm-es am elektróda távolságú potenciál elektróda elrendezésű látszólagos fajlagos elektromos ellenállás mérés, ma 45 50 = az ma 45 mérés 50 pontos futóátlaga, ma 45 50 = az ma 45 mérés 50 pontos futóátlaga, tg = természetes gamma cpm-ben, tgdekonvkt488#1 = a tg görbe dekonvolált változata, tgresidual#1 = a tgdekonvkt488#1 és az 50-pontos futóátlaga közti különbség görbe, Kt488sus1eredeti = a kt488sus1 oszlopdiagram folyamatos karotázsgörbévé alakított változata, Kt488sus1 egyeztetett = Kt488sus1eredeti a többi szelvényhez mélységegyeztetett változata

Figure 2. Results of the magnetic susceptibility measurements on cores from depth between 345 and 361m of borehole Kisterenye Kt-488 comparing with the related wireline logs

Kt488SUS1 = The original measured magnetic susceptibility as bar diagram, SP = spontaneous potential, grad = apparent specific resistivity with gradient arrangement, am 10 = apparent specific resistivity measured by potential electrode arrangement with 10cm am electrode distance, cali = caliper in mm units, gg = gamma-gamma measurement in count / minute (cpm) units, nn 1 = neutron-neutron measurement in count / minute (cpm) units, ma 45 = apparent specific resistivity measured by potential electrode arrangement with 45cm am electrode distance, ma 45 50 = ma 45 50 running average of ma45 curve with 50 point filter length ma 45 res = difference between ma 45 and ma 45 50, tg = natural gamma ray in cpm units, tgdekonvkt488#1 = natural gamma ray curve after deconvolution, tgresidual#1 = difference between tgdekonvkt488#1 and the filtered (running average with 50 point) version of the curve, Kt488sus1eredeti = the kt488 sus1 bar diagram as an apparently continuous well logging curve with equidistant sampling distances, Kt488sus1 egyeztetett = the depth matched to the other logs version of the Kt488sus1 curve

„grad” = gradiens elrendezésű fajlagos elektromos ellenállás mérés

„sp” = természetes potenciál,

„am 10” = 10 cm-es potenciál elrendezésű fajlagos elektromos ellenállás mérés,

„cali” = lyukbőség,

„nn” = neutron-neutron,

„gg” = gamma-gamma,

„ma 45” = 45 cm-es potenciál elrendezésű fajlagos elektromos ellenállás mérés,

„tg” = természetes gamma.

A mélységegyeztetéshez az eredeti görbék közül az „ma 45” és „tg” görbékből származtatott paramétergörbéket is

készítettünk. Ezek célja a rétegek közti viszonylag kis fizikai tulajdonságbeli különbségek kiemelése vagy más szóval, a rétegek egymástól való jobb elkülönítése. A rétegek közti fajlagos elektromos ellenállásbeli különbségek kiemelése céljából elkészítettük az elektromos potenciálgörbe maradék, vagy residuál görbéjét („ma 45 res”), mely a „ma 45” görbe és az adott szakaszon 50 pontra számolt „ma 45/50”, gördülő átlag különbsége alapján adódott.

„ma 45 res” = „ma 45” – „ma 45/50”

A természetes gamma görbén látható különbségek fel erősítése, a rétegek jobb felismerhetősége érdekében az adatrendszeren dekonvolúciót hajtottunk végre („tgdekonvkt488#1”).

A természetes gamma esetében a maradék, vagy residual görbe a dekonvolált „tgdekonvkt488#1” görbe és annak 50 pontra futóátlagolt görbéje különbségeként adódik.

$$„tgresidual#1” = „tgdekonvkt488#1” - „tgdekonvkt488#1”/50”$$

Mivel a mélyfúrás-geofizikai mérések között — amelyek a magmintákkal ellentétben biztos mélységadattal rendelkeznek — nincs mágneses szuszceptibilitás még azt is igazolni kellett, hogy az a görbe, amelyhez igazítjuk a magmintán végzett szuszceptibilitás méréseket, milyen viszonyban van a rétegsor egyes képződményeivel. Esetünkben a természetes gamma mérés agyag-indikátor jellegét az elektromos fajlagos ellenállással a fordított korreláció igazolja, azaz ha a magmintán a mágneses szuszceptibilitás a homokos képződmények esetében jelez nagyobb értéket, akkor valóban a kis természetes gamma értékekkel kell a pozitív anomáliákat korreláltatni a Garábi Slír esetében.

Ennek értelmében a természetes gamma szelvényt fordított skálával ábráztuk, mivel így a magokon végzett mágneses szuszceptibilitás méréssel vizuálisan könnyen összevethetőek voltak. Bár az egyes rétegek esetében a kézi mágneses mérés jó negatív korrelációt mutat a természetes gamma értékekkel, az utóbbira jellemző trendeket (a fúrás 31 m-es mélységétől fölfelé az átlagos természetes gamma, növekvő tendenciát mutat) nem tükrözi vissza, azaz miközben a kisléptékű korreláció jó, a természetes gamma háttér trendjével nem korrelál. Ennek lehet olyan oka is, hogy a természetes gamma emelkedő trendje például káliumtól vagy urántól ered, miközben az ellenálló torlat ásványok hatását mutató mágneses szuszceptibilitás torlat-ásványmentes minimum értékű szakaszaira ez nincs hatással. A lényeg, hogy figyelembe kell venni, hogy a mágneses szuszceptibilitás és a természetes gamma is valójában járulékos tulajdonságok.

Mélyfúrás-geofizikai adatokból levont következtetések

Annak ellenére, hogy sok esetben a fúrómagok helyett szinte csak törmeléken mértünk a ládában (kiemelésre nem volt lehetőség) a kapott görbét össze lehetett igazítani a természetes gamma görbe dekonvolált változatával. Ez arra utal, hogy a ládában a magok sorrendje nem borulhatott fel, alapvetően, legfeljebb maximum félméteres mélység-hibák adódtak, így a magokon végzendő laboratóriumi vizsgálatok eredménye is összehasonlítható volt a mélyfúrás-geofizikai mérés eredményekkel.

Az elektromos potenciál-görbék residuál görbévé alakításával a kis fizikai változást mutató Garábi Slírben a réteg-változékonyság jobban megfigyelhető lett. A természetes gamma görbék dekonvolúciója és a residuál görbék („ma 45 res” és „tgresidual#1”) együttes kiértékelése lehetővé tette a kőzettani, rétegtani változások pontosabb kijelölését és összevethetőségét a magminta-mérés alapján leképezett mágneses szuszceptibilitási görbével.

Megállapítottuk, hogy a 10 cm-esre átmintavételezett fúrómagon mért mérés görbék és a mélyfúrás-geofizikai mérés görbék közt javult a hasonlóság a nyers adatsorhoz

képeket. Javasoljuk, hogy minden szénkutató és egyéb üledékes rétegsorokra tervezett fúrásban végezzenek mágneses szuszceptibilitás-mérést is, mert jelentősen segítheti a fúrómagból kiválasztott minták helyének pontos azonosítását is.

Rétegtani korreláció

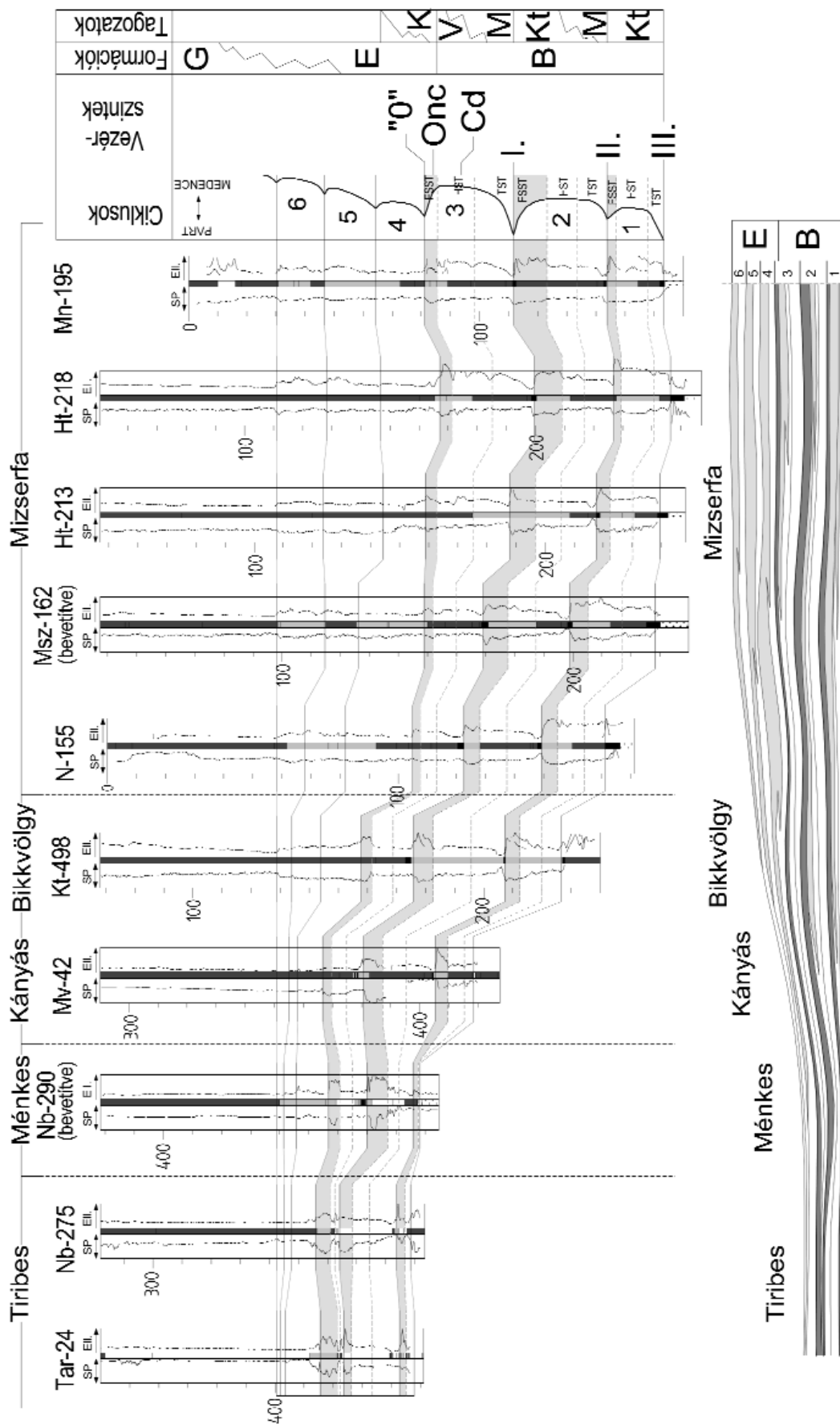
Kutatástörténeti háttér

A Nógrádi-szénmedencében 1848-ban indult meg a kőszénbányászat, amely 1993-i tartott. A következőkben azokat a munkákat soroljuk fel, amelyek a medence megismerés-történetének mérföldköveit adják. A terület földtani felépítésének kutatásával és ismertetésével HANTKEN (1878) foglalkozott elsőként, majd a földtani ismeretességet PAPP (1915) és VITÁLIS (1939) összegzik monográfiájukban. Őslénytani vizsgálatokat CSEPREGHYÉ MEZNERICS (1949), RÁSKY (1958) és SIMONCSICS (1959) végeztek, rétegtani ismertetést NOSZKY (1912), SCHRÉTER (1933, 1940) és BARTKÓ (1952, 1961) adnak, VITÁLIS (1961) életnyomokat közöl a területről. A későbbiekben a terület földtani térképezése alapján, komplex földtani képet HÁMOR (1985) monográfiája közöl. A térségben a neogén képződmények megismerését célzó kiterjedt szeizmikus mérést PLESZKÁTS et al. (1986) értékeli és foglalja össze. Bányaföldtani eredményeket SZENTIRMAI (1962, 1965), KÉRI (1964, 1966) és HERMESZ (1984a, b) publikálnak, a medence kutatás- és bányásztörténetét ÉRSEK (1996) és NÉMEDI-VARGA (2010) foglalják össze.

A feladat megfogalmazásakor törekedtünk arra, hogy a kutatás figyelembe vegye az elmúlt közel 200 éves kutatástörténet tudományos eredményeit és a legutóbbi évtizedek technikai és módszertani fejlesztéseit. A bányászati, a bio-ill. litosztratigráfiai alapon végzett feldolgozások eredményeinek ismerete és figyelembevétele nélkül nem képzelhető el érdemi továbblépés, ugyanakkor a széntelepes rétegsor megismerésére irányuló földtani és geofizikai kutatási programok többsége az 1980-as évek során lezárult, így az új szemléletű adatfeldolgozás és értékelés (pl. nagy felbontású karotázskorrelációk, szekvencia-sztratigráfia) már nem épülhettek be az eredményekbe.

Litosztratigráfiai alapok

A Nógrádi-medence oligocén rétegsorának felső szakaszát a Szécsényi Slír Formációból kifejlődő glaukonitos Pétervásárai Homokkő Formáció alkotja, amit szintén slír fed be. A Salgótarjáni Barnakőszén Formáció, amely a nemzetközi osztályozás szerint a meta-lignit kategóriába esik a Nógrádi-medencében rendszerint közvetlenül települ a Gyulakeszi Riolittufa Formációra. A Salgótarjáni Barnakőszén Formáció 3 nagyobbbrészt parallikus barnakőszéntelep tartalmazó összlete a Kisterenyei Tagozat. A tagozat alul édesvízi (III. telep), amelyre fölfelé csökkent sós vízi – fél sós vízi kifejlődés települ (II. és I. telep), meddő kőzete uralkodóan zöldesszürke homok. A telepeket közvetlenül fedő, transzgresszív szenes agyag a Mátranováki Tagozat (GYALOG1996). A formáció fedőjét az Egyházasgergei Homokkő Formáció, Kazári Homokkő Tagozatának homokkő-



3. ábra. A Salgótarjáni Barnakőszén és Egyházasgergei Homokkő Formációk szekvenciasztratiográfiai beosztása a Nógrádi-medence K-i részén és kapcsolata a litosztratiográfiai beosztással és a vezérszintek helyzetével

Nb = Nagybátány, Mv = Mátraverébély, Kt = Kisterenye, Msz = Mátraszele, Ht = Homoktereny, Mn = Mátranovák, B = Salgótarjáni Barnakőszén F., Kt = Kisterenyei Tagozat, M = Mátranovák Agyagmárga, V = Vizslási Homok, E = Egyházasgergei Homokkő F., K = Kazári Homokkő, G = Garabi Sír F., I., II., III., „0” = barnakőszén telepek, Cd = Cardiumos szint, Onc = Oncophoros szint)

Figure 3. Sequence stratigraphy of the Salgótarján Brown Coal and the Egyházasgerge Sandstone Formations in the eastern part of the Nógrád Coal Basin, their relation to the lithostratigraphy and the location of marker horizons

Nb = Nagybátány, Mv = Mátraverébély, Kt = Kisterenye, Msz = Mátraszele, Ht = Homoktereny, Mn = Mátranovák, B = Salgótarján Brown Coal F., Kt = Kisterenye Group, M = Mátranovák Claymarl, V = Vizslás Sandstone, E = Egyházasgerge Sandstone F., K = Kazár Sandstone, G = Garab Schlier F., I., II., III., „0” = coal seams, Cd = Cardium horizon, Onc = Oncophors horizon)

rétegei alkotják (HÁMOR 1985) („chlamysos öszlet”, „onco-phorás [rzechakiás] rétegek”). E fölött a Garábi Slír Formáció több 100 m vastagságot meghaladó rétegsora települ.

A Salgótarjáni Barnakőszén Formáció tagolása, geofizikai képe

A Salgótarjáni Barnakőszén Formáción belül a karotázsgörbék földtani szerkezettel kapcsolatos korrelációja rendszerint nagy biztonsággal végezhető (3. ábra). A geofizikai kép alapján a rétegsor két, egyenként fölfelé durvuló és szételeppel (II. és I. telepek) záródó ciklusra bontható.

Mizserfa térségében az 1. ciklus uralkodóan homokos partközeli kifejlődést mutat, a 2. ciklus vastag (15 m) transzgressziós aleurittal indul és közel hasonló vastagságú homokos üledéksorral folytatódik. Az I. telep fedőjében a 2. ciklushoz rétegtani megjelenésében (vastagság, a transzgressziós aleurit és a progradációs parti homoktest cikluson belüli aránya) rendkívül hasonló 3. ciklus jelenik meg. E ciklusban esetenként (pl. Mátranovák Mn–191 jelű fúrás) fél méter vastag szételep („0” telep) is megjelenik, ill. a rétegsorban történő leírás hiánya esetén (pl. Mn–196 fúrás) a geofizikai szelvény (sűrűség-szelvény) egyértelműen utal a telep (nyom) meglétére (pl. Mn–196 fúrás). A ciklus középső szakaszán található a fúrásleírásokban gyakran szerepeltetett ún. „Cardiumos szint”, a progradációt mutató homoktest felső szakaszán pedig az ún. „Oncophorás rétegek”.

Bikkvölgy térségében mindhárom ciklus jellegzetesen transzgressziós aleurittal indul, ennek megfelelően a nyíltvízhez közelebbi kifejlődést mutat. A Cardiumos és Oncophorás rétegeket magába foglaló 3. ciklus nagy biztonsággal azonosítható.

A leginkább nyíltvízi hatás alatt álló kányási rétegsorban uralkodó az aleurit jelenléte, s 5 m-nél nem vastagabb a szételepek fekéjében található cikluszáró homoktest. A 3. ciklus is jól azonosítható.

Ménkes és Tiribes irányában az 1. ciklus kimarad, s ennek megfelelően a bányászati tapasztalatokkal és irodalmi adatokkal összhangban nem jelenik meg a III. telep. A 3. ciklus itt is biztosan azonosítható, jóllehet a transzgressziós aleurit vékony megjelenése a ciklus közeli elvégződésére utal.

A fedőhomokkő tagolása, geofizikai képe

Mizserfa területén a 3. ciklus fölött csökkenő vastagsággal további három (4., 5., 6.) fölfelé durvuló ciklus azonosítható és térképezhető nagy biztonsággal. A 6. ciklus fedője a kárpáti slír (Garábi Slír) egyveretű homokos aleuritja. A korrelációs szelvényen a 6. ciklus tetejét választottuk dátum vonalnak.

Bikkvölgy térségében a 4–6. ciklusok a litológiai leírásokban nem jelennek meg, de a cikluszáró homoktestek geofizikai jellemzőjük alapján továbbra is jól azonosíthatók (l. Kisterenye Kt–516, –496 jelű fúrások). A rendszerint 1–3 m vastag, ellenállás-maximum alapján felismerhető homokos betelepülések feltehetően alsó parthomloki környezetet jelezhetnek, ahova elsősorban nagyobb viharok idején juthatott le az üledék.

A Kányás területén, a 4–6. ciklus egymástól már nem

szétválasztható, de geofizikai jellemzői, úgymint a magasabb homoktartalomra utaló nagyobb ellenállás értékek és alacsonyabb természetes gamma értékek alapján elkülöníthetők a fölöttük települő nyíltvízi üledékektől, így a 6. ciklus fedőjében meghúzott elárasztási felszín (dátumvonal) továbbra is térképezhető.

A szorospatikai terület leginkább a bikkvölgyi területhez hasonlítható, mivel, míg a 4–6. ciklusok 1–2 m vastag cikluszáró homoktestei nagy biztonsággal felismerhetők a fajlagosellenállás-szelvényeken (Nagybátony Nb–290, Szuha Sza–39, –41 jelű fúrás), sőt az 5. ciklusban egy helyen a litológiai leírásban még kavics is megjelenik (Szuha Sz–41 fúrás).

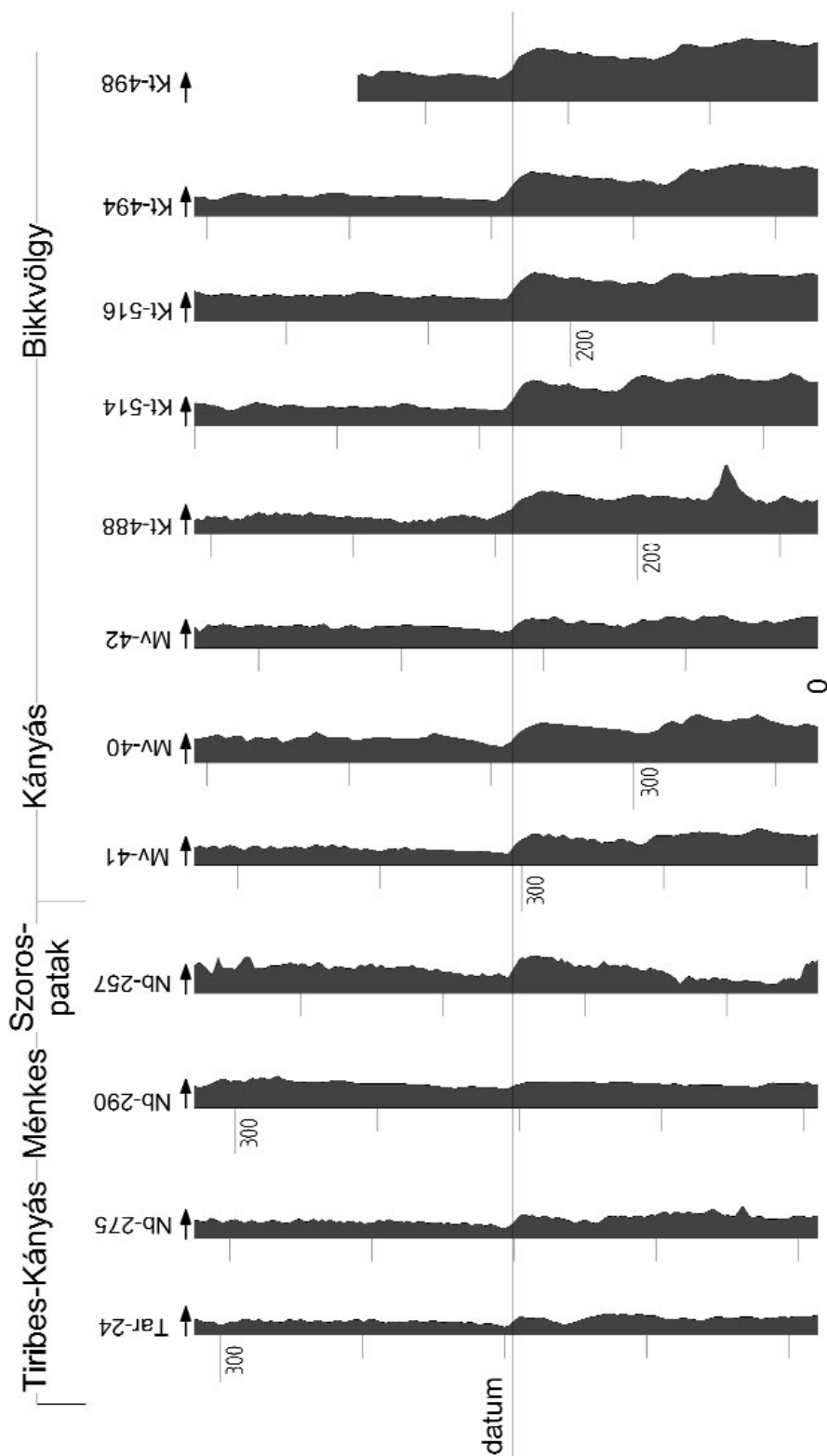
A Garábi Slír tagolása, geofizikai képe

A Garábi Slír a Nógrádi-medencében jellemzően medencebeli kifejlődésű, a parteltolódások csak disztális, nyíltvízi, ill. legfeljebb alsó parthomloki környezetben bekövetkező üledékdurvulások formájában észlelhetők. A látszólag egyveretű finomszemű öszletben éppen ezért a litológiai leírások legfeljebb esetenként nyújtanak támpontot. A nagyvastagságú öszlet egymással azonosítható felszíneinek meghatározásakor így elsősorban a mélyfúrás geofizika nyújthat támpontot, az uralkodóan kis fajlagos ellenállás mellett azonban különös tekintettel kell lenni a lokális ellenállás-változásokra utaló görbealakokra, a homokbetelepülésekre utaló minimális fajlagosellenállás-növekedésekre.

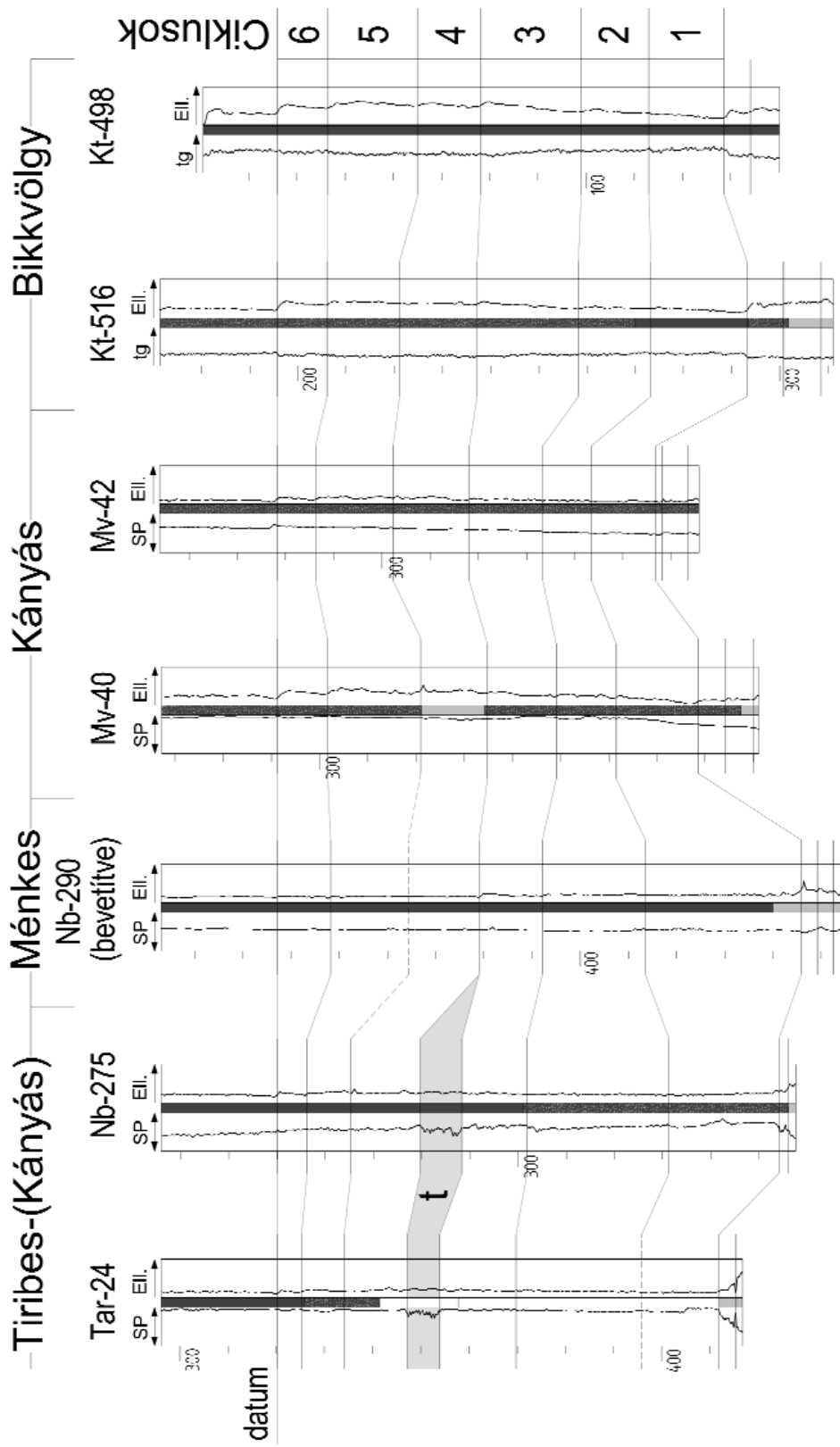
A fedőhomokkőben azonosított 6. ciklus fölötti első, regionális követhető egymással korrelálható szintet a 4. ábrán dátumvonalként ábrázolt elöntési felszín fölött mintegy 70–90 m-el azonosítottuk, amely a legtöbb fúrásban jellegzetes kétlépcsős ellenállás-csökkenés formájában jelentkezett. A görbék lefutása két egymáshoz közel eső elárasztási felszínre utal, melyek egy rendszerint 10–12 m vastag, fölfelé enyhén durvuló kisciklust zárnak közre. A felület nagy biztonsággal jelölhető ki a nyíltabb vízi kifejlődések, így a Bikkvölgy és a Kányás területén is (4. ábra). A 4. ábrán bemutatott felület képezi az 5. és 6. ábrán a Garábi Slírrre vonatkozó karotázis-korrelációk dátumvonalát.

Az 5. ábrán a Garábi Slír dátumvonal alatti mintegy 90 m-es szakasza 6 megfelelő biztonsággal korrelálható, fölfelé durvuló ciklusra tagolható. Az ábrán talán leginkább szembeötlő jelenség a Kisterenye Kt–498 jelű fúrás fölfelé durvuló ciklusai, melyekhez rendre kapcsolhatók a többi fúrásban megjelenő ellenállás-maximumok, valamint a Nagybátony Nb–275. és Tar–24 fúrásokban a 3. ciklus első részén megjelenő homokbetelepülések. A Kisterenye Kt–488 jelű fúrás tanúsága szerint ezek olyan turbidit-szekvenciáknak tekinthetők, melyekben fölfelé növekvő gyakorisággal jelennek meg néhány dm vastagságú homok – homokos aleurit-betelepülések.

A 6. ábrán a dátumvonal fölött további 7 ciklus látszik elkülöníthetőnek, melyeket leginkább a helyenként betelepülő, feltehetően turbidit-eredetű homoktestek alapján lehet elkülöníteni, s az ezekhez rendelhető nehezen észlelhető



4. ábra. A Garábi Slir Formációban kijelölt dátumvonal karotázs (ellenállás)-képe a Nógrádi-medence K-i részén (A rövidítések magyarázatát lásd a 3. ábrán)
Figure 4. Datum horizon in the Garáb Schlier Formation. Resistivity logs in the eastern part of the Nógrád Basin. (See abbreviations and legend at Figure 3)

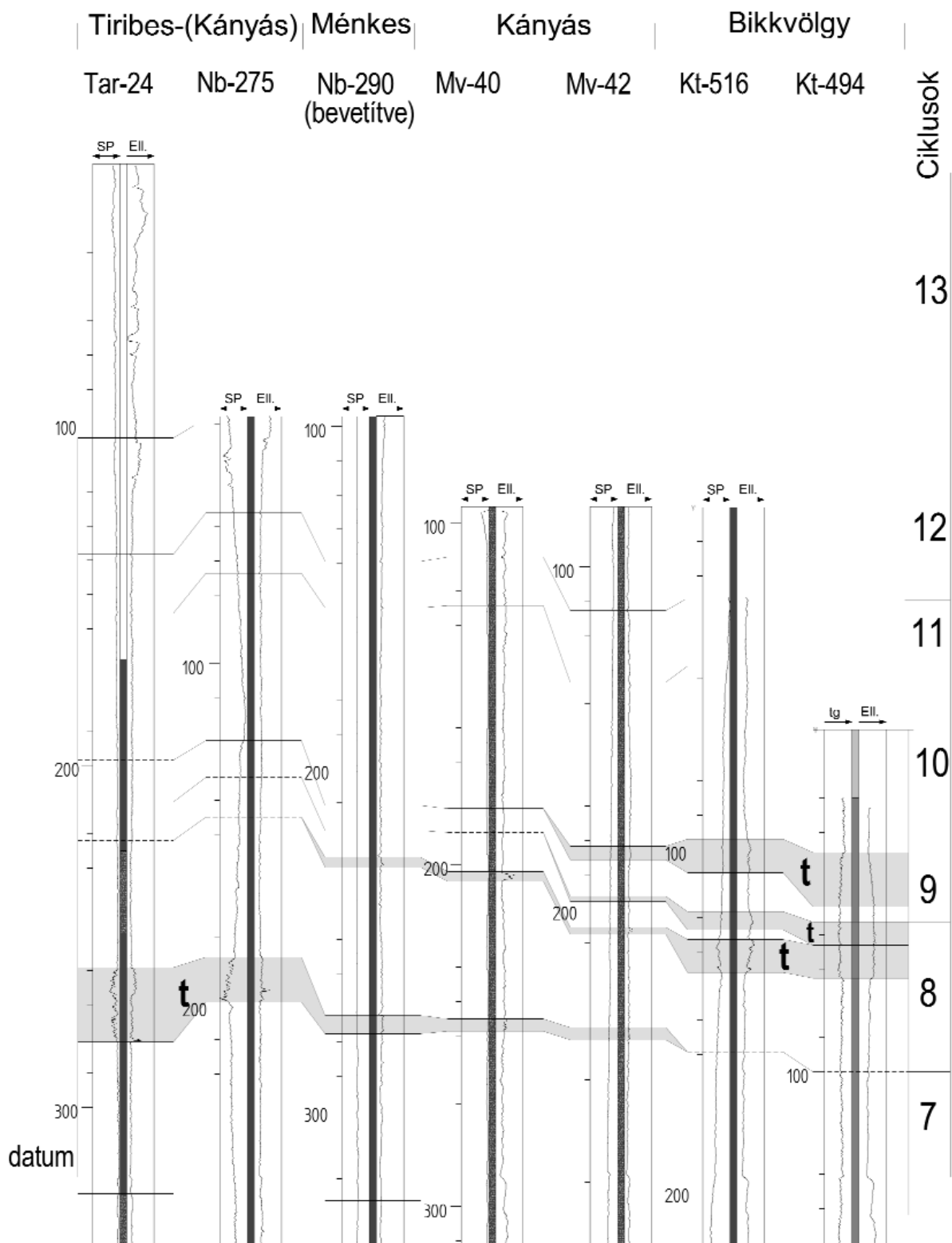


5. ábra. A Garábi Slíri Formáció szekvensztratiográfiai beosztása a Nógrádi-medence K-i részén a dátumvonal alatt

t=turbidit sorozat, a fűrészek magyarázatát lásd a 3. ábrán

Figure 5. Sequence stratigraphy of the Garáb Schlier Formation below the datum horizon in the eastern part of the Nógrád Basin

t=turbidite sequences, abbreviations and legend see for Figure 3.



6. ábra. A Garábi Slír Formáció szekvensztratigráfiai beosztása a Nógrádi-medence Ke-i részén a dátumvonal fölött
 t=turbidit sorozat, a fűrészek magyarázatát lásd a 3. ábrán

Figure 6. Sequence stratigraphy of the Garáb Schlier Formation above the datum horizon in the eastern part of the Nógrád Basin.
 t=turbidite sequences, see abbreviations and legend at Figure 3

korrelatív felszínek mentén térképezni. A 7. ciklus esetében a homokbetelepülések összvastagsága a 20 m-t is meghaladja (Tar–24., Nagybátony Nb–275), a 8. és 9. ciklus esetén (Kisterenye Kt–516, –494) pedig több rétegsorra választható szét. Feltehetően ezeket a homokos betelepüléseket tekinti HÁMOR (1985) az „Egyházasgergei Homokkő Garábi Slírbe történő befogazódásának”.

Ezt követően a turbidit összetek a vizsgált fúrásokban nem mutathatók ki, egy-egy elárasztási felszín mentén tagolható a rétegsor bizonytalanul. A 12. és 13. ciklusok a Tar–24. fúrásban észlelhetők, pontos jellemzésük csak a későbbiekben, több, eddig nem feldolgozott fúrás figyelembevételével lehetséges.

Diszkusszió

A Salgótarjáni Barnakőszén és Egyházasgergei Formációk szekvenciasztratigráfiai értelmezése

A kiemelt medenceperemeken képződő széntelepes sziliciklasztos rétegsorok területén üledékképződés elsősorban a késő transzgresszív és nagyvízi (HTS = rendszer-egységek (HST = highstand system track) idején zajlott, még azokban az esetekben is, amikor a relatív tengerszint-ingadozás mértéke viszonylag kicsi. Széntelepes rétegsorokban a csökkenő vízszint idején ugyanakkor számíthatunk éles bázisú homoktestek megjelenésére (PÜSPÖKI et al. 2009).

Ennek megfelelően alakítottuk ki a formációk szekvenciasztratigráfiai beosztását. A széntelepek fölötti „fedőpala” képződmények („kanavász”, II. telepi fedőpala, I. telepi fedőpala, Mátranováki Tagozat) transzgresszív rendszer-egységek (TST = transgressive system track) képződményei, melyek Mizserfa irányában (ÉK-felé) vékonyodnak, a medence, ennek megfelelően, DNy felé mélyült. A transzgresszív és nagyvízi rendszer-egységek (TST–HST) határán a maximális elöntések (MFS = maximum flooding surface) helyzetét szagatott vonallal jelöltük a 3. ábrán. A telepek alatti „fekü homok” Mizserfa térségében jellemzően fölfelé durvuló, progradációs képet mutat, Bikkvölgy–Kányás területén azonban jellegváltás következik be és gyakori az éles bázissal történő megjelenés. Ezért, jóllehet a „fekü homok” képződmények alapvetően HST besorolást kaptak, a felső 5–10 m vastag, rendszerint jól elkülöníthető, legdurvább szakaszt a HST fedőjében települő FSST-ként különítettük el, még a szekvencia határ alatt.

A relatív vízszintingadozások jellegét illetően látszólagos ellentmondás merül fel. Az 1. ciklus korlátozottabb medenceirányú elterjedése és a második ciklus medenceirányú túlterjedő települése az 1. és 2. ciklus viszonyát tekintve progradáló jellegre utal, míg a 3. ciklus egy kezdeti, a 4–6. ciklusban felerősödő retrogradációt jelez. Ha viszont egyetlen szelvényben (pl. Mizserfa) figyeljük meg a rétegsort, az 1. ciklustól a 6. ciklusig szabályszerű retrogradációt ismerhetünk fel, a nyíltabb vízi üledékek egyre nagyobb arányával. Ez utóbbi megállapítás van összhangban azzal a képpel is, hogy míg a

III. telep édesvízi, a II. és I. telepek már csökkent sós vízi környezetekre utalnak, míg a „0” telepnek feltehetően már csak a disztális, medencebelső felé eső szélét észlelték néhány mátranováki fúrásban.

A látszólagos ellentmondást a korábbi szakirodalom jellemzően úgy oldotta fel, hogy az 1. ciklus hiányát a terület üledékképződést megelőzően kiemelt helyzetével magyarázta, azaz a transzgresszió ezeket a térszíneket „a III. telep képződése idején még nem érte el”. Ennek a magyarázatnak ellentmond azonban, hogy az 1. ciklus hiányával jellemezhető területeken a 2–6 ciklusok a leginkább disztális (medencebelső felé eső) képet mutatják. A jelenség magyarázata nagyobb területre kiterjedő, az aljzattektonika jelenségeit is szem előtt tartó vizsgálatot igényel.

Összességében tehát a széntelepes rétegsor fedőjében, a Garábi Slír Formáció uralkodóan nyíltvízi képződményeinek általánossá válása előtt egy legalább négy ciklusban lezajló erőteljes transzgresszió képe rajzolódik ki, teljes összhangban az Egyházasgergei Formációra vonatkozó korábbi leírásokkal. Figyelembe véve a fáciastani hasonlóságokat, a transzgresszió iránya É–ÉK-i lehetett, leghamarabb érte el a tiribes–kányási területet, ezt követően Bikkvölgy irányában terjedt tovább, s legkésőbb a mizserfai területen érezte hatását.

A mizserfai területen megjelenő „0” széntelep egy feltehetően a területtől ÉK-re kiterjedő, nyomtalanul lepusztult telep, tenger felőli szélén képződött maradványa lehet, ilyen értelemben, bár Mizserfa térségében egyes esetekben I. telepek gondolva lefejtették, gazdasági jelentősége nincs, az ősföldrajzi kép kialakításában és a transzgresszió ütemének meghatározásában azonban fontos fejlődéstörténeti adat.

A Garábi Slír Formáció fáciesviszonyai és ciklusbeosztása

A Garábi Slírra vonatkozóan az eddigi fúrásfeldolgozások alapján jóval kevesebbet tudunk megállapítani. Az 5. és 6. ábrák alapján mindenesetre elmondható, hogy szemben a 3. ábrával, a turbidites betelepülések lencseszerű elhelyezkedése szerint egy sokkal inkább csapásmenti vagy a dőlés és csapás közötti általános irányú szelvény képe rajzolódik ki, ami arra utalhat, hogy az üledékszállítási irányok a Garábi Slír keletkezésének idejére némileg megváltoztak, feltehetően ÉÉNy-i irányból érkező üledékekkel számolhatunk.

Ez a megfigyelés összhangban lehet HÁMOR (1985) ősföldrajzi térképeivel (200, 201. oldalak), ahol az ottnangi idején csak az Etesi-árok jelenik meg üledékgyűjtőként, míg a kárpátiban a fő üledékgyűjtő szerepét a Zagyva-árok veszi át. A hivatkozott monográfia IV. mellékletén (108. oldal után) szerepel a Garábi Slír mezociklusokra tagolása. A Tar–35 jelű általunk eddig nem feldolgozott fúrás alapján az 5. ábrán jelölt 1–6 ciklusok a HÁMOR szerinti 2. mezociklusnak, a 6. ábra 7., 8. és 9. ciklusai a 3. mezociklusnak, a 10. és 11. ciklus a 4. mezociklusnak felel meg, míg a 12. és 13. ciklusok már feltehetően a Fóti Formáció „regressziós” kifejlődésének feleltethetők meg.

A nógrádi és borsodi széntelepes rétegsorok korrelációja

A Borsodi- és Nógrádi-medencék széntelepes rétegsorát a szakirodalom mindmáig azonos formációnév alatt tárgyalja, párhuzamot vonva a két medence széntelepes rétegsora között. Az utóbbi évtizedekben azonban egyre több megfigyelés szól amellett, hogy a két széntelepes rétegsor nem azonos korú, s nem is azonos öskörnyezeti–szerkezetfejlődési események hatására keletkeztek (pl. PÜSPÖKI 2001, ÁDÁM 2006, PÜSPÖKI et al. 2009). Az alábbiakban felsoroljuk azokat az érveket, melyeket a kérdés tisztázásakor mindenképpen figyelembe kell venni.

Biosztratigráfia

A széntelepes rétegsorok fáciestani adottságaiknál fogva nem kedveznek a bio-, különösen a mérvadó plankton-sztratigráfiai vizsgálatoknak. Az ottngangi–kárpáti rétegsor tagolásában ennek megfelelően kulcsszerep jut az ottngangi képződmények fedőjében megjelenő rzhakiás (oncophorás) szintnek, ami a Bécsi-medencétől Észak-Magyarorszáig a kárpáti elején induló transzgresszió kezdetét jelzi. Ez a fauna a Nógrádi-medencében a széntelepes rétegsor fölött, ill. annak csak helyenként észlelt „0” telepével egy szinten, a 3. ciklusban, kárpáti fedő homokkő-összletben jelentkezik, mely retrogradáló (transzgresszív) jellegű, s fölfelé a Garábi Slír nyíltvízi üledékeibe megy át. A Borsodi-medencében ugyanakkor, bár megjelenése nem általános, néhány fúrásban (pl. Sajóvelezd Sv–47) közvetlenül a legalsó (Ny-borsodi III.) telep fölött került elő. RADÓCZ (1987) szerint a fauna többször, az ottngangi és kárpáti szintben jelenik meg. Rétegtani megfigyeléseink alapján inkább BÁLDI (1976) véleményével értünk egyet, mely szerint csak egy faunahorizont van, ami viszont a két széntelepes rétegsor eltérő korát igazolja.

A Borsodi-medence széntelepes rétegsorának nyílttengeri betelepülései kárpáti jellegű foraminifera-faunát tartalmaznak, melynek megjelenése erősen hasonlít a Garábi Slír hasonló korú képződményeihez (KORECZ-LAKY 1985) megerősítve a korábbi nannoplankton adatokat (HORVÁTH, NAGYMAROSY 1979). További adatok láttak napvilágot, amikor Radostyán környéki szervesvázú mikroplankton vizsgálatok során előkerült (SÜTŐ-SZENTAI 2000) Tasmanites alakok ugyancsak kárpáti kort igazoltak.

Litosztratigráfia, üledékvastagság, ciklicitás

A széntelepes rétegsort megelőző lepusztulási időszak hosszát és jelentőségét jelzi, hogy a rétegsor fekéjében található riolittufa (Gyulakeszi Riolittufa Formáció) a Nógrádi-medencében nagy vastagságban, általános elterjedésben megtalálható, a Borsodi-medencében azonban sok esetben teljesen lepusztult, s a széntelepes rétegsor bázisát faunával igazoltan a Felsőnyárádi Formáció felső-oligocén partközeli kifejlődései képviselik. Helyenként, különösen a K-i területre (Varbó–Sajóhárom) megmaradtak a riolittufa

10–30 m vastag roncsai, jelezve a képződmény korábbi meglétét a medencében.

A széntelepes összlet vastagsága a Nógrádi-medencében mindössze 20–40 m, a Borsodi-medencében ennek közel 10-szerese, 200–250 m. A 3 telepes nógrádi összlet összesen két, egyenként fölfelé durvuló ciklusból áll, a Borsodi-medencében ezzel szemben 26(!) paraszekvenciát azonosítottak és térképeztek szisztematikusan (PÜSPÖKI et al. 2009). A 10-szeres szorzó jó összhangban van az üledékvastagsággal.

A Borsodi-medence széntelepes rétegsora 4 elemi ciklussal kezdődik, a bázison (nyugat-borsodi III. telep fedőjében) Oncophorák jelenlétével, s az 5. paraszekvenciára az egész medencében jelentkező aleuritösszlet és erőteljes transzgresszióra utaló, általános elterjedésű lumasellapad figyelhető meg (kelet-borsodi IV. telep fedője (PÜSPÖKI et al. 2009). A bázison (Kazári Homokkő Tagozat — 3. ábra 3. ciklus) Oncophorákat tartalmazó Egyházasgergei Formációban a Nógrádi-medencében ugyancsak 4, egyenként fölfelé durvuló paraszekvenciát azonosítottunk, ezt követően megy át a rétegsor a Garábi Slír nyílttengeri üledéksorába.

Az eredmények összegzése és a további kutatás iránya

A földtani kutatási adatok értelmezéséhez új módszertant dolgoztunk ki. A regionális szintű integrált sztratigráfiai feldolgozáshoz adatbázisszerkezet kidolgozása és tartalmi elemeinek meghatározása történt, mely során mélyfúrások dokumentációs anyagának részletes adatbázisát hoztuk létre a Nógrádi-medencében.

A mélyfúrás-geofizikai paraméterek és a magraktárban tárolt fúrási anyagokon mért mágneses szuszceptibilitás között a litológiát jellemző kapcsolatokat kerestünk.

Magminták szuszceptibilitási görbéit mélyfúrás-geofizikai elektromos potenciál és természetes gamma alapján képzett görbékkel hasonlítottuk össze. A magon mért és fúrólyukból származó residuál és dekonvolváltság görbék egymással megfeleltethetők, a fúrómagok sorrendje nem változott a tároláskor, így a magokon végzendő további vizsgálatok eredménye összehasonlítható a mélyfúrás-geofizikai mérés eredményeivel.

A módszertani fejlesztés további eredménye, hogy az alacsony felbontású rétegszakaszokra, mint pl. a Garábi Slír Formáció, sikerült olyan transzformációt találni, mellyel a kis fizikai változást mutató képződményben a réteg-változékonyság jobban megfigyelhető lett. A természetes gamma görbék dekonvolúciója és a residuál görbék („ma 45 res” és „tgresidual#1”) együttes kiértékelése lehetővé tette a kőzet-tani, rétegtani változások pontosabb kijelölését és a mélységegyeztetést a magminta szakaszra leképezett mágneses szuszceptibilitás görbével.

A digitális adatbázis alapján geofizikai korrelációs szelvények készültek, melyeken nagyfelbontású rétegtani beosztás készült a dátumvonalra illesztett szelvények mentén. A görbealak részletes fáciestani elemzése és a litológiai leírás kiértékelése alapján fácieskorrelációt végeztünk, s cik-

lusokra alapuló rétegtani beosztást készítettünk. A Garábi Slír Formációra vonatkozó módszertani fejlesztési javaslatokat a következőkben a Garábi Slír rétegtani korrelációja kapcsán a medence más részein is tesztelni fogjuk.

Köszönetnyilvánítás

Megköszönjük LENDVAY Pál, JENCSEL Henrietta, PÁLFY Éva, RUSZNYÁK Éva kollégáinknak a mélyfúrás geofizikai adatok digitalizálásában és az adatbázisba helyezésében

történt közreműködést, LUKÁCSY Józsefnek és LENDVAY Pálnak a szeizmikus szelvények beszerzését, előkészítését. A litológiai adattábla tartalmi kialakításában és a feltöltés megkezdésében, a fúrás magminta-leírásban KERCSMÁR Zsolt, SELMECZI Ildikó, valamint MAIGUT Vera és OROSZ László támogattak. Köszönjük az MBFH vezetés támogatását és különös tekintettel PRAKFAI Péter témafelelősnek hasznos tanácsait és iránymutatásait, valamint a gyakornokként közreműködő KERTÉSZ Titanillának és BÓDI Erikának a karotázis-korrelációban nyújtott segítségüket.

Irodalom

- ÁDÁM L. 2006: A Sajó menti kőszéntelepes összlet szekvencia sztratigráfiai vizsgálata, kora, ősföldrajzi viszonyai. — *Kézirat*, doktori értekezés tézisei, Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Kar Földtudományi Doktori Iskola Földtan–Geofizika doktori program, 125 p.
- BARTKÓ L. 1952: A nógrádi barnakőszénterület földtani vizsgálata. — *Kézirat*, kandidátusi értekezés, 105 p.
- BARTKÓ L. 1961: Az észak-magyarországi kőszéntelepek kora. — *Földtani Közöny* 91 (2), pp. 143–146.
- BÁLDI T. 1976: A Sv–49-es fúrás makrofauna értékelése. — *Kézirat*, Magyar Állami Földtani, Geofizikai és Bányászati Adattár, ad.sz. 846/35, 6 p.
- CSEPREGHYNE MEZNERICS I. 1949: A salgótarjáni-vidéki középső-miocén képződmények őslénytan vizsgálata. — *MÁFI Évi Jelentés 1949-ről*, pp. 59–60.
- ÉRSEK E. 1996: A nógrádi széntmedence. — In: *A Magyar bányászat évezredes története II.* pp. 337–380.
- GYALOG L. (szerk.) 1996: *A földtani térképek jelkulcsa és a rétegtani egységek rövid leírása.* — A Magyar Állami Földtani Intézet alkalmi kiadványa, 187., Budapest 172 p.
- HÁMOR G. 1985: A Nógrád–Cserhádi kutatási terület földtani viszonyai. — *Geologica Hungarica series Geologica* 22, 307 p.
- HÁMORNÉ VIDÓ M., PÜSPÖKI Z., DEÁK, V., GULYÁS Á., JENCSEL H., KERCSMÁR ZS., KISS, J., LENDVAY P., LUKÁCSY J., OROSZ L., PÁLFY É., PASZERA GY., PATAKY P., RUSZNYÁK É., SÁRI K., SELMECZI I., SZEILER R., VÉRTESY L., ZILÁHI-SEBESS L. 2013: Hazai mélyművelésű szénbányák megnyitási lehetőségének vizsgálata a Cselekvési Terv céljaival összhangban. — *Földtani Vándorgyűlés, Veszprém, 2013. július 4–6.*
- HANTKEN M. 1878: *A Magyar Korona országainak széntelepei és szénbányászata.* — Légrády, Budapest 351 p.
- HERMESZ M. 1984a: A Nógrádi Szénbányák földtani kutatási és termelési lehetőségei. — *Bányászati és Kohászati Lapok, Bányászat* 117, pp. 652–654.
- HERMESZ M. 1984b: Barnakőszén-kutatás Nógrádi Szénbányák területén. — *Földtani Kutatás* 27, pp. 25–26.
- HORVÁTH M., NAGYMAROSY A. 1979: A Rzehakiás rétegek és a Garábi Slír koráról nannoplankton és foraminifera vizsgálatok alapján. — *Földtani Közöny* 109, 211–229.
- KÉRI J. 1964: A dél-nógrádi barnakőszén-terület újabb kutatási eredményei. — *Földtani Közöny* 94, pp. 466–472.
- KÉRI J. 1966: A mátraverebélyi kutatás eredményei. — *Földtani Kutatás* 9, pp. 7–11.
- KERTÉSZ T. 2013: A Nógrádi-medence mizserfai területére eső miocén képződmények földtani jellemzése és szekvencia-sztratigráfiai vizsgálata. — *Kézirat*, BSc szakdolgozat, Debreceni Egyetem.
- KORECZ-LAKY I. 1985: A Kelet-Borsodi medence ottnangi képződményeinek foraminifera vizsgálata. — *Geologica Hungarica series Palaeontologica* 48, pp. 180–237.
- NÉMEDI-VARGA Z. 2010: *Kőszénföldtan.* — Bíbor Kiadó, Miskolc 245 p.
- NOSZKY J. 1912: A salgótarjáni szénterület földtani viszonyai. — *Földtani Közöny* 40, pp. 68–69.
- PAPP K. 1915: *A Magyar Birodalom vasérc- és kőszénkészlete.* — A Magyar Királyi Földtani Intézet kiadványa, 964 p.
- PLESZKÁTS T., SZALAY I., GYURKÓ P., SCHÖNVISZKY L. 1986: Összefoglaló jelentés a Nógrád-cserhádi medencében 1981–1985 között végzett geofizikai előkutatásról (Kányás DNY-i terület). — *Kézirat*, Magyar Állami Földtani, Geofizikai és Bányászati Adattár, 25 p.
- PÜSPÖKI Z. 2001: Szekvencia-sztratigráfiai vizsgálatok a kelet-borsodi medence déli részén (Tardonai-dombság). — *Földtani Közöny* 131, pp. 361–384.
- PÜSPÖKI, Z., TÓTH-MAKK, Á., KOZÁK, M., DÁVID, Á., MCINTOSH, R. W., BUDAY, T., DEMETER, G., KISS, JA., TEREBESI, P. M., BARTA, K., CSORDÁS, Cs., KISS, JU., 2009: Truncated higher order sequences as responses to compressive intraplate tectonic events superimposed on eustatic sea-level rise. — *Sedimentary Geology* 219, pp. 208–236.
- RADÓCZ Gy. 1987: Újabb Rzehakiás (Oncophorás) rétegek a Ny-borsodi medence kőszénösszletéből. — *Kézirat*, Magyar Állami Földtani, Geofizikai és Bányászati Adattár, 3 p.
- RÁSKY K. 1958: Fosszilis növények a salgótarjáni kőszénfeküdből. — *Földtani Közöny* 89 (1), pp. 131–135.
- SCHRÉTER Z. 1933: A kiskéri barnaszénterület földtani viszonyai. — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése az 1929–32. évről*, pp. 285–300.
- SCHRÉTER Z. 1940: Nagybátony környéke. — *Magyar tájak földtani leírása* 2, Budapest, 154 p.
- SIMONCSICS P. 1959: A Salgótarjáni vidéki miocén barnakőszén palinológiai vizsgálata. — *Földtani Közöny* 89, pp. 71–84.
- SÜTŐ-SZENTAI M. 2000: A Ra–I. jelű minták szervesvázú mikroplankton és sporomorpha vizsgálata. — *Kézirat*, Természettudományi Gyűjtemény Adattára, Komló.

- SZABÓ A. 2013: Karotázskorrelációk a Nógrádi-szénmedencében. — *Kézirat*, BSc szakdolgozat, Debreceni Egyetem.
- SZENTIRMAI I. 1962: Földtani és kőszénföldtani vizsgálatok a nagybátonyi Katalin II. lejtős aknában. — *Földtani Közöny* 92, pp. 69–80.
- SZENTIRMAI I. 1965: A nagybátonyi barnakőszén-terület bányaföldtani viszonyai. — *Földtani Kutatás* 8, pp. 17–25.
- VITÁLIS I. 1939: Magyarország szénelőfordulásai. — Röttig-Romwarter, Sopron, 407 p.
- VITÁLIS S. 1961: Életnyomok a salgótarjáni barnakőszén-medencében. — *Földtani Közöny* 91 (1), pp. 3–19.