

FELSŐ-PANNÓNIAI RÉTEGEK GEOMETRIÁJÁNAK VIZSGÁLATA GEOFIZIKAI ADATOK ALAPJÁN AZ ÉSZAK-HORTOBÁGY, HAJDÚHÁT ÉS NYUGAT-NYÍRSÉG TERÜLETÉN

OTDK dolgozat

KOVÁCS RÉKA LILLA

FÖLDTUDOMÁNYI BSC HALLGATÓ

(GEOLÓGUS SZAKIRÁNY)

Buday Tamás

Bódi Erika

témavezetők

Debreceni Egyetem Ásvány- és Földtani Tanszék



Debreceni Egyetem

Természettudományi és Technológiai Kar

A dolgozat lezárásának dátuma: 2014. november 28.

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	2
2. A vizsgált földtani egységek és tágabb környezetük fejlődéstörténete és jellemzése.....	4
2.1. Magyarország nagyszerkezeti egységei	4
2.2 A Pannon-tó kialakulása, a feltöltődés általános menete	6
2.3 Pannóniai és kvarter képződmények jellemzése	8
2.3.1 Pannóniai kőzettani egységek.....	9
2.3.2. A Negyedidőszak üledékei	13
3. Kutatástörténeti előzmények	15
4. Alkalmazott módszerek	17
4.1. A kutatási terület	17
4.2. Medenceanalízis	19
4.3. Szeizmikus sztratigráfia	20
4.4. Szekvencia sztratigráfia.....	22
4.5. Felhasznált geofizikai adatok	24
4.6. Alkalmazott eljárások, szoftverek	27
5. Eredmények.....	32
5.1. Formációk határainak megállapítása	32
5.2. Tektonikai jelenségek a szeizmikus szelvényeken.....	36
5.3. 3D modellezés eredményei	42
6. Összegzés.....	45
7. Függelék.....	47
8. Irodalomjegyzék.....	48

1. Bevezetés

Témám kiválasztásakor fontos szempontnak tartottam, hogy munkám során részletesen megismerhessem a geológia új módszereit, amelyeket későbbi tanulmányaimban is nagyban hasznosíthatok. Ezeknek széles alkalmazott vonatkozási köre van: ivó-és termálvíz kitermelés és fluidumáramlás modellezése, klasszikus hidrogeotermikus rendszerek tulajdonságainak feltérképezése (hőtranszport), potenciális szennyezőanyagok terjedésének vizsgálata, stb. Mindezeknek nagy szerepe van a fenntartható fejlődés szempontjából.

Kutatómunkámként észak-alföldi mintaterületen, egész pontosan a Hortobágy és Hajdúság északi részén, Nyírség nyugati részén vizsgálom az ún. felső-pannóniai termálvízadó rétegsorokat, illetve az ehhez kapcsolódó tágabb értelemben vett pannóniai üledékes egységeket és ezek feképződményeit.

Célom a selfperemi progradáló, illetve a deltasíksági és az alluviális-fluviális üledékes egységek térképezése, ezeken belül pedig a potenciális vízadó rétegek kijelölése, a környezetükkel való kapcsolat tisztázása, geometria megadása. Ehhez kapcsolódóan vizsgálom, hogy a medencét ért erőhatások milyen nyomokat hagytak ezeken a képződményeken.

Ennek során 2D migrált szeizmikus szelvények értelmezek: reflexiós felszíneket, szerkezeti elemeket azonosítok, „mintázatok” követek a geometria megrajzolásához és a földtani értelmezéshez, szem előtt tartva a kronológiai viszonyokat. Ennek alapját integrált adatbázis jelenti, amely szeizmikus, fúrási, és felszíni geofizikai térképek adataiból áll. A földtani korreláció elvégzése 3D modellező programban történik.

A modellezés fontosságára már jogszabályi környezetben is találunk megfogalmazást és előírást, a 18/1996.(VI. 13.) KHVM rendelet alapján vízkitermelést végző kutak esetében az engedélyezéshez elengedhetetlen földtan-és vízföldtani modell benyújtása is. Ezen modellek alapja a vízadók geometriájának, és hidraulikai jellemzőinek (szivárgási tényező) ismerete (Bódi et al. 2014).

Az Európai Unió tagországai az 1990-es évek közepétől egyre nagyobb hangsúlyt fektetnek a vizek védelmére. A megfelelő szabályozás, valamint a kézzel fogható eredmények

érdekében 2000. december 22-én hatályba lépett a Víz Keretirányelv. A program célja a felszíni és felszín alatti víztestek állapotának helyreállítása, a jó állapot fenntartása nem csak minőségi, hanem mennyiségi értelemben is. A vízvédelem és vízgazdálkodás tervei vízgyűjtő területekre lebontva készültek el, ezért intézkedések végrehajtása országhatárokon átnyúló összefogást igényel a tagállamoktól (Internet1). Magyarországon is egyre több példa van határon átnyúló felszín alatti víztestek megismerésére és védelmére irányuló törekvésekből, például a T-JAM (szlovén-magyar) (Internet2), Transenergy (szlovák-osztrák-szlovén-magyar) (Internet3), Pannon XL projekt (MFGI) (Internet4, Internet5).

Világszerte kiemelten kezelik a vízincs ügyét, a magyar földtani intézethez (MFGI) hasonlóan az amerikai (USGS), valamint a brit (BGS) földtani intézetek is több kutatási témaként, komplexen foglalkoznak a felszín alatti vizek megismerésével, monitorozásával, modellezésével, az utánpótlódással kapcsolatos tulajdonságainak, illetve a környezettel való viszonyának megismerésével (Internet6). A különféle nemzetközi szervezetek hasonlóképpen látják azt is, hogy a legnagyobb veszélyt a vízellátás fenntarthatóságára az antropogén behatások (szennyezők beengedése, túltermelés), a klímaváltozás, és a víztestek közti kommunikáció leromlása jelenti.

Továbbá, ahogy a Víz Keretirányelvben is olvasható: "A víz más termékektől eltérően nem kereskedelmi termék, hanem örökség, amit ennek megfelelően kell óvni, védeni és kezelni...". Mivel hazánk legfontosabb vízrezervoárjai a pannónai kőzetekhez kapcsolódnak, kiemelkedő jelentőségű, hogy megismerjük, tanulmányozzuk, s ésszerűen, felelősségteljesen használjuk fel ezeket céljainknak megfelelően (Internet7).

2. A vizsgált földtani egységek és tágabb környezetük fejlődéstörténete és jellemzése

2.1. Magyarország nagyszerkezeti egységei

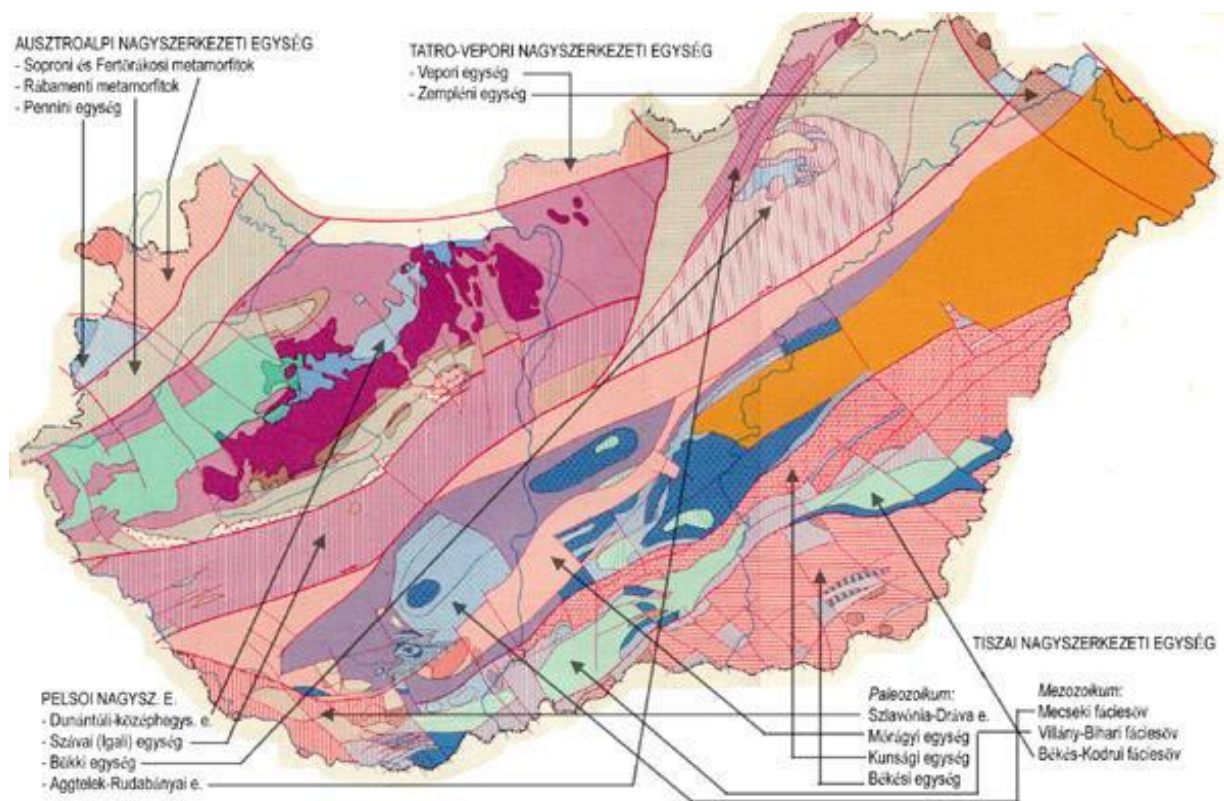
A Kárpát-medence keretétől szolgáló alpi hegységrendszert az alábbi vonulatok alkotják: Nyugati-, Keleti-, Északkeleti-, és Déli-Kárpátok, Nyugati-, Keleti-, Déli-Alpok, valamint az utóbbihoz kapcsolódó Dinaridák (Császár, 2005). A több ezer méter mélységben húzódó medencealjzat változatos eredetű mikrokontinensek összeforrásából alakult ki hozzávetőlegesen 16–20 millió évvel ezelőtt. A haladó és forgó mozgást is végző kéregszilánkok maguk előtt felgyűrték a Magura-óceán medencéjében felhalmozódott üledéket, mely kiemelkedve a mai Kárpátok ívét alkotja. Az óceáni lemez szubdukciójának eredményeként andezites-riolitos vulkanizmus indult, melynek hatására a kéreg elvékonyodott hazánk területe alatt, emiatt a geotermikus gradiens értéke elérheti az 56 °C/100 m-es értéket. Ennek köszönhetjük hévíz vagyunkat, gyógyvizeink magas hőmérsékletét (Internet8, Less, 2011).

A lemezdarabok a Közép-magyarországi Lineament mentén érintkeznek (1. ábra). Magyarország északnyugati részének aljzatát az ALCAPA (Alpok-Kárpátok-Pannóniai) blokk teszi ki, a szerkezeti vonaltól délre, az ország délkeleti területén a Tiszai-egység húzódik az aljzatban. A két mikrokontinens a középső miocénre foglalta el mai helyét, a nagyszerkezeti vonal menti mozgások nagyrészt lezárultak, ugyanakkor egyes részein a rendszer még ma is aktív (Less, 2011). Ezek a nagyobb blokkok további kisebb egységekre tagolódnak. Az ALCAPA esetében bonyolultabb a belső felépítés: Ausztrálpai Nagyszerkezeti Egység (soproni és fertőrákosi metamorfitek, rábamenti metamorfitek, Pennini-egység), Tatro-Vepori Nagyszerkezeti Egység (Vepori-egység, Zempléni-egység), és Pelsői Nagyszerkezeti Egység (Dunántúli-középhegység, Szávai-egység, Bükki-egység, Aggtelek-Rudabányai-egység) (Fülöp, 1990).

A Tiszai-egységet alkotó kéregfragmentumok a variszkuszi orogenezis (kora-perm) során egyesültek, ekkor a Szlavoniai-Drávai-, Kunsági- és Békési Terrén különült el. A középső-triászban kezdett kinyílni a Neotethys varadar-mellékei ága, ekkortól különíthetőek a Mecseki-, a

Villány-Bihari-, a Békés-Codru-, illetve a Kisbihari Zónák (Császár, 2005). Az alpi szerkezetalakulások idején jelentős üledékfelhalmozódás történt a területen, ebben az időben alakult ki a blokkok pikkelyes-takarós szerkezete, illetve az északkelet-délnyugat irányú övezetes elrendeződése.

A kutatási területem a Tiszai-egység területén található. Dél-délkelet felől a Kunsági-terrénum képződményei húzódnak a mélyben, melyek legnagyobb mennyiségben kis és közepes fokú metamorfózison átesett kőzeteket, kisebb részben migmatitot és anatektitet tartalmaznak. A Nyírség területén kellő számú, mélységű és elrendeződésű fúrások hiányában nem tudjuk megállapítani, az aljzat kőzetanyagát, ezen régiók megkutatottsága országos viszonylatban nagyon alacsony (Császár, 2005).



1. ábra: Magyarország medencealjzatának szerkezeti egységei (Fülöp, 1990)

2.2 A Pannon-tó kialakulása, a feltöltődés általános menete

Magyarország területét az oligocén végétől a Középső-Parathetys beltenger borította. A tenger vízszintjében az oligocén-miocén folyamán folytonos változások mentek végbe. Az ottnangi és kárpáti emeletekben transzgresszió, a bádeni emelet elején transzgersszó, végén pedig regresszió zajlott.

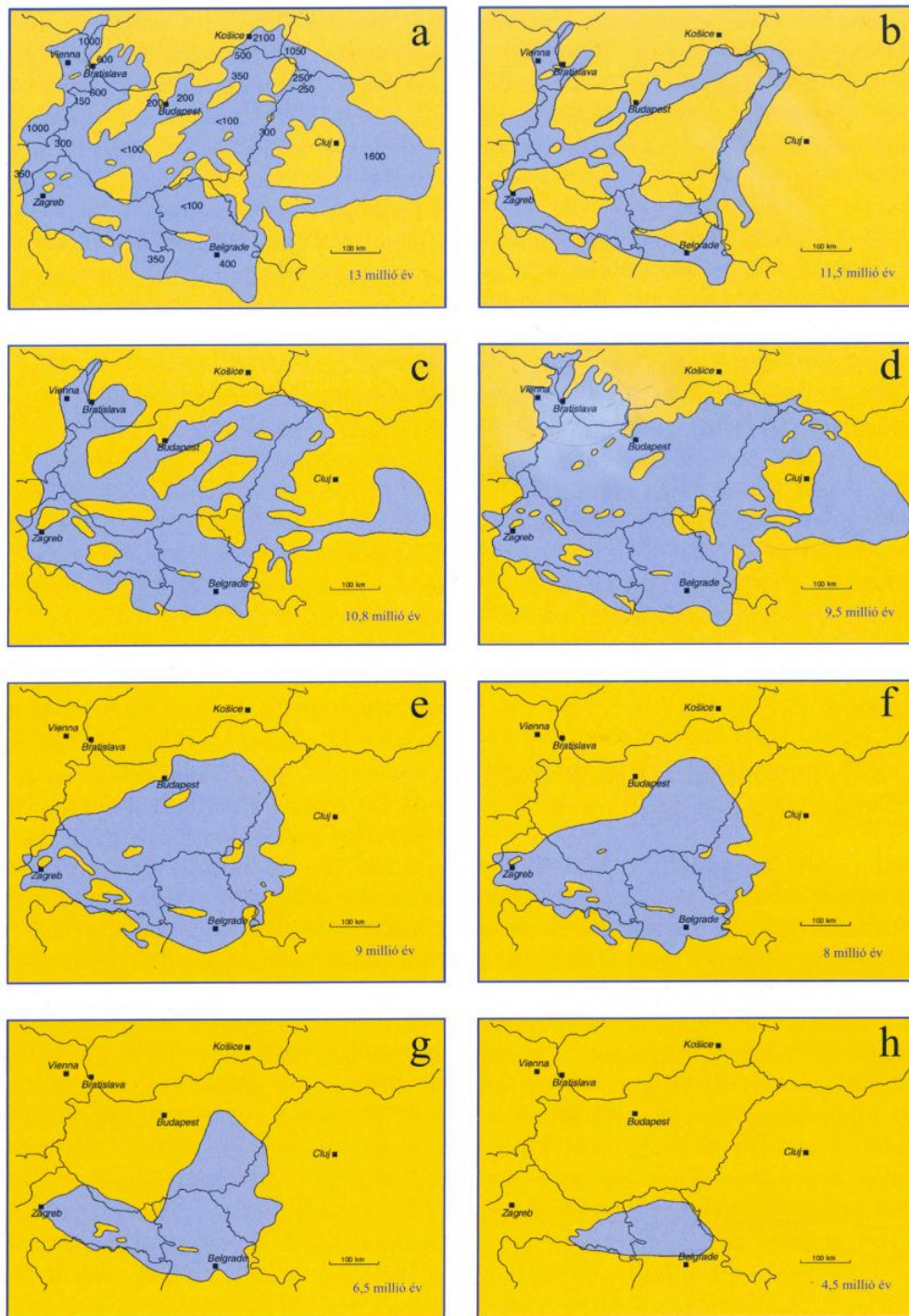
A szarmata emeletről kezdődően a Központi-Parathetys nyílt óceánnal való kapcsolata megszűnt, ekkortól beszélünk a Pannon-tóról önálló egységként. A tó vize kezdetben csökkentsós, majd a beletorkolló folyók kiédesítették. A víz összetételének változásával sajátos, endemikus fauna fejlődött (Less, 2011).

A tó életét három, jól elkülöníthető fázisra lehet osztani (Magyar, 2010):

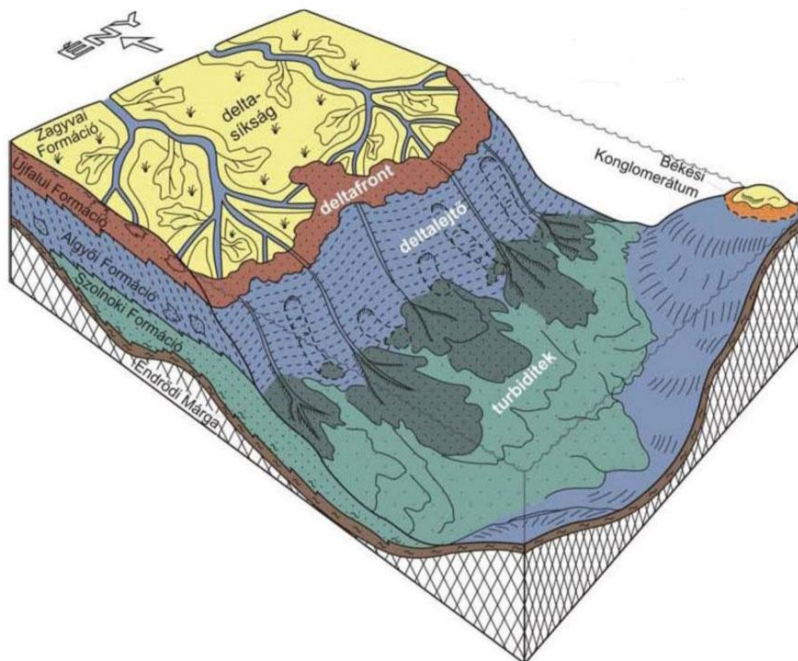
A kezdeti fázisban a regresszió következtében a Pannon-tó lefűződött a szarmata tengerről, s a Kárpát-medence területén aránylag kiegyenlített víztükörrel rendelkezett.

A második fázisban a tó medencéje süllyedni kezdett, a vízszint emelkedett, s egyre nagyobb területek kerültek víz alá. A legnagyobb elöntés körülbelül 10–9 millió évvel ezelőtt történt, ekkor kezdtek kialakulni a legnagyobb mélységgel rendelkező részmedencék.

A harmadik fázisban megindult a tó feltöltődése (2. ábra). Az északnyugat és északkelet felől érkező folyók által behordott üledékek először a torkolatok mentén, majd medence belseje felé is csökkentették a vízmélységet (3. ábra). A pliocénre a tó csupán a Kárpát-medence déli részén volt megtalálható, majd teljesen feltöltődött (Magyar, 2010).



2. ábra: A Pannon-tó kiterjedésének csökkenése 13 millió évtől 4,5 millió évig (Magyar et al., 1999)

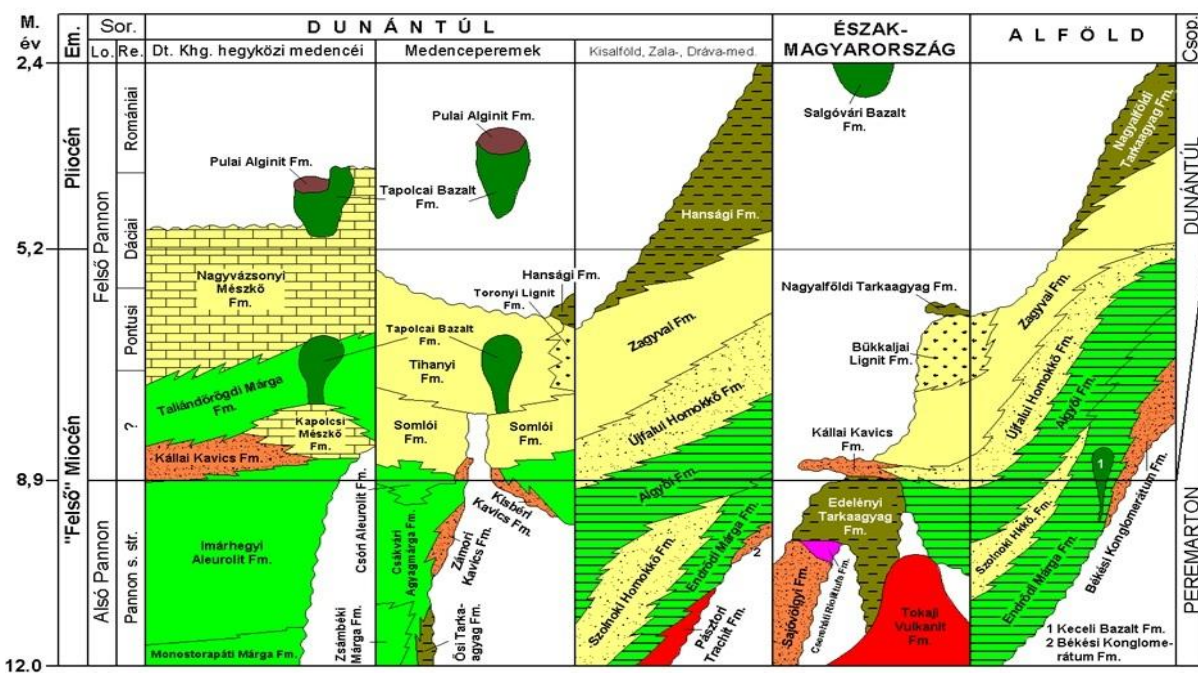


3. ábra: A Pannon-tó feltöltődésének elvi vázlata (Mészáros-Schweitzer, 2002)

2.3 Pannóniai és kvarter képződmények jellemzése

A kőzetek, üledékek ásványtani, geokémia összetétele alapján litosztratigráfiai beosztást tudunk végezni (4. ábra), ennek alapegysége a formáció, amely alatt azonos földtörténeti időben, azonos ösföldrajzi körülmények (fáciesek) között létrejött kőzeteket értünk (Juhász, 1992).

Az Alföld nagyobb részmedencéinek (Makó-Hódmezővásárhelyi-árok, Békési-árok, Derecskei-árok, Jászsági-süllyedék) rétegtani-szedimentológiai vizsgálata alapján az 1. ábrán táblázatosan összefoglalt formációk különíthetők el (Bérczi-Jámbor, 1998).



4. ábra: Pannóniai formációk táblázata. Forrás: Internet9.

2.3.1 Pannóniai kőzettani egységek

2.3.1.1. Békési Formáció

Abráziós, partmenti oligomikt konglomerátum és kavicsos, durvaszemcsés homokkő, amely a medencebelsőben valaha létezett szigetekről lehordódva jött létre, s azokat gallérszerűen vette körbe. Feküje preneogén aljzat, fedője legtöbbször mészmárga. Vastagsága átlagosan 30–40 m, legvastagabb a szerkezeti magaslatok szárnyhelyzetében (Juhász–Magyar, 1992; Bérczi–Jámbor, 1998).

2.3.1.2. *Endrődi Formáció*

Nyíltvízi, hemipelágikus, 15–800 m-es vízmélység között keletkezett képződmények („bazális nyíltvízi márgák”), melyek vastagsága átlagosan 100–200 m, a legmélyebb területeken ez az érték elérheti a 700 m-t.

Feküjét helyenként a Békési Formáció, másutt prepannon képződmények, fedőjét a Szolnoki illetve az Algyői Formációk alkotják. Az Endrődi, illetve Algyői formáció közettani felépítése nagyon hasonló a határuk mentén, ezért elkülönítésük a ma rendelkezésre álló módszerekkel nem megoldott.

Kőzetanyaga a rétegsor alján mészmárga, márga, mely fölfelé fokozatos mélyvízi (hemipelágikus) agyagmárgába megy át. A mészmárga színe változó, a kiemelt hátaik mögött sekélyebb vízben sárgásszürke, majd a vízmélység növekedésével egyre sötétebb, helyenként a sok szerves anyagtól feketés szürke (Bérczi–Jámbor, 1998).

A formáció Dorozsmai Tagozatában a mészmárga, agyagmárga rétegekben kavicsok, vékony kavicscsíkok találhatóak, amely a meredek aljzatmorfológia miatt kerültek az összetetbe. A formáció tetején az agyagmárgában a turbiditek disztális részének aleurolit-homokkő csíkjai fedezhetőek fel, ez a Vásárhelyi Tagozat (Juhász–Magyar, 1992; Bérczi–Jámbor, 1998).

2.3.1.3. *Szolnoki Formáció*

Mélyvízi turbidit rendszer, mely a részmedencék legmélyebben elhelyezkedő területeit tölti ki. Finomszemcsés homokkő és agyagmárga rétegek egymásutánisága építi fel, vastagsága elérheti az 1000 m-t (Derecske-1: 1020 m). Alsó és felső határának kijelölése megoldott geofizikai mérésekkel, összetétele jelentősen különbözik a feküjét képző bazális márgáktól (Endrődi Formáció), valamint a fedőjében lévő Algyői Formációtól.

A Szolnoki Formáció geometriája nagyban igazodik az aljzatmorfológiához, ennek megfelelően emelkedik nyugati és északi irányba, s süllyed mélyebbre a részmedencékben. Ennek oka a differenciális kompakció, valamint a medence különböző részeinek süllyedése a formáció lerakódását követően.

Közzetani kifejlődését finomszemcsés homokkő, aleurolit és agyagmárga jellemzi (Vakarc, 1997; Bérczi–Jámbor, 1998). A formáció anyagának alsó része a turbidit disztális

anyaga, melyben a pélites túlsúlya jellemző. A felső részén a turbidit fokozatosan proximális helyzetűvé válik, ennek megfelelően a homokkő rétegek egyre nagyobb gyakoriságban és kiterjedésben jelennek meg. Az összlet ezen a részen a turbidit lebeny felfelé durvuló rétegsorával jellemezhető (Juhász–Magyar, 1992; Bérczi–Jámbor, 1998).

2.3.1.4. Algyői Formáció

Pélites neritikus (szublitorális), illetve lejtő fáciesek asszociációja, melyet agyagmárga és aleurolit épít fel. Helyenként gravitációs és mederben lerakódott homokkőtestek tagolják a rétegsort. Átlagos vastagsága 200 és 1000 m közötti, jelentős vertikális kiterjedésű lehet a Derecskei-árok délnyugati részén (1500 m) (Vakarcs, 1997). A formáció az Alföldön a lejtő fáciest képviseli, amely alatt a self elhanyagolható mérete miatt a delta és medence lejtőt egyaránt értjük, tehát a két fácies „egybeolvad” (Juhász–Magyar, 1992; Bérczi–Jámbor, 1998).

Az Alföldre jellemző az ÉNY és ÉK irányú fő behordódás, ahonnan a beérkező folyók Gilbert-delta rendszert alakítottak ki, és az így létrejött deltalejtő dőlése 5–20° között váltakozik. A pélites sorozat alsóbb részén található homokkő rétegek áthalmozott eredetűek (tenger alatti csúszás, suvadás), följebb turbiditmedrek, legfelül torkolati zátonyok valamint a hullámozás által átmozgatott vékonyabb homokkőrétegek települhettek. Ezek fölött ismét pélites üledéksor fejlődött ki, mely a deltalebeny áthelyeződésére, illetve relatív vízszintingadozásra utal (Bérczi–Jámbor, 1998).

Az Algyői és Újfalui Formáció képződményeit elválasztó szint jelöli a hagyományos értelemben vett „alsó–felső-pannóniai” határt is egyben, mely az egész összletben a legkönnyebben követhető határ. Ez a fácieshatár diakrón (nem egyidejű), hiszen folyók később töltötték fel a medencebelsőit, azaz délebbi részeket, tehát ugyanaz a formációhatár délebbre egyre fiatalabb képződményeket választ el egymástól (Bérczi–Jámbor, 1998).

A deltalejtő fácies vastagságából hozzávetőlegesen megadható a mindenkori vízmélység, ha leszámítjuk a kompakció hatását (Juhász–Magyar, 1992; Bérczi–Jámbor, 1998).

2.3.1.5. Újfalui Formáció

Az Újfalui Formációt litorális és delta fácies összefogazódások jellemzik, parti, partközeli (delta síksági illetve torkolati) környezetben létrejött üledékek alkotják. Legnagyobb részét finom- és középszemű homokkő rétegsorok adják agyagmárgával és aleurittal közberétegződve. A deltafront és deltasíkság területén az üledék megőrződési potenciálja jóval nagyobb volt, mint egyéb partmenti környezetekben, ezért nagyságrendekkel több üledék halmozódott fel. A kevés finom szemcse gyors ütemű üledékbehordást valamint leülepedést jelez. A litofácies elterjedése egységes, nem különíthető el egymástól a deltafront és a deltasíkság homokos együttese (Bérczi–Jámbor, 1998).

A formáció homokkőtestjei torkolati zátony, delta-ág mederkitöltés, áthalmozott, illetőleg gátszakadás eredetűek lehetnek, ezek a legfontosabb vízáadó rétegek. A közöttük elhanyagolható vastagsággal, és finomabb szemcseösszetétellel megjelenő aleurolit és agyagmárga üledékek a deltaágak közötti mocsári-ártéri, lagunáris, mederágak áthelyeződéséből kialakult morotva, vagy sekély brakkvizi öbölbeli környezetben halmozódhattak fel. A formáció tetején, a mederkitöltések fölött lignit rétegek térképezhetőek (Juhász–Magyar, 1992; Bérczi–Jámbor, 1998).

A formáció karotázs szelvényeken kitűnően azonosítható, anyaga felfelé durvuló szemcseösszetételű, amely a delta előrenyomulását jelzi. Átlagos vastagsága 300–400 m, extrém kivastagodása (akár 2000 m) az Alföld ÉK-i részén figyelhető meg, ahol a deltalejtőn és deltafronton kialakult üledék több ritmusban egymás fölött jelenik meg (Juhász–Magyar, 1992; Vakarcs, 1997).

2.3.1.6. Zagyvai Formáció

Alluviális síkságon, ártéren, folyómedrekben, sekélyvízű tavakban, illetve mocsarakban felhalmozódott szürke aleurolit-agyagmárga-homokkő sűrű váltakozásából áll, néhol tarka agyag és lignit betelepülések fordulnak elő. A Zagyvai Formáció jellegzetes karotázs szelvényképpel rendelkezik, a finomszemcsés frakció kerül túlsúlyba. A delta háttér környezetben lerakodott együttesére települnek az alluviális síkságon képződött ártéri, mocsári, tavi, folyóhát és morotva

(holtág) üledékes fáciesei, maga az összlet egy litofácies egységet képvisel (Juhász–Magyar, 1992; Bérczi–Jámbor, 1998).

A Formáció a legintenzívebben süllyedő területeken azonosítható, a Duna-Tisza közén illetve az Alföld keleti részén található fáciesösszefogazódási zóna területén nem térképezhető. Feküjében az Újfalui Formáció található, fedőjét az Alföldön a Nagyalföldi Formáció alkotja, ahol ez nem fejlődött ki, vagy lepusztult, ott a kvarter települ rá (Bérczi–Jámbor, 1998).

2.3.1.7. Nagyalföldi Formáció

Alluviális síkság környezetben létrejött üledékeket foglal magába. Az előzőekben említett egységektől a gyakoribb tarka agyag és paleotalaj rétegek különböztetik meg, melyek a klíma szárazabbá válására adnak bizonyítékot. A nagyrészt tarka-agyagos Zagyvai Formáció fölött nem különül el, nem jelenik meg külön kifejlődésben. Azért tekinthető külön fáciesegységnek, mert a MÁFI alapfúrásokban megfogható, bizonyos területeken határképződményeitől élesen elválik (Vakarcs, 1997; Bérczi–Jámbor, 1998).

2.3.1.8. Bükkaljai Formáció

Mocsárerdei lignit és nyíltlápi agyagmárga, huminites agyag építi fel, melyeket a szénkutató alapfúrások tártak fel. Az Északi-középhegység déli előterében, üledékutánpótlástól megfosztott, mocsári területen képződött formáció (Bérczi–Jámbor, 1998).

2.3.2. A Negyedidőszak üledékei

Negyedidőszak alatt a paleomágneses Matuyama-Gauss fordulat óta eltelt 2,4 millió évet értjük. A pleisztocén kezdetén lerakódott folyóvízi kavicsos törmelékkúpok néhol felszín közelben (Kemeneshát területén, Sajó-Hernád-síkon), az Alföld peremén azonban már nagyobb mélységekben találhatóak, maximum néhány tízméteres vastagságban. A Tiszántúl területén a

Sajó kavicsstörmeléke a pannóniai rétegekre települ. A kavicsmezők létrejöttével azonos időben a hegységi peremterületeken vörös agyagok, az Alföld medencéjében tarka anyagok halmozódtak fel (Rónai, 1980).

Az időszak jellegzetes képződményei a folyók futásirányát követő kavics, kavicsos-homok teraszok, melyek a medertől távolodva egyre idősebbek. A jelenben is azonosítható teraszok felfelé finomodó rétegsorúak, ezzel a folyóvízi akkumuláció természetes folyamatát mutatják be, tetejüket homok és iszap fedi. Típusos előfordulását láthatjuk a Hernád valamint a Duna mentén (Rónai, 1980).

A hegységek felől legyező alakban szétterülő egykori hordalékkúpok, lejtőtörmelékek fokozatosan mennek át a medencei folyóvízi rétegekbe, melyek legjellemzőbben kavics, durva, közepes és finomszemű homokból valamint pélitekből állnak, meder, parti illetve ártéri környezetekben keletkeztek. Utóbbiak vastagsága elérheti a 700 m-t. Azokon a területeken, ahol a folyóvizek áradásai több száz évig tartottak, az üledéksorok jellemzői hasonlóságot mutatnak a tisztán állóvízi környezetben felhalmozódott összletekkel (Rónai, 1980).

A Budai-hegységben feltörő hévforrások zónájában édesvízi mészkő rétegek jöttek létre a negyedidőszak során. A medencében keletkezett mészkövek lazább felépítésűek, ősmaradványokban gazdagabbak. A homokvidékek mélyedéseiben víz által összerosott, párolgással kicsapódott képződmények a réti mészkövek, tavi kréták (Rónai, 1980).

Az eolikus eredetű lösz néhány métertől 30–40 m-es vastagságban halmozódott fel az Alföld különböző térségeiben, legtipikusabb előfordulása a Duna-magaspartja (Budapesttől Mohácsig) mentén ismert. A löszök kialakulását meghatározó, genetikailag rokon képződmény a Duna-Tisza közén illetve a Nyírség területén a futóhomok, melynek szél által történő mozgatóásával buckák, szélbarázdák garmadák teszik változatossá a tájat (Rónai, 1980).

Az Alföld mocsaraiban, lápjaiban a növényi maradványokból tőzeg képződött néhány méteres vastagságban, a Tiszántúlon a Sárrétek területén találhatunk típusos rétegeket (Rónai, 1980).

3. Kutatástörténeti előzmények

Az ország területének geológiai szempontú vizsgálata az 1920-as években kezdődött, amikor is a Magyar Kincstár hazai és külföldi vállalkozók számára adott támogatásokat a szénhidrogén illetve kőolajbázisok felderítésének céljából. Ezen kutatások átütő sikereket nem hoztak, azonban a kormány felismerte az ásványi nyersanyagok stratégiai fontosságát. Az ásványi nyersanyagmezők vizsgálata a világháborúk idején sem szünetelt, s a kutatók figyelme az 1950-es évektől az Alföld felé irányult. A szakemberek munkáját segítette a geofizika módszereinek folyamatos fejlődése, az 1930-as évek végén már az Eötvös Lóránd Geofizikai Intézet (ELGI) is végzett méréseket hazánk területén (Internet10).

Hazánk területének miocén, pliocén korú képződményeinek vizsgálatával foglalkozó kutatók (a teljesség igénye nélkül) eredményei jelentős információkat szolgáltatottak jelen kutatáshoz.

Szeizmikus és szekvencia sztratigráfiai vizsgálatok nagyban elősegítették ismereteink bővítését a pannóniai litosztratigráfiai egységek körében. Ez mind az egész medencére kiterjedően (Vakarc et al. 1991 1997), mind regionális szinten (Juhász Gy. 1992, Juhász et al. 2006) fontos információkkal szolgáltattott.

Az Alföld szeizmikus sztratigráfiai vizsgálatában kiemelkedő szerepe volt Vakarc Gábornak, Tari Gábornak, Várnai Péternek (Vakarc–Tari, 1993; Vakarc– Várnai, 1991), Késmárky Istvánnak (Késmárky et al., 1981), Marton György (Marton, 1985) munkásságának. Pogácsás és munkatársai (1989) az Orgovány és Kiskőrös között húzódó zónában oldaleltolódásokat, és hozzájuk kapcsolódóan extenziós illetve kompressziós zónákat térképeztek. Tanulmányaikban számos „fél-árok” (half-graben) került feltárássra az Alföldön futó szeizmikus szelvényeken.

A miocénben végbement geomorfológiai inverzió nagy hatást gyakorolt a Tiszántúl medencealjzatára (Magyar et al., 1998). A kvarter képződményeivel, a Pannon-tóval s annak üledékeinek vizsgálataival behatóan foglalkozott Juhász Györgyi (1992, 2006, Juhász-Magyar 1992), Pogácsás György (Pogácsás et al. 1989), Vakarc Gábor (1997) Haas János (1998), Csíky

Gábor és társai (Csíky et al. 1987/a, b) . Magyar Imre a Pannon-tó faunájának vizsgálatában ért el kiemelkedő eredményeket (Magyar, 2010; Magyar et al. 1999).

A Debreceni Egyetem Ásvány- és Földtani Tanszékének kutatói, Székyné Fux Vilma, Kozák Miklós és később Püspöki Zoltán a Kelet-Magyarországon eltemetett neogén magmatizmus nyomait vizsgálták (Széky-Fux et al., 2007). A Debreceni Egyetem Ásvány- és Földtani Tanszékén nemzetközi projektek is zajlanak, ilyen többek között a HURO program keretében megvalósult Szekvencia-sztratigráfia alapú földtani kutatás Nyíregyháza–Szatmárnémeti térségében (Demeter et al. 2010). A Debreceni Egyetem Műszaki Karán indult a Geotermikus rendszerek fenntarthatóságának integrált modellezése (GEOREN) program, melynek célja a geotermikus energia hasznosításának elméleti vizsgálata a rendszerek üzemeltetésének optimalizálása, valamint a fenntarthatóság kritériumainak megfelelően (Internet11). Ez utóbbi kutatás adta az alapját a Közép-Tiszántúl aljzatának tektonikai vizsgálataihoz (Bódi et al. 2014).

egységek vastagságára, s ezáltal a belőlük kitermelhető víz mennyiségére vonok le következtetéseket. A szekvencia sztratigráfia ezen felületek által közrezárt üledékek vizsgálatában, az öskörnyezeti viszonyok rekonstruálásában használatos.

4.2. Medenceanalízis

A medenceanalízis az egykori üledékgyűjtők fejlődéstörténetét kívánja feltárni. A vizsgálatok legfőbb célkitűzése a geoszinklinálisokat kialakító, majd pusztulásukat okozó folyamatok feltárása, az üledékfelhalmozódás mechanizmusainak tanulmányozása, valamint a közettéválást szabályozó tényezők ábrázolása (Balogh, 1992).

A teljes megismerés érdekében több részfeladatra is ki kell térni:

- meg kell határozni azokat a tektonikus kéregmozgásokat, amelyek a medencét kialakították, fejlődésére hatással voltak;
- elemezni kell az eusztatikus vízszint-ingadozásokat, azok kiváltó okait (addig releváns, míg a medencének kapcsolata van a világóceánnal);
- vizsgálni kell az üledékes környezet változásait, az üledékfelhalmozódás sebességét, tér- és időbeli változásait, esetleges hiányok paramétereit;
- le kell írni az adott környezeti feltételek között kialakult üledékes fácieseket, azok litosztratigráfiai egységeit;
- szükséges megállapítani az üledéksor diagenezisének menetét és porozitását befolyásoló hatásokat, hogy megad hassuk mennyire perspektivikus az adott összlet szénhidrogén vagy vízkitermelés szempontjából (Balogh, 1992).

Az adatok megjelenítése számítógépes modellező programok segítségével történt, melyek a teljes analízis elvégzésében is nagy fontosságúak.

4.3. Szeizmikus sztratigráfia

A szeizmikus sztratigráfiai interpretáció felhasználási területe a szénhidrogén- és vízkitermelés szempontjából perspektívikus területek kijelölése. A szeizmikus hullámtér jellegzetességeinek vizsgálatával részletesebben felderíthetjük a részmedencék fejlődéstörténetét, földtani szerkezetét. Segítségével rekonstruálhatóak a tektonikai és üledékképződési események, folyamatok, az egykori üledékképződési környezetek (fáciesek) (Késmárky et al., 1981; Marton, 1985).

A szeizmikus mérések a kőzetek akusztikus tulajdonságain alapszanak, mely jellemzők függenek a kőzettest mélységétől, porozitásától, a pórustartalomtól, rétegzettségtől, nyomásviszonyoktól, stb. Az időszelvényeken megfigyelhető hullámképek a refraktáló felületek akusztikus sajátosságait képezik le. Ezen szeizmikus reflexiók eltérő üledékképződési viszonyok között kialakult, eltérő szeizmikus struktúrával rendelkező felületekről (rétegfelületek, diszkordancia felületek) származnak. A refraktáló felszínek mentén azonos korú képződmények találhatóak, tektonika által meg nem bolygatott rétegsorokban a reflexiók „kvázi izokron” felületeket jelentenek (Késmárky et al., 1981; Marton, 1985).

A szeizmikus sztratigráfiai vizsgálatok első lépése a szekvencia analízis, mely nagy területre kiterjedő üledékes egységek izolálását teszi lehetővé, az üledékfelhalmozódás nagyobb szakaszainak meghatározására alkalmas. A szeizmikus szekvencia (genetikailag összefüggő reflexiókötegek) az üledékes szekvencia időszelvényen való leképezési formája (Késmárky et al., 1981; Marton, 1985).

Második lépésként az elkülönített reflexiótartományok, szeizmikus fáciesek vizsgálata következik. Ebben a szakaszban fontos feltárni:

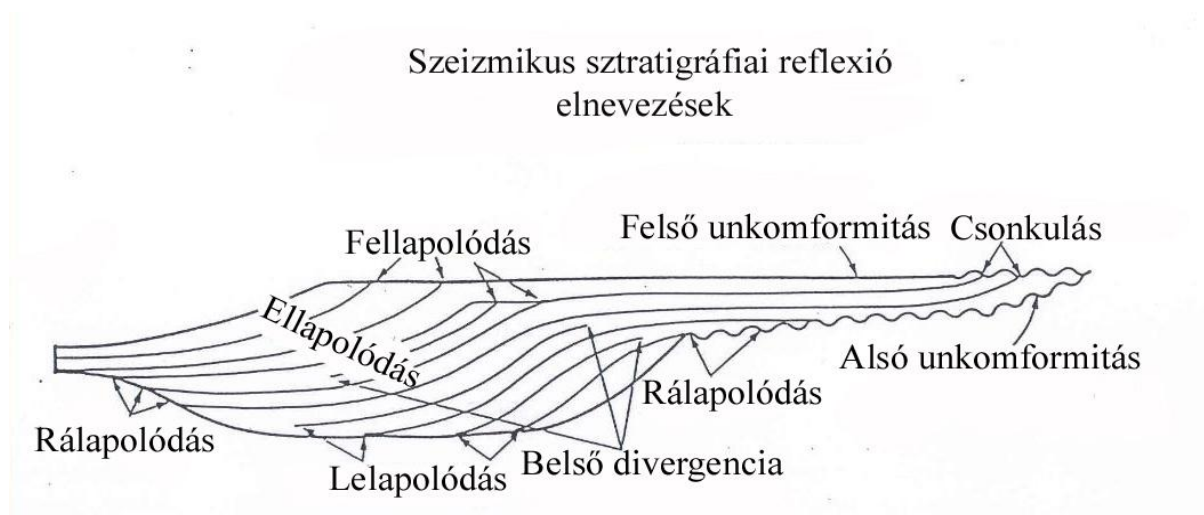
- reflexiók amplitúdóját: adott refraktáló felület alatt és fölött húzódó kőzettestekben keletkező sebesség-sűrűség kontrasztból adódik, nagyságából litológiára, a rétegek vastagságára adhatunk becslést;
- reflexiók konfigurációját: a reflexiók alakját, egymáshoz való viszonyukat jelenti, rétegződési és energetikai viszonyokra, behordási irányokra következtethetünk segítségével;

- reflexiók kontinuitását: a reflexiók szakadatlanságának, folyamatosságának mértéke, a rétegek folytonosságával áll kapcsolatban;
- reflexiók frekvenciáját: a folyadéktartalommal van összefüggésben, vízkitermelés szempontjából fontos paraméter;
- a reflexiók szekvencia határokon való megjelenési formáját (kiékelődés, rálapolódás, erózióra utaló elvégződés);
- refraktáló felületek alakját, párhuzamosságát, divergenciáját, esetleges görbületét, dőlésszögét.

A paraméterek bizonyos fokú egyezése esetén beszélhetünk szeizmikus fáciesről, mely ebben az esetben azonos körülmények között felhalmozódott, hasonló litológiájú üledékeket képvisel (Késmárky et al., 1981; Marton, 1985).

A harmadik fázis a meghatározott egységek geológiai értelmezése, modellezés, melyhez a szeizmikus adatokon kívül nélkülözhetetlen a mélyfúrási adatok integrálása is, melynek segítségével pontosabb, statikusabb eredményhez jutunk (Késmárky et al., 1981; Marton, 1985).

A szeizmikus sztratigráfiai reflexiók elnevezése az 7. ábrán olvasható.



7. ábra: Szeizmikus sztratigráfiai reflexiók elnevezése egy idealizált szeizmikus szekvencián (Vail et al., 1977)

4.4. Szekvencia sztratigráfia

A szekvencia sztratigráfia elsősorban az üledékfelhalmozódás trendjeivel, tendenciáival foglalkozik idő és tér léptékben. Elmondható róla, hogy dinamikus szemléletű. Tanulmányozza az akkomodációs teret (azt a térrészt ahová az üledék felhalmozódhat), a rétegösszletek mintázatát, mely magában foglalja a geometriai és fáciestani kapcsolatokat, melyet nagyrészt a rendelkezésre álló akkomodációs tér nagyságának és az üledékbehordás mértékének egymáshoz viszonyított aránya szabályoz adott időpillanatban. Elemzi a belső és küldő eredetű folyamatokat, melyek hatással lehetnek a leülepedésre (Vakarcs–Tari, 1993; Catuneanu, 2006).

A szekvencia sztratigráfia egy olyan integrált módszertan, mely felhasználja a fáciesanalízis (öskörnyezeti rekonstrukciók, Walther-féle fáciestörvények), a talajtan, az őslénytan, valamint a geofizika (fúrások, szeizmikus szelvények, geofizikai térképek), a hidrogeológia és a térinformatika által nyújtott információkat, módszereket, lehetőségeket. A szekvencia sztratigráfiai analízis során elkülönítjük az egyes reflexióegységeket, megkeressük a diszkordancia felületeket, így azonosítani tudjuk az üledékes szekvenciákat, melyek között található üledékösszlet egy eusztatikus tengerszintváltozási ciklus alkalmával rakódott le. A szekvenciákat eróziós (medenceperemeken diszkordáns, medencebelsőben ezeknek megfeleltethető konkordáns) felszínek választják el egymástól. A szekvenciák egymással genetikai és kronosztratigráfiai kapcsolatban állnak (Vakarcs–Tari, 1993).

A medencében előforduló rétegtani egységek, közettömegek eloszlására 5 fő tényező gyakorol befolyást (Vakarcs–Várnai 1991):

- tektonika: meghatározza a süllyedés mértékét, kialakítja magát a geoszinklinálist;
- eusztatikus tengerszintváltozás: a rétegezettségre és az képződmények litológiai-szedimentológiai arculatára hat;
- relatív tengerszintváltozás: a tektonika és az eusztatikus változások összjátékának eredménye, mely nagymértékben meghatározza az akkumuláció folyamatait, befolyásolja az akkomodációs tér nagyságát;
- a behordott üledék mennyisége: a vízmélységet befolyásolja, főleg a part menti övetekben;

- klíma: a felhalmozódás sebességét, minőségét, és mennyiségét határozza meg, a klíma rövid periódusú változása a Föld pályaeleminek módosulására vezethető vissza (Haas et al., 1998).

A leülepedési szekvenciák regionális diszkordanicafelületek által körülvelt egységek, a határok az eusztatikus vízszintváltozási görbe tengerszint süllyedési szakaszának inflexiós pontjai közelében helyezkednek el (Vakarc–Várnai, 1991).

A leülepedési szekvencia a különböző vízállásokhoz tartozó üledékes szisztémákra osztható, melyek elnevezése angol eredetű, és mivel a magyar szakirodalomban is gyakran így használatosak, mind a magyar, mind az angol megfelelőik bemutatásra kerülnek.

- Lowstand systems tract: kisvízi rendszer-egység, a medence belseje felé progradáció (kiépülés) történik, az egyensúlyi pont is ebbe az irányba tolódik el, vízszintcsökkenés figyelhető meg, a tektonikai süllyedés mértékénél nagyobb az eusztatikus vízszintesés. Határát parti rálapolódások (onlap-ek) képezik (Vakarc–Tari, 1993; Vakarc–Várnai, 1991).
- Shelf margin systems tract: medence (párkány) peremi üledékes rendszer-egység, a süllyedés és az eusztatikus vízszintcsökkenés közel egyensúlyban van, a vízszint lassan emelkedik, aggradáció (felfelé épülés) alakul ki, az egyensúlyi pont a part felé vándorol (Vakarc–Tari, 1993; Vakarc–Várnai, 1991).
- Transgressional systems tract: transzgressziós rendszer-egység, a relatív vízszint emelkedik, az egyensúlyi pont gyors ütemben tolódik a part irányába, a part felé épülő (retrogradáló) paraszekvenciákból áll. A paraszekvenciák elöntési (izokron) felszínekké határolt képződmények, jól térképezhetőek, a medence belseje felé fokozatosan kivekonyodnak (Vakarc–Tari, 1993; Vakarc–Várnai, 1991).
- Highstand systems tract: nagyvízi rendszer-egység, a relatív vízszint újra csökkenni kezd, a medence irányába akkumuláló (pogradáló) delták üledékei alkotják, lelapolódással települ az alatta lévő TST-re, a kettő közötti határ a transzgresszió maximális szintjét is jelenti (Vakarc–Tari, 1993; Vakarc–Várnai, 1991).

Egy üledékes szekvencia teljes kifejlődésben egy kisvízi vagy medenceperemi rendszer-egységgel kezdődik, melyre a part felé egyre vastagodó nagyvízi (transzgressziós) egység települ. A rendszert a folyóvízi rétegekből álló blokk zárja le.

A szekvenciákat kialakító hatások mindegyike bizonyos periódusonként változik, és ez a ciklicitás figyelhető meg az általuk létrehozott rétegsorokban is. Időtartalmuk, valamint jellegük szerint a ciklusokat rendekbe sorolhatjuk.

Elsőrendű ciklus az, amely az adott óceáni medence kinyílásától a bezáródásáig datálható, átlagosan 50 millió évnél is több ideig tart.

A másodrendű ciklusok 3–50 millió év közötti időszakot ölelnek fel, a kontinentális perem tengeri elöntésétől (transzgresszió) a szárazulatra kerüléséig (regresszió) tart, az előző ciklushoz hasonlóan ennek kialakulása is tektonikai változásokhoz kapcsolódik. A másodrendű cikluson belül különíthetők el a szekvenciák, időtartamuk 0,8–3 millió év. Regionális kiterjedésüket felhasználva rétegtani korrelációban használatosak.

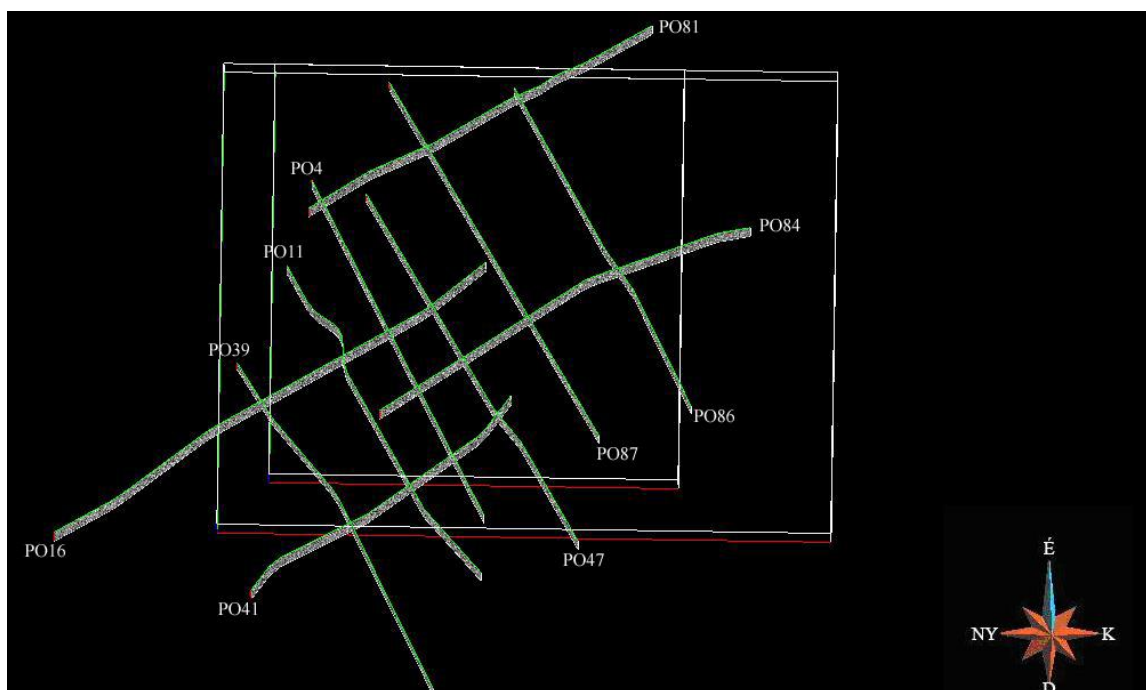
A harmadrendű ciklusok, és az őket felépítő negyed-, ötöd-, illetve hatodrendű kisebb lerakódási egységek, paraszekvenciák létrejötte a Föld pályaelemeinek módosulása miatt fellépő klímaváltozásra, és az ehhez köthető glacioeusztatikus tengerszintváltozásokra vezethető vissza. A paraszekvenciák maximum néhány tízméteres vastagságúak, 0,02–0,8 millió évet fognak egybe (Haas et al., 1998).

4.5. Felhasznált geofizikai adatok

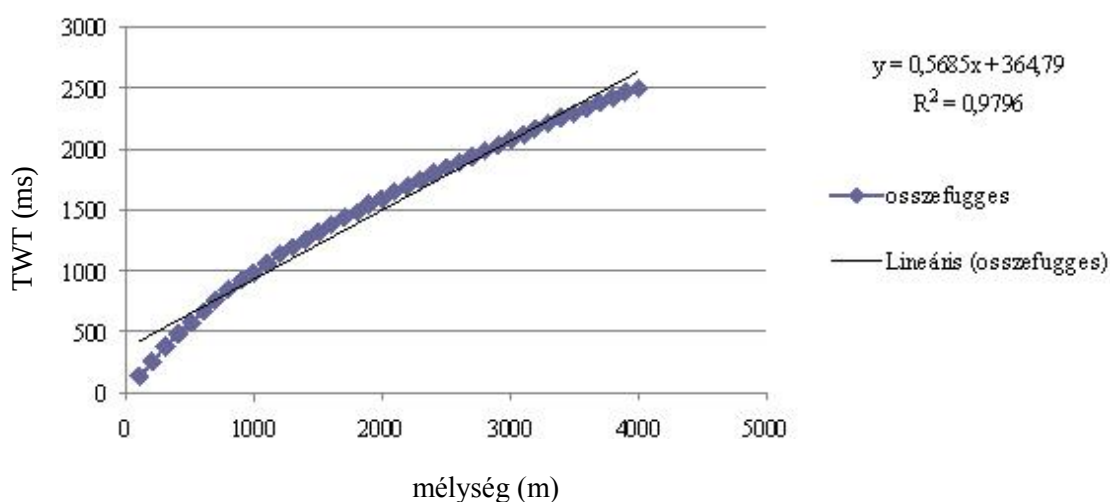
Kutatómunkám során egy nagyobb léptékű tanszéki vizsgálatba kapcsolódtam be. Ennek nyomán számos adat állt rendelkezésemre:

- 2D migrált szeizmikus szelvények .SEGy formátumban, melyek a Magyar Állami Földtani Geofizikai és Bányászati Adattár rendszeréből megvásárolt adatok. Jellemzően 5000 millisekundum mélységig tárják fel a kérget, hosszuk 32–50 km között váltakozik. Területemet egy északnyugat-délkelet, északkelet-délnyugat tájolású szelvényháló fedi le, mely 10 darab szelvényből áll (8. ábra). A szeizmikus szelvények mélység adatai

millisecundumban (ms) értelmezendők, mivel a hullámok kétutas visszaérkezési idejét (TWT) mutatják. Ebből a mértékegységből méterre való átváltás csak akkor lehetséges, ha a sebességek eloszlását pontosan ismerjük az adott földtani közegben. Erre vonatkozóan rendelkezésre áll egy közelítő összefüggés, melyet az 9. ábrán ismertetnek (Mészáros – Zilahi-Sebess, 2001);



8. ábra: A kutatási terület szelvényhálózata



9. ábra: Mélység-idő összefüggés (Mészáros – Zilahi-Sebess, 2001)

- Vízföldtani naplókat, földtani rétegsor leírásokat és karotázs görbéket a Regionális Környezetvédelmi és természetvédelmi igazgatóságok díjmentesen szolgáltatják papíralapon;
- Rétegsorok a Magyar Állami Földtani Geofizikai Bányászati Adattár rendszeréből, valamint betekintés az Adattár kútdokumentációjába;
- geofizikai alapadatok, térképek a Közcélú Internetes Geofizikai Adatszolgáltatás (KINGA) rendszeréből;
- Debreceni Egyetem Ásvány- és Földtani Tanszék birtokában lévő már digitalizált karotázs görbék: Hajdúdorog K73; Nyíregyháza K378, B468, K496; Tiszaújváros K50;
- saját digitalizált fúrások (2. táblázat): Polgár B88, Hajdúböszörmény B270, Hajdúböszörmény B367, Hajdúböszörmény K243, Hajdúböszörmény K242, Hajdúnánás K172, Hajdúnánás K114, Nyíregyháza B590, Tiszavasvári K78, Tiszacsege K119.

A 2. táblázatban a saját munka oszlopban található rövidítéseket az alábbi jelentéssel bírnak:

PhotoShop→ Adobe Photoshop programban a szkennelt fúrásrészek összeillesztése, majd átrajzolása, elmentése BMP-ként, s darabolása kisebb méretű BMP-kre.

Átrajzolás→ Adobe Photoshop programban a már meglévő összerakott .tif fájl átrajzolása, elmentése BMP-ként, darabolása kisebb méretű BMP-kre.

Geogörbe EZ→ Geogörbe EZ szoftverben a szétdarabolt BMP-k beolvasása, a beolvasott görbék adatainak elmentése .txt fájlba, majd a fájlok összeillesztése Microsoft Excel táblázatban illetve Microsoft Access táblákban, majd a kész adatok ismételt kimentése .txt-be.

GoCad→ A .txt fájlokat a GoCad programban a fúrások log rendszerébe (fúrólyuk szelvényezés karotázs görbéi) importálása, a fúrást képét a hozzá legközelebb eső szelvényre illeszttem a megfelelő koordináták megadásával.

Név	X	Y	Z	Saját munka
Polgár B88	804422	284103	1190 m	Photoshop, Geogörbe EZ, GoCad
Hajdúböszörmény B270	834140	263240	995 m	Átrajzolás, Geogörbe EZ, GoCad
Hajdúböszörmény B367	834132	262826	700 m	Átrajzolás, Geogörbe EZ, GoCad
Hajdúböszörmény K243	834102	263034	750 m	Átrajzolás, Geogörbe EZ, GoCad
Hajdúböszörmény K242 (Hb 1)	833898	263131	970 m	Photoshop, Geogörbe EZ, GoCad
Hajdúnánás K172	823921	281843	1190 m	Photoshop, Geogörbe EZ, GoCad
Hajdúnánás K114	827461	279121	1020 m	Photoshop, Geogörbe EZ, GoCad
Nyíregyháza B590	849765	299250	970 m	Átrajzolás, Geogörbe EZ, GoCad
Tiszavasvári K78	822991	291361	1200 m	Photoshop, Geogörbe EZ, GoCad
Tiszacsege K119	793827	264212	1300 m	Photoshop, Geogörbe EZ, GoCad

2. táblázat: Saját digitalizált fúrások adatai

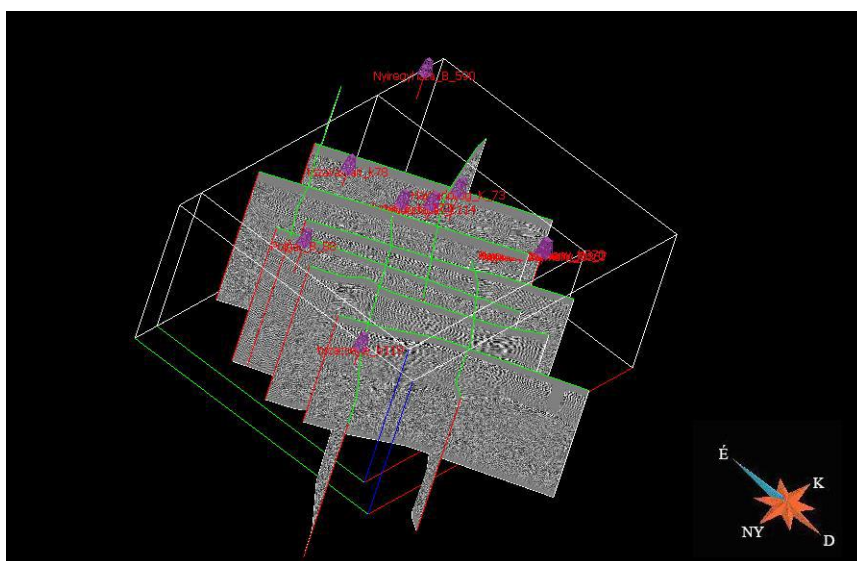
4.6. Alkalmazott eljárások, szoftverek

Az előzőekben bemutatott adatoknak a térképi összeállítása GeoMedia programmal történt, amely külső adatbázis kapcsolattal éri el a különféle típusú megadott adatokat. A szűkebb kutatási területek esetében, így dolgozatom kutatási területe esetében is, az arra eső adatok térbeli lekérdezése is ebben történt (Spatial Query).

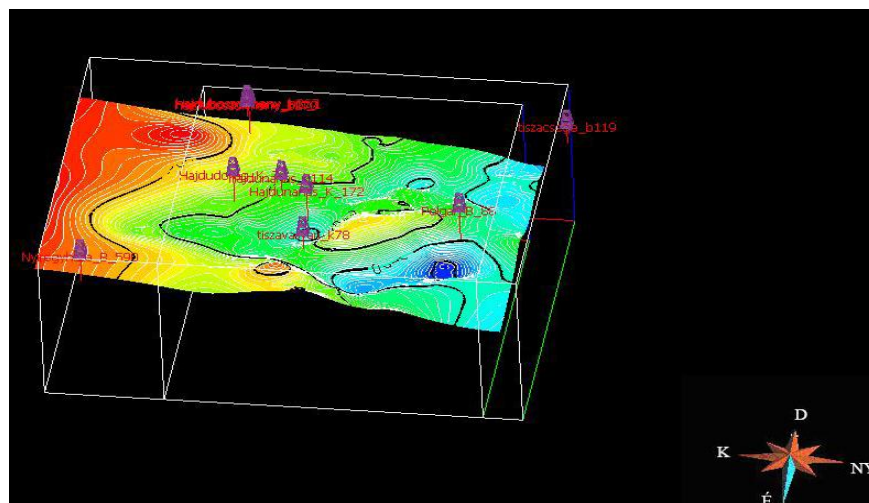
A papíralapú karotázs görbéket átalakításának első lépése a szkennelés. A bevitt fájlokat Adobe Photoshop program segítségével összeillesztjük és a görbéket 2-es vastagságú ceruzával átrajzoljuk, majd .JPEG vagy .BMP formátumban elmentjük. Ezeket a „digitális” görbéket a GeoGörbe EZ nevű program beolvassa és parametrizálja. A programban meg kell adni a fúrás nevét, legkisebb és legnagyobb mélység értéket, az adott görbe maximum illetve minimum értékét, s nekünk kell kijelölnünk a beolvasandó görbét is. A feldolgozott adatokat .txt állományban tárolja, ezeket később egyéb programokban is felhasználhatjuk.

A szeizmikus szelvényeket a SmartSketch szoftver segítségével tudjuk megjeleníteni, mely lehetőséget ad arra, hogy a képen azonosítható vetőket, horizontokat, tektonikai értelmezéseket rárajzoljuk a képre, amik layer-ekként (fóliaként) fognak megjelenni. A SmartSketch előnye, hogy a rajz minden alkotóelem egység külön layer-re helyezhető, ezáltal későbbi módosításokat, a layer-ek be-kikapcsolását teszi lehetővé.

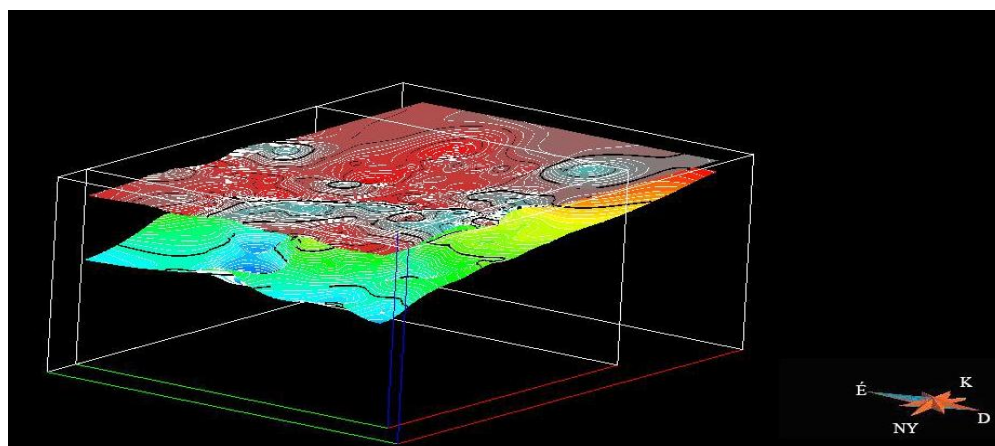
A szelvények és fúrások rendszerét a GoCad szoftverben állítottam össze a modellrétegek geometriájának meghatározása céljából. Ez egy vektor alapú 3D modellező program, mely az általunk megadott pontokra, vonalakra illeszkedő felületet gyárt, ehhez a saját fejlesztésű Discrete Smooth Interpolation módszert alkalmazza. A program csoportokra bontva jeleníti meg adatainkat, külön csoportba kerülnek a fúrások, szeizmikus szelvények (10. ábra), és az általunk készített felületek (11., 12. ábra), ponttok, curvek (vonalak) 3D voxeltek. Ezek az ún. objektumok (objects).



10. ábra: Szeizmikus szelvények és fúrások a GoCad-ben



11. ábra: Voxet, fúrások, és az aljzat felszíne a GoCad-ben

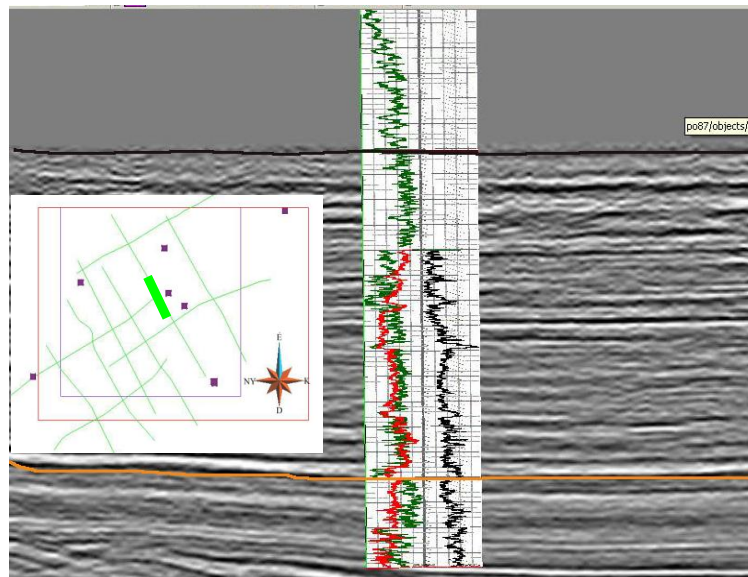


12. ábra: Felületek a GoCad-ben

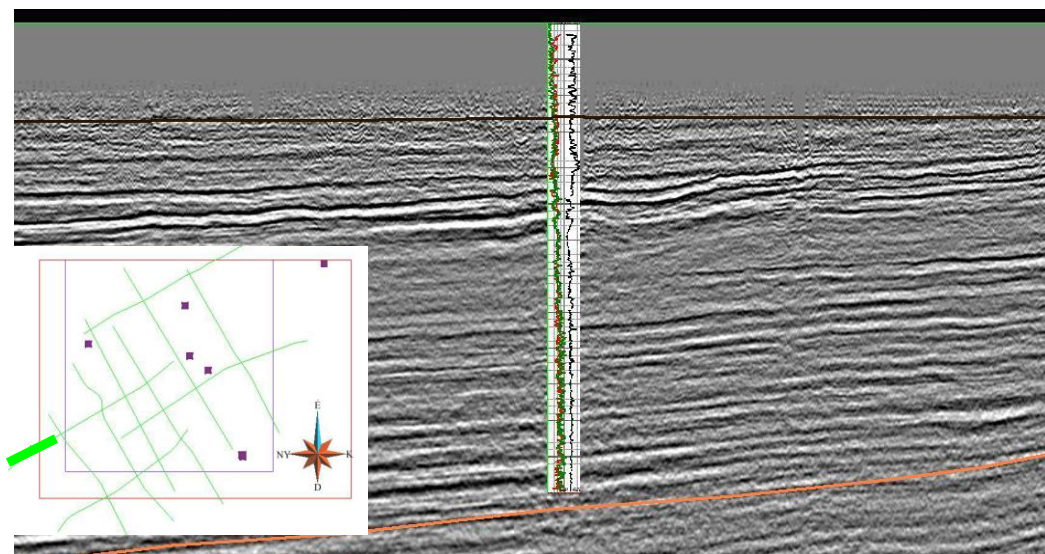
A szelvények és fúrások fontosabb adatait, pontos koordinátáit, azok attribútum táblázatában találjuk ahol a részletes beállítások is elvégezhetőek. A formáció határok kitérképezése szeizmikus szelvényeken történt. A szeizmika korlátai miatt nélkülözhetetlen a fúrások karotázs görbéinek vizsgálata a megfelelő eredmény elérése érdekében. A lehatárolás szeizmikus sztratigráfiai módszerrel történt, a genetikailag összefüggő reflexióköteget egy formációnak tekintjük.

A Geogörbe EZ programban elmentett .txt-ket Microsoft Excel illetve Microsoft Access táblákba importáljuk, ahol a részekre darabolt görbék adatait összeillesztjük. A kész görbeadatokat ismét .txt fájlba mentjük ki. A GoCad programban a fúrások nevének lenyitása után a LOG fülre kattintva hívhatjuk be a .txt állományokat (jobb klikk a LOG fülre, majd Import from → Column-based file). A felugró ablakban ki kell választanunk a fúráshoz tartozó .txt fájlt, s megfelelő beállítások megadása után a szoftver a fúrás nevéhez rendeli a görbét, amik meg is jeleníthetők.

A 2D migrált szeizmikus szelvényekre illesztéshez a GoCad-ben megjeleníthető görbékről Log Displayt kell létrehoznunk (jobb klikk a görbe nevére, majd Create Log Display). A megjelenő ablakban beállíthatjuk a görbék színét, új maximum és minimum értékeket adhatunk nekik. A megfelelő paraméterek megadása után elmenthetjük a képünket (File→ Save View As) .gif kiterjesztéssel. Az elkészült képeket Adobe Photoshopban .tif formátumba hozzuk, majd levágjuk a fölösleges részeket. A GoCad-be importáljuk a .tiff fájlokat (File→ Import Objects→ Images → As 2D Voxet). Így a voxeltek közé illeszti a szoftver a képeket, amelyek koordinátáit a Resize with Points parancs segítségével úgy módosítjuk, hogy a fúrás arra a szelvényre essen, amelyre legnagyobb pontossággal bevetíthető (13., 14. ábra).



13. ábra: A PO87-es szelvényre illesztett Hajdúnánás K172-es fúrás

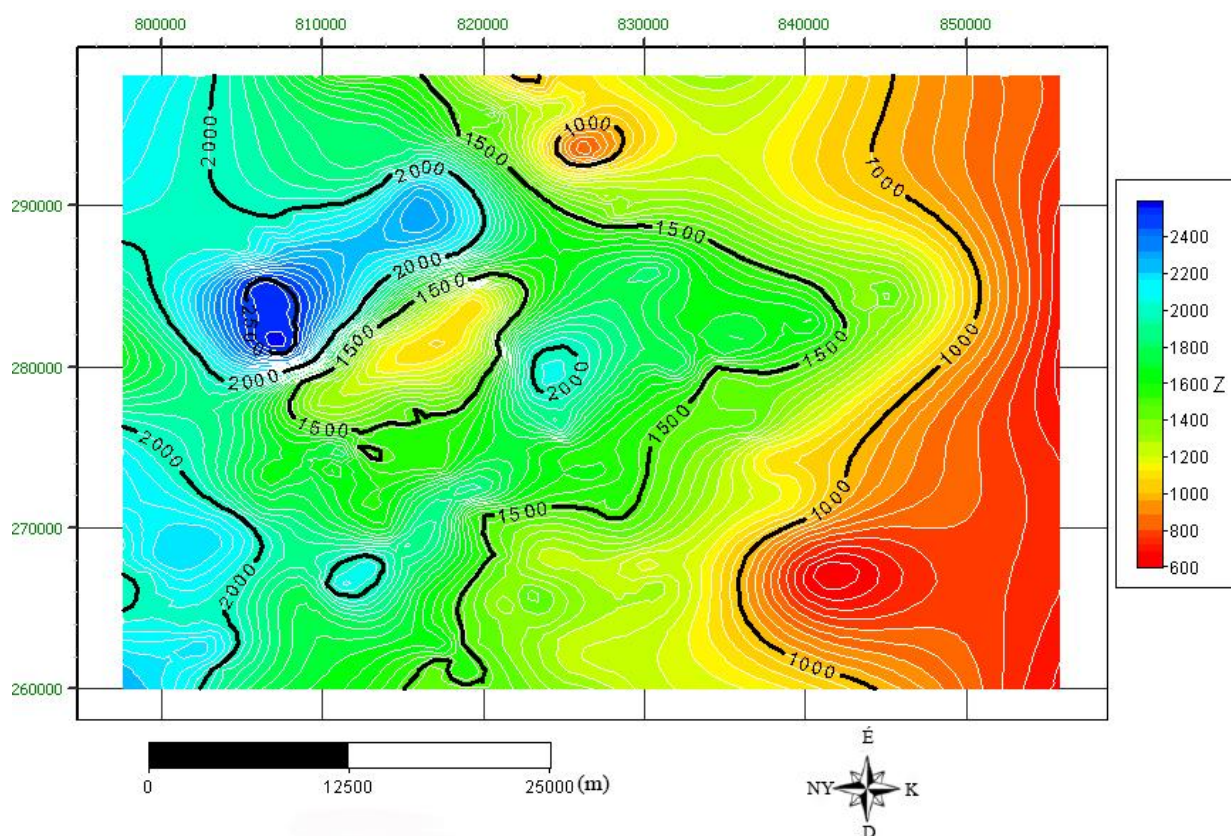


14. ábra: A PO16-os szeizmikus szelvényre illesztett Tiszacsege K119-es fúrás

5. Eredmények

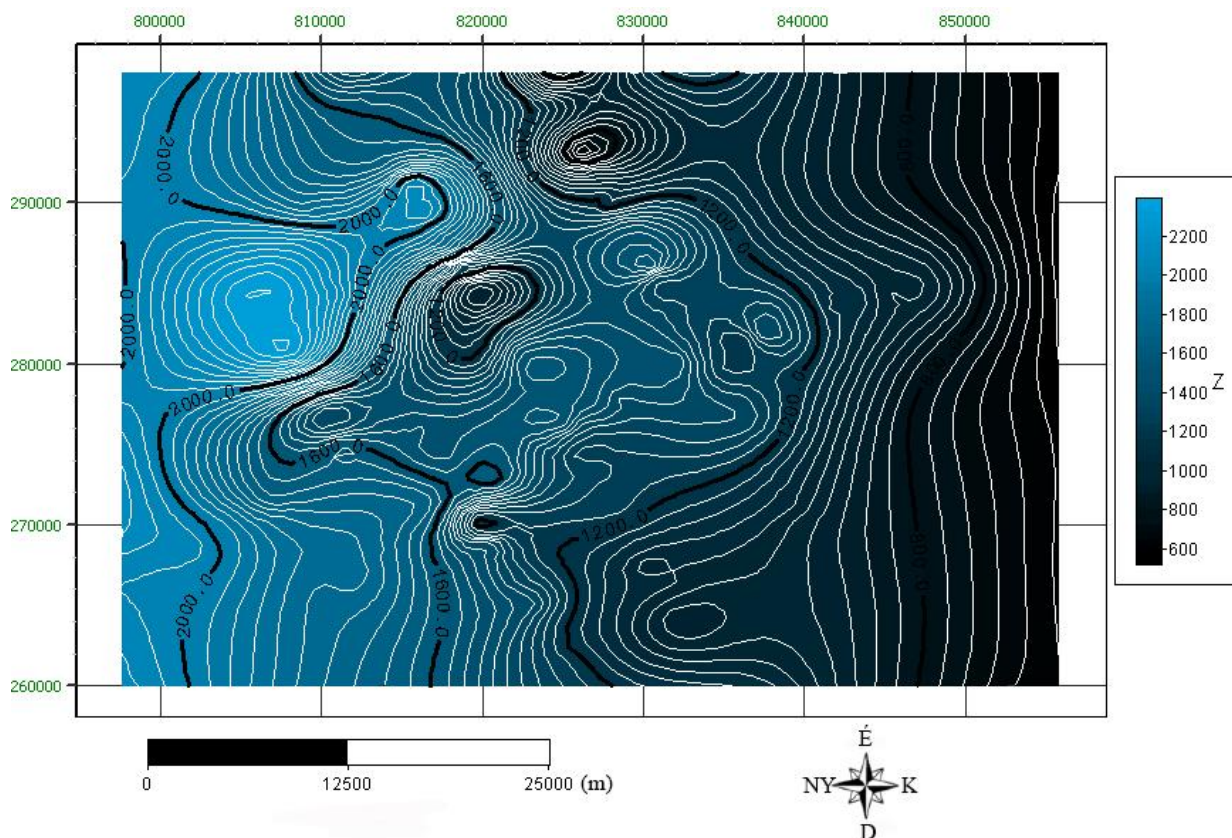
5.1. Formációk határainak megállapítása

A pannóniai képződmények fekvését képező aljzat (15. ábra) morfológiai megjelenése a szeizmikus szelvényeken heterogén, sok kisebb, rövid szakaszból álló reflexiók alkotják. Élesen elkülönül a felette lévő fiatal, kevésbé konszolidált sziliciklasztos üledékes kőzetektől. Mélységének szélsőértékei a kutatási területen 2900 m és 1100 m, átlagosan 2000 m. A felszínhez legközelebb a Pannon-hátnak nevezett aljzatmorfológiai egység részeként van, itt jellemző a 1100 m-es mélység. Kutatási területen ennek a morfológiai egységnek lehetett az egyik legjelentősebb üledékeloszlást térbelileg meghatározó (befolyásoló) szerepe.



15. ábra: Az aljzat felszínének kontúrtérképe

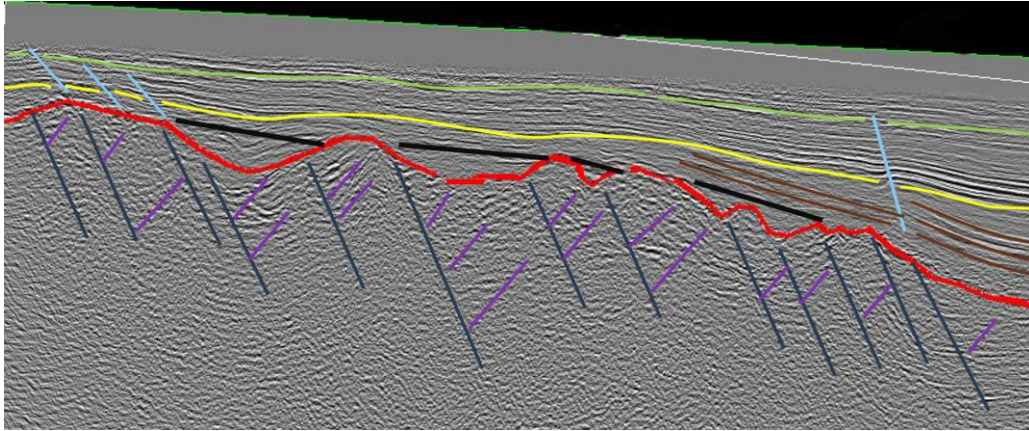
A felhasznált szelvényeken néhol a kristályos preneogén aljzat fölött megjelenik egy valószínűleg miocén korú vulkanitos összlet (16. ábra), melyben magfúrási adatok (Hajdúböszörmény K270, Hajdúböszörmény K242) szerint a riolit dominál. A vulkánosság feltehetően időszakos volt, az eruptívumok rétegei közé pedig sziliciklasztos törmelékek kerülhettek, melyek a medencét feltöltő folyók által behordott üledékek (Széky-Fux et. al., 2007).



16. ábra: Miocén vulkanitos összlet felszínének térképe

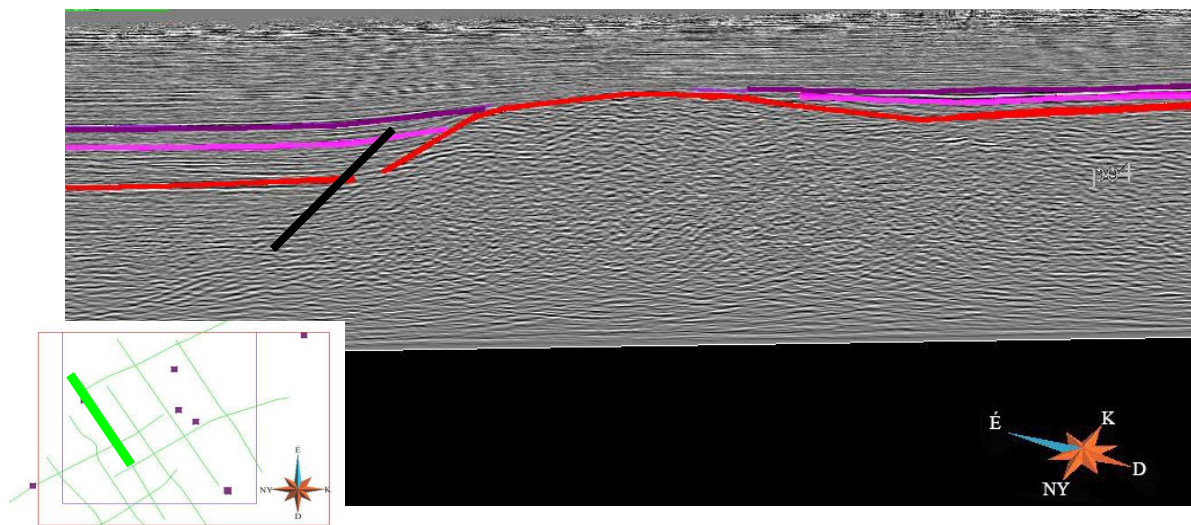
Az alsó-pannóniai egységek közül Békési, Endrődi, Szolnoki Formációk a területen fúrásban nem jelennek meg, az Algyői Formáció a néhány fúrás alsó részén térképezhető. A szeizmikus szelvényeken a Pannon-hát északi oldalán húzódó árokban feltételezhetően alsó-pannóniai, valamint ennél idősebb, talán miocén üledékek is települhetnek. Ez azonban csupán feltételezés, megfelelő mélységű fúrások, magminták hiányában pontos besorolás nem adható. A Békési Formáció konglomerátumához hasonló genetikájú és szeizmikus megjelenésű

áthalmozott, erősen deformált üledékek kis területeken előfordulnak a mélyedésekben (17. ábra), azonban ezek pontos besorolásához csupán teljes magvételes fúrás alapján lenne lehetséges.



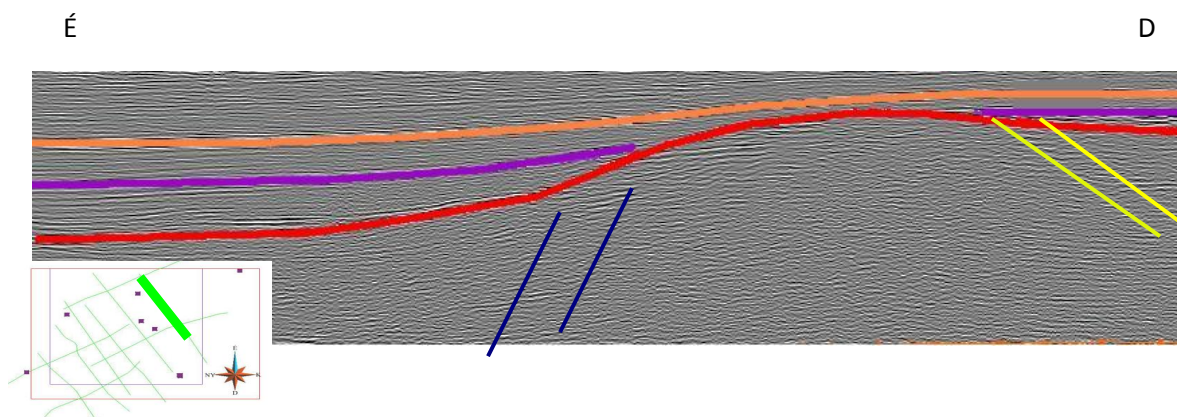
17. ábra: Erősen áthalmozott üledék megjelenése egy szeizmikus szelvényen (az aljzat pirossal, a vetők, feltolódások sötétzölddel, lilával és halványkékkel, a felületek feketével és sárgával és zölddel, a delta előrenyomulása barnával jelölve a Po37-es szelvényen)

A feltételezhetően alsó-pannóniai formációk, valamint az alattuk települt miocén üledékek a 18. ábrán kerülnek bemutatásra.



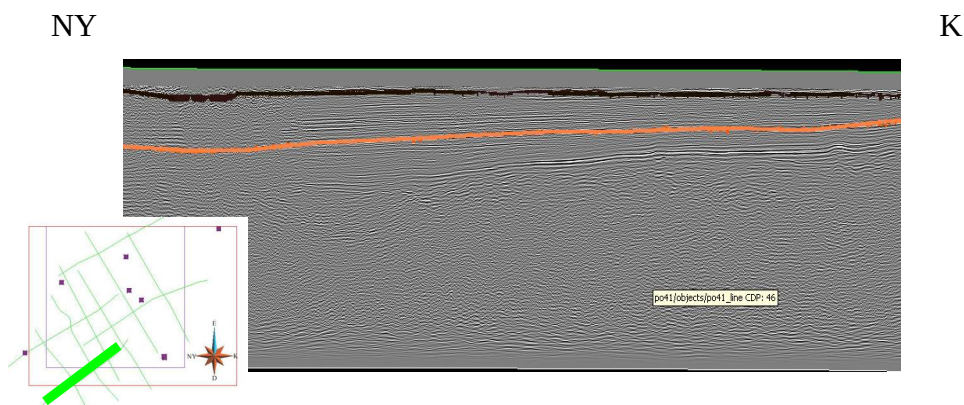
18. ábra: Alsó-pannóniai (és alatta feltételezhetően miocén) formációk a Po4 szeizmikus szelvényen (az aljzat pirossal, a felületek rózsaszínnel és lilával, a vető feketével jelölve)

A rétegek geometriáját nagyban befolyásolják a hát környezetében változásokat okozó vetők, feltolódások, bezökkenések (19. ábra).



19. ábra: Vetők (É felől, kék) és feltolódások (D felől, citromsárga) a Pannon-hát környezetében (Po86) (az aljzat pirossal, a felületek lilával és narancssárgával jelölve)

A legperspektivikusabb vízáadó homokokat tartalmazó felső-pannóniai Újfalui Formáció kivastagodása nyugat valamint enyhén északnyugat felé figyelhető meg a szeizmikus szelvényeken (20. ábra), az összlet vastagsága nyugati irányban akár az 700–800 méter is lehet. A formáció felső határfelülete 400–200 méter mélyen húzódik. A Pannon-hát északi oldalán szintén jelentősen megnő a formáció kiterjedése.



20. ábra: Az Újfalui Formáció kivastagodása nyugati irányba a Po41 szeizmikus szelvény részleten (fekü narancssárgával, fedő barnával jelölve)

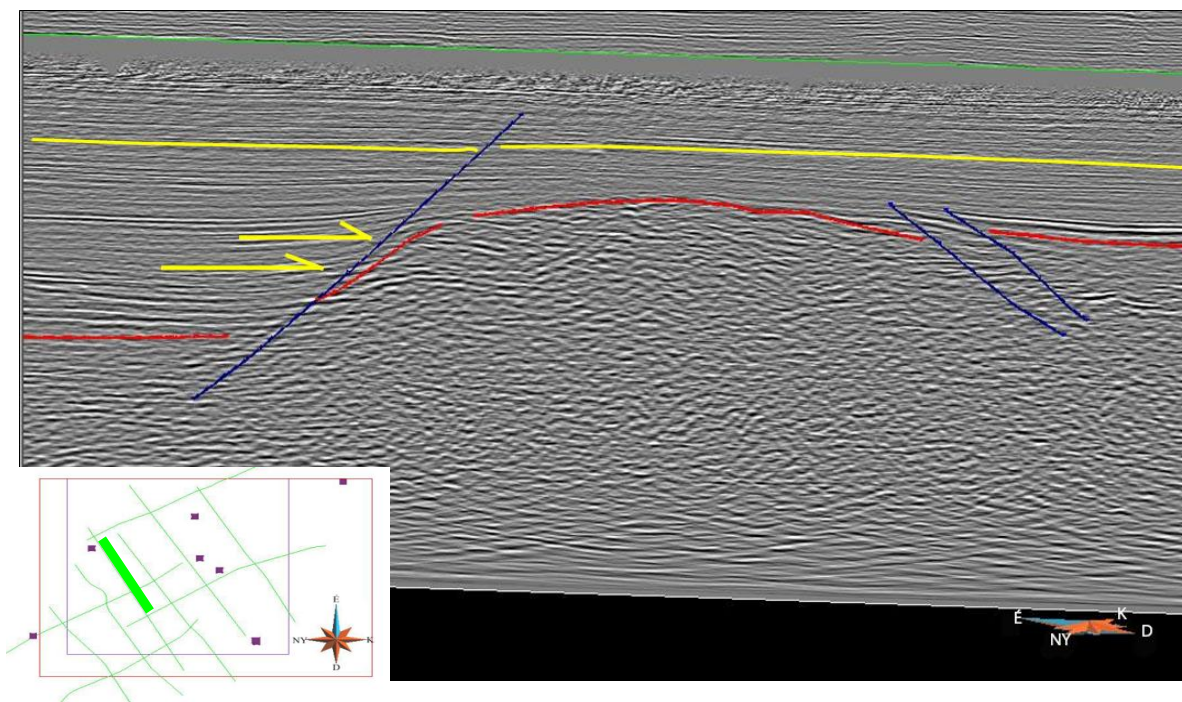
A fölötté települő Zagyvai Formáció az aljzat dőlését követve szintén nyugat felé éri el legnagyobb kiterjedését (500 m). A szelvények keleti végén nagyon csekély kifejlődésben térképezhető, melynek oka a földtani adottságokban, az akkomodációs tér nyugat felé való növekedésében keresendő.

5.2. Tektonikai jelenségek a szeizmikus szelvényeken

A tektonikai jelenségeket bemutató képeken a 3. táblázatban szereplő jelkulcsot használom.

Jelmagyarázat	
Aljzat	Piros
Vetők	Sötétkék, a bezökkenéseket és feltolódásokat bemutató ábrákon (26., 27.) fekete
Felszínek	Halványkék, halványsárga, rózsaszín, a bezökkenéseket és feltolódásokat bemutató ábrákon (26., 27.) lila, sötétkék, sárga, zöld
Onlap-ek	Sárga nyilak
Szeizmikus szelvények futásvonala	Világoszöld

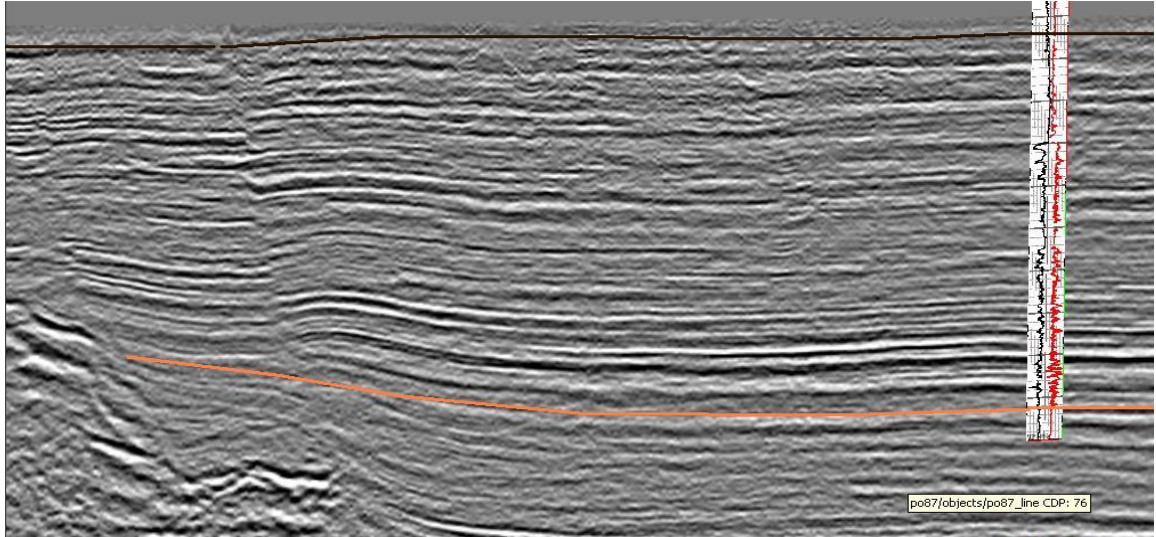
3. táblázat: A tektonikai jelenségeket bemutató képek jelmagyarázata



21. ábra: A Po4 migrált szeizmikus szelvény értelmezéssel (részlet)

A Po4-es szelvényen látható a kitérképezett Pannon-hát (21. ábra), melynek lefutása erősen aszimmetrikus. Észak felől egy normálvető mentén tagolódik. A vetősíktól északra lokális mélyedés alakult ki. A hát túloldalán sorozatosan laposabb dőlésű, dél felől érkező feltolódási síkok rajzolódnak ki, melyek mentén nem annyira süllyedt meg az aljzat (vagy emelkedett meg a hát, az egységek egymáshoz képest mozogtak, viszonylagosak). A meredek falaknál a pannóniai üledékek onlap-ként végződnek, az üledékek rétegei a hát kialakulása után települtek. Szinuszos gyűrődések nem jellemzőek a terület nagy részére, ellenben elnyíródások, reaktiválódások, új vetők kialakulása igen. A hát a Pa2 harmadrendű szekvenciában alakulhatott ki (de a ráhalmozódott üledékek, elsősorban az Újfalui Formáció rétegein még láthatóak a hát kialakításáért felelős erők hatásai), megközelítően 12–10 millió évvel ezelőtt (miocén, alsó-pannóniai). Ennek bizonyítéka a Tiszavasvári K78 fúrás 1110 méterében végbemenő változás, amikor is az Algyői Formáció Újfalui Formációba megy át, a Pannon-tó partvonala (2. ábra) ekkor haladt át a kutatási terület felett (22. ábra). A fúrási rétegsor leírás adatai alapján, illetve a szeizmikus szelvényen látható, hogy a hát tetején csak felső-pannóniai egységek települnek, az alsó-pannóniaiak nem láthatóak. Tehát az alsó-pannóniai formációk kialakulásakor (12–9 millió évig, 4. ábra) a hát már kiemelkedés volt. Ugyanakkor elmondható, hogy a háton települő Újfalui

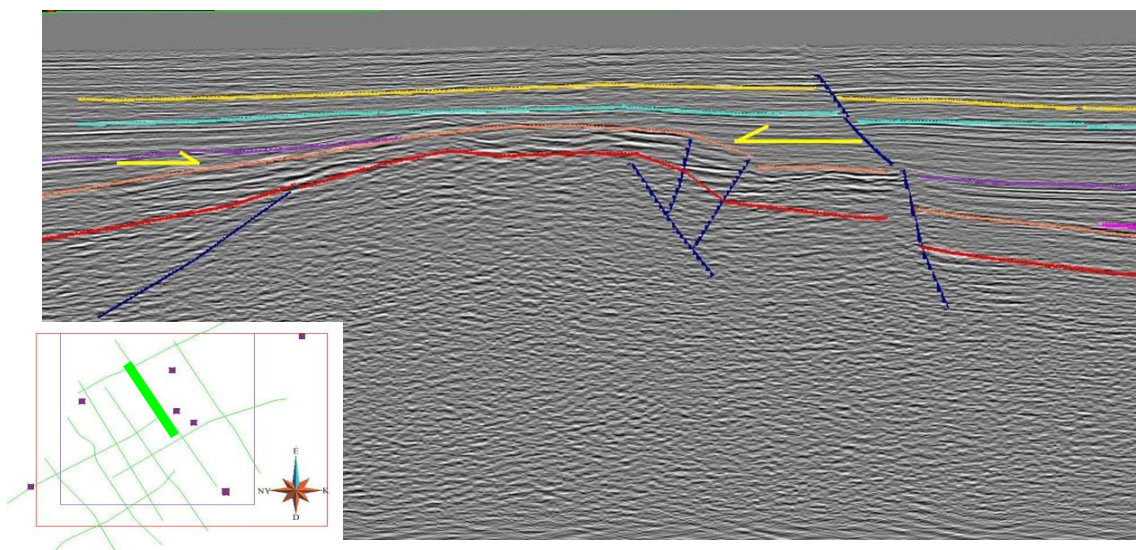
Formáció rétegei is deformáltak, tehát a hátat kialakító erőhatások a formáció lerakódásának idejében még hatottak, ha nem is olyan mértékben mint korábban.



22. ábra: A Tiszavasvári K78 fúrásban végbemenő formációváltás, Algyőiből (narancssárga felszín alatt) Újfalui (narancssárga felszín fölött) Formáció

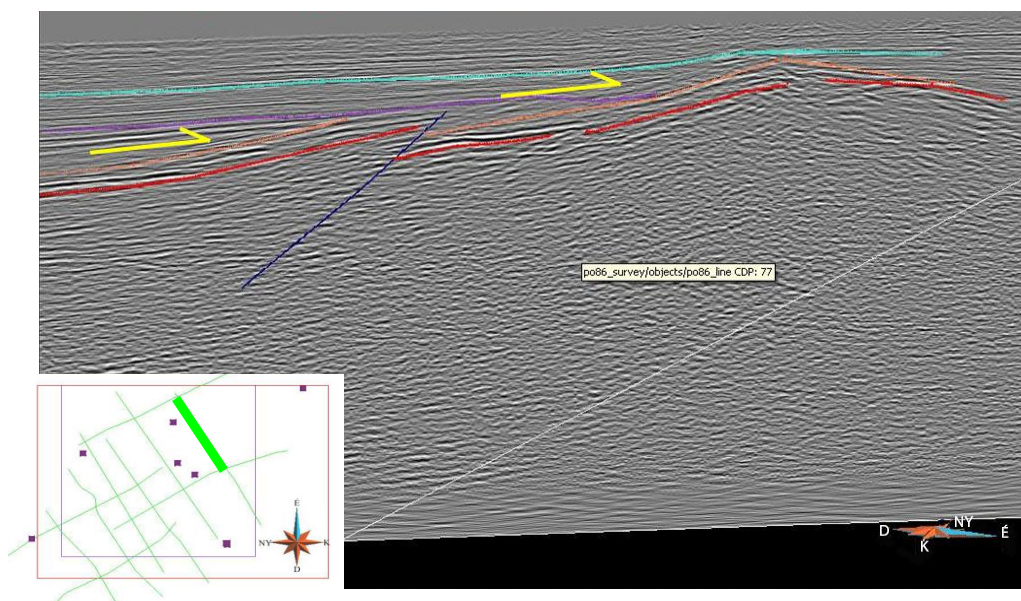
A feltöltődés előrehaladtával a morfológiai különbségek kiegyenlítődnek (23. ábra), a sárgával jelzett felszín már a hát mindkét oldalán megtalálható, kora értelemszerűen Pa3. A Pannon-hát több fázisban alakulhatott ki, a földtani közelmúltban is aktív erők nyomait őrzi, és a jövőben sem marad változatlan.

A po87-es szeizmikus szelvény (23. ábra) a hát csapásirányára merőleges. Az üledékek jól nyomon követhetőek/térképezhetőek és a keresztirányú szelvényekkel jól korreláltathatóak. Ezen a szelvényen is megjelenik a normál vető észak felé, mely sok esetben virágszerkezetet mutat, és ezen is jól kivehetőek a feltolódások és az onlap-ek is.



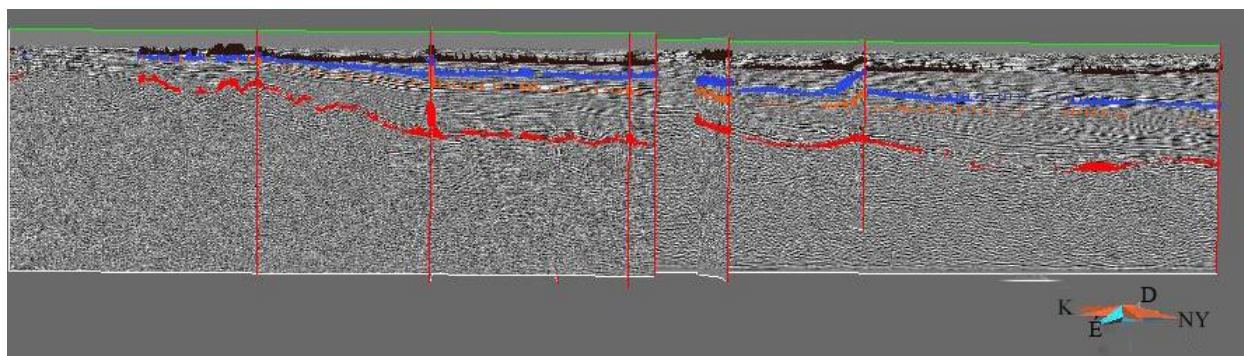
23. ábra: A Po87 migrált szeizmikus szelvény értelmezéssel (részlet)

A po86-os szelvényen (24. ábra) szintén megfigyelhetők az előbbi jellegzetességek. A narancssárgával jelzett felület feltételezhetően miocén vulkanitos összlet, melyben a riolit dominálhat. A vulkánosság nem lehetett folyamatos, vele egy időben sziliciklasztos üledékbehordás is lehetett.



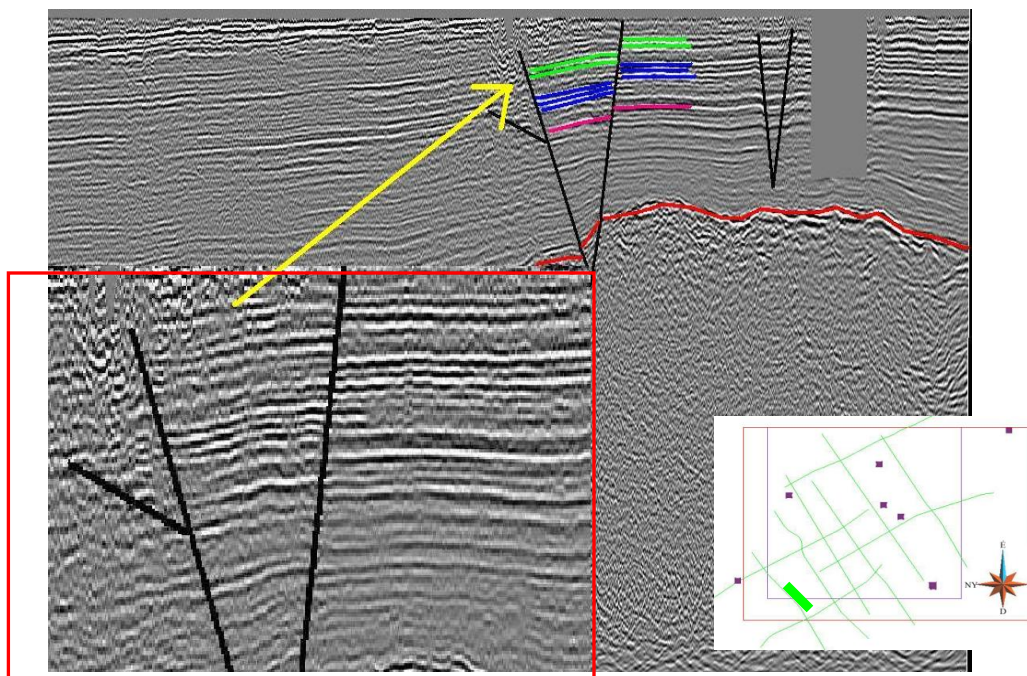
24. ábra: Po86 migrált szeizmikus szelvény értelmezéssel (részlet)

A nyugat-kelet csapásirányú szelvényeken az aljzat nyugat felé való lejtése miatt a pannóniai s.l. összlet kivastagodása figyelhető meg (25. ábra).

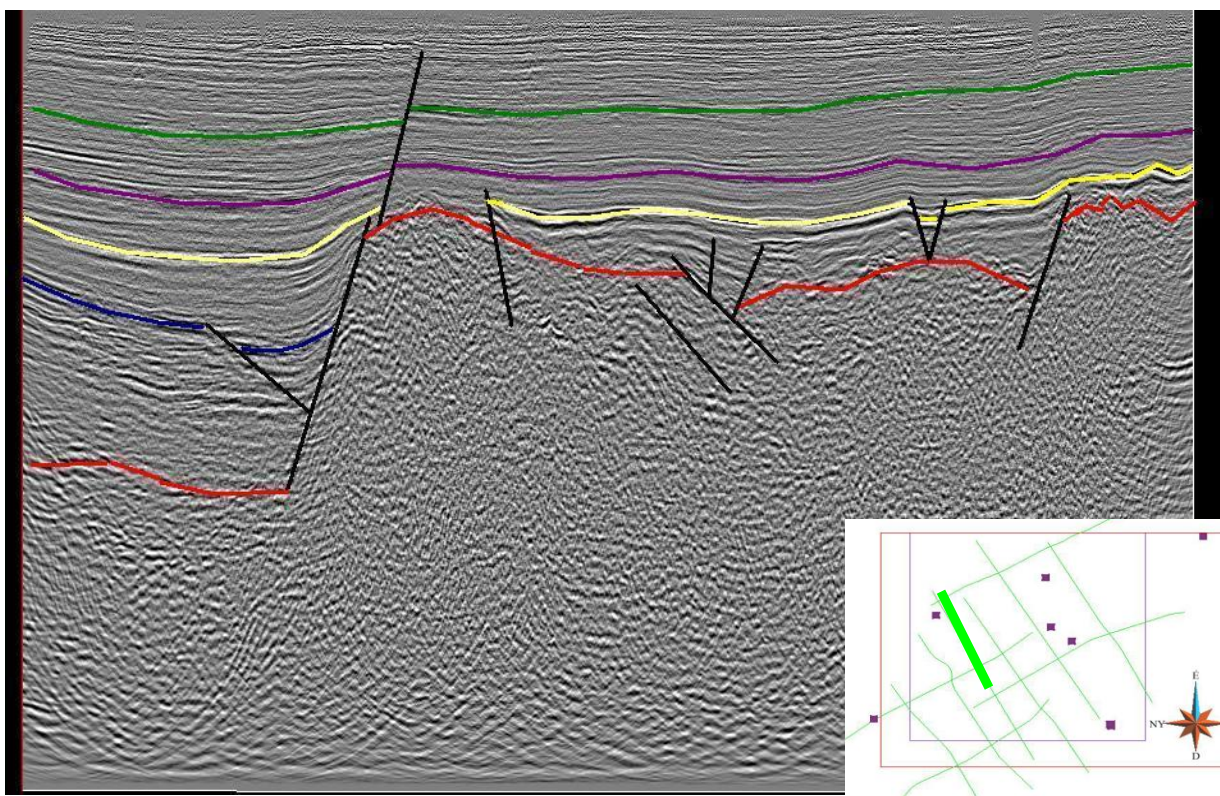


25. ábra: Pannóniai s.l. kivastagodása egy nyugat-kelet csapásirányú szelvényen (az aljzat pirossal, a felszín narancssárgával, kékkel és sötétlilával jelölve)

A Pannon-hát északkelet-délnyugat vonalban húzódik, mintegy 20–25 km hosszúságban és 3–4 km szélességben. A képződmény aszimmetrikus fél-árok (half-graben) tekinthető. A fél-árok mélyebb, északnyugati része a Pannon-tó felszínének változását bemutató (2. ábra) térképen 11,5 millió évnél látható tengerelöntés egyik tengerpartja is lehetett. A Pogácsás és társai (1989) által térképezett Ki-15 szeizmikus szelvényen a Po4-es szelvényen megfigyelhetőhöz nagyon hasonló tektonikai jelenség körvonalazódik. A Po4-es szelvényen térképezhető boltozat és medencealjzat különbsége közel 750 m. A Pogácsás által leírt képződmény az északnyugat-délkelet csapásirányú szelvényeken térképezhető, akár csak a Pannon-hát. A Közép-magyarországi Lineaments, illetve a hozzá kapcsolódó szerkezeti vonalak menti mozgások (kisebb kéregfragmentumok elcsúszása egymás mellett) alakíthatták ki a különleges aljzatmorfológiát. A mozgásokhoz kapcsolódóan feltolódások, bezökkenések figyelhetők meg a 2D migrált szeizmikus szelvények reflexióin (26., 27. ábra). Analógiák alapján a bezökkenéses zónák extenziós, a feltolódásos deformációk kompressziós erőterekben alakultak ki (Pogácsás et al., 1989).



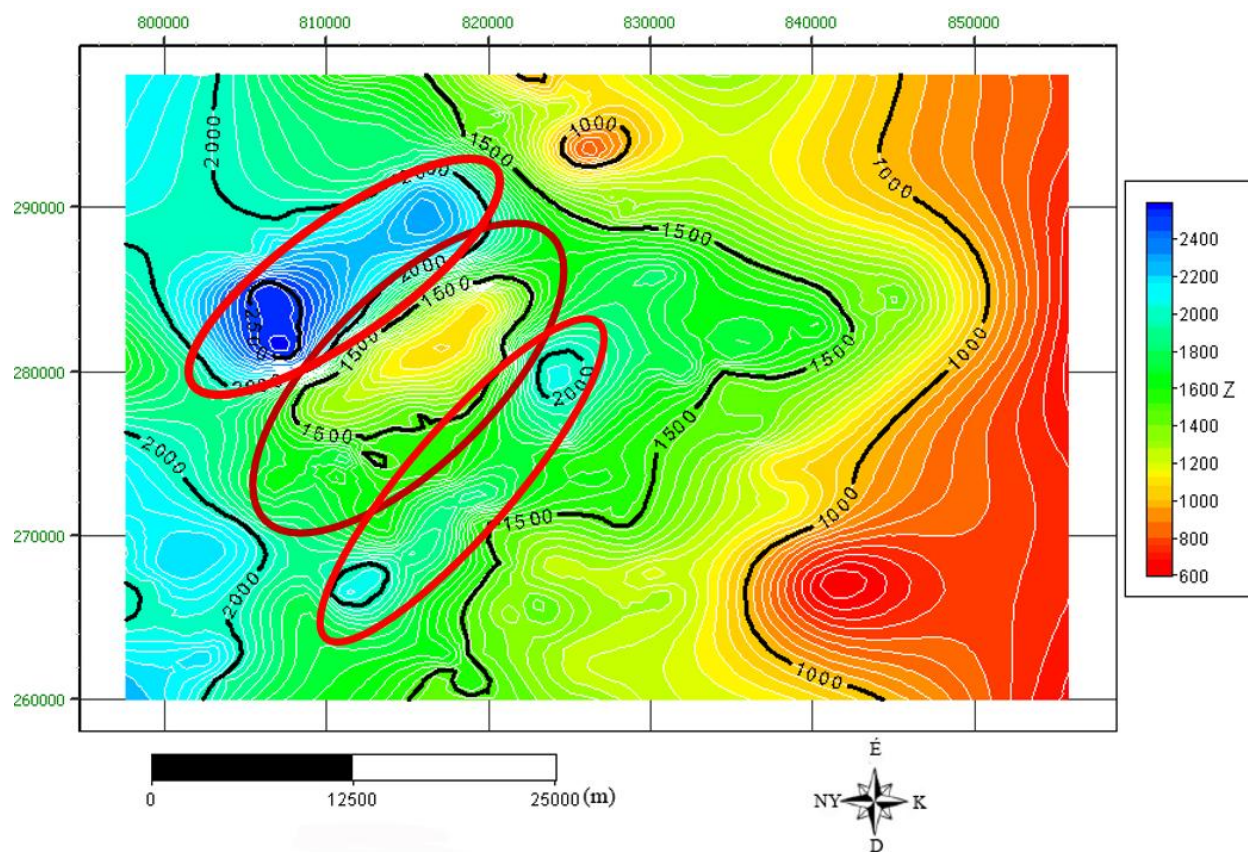
26. ábra: PO39-es szeizmikus szelvényen megjelenő bezökkenés



27. ábra: A PO4-es szeizmikus szelvényen megjelenő feltolódások és bezökkenések

5.3. 3D modellezés eredményei

A kutatási területen térképezhető pannóniai s.l. összletek követik az aljzat dőlését nyugati irányba. A formációk vastagságát az aljzat süllyedése, a Pannon-hát és az azt északi (-2900 m) és déli (-2000 m) irányból körülvevő körülbelül mély vályúrendszer alakította ki (28. ábra)



28. ábra: A Pannon-hát és az azt északról és délről övező árokrendszer egy kontúrtérképen

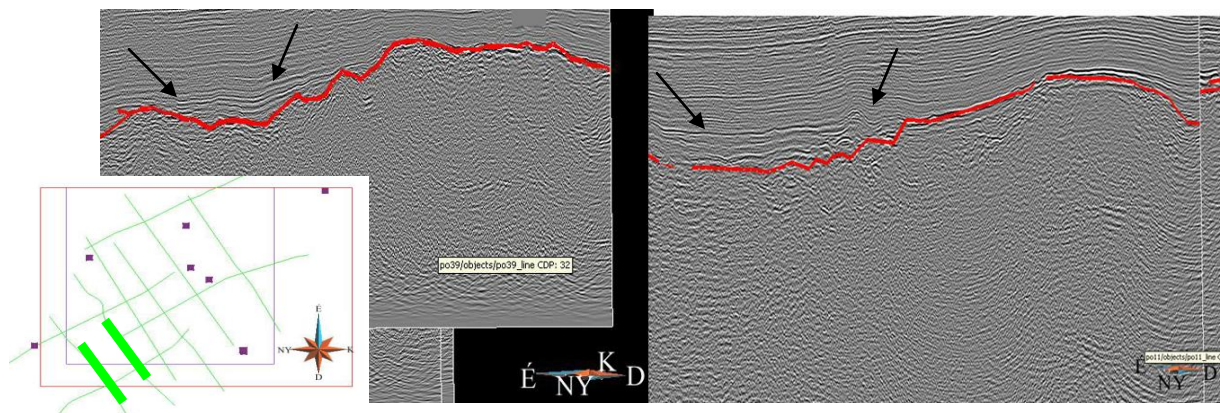
A hát tengelyvonalaiban a miocén vulkanitos összletek nem térképezhetők ki, ugyanakkor attól délre és a mélyebb morfológiai egységeket képviselő részekben igen. A modellezés híven visszaadta, hogy a pannóniai s.l. egységek a hát északi oldalán jóval nagyobb vastagságban települnek, mint a déli oldalon. Az északi oldalon a pannóniai formációk alatt feltételezhetően miocén korú képződmények találhatóak (a fúrások nem mélyülnek le eddig).

A hát környezetében felhalmozódott kőzetek vízáadó képességére az északi oldalon húzódó normálvető és az ahhoz kapcsolódó virágszerkezetek kisebb vetői, valamint a kiemelkedés déli oldalát szabdaló sorozatos, délről érkező lapos, néhol erőteljes néhol enyhébb feltolódások, valamint a mindkét irányból jellemző bezökkenések gyakorolhatnak hatást. A rétegek folytonosságát ezek mindenképp megszakítják, az elvetés mértékétől függően kerülnek egymástól vertikálisan távolabb. Ezzel alapvetően zavart okoznak a vízszintes áramlási útvonalban.

A nyugat felé vastagodó pannóniai s.l. összletek a nyugat-kelet csapásirányú szeizmikus szelvényeken jól megfigyelhetők, legfontosabb vízáadó homokokat tartalmazó Újfalui Formáció is ebben a térségben éri el maximális kiterjedését kutatási területemen.

A formációk vízáadóiból kitermelhető víz mennyiségére a nyugati területeken az esetlegesen közbetelepülő agyagrétegek, valamint a Közép-magyarországi Limeanens, és a hozzá kapcsolódó kisebb szerkezeti vonalak törései, vetői fejthetik ki a módosító hatásukat.

A területen a Pannon-hát és az azzal szomszédos árkok mellett további képződmények is színesítik a képet. A hát futásvonalával párhuzamosan a szeizmikus szelvények déli-délkeleti végén szintén megjelenik az aljzatban egy pozitív forma, melynek kiterjedését azonban a szelvények rövidsége miatt nem lehet teljesen meghatározni. Ezen részek fölött figyelhetőek meg az erősen deformált, áthalmozott jellegű képződmények (29. ábra).



29. ábra: Pozitív forma fölötti deformált üledékek a Po39 és Po11-es szelvényeken

Véleményem szerint, e területek vizsgálata további kutatások tárgyát kell, hogy képezze annak érdekében, hogy minél pontosabb képünk legyen ezekről a képződményekről. Elsősorban

a fúrások mennyiségének növelésével, a kifejlődések pontos vizsgálatával (agyagok, homokok típusai), részletesebb szeizmikus sztratigráfiai vizsgálatokkal, nagyobb felbontású krotázskorreláció révén további információk gyűjthetők a terület képződményeiről.

6. Összegzés

Dolgozatomban igyekeztem az irodalom minél szélesebb körű feldolgozására, valamint újszerű módszerek alkalmazására. Az Északkelet-Alföld neogén képződményei bár az Alföld többi részéhez képest kevésbé megkutatott (CH bányászati szempontból kevésbé perspektívikus), termálvíz-kitermelés miatt azonban stratégiailag fontos területről beszélünk.

Mindehhez archív geofizikai adatokat használtam fel, ezeket adatbázisba rendeztem, majd geoinformatikai módszerekkel kiértékeltem, következtetéseket vontam le. A 2D modellezés mellett fontosnak tartottam a 3D megjelenítést is, nem csak a vizualizáció, hanem a további hidrogeológiai modellezések érdekében.

Összefoglalásként elmondható, hogy a kutatási területemen térképezett pannóniai s.l. összlet geometriáját döntően a szerkezeti mozgások, és az általuk kialakított aljzatmorfológia befolyásolja. Ennek megfelelően a pannóniai s.l. képződmények változatos geometriát mutatnak. Az aljzat nyugat felé való lejtése (az akkomodációs tér növekedése) nyomán a pannóniai egységek nyugati irányba vertikálisan egyre vastagabbak. A legfontosabb vízáadó rétegeket tartalmazó Újfalui Formáció az 700–800 m-es vastagságot is elérheti, melynek következményeként a potenciálisan kitermelhető víz mennyisége is több lehet, mint azokon a területeken, ahol a formáció kisebb kiterjedésben van jelen.

Az úgynevezett alsó-pannóniai összletek a Pannon-hát fölött nem térképezhetőek, mely meglátás fontos támpontot nyújt, hogy meghatározzuk a hát létrejöttének idejét. A jobb vízáadóképessegekkel bíró felső-pannóniai rétegek a hát tengelyvonalában deformáltabbak, így azok településének idején is hatottak, azonban csekélyebb mértékben, a tektonikai mozgások.

A Pa2 harmadrendű szekvencia idején, és az attól kicsivel korábban ható tektonikai folyamatok alakították ki a Pannon-hátat és az oldalait övező árokrendszereket, amelyek a formációk vastagságában jelentős eltéréseket okoznak északi és déli irányban, és ez hatást gyakorol az üledékek vízáadó képességére. Az erőhatások nyomán kioldódó feszültségek vetőket, feltolódásokat, bezökkenéseket alakítottak ki, melyek a kitermelés szempontjából kedvezőtlen irányba módosíthatják az üledékekben végbemenő fluidumáramlást.

Mindezek gyakorlati szempontból jelentősnek mondhatók az itt élők számára, mert a termálvizek gazdasági, területfejlesztési, környezetvédelmi és fenntarthatósági vonatkozással is bírnak. A dolgozatban bemutatott alapkutatási eredmények ezeket kívánják segíteni.

7. Függelék

Témavezetőimtől azt a feladatot kaptam, hogy az alsó- és felső-pannóniai képződmények geometriáját, általános vastagságát, elterjedését, mélységét vizsgáljam az Észak-Hortobágy, Hajdúhát és a Nyugat-Nyírség területén.

A kutatásaim során kapott részfeladatok:

- 2D migrált szeizmikus szelvények értelmezése, azokon felülethatárok, mintázatok tektonikai jelenségek keresése;
- fúrás karotázs görbék digitalizálása;
- a földtani rétegsor leírások adatbázisba szervezése;
- a kutatási területemre vonatkozó geofizikai térképek elemzése, majd eredményként ábrák, képek készítése.

Dolgozatom megírása során törekedtem szem előtt tartani a fenntarthatóság elveit.

A rendelkezésemre álló adatok feldolgozása során a komplex medenceanalízis megközelítéseit alkalmazom.

A szeizmikus és a szekvencia sztratigráfia módszereit felhasználva elkülöníttem az egyes litosztratigráfiai egységeket, majd próbálom feltárni az egyes formációk sajátos jellegzetességeit a kutatási területemen.

A modellezés során tanulmányozom a felső-pannóniai formációk vízádóképességét, és az arra hatást gyakorló aljzatmorfológiai változásokat.

A kijelölt feladatok elvégzéséhez számos geoinformatikai program szükséges. A papír alapú karotázsok digitalizálásához és kirajzoltatásához az Adobe Photoshop, GeoGörbe EZ, valamint a SmartSketch szoftvereket használom.

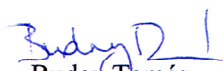
A szeizmikus szelvények és fúrások térbeli adatait a GeoMedia programban kérdezem le. Ezek után a GoCad nevű programban állítom össze a 2D migrált szeizmikus szelvények és fúrások rendszerét, melyeket felhasználok a későbbi felületek, térképek szerkesztéséhez.

Debrecen, 2014. november 28.

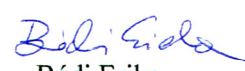

Kovács Réka Lilla

A fent összegzett feladatokat Kovács Réka Lilla a leírt módszerekkel szakmai vezetésünkkel önállóan oldotta meg.

Debrecen, 2014. november 28.


Buday Tamás
témavezető




Bódi Erika
témavezető

Debreceni Egyetem, Ásvány- és Földtani Tanszék

8. Irodalomjegyzék

Könyvek, szakcikkek

Balogh, K. (1992): Szedimentológia III. Akadémia Kiadó Zrt., Budapest, 399p.

Bérczi, I. – Jámber, Á. (ed.) (1998): Magyarország geológiai képződményeinek rétegtana. MOL Rt., Magyar Állami Földtani Intézet, pp. 453-492, Budapest

Bódi, E. – Buday, T. – McIntosh, R. W. – Kozák, M. – Püspöki, Z. (2014): Hévízrezervoárok geometriája a Közép-Tiszföldön, HUNGEO 2014, Magyar Földtudományi Szakemberek XII. Találkozója, Debrecen, Magyarország, augusztus 20-24, 2014, p. 26.

Catuneanu, O. (2006): Principles of Sequence Stratigraphy. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands 386p.

Császár, G. (2005): Magyarország és környezetének regionális földtana. ELTE Eötvös Kiadó, Budapest 328 p.

Csíky, G. – Erdélyi, Á. – Jámber, Á. – Kárpáti Radó, D. – Körössi, L. (1987/A): Magyarország pannóniai s.l. képződményei. A Dunántúli főcsoport (=felső pannóniai képződmények) talpmélység térképe. Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest

Csíky, G. – Erdélyi, Á. – Jámber, Á. – Kárpáti Radó, D. – Körössi, L. (1987/B): Magyarország pannóniai s.l. képződményei. A Peremartoni főcsoport (=alsó pannóniai képződmények) talpmélység térképe. Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest

Demeter, G. – Püspöki, Z. – Lazányi, J. – Buday, T. (2010): Szekvencia-sztratigráfia alapú földtani kutatás Nyíregyháza-Szatmárnémeti térségében. Debrecen, 281 p.

Fülöp, J. (1990): Magyarország geológiája. Paleozoikum I. Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest, 325p.

Haas, J. - Juhász, Gy. - Sztanó, O. (1998): Merre tart a szedimentológia? Az üledékképződési folyamatok dinamikája. *Földtani Közlöny* 128/1, pp. 71-91, Budapest.

Juhász, Gy. (1992): A pannóniai (s.l.) formációk térképezése az Alföldön: elterjedés, fácies és üledékes környezet. *Földtani Közlöny* 122/2-4, pp. 133-165, Budapest.

Juhász, Gy. – Magyar, I. (1992): A pannóniai (s.l.) litofáciesek és molluszk-biofáciesek jellemzése és korrelációja az Alföldön. *Földtani Közlöny* 122/2-4, pp. 167-194, Budapest.

Juhász, Gy. (2006): Integrált-sztratigráfiai és fejlődéstörténeti vizsgálatok az Alföld pannóniai s.l. rétegsorában. *Földtani Közlöny* 136/1, pp. 51-86, Budapest.

Késmárky, I. – Pogácsás, Gy. – Szanyi, B. (1981): Szeizmikus szelvények sztratigráfiai értelmezése kelet-magyarországi neogén-quarter depressziók példáján. *Magyar Geofizika* 23/1-2 pp. 20-30, Budapest.

Less, Gy. (2011): Magyarország Földtana. Digitális Egyetem 60p.

Magyar, I. (2010): A Pannon-medence ösföldrajza és környezeti viszonyai a késő miocénben. *GeoLitera Kiadó, Szeged* 140p.

Magyar, I.- Geary, D.H. – Müller, P. (1999): Paleogeographic evolution of the Late Miocene Lake Pannonin Central Europe. *Elsevier, Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 147 (1999) 151–167

Marton, Gy. (1985): A derecskei mélyzóna szeizmosztratigráfiai vizsgálata. *Magyar Geofizikusok Egyesülete Folyóirata* 26/5-6 pp. 161-182, Budapest.

Mészáros, F. – Zilahy-Sebess, L. (2001): Compaction of sediments with great thickness in the Pannonian Basin; *Geophysical Transactions*, Vol 44., No 1., pp. 21-48

Mészáros, E. - Schweitzer F. (2002): Föld, víz, levegő. *Magyar Tudománytár I. MTA Társadalomkutató Központ, Kossuth Kiadó, Budapest*, 511 p

Pogácsás, Gy. – Lakatos, L. – Barvitz, A. – Vakarcs, G. – Farkas, Cs. (1989): Pliocén-quarter oldaleltolódások a Nagyalföldön. *Általános Földtani Szemle* 24, pp. 149-169, Budapest.

Rónai, A. (1980): A negyedidőszak közettani formációi. Általános Földtani Szemle 14, pp. 125-132

Széky-Fux, V. – Kozák, M. – Püspöki, Z. (2007): Covered Neogene magmatism in eastern Hungary. ACTA GGM DEBRECINA Geology, Geomorphology, Physical Geography Series 2/79–104., Debrecen

Vakarcs, G. (1997): Pannonian (Middle Miocene-Pliocene) In. Sequence Stratigraphy of the Cenozoic Pannonian Basin, Hungary. Houston, Texas USA, pp. 137-144

Vakarcs, G. – Várnai, P. (1991): A Derecskei-árok környezetének szeizmosztratigráfiai modellje. Magyar Geofizika 32/1-2 pp. 38-83, Budapest.

Vakarcs, G. – Tari, G. (1993): A szeizmikus és szekvencia sztratigráfia alapjai. Magyar Geofizika 34/különszám

Vail, P R.- Mitchum, R. M. Jr .- Thompson, S. III. (1977): Seismic stratigraphy and global changes of sea level. American Association of Petroleum Geologists Memoirs.

Internetes hivatkozások

Internet1 - http://www.euvki.hu/02_eu_vki.html#2-1-4 letöltve: 2014. szeptember 23.

Internet2 - <http://geo-portal.hu/hu/node/9> letöltve: 2014. október 16.

Internet3 - <http://transenergy-eu.geologie.ac.at/> letöltve: 2014. október 16.

Internet4 - <http://oldwww.mageof.hu/arch/12ujutak5tothgy.pdf>, letöltve: 2014. október 16.

Internet5 -

http://www.fava.hu/siofok2010/eloadasok/1nap/1115_tothgy_horvathI_murati_j_rotarnesza_szucs_t_vetoI.pdf letöltve: 2014. október 16.

Internet6 -

<http://water.usgs.gov/ogw/gwrp/activities/regional.html>, <http://www.bgs.ac.uk/research/environmentalModelling/home.html> letöltve: 2014. október 25.

Internet7 - http://www.euvki.hu/02_eu_vki.html#2-1-4 letöltve: 2014. október 25.

Internet8 - <http://fold1.ftt.uni-miskolc.hu/~foldshe/mof01.htm#nagyyszer> letöltve: 2014. október 27.

Internet9 -

<https://www.mfgi.hu/sites/default/files/files/Magyar%20R%C3%A9tegtani%20Bizotts%C3%A1g/K%C3%A9kk%C3%B6nyv010327.pdf> letöltve: 2014. október 27.

Internet10- <http://www.olajmuzeum.hu/uploads/File/szenhidrogen.pdf> letöltve: 2014. október 27.

Internet 11- <http://www.georen.unideb.hu/index.php?pageid=bemutakozas> letöltve: 2014. október 27.