Geotermikus távfűtésre potenciálisan alkalmas mintaterület vizsgálata Vecsés környezetében

A jelentés az EGT Alapok révén, Részvétel a "Geotermikus energia helyzetének áttekintése" rövid kurzuson – kiegészítő tevékenység című HU03-0016-C1-2014 azonosítószámú projekt támogatásából készült.

Összeállította:

Kovács Attila Csaba

Közreműködtek: Bauer Márton, Bujdosó Éva, Dr. Cserkész-Nagy Ágnes, Dr. Gúthy Tibor, Dr. Hegedűs Endre, Kovács Attila Csaba, Kovács Zsolt, Dr. Maros Gyula, Musitz Balázs, Polgár Dorottya, Redlerné Dr. Tátrai Marianna, Szőts Gergely, Dr. Takács Ernő, Török István, Dr. Zilahi-Sebess László

Ellenőrizte:

Dr. Hegedűs Endre

Lektorálta:

Dr. Nádor Annamária

Jóváhagyta:

Dr. Fancsik Tamás
igazgató

Budapest, 2017.04.30

A jelentés: 92 oldalt

43 ábrát

7 táblázatot tartalmaz.

Tartalomjegyzék

Bevezetés ... 5
A mintaterület kiválasztásának kritériumai ... 9
A rendelkezésre álló adatok áttekintése ... 12
Az értelmezés során felhasznált szeizmikus adatok ... 12
A Monor 3D szeizmikus mérés ... 13
A 2D szelvények listája nyugatról kelet felé haladva ... 13
Csapásirányú 2D szelvények ... 15
Fúrások ... 15
Mélyfúrás-geofizikai adatok ... 26
Térképek ... 28
Földtani áttekintés ... 29
Nagyszerkezeti vázlat ... 29
Az aljzati képződmények áttekintő ismertetése ... 30
Kainozoós fedőképződmények ... 33
Prerift képződmények (felső-eocén–legalsó-miocén) ... 33
Szinrift képződmények (kárpáti, bádeni) ... 38
Posztrift képződmények (szarmata–pannóniai) ... 39
Negyedidőszaki képződmények ... 40
Földtani összefoglaló ... 43
Hidrogeológia és potenciális vízadók ... 44
Talajvíztartó ... 44
Regionális elterjedésű hideg és termális rétegvizek ... 44
Lokális víztartók ... 45
Rétegvízadók ... 45
Porózus, kettős porozitású rendszerek ... 46
Regionális vízzáró egységek ... 46
Alaphegységi rezervoárok ... 47
Vízföldtani összefoglaló ... 48
A terület geotermális viszonyai ... 50
Fúráspontok kijelölése szeizmikus értelmezés alapján ... 55
Rezervoár lehatárolás ... 73
Budapest környéki termálkarszt ... 73
Potenciálbecslés, kockázatelemzés ... 78
Piacelemzés - geotermikus energia felhasználásának lehetőségei ... 80

Összefoglalás 83
Summary 86
Referenciák 89

Ábrajegyzék

1. ábra A geotermikus energia fő kockázatai (forrás: www.geoelec.eu) 5
2. ábra A földtani kockázat összetevői (forrás: www.geoelec.eu) 6
3. ábra A különböző költségek és kockázatok alakulása egy geotermikus projekt fázisaiban. A kockázatok exponenciálisan nőnek a kutatási fázisban (különösen a fúrásos kutatás során) és jelentősen csökkennek a fejlesztés szakaszában (forrás: www.geoelec.eu) 6
4. ábra Áttekintő helyszínrajz 10
5. ábra Részletes helyszínrajz a fúrások és szeizmikus mérések feltüntetésével 14
6. ábra A 30 °C-nál magasabb hőmérsékletű kifolyó vizet adó kutak térképe a vízadó képződmények kora alapján elkülönítve 25
7. ábra A terület gravitációs Bouguer-anomália térképe [20] KISS, GULYÁS (2005) alapján. Az értékek mGal-ban kerültek megadásra. 28
8. ábra A medencealjzat szerkezeti egységei ([15] HAAS et al. 2010) 29
9. ábra A prekainozoos medencealjzat szintvonalas térképének kivágata ([19] KILÉNYI és SEFARA 1991) 31
10. ábra A terület prekainozoos aljzatának térképe ([15] HAAS et al. 2010 kivágata) 32
11. ábra A paleogén üledékciklus litosztratigráfiai és faciológiai összefüggései a paleogén medencében [44] TARI et al 1993 alapján. 34
12. ábra Tardi Agyag elterjedése a területen 36
13. ábra ÉNy-DK irányú, értelmezett IS-12 szeizmikus időszelvény részlet 37
14. ábra A Pannon-tó elvi üledék-felhalmozódási modellje az egymásra következő üledékképződési környezetek megjelölésével ([18] JUHÁSZ 1991 nyomán) 39
15. ábra ÉNy-DDK irányú földtani szelvény a terület keleti részén, Maglód – Monor – Nyáregyháza vonalában (szerkesztette: Babinszki E., Makk Á. in [25] KOVÁCS és GYURICZA 2014) 41
16. ábra Magyarország földtani térképének kivágata ([14] GYALOG 2013) 42
17. ábra A Pannon-medence és környezete hőáram-sűrűség térképének részlete ([17] HORVÁTH et al. 2005) 50
18. ábra A területre vonatkozó becsült kőzethőmérsékleti térképek 2000 m (A) és 2500 m (B) mélységben, illetve becsült geotermikus gradiens térképek 1000-1500 m (C) és 1500-2000 m (D) mélységtartományokban ([53] ZILAHI-SEBESS 2012) 51
19. ábra A budapesti termálkarszt tárolófelszínének kőzethőmérsékleti izotermái (°C) ([31] LORBERER 2002 nyomán) 52
20. ábra A 400 m-nél mélyebb budapesti hévízkutak és a Mende. Ny-1 fúrás réteghőmérsékletei a mélység függvényében 53
21. ábra Nagy mélységű szerkezet és szénhidrogén-kutatófúrások számított, statikus réteghőmérsékletei a mélység függvényében 53
22. ábra A Balaton-Tóalmás törészóna nyomvonala a prekainozoos medencealjzaton 55

23. ábra A Monor 3D tömb IS-12 szelvény irányának megfelelő 2D metszete 57
24. ábra A prekainozoos aljzati képződmények térképe kétszeres futási időben a tervezett kútpár helyének megjelölésével 58
25. ábra A prekainozoos aljzati képződmények tengerszinthez képesti mélysége a tervezett kútpár helyének megjelölésével 59
26. ábra Az FT-1-es fúrástól 100 m-re DNY-ra lévő 896-es crossline szelvény 61
27. ábra Az FT-1-es fúráson áthaladó 901-es crossline szelvény 62
28. ábra Az FT-1-es fúrástól 100 m-re, ÉK-re lévő 906-os crossline szelvény 63
29. ábra Az FT-2-es fúrástól 100 m-re, DNy-ra lévő 990-es crossline szelvény 64
30. ábra Az FT-2-es fúráson áthaladó 995-ös crossline szelvény 65
31. ábra Az FT-2-es fúrástól 100 m-re, ÉK-re lévő 1000-es crossline szelvény 66
32. ábra Az FT-1 és a Mende. Ny-1 fúrást összekötő időmetszet 67
33. ábra Az FT-2 és a Mende. Ny-1 fúrást összekötő időmetszet 67
34. ábra Az FT-1 és FT-2 tervezett fúrásokat összekötő időmetszet 68
35. ábra A FT-1-es fúrás, a prekainozoos medencealjzat és a 3D adattömb 1055-ös inline és 927-es crossline időszelvényeinek axonometrikus képe DDNy-i irányból nézve 69
36. ábra A FT-1, FT-2-es fúrások, a prekainozoos medencealjzat és a 3D adattömb 1055-ös inline és 1000-es crossline időszelvényeinek axonometrikus képe DDNy-i irányból nézve ... 69
37. ábra A FT-1, FT-2, Mende. Ny-1-es fúrások, a prekainozoos medencealjzat és a 3D adattömb 1055-ös inline és 1259-es crossline időszelvényeinek axonometrikus képe DDNy-i irányból nézve 70
38. ábra A prekainozoos aljzati képződmények mélysége kétszeres futási időben 71
39. ábra A prekainozoos aljzati képződmények tengerszinthez képesti mélysége 72
40. ábra A budapesti emeletes hévízrendszer elvi vázlata ([24] KOVÁCS ÉS MÜLLER 1980 ábrája alapján szerkesztette Tóth Gy.) 75
41. ábra A mintaterületen az egyes kutak hőmérsékletadatai alapján tapasztalható geotermikus anomáliák 76
42. ábra Geotermikus távfűtés (A) és termálvizes városfűtés (B) elvi vázlata (SZITA 2015) .. 81
43. ábra A Veresegyházi termálvizes városfűtési rendszer ([43] SZITA 2015) 82

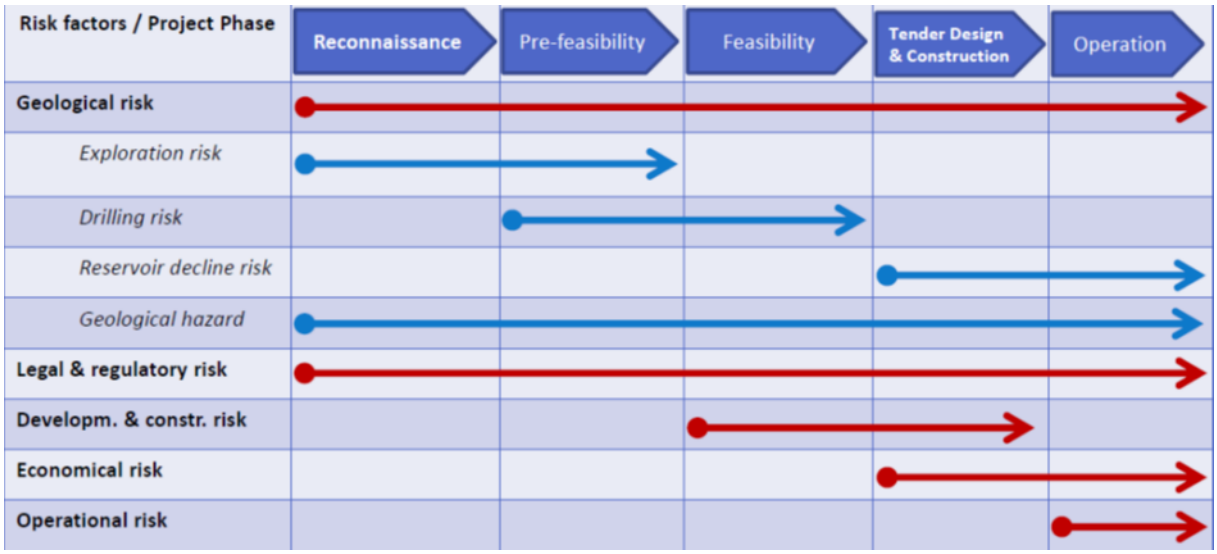
Táblázatok jegyzéke

1. táblázat A vizsgált terület sarokponti koordinátái 10
2. táblázat A mintaterület sarokponti koordinátái 11
3. táblázat A tanulmányban érintett fúrások alapadatai 16
4. táblázat A vizsgálati területen elérhető mélyfúrás-geofizikai mérések 26
5. táblázat A felhasznált szénhidrogén-kutatófúrások réteghőmérséklet adatai 54
6. táblázat A tervezett fúrások koordinátái és mélységei 60
7. táblázat A vizsgált terület településeinek főbb adatai 81

Bevezetés

A Magyar Földtani és Geofizikai Intézet (MFGI) munkatársai tanulmányt készítettek egy geotermikus energiahasznosításra potenciálisan alkalmas **mintaterület**re Vecsés környékén, amelynek célja annak bemutatása, hogy egy **geológiai-geofizikai vizsgálatok**on alapuló földtudományi modell alkalmazásával hogyan növelhető a termelő-visszasajtoló kútpárok optimális telepítésének valószínűsége, azaz hogyan **csökkenthető a földtani kutatás kockázata**.

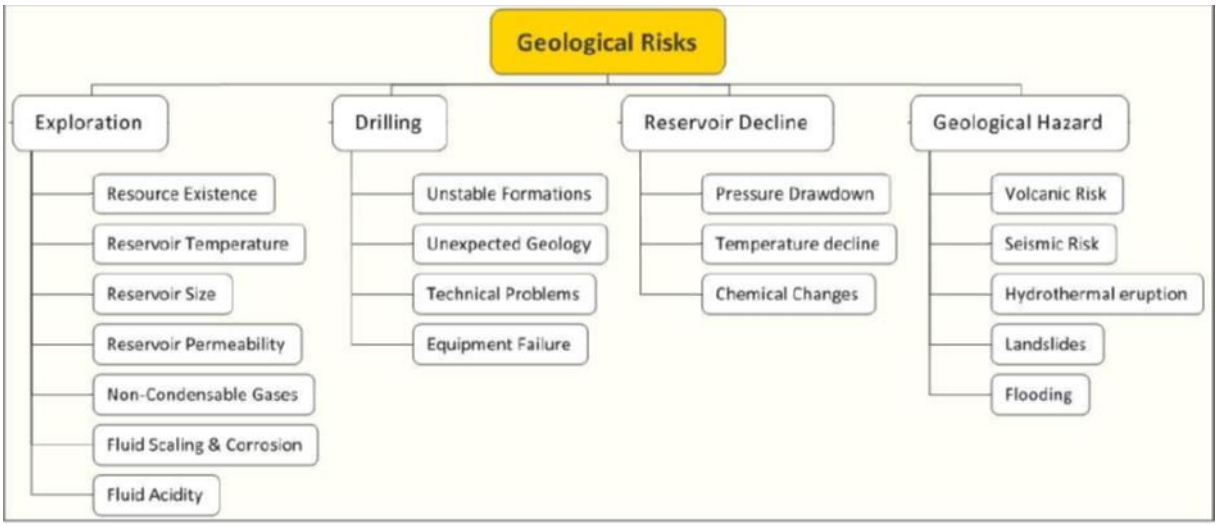
Egy geotermikus projekt költségei és kockázatai nagyban függenek a helyszíntől, a termelés módjától, az erőmű elvárt kapacitásától, a felszíni infrastruktúrától; ugyanakkor a megfelelő geotermikus energiaforrás megléte, a rezervoár mélysége, hőmérséklete, megfelelő permeabilitása, hozama alapvetően befolyásolja a projekt költségét és kockázatait. Magának a geotermikus energia kutatásának és kitermelésének is több kockázati eleme van (1. ábra), ezek közül is a **legjelentősebb a földtani kockázat**, amely a felszín alatti tér ismertségének bizonytalanságából adódik (2. ábra)



1. ábra A geotermikus energia fő kockázatai (forrás: www.geoelec.eu)

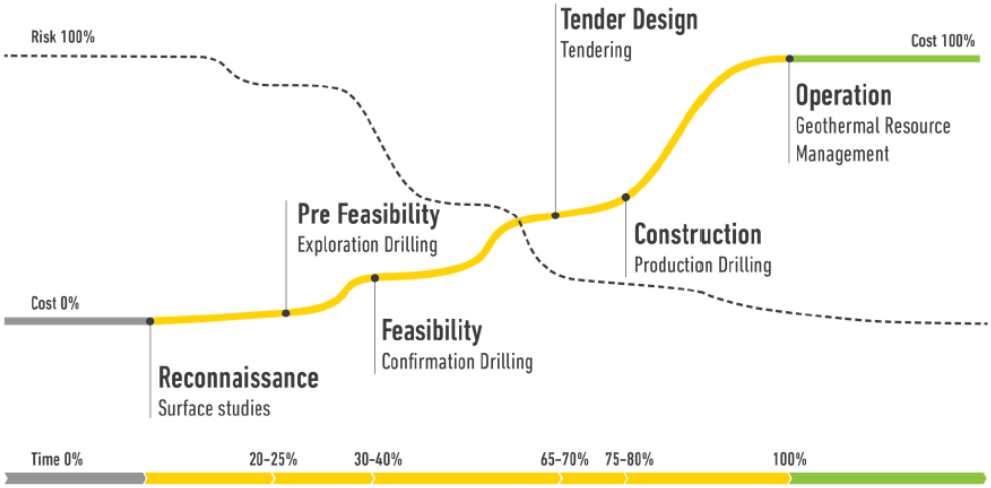
Az alapvető rövidtávú földtani kockázatot az jelenti, ha a kutatófúrással feltárt geotermikus erőforrások paraméterei nem elegendőek a gazdaságos kitermeléshez. Ennek kockázat csökkentő megoldása a minél részletesebb kutatás, amelynek során a feltételezhető rezervoárról a lehető legteljesebb ismereteket szerezzük meg.

Az erőforrás esetleges kimerülése a termelés során adja egy geotermikus projekt hosszú távú földtani kockázatát. Ennek kockázat csökkentő megoldása a megfelelő rezervoár-menedzsmentre alapuló termelési stratégiák kialakítása (a természetes fluidum és hőutánpótlódás mértékét nem meghaladó fenntartható termelési szint betartása, a visszasajtolás, valamint a megfelelő monitoring hálózat kialakítása).



2. ábra A földtani kockázat összetevői (forrás: www.geoelec.eu)

A geotermikus projektek kockázatai és a projekt finanszírozhatósága kapcsán a fő problémát az jelenti, hogy egy **geotermikus projekt finanszírozása a kutatási fázisban a legkockázatosabb** (3. ábra). A kutatási fázisban a magas költségek mellett (fúrásos kutatás, szeizmikus mérések) jelentős kockázatot jelent, hogy a megcélzott rezervoár meglétére, illetve megfelelő paramétereire az első konkrét adatok csak az első sikeres kutatófúrás lemélyítése után állnak majd rendelkezésre. A projektet/kutatást csak akkor érdemes folytatni, ha az első fúrások és kút-tesztek igazolják a projekt életképességéhez szükséges megfelelő hozamokat és hőmérsékletet.



3. ábra A különböző költségek és kockázatok alakulása egy geotermikus projekt fázisaiban. A kockázatok exponenciálisan nőnek a kutatási fázisban (különösen a fúrásos kutatás során) és jelentősen csökkennek a fejlesztés szakaszában (forrás: www.geoelec.eu)

A földtani kockázatok csökkentése szakmailag megalapozott kutatási tevékenységgel csökkenthető. Ide tartozik:

- a beruházási/kutatási területre vonatkozó archív földtani, vízföldtani és geofizikai adatok beszerzése és értékelése: előzetes hidrogeotermikus modell, kockázatelemzés, kutatástervezés
- szükség szerint ún. 2D/3D szeizmikus mérések, gravitációs geofizikai mérések és értékelések végrehajtása a kutatási terv alapján, pontosított hidrogeotermikus modell, fúráskitűzés
- kutatófúrás, visszasajtoló kutak kialakítása, próbatermeltetés
- termelés – visszasajtolás próbaüzem, fenntarthatóság vizsgálata, döntés a projekt folytatásáról

Jelen tanulmányban az archív földtani adatok és új szeizmikus mérési eredmények együttes értelmezésének fontosságára világítunk rá **a rövidtávú földtani kockázat csökkentésében**: az ezek segítségével kialakított földtani modell jelentős mértékben csökkentheti a tervezett első fúrás sikerességének (elvárt hozam és hőmérséklet) kockázatát. A tanulmány kiemelt célja tehát egy lehetséges **vizsgálati stratégia** bemutatása a következő fontosabb lépések szerint:

- a földtani ismeretesség felmérése: az elérhető földtani és geofizikai archív adatok minél szélesebb körű összegyűjtése (fúrási, hidrogeológiai, szeizmikus, erőtér- és mélyfúrás-geofizika),
- az archív adatok újrafeldolgozása és újraértelmezése korszerű, a geotermikus kutatást elősegítő metodikák alkalmazásával,
- az összegyűjtött földtani és geofizikai adatok komplex, térbeli értelmezése és egy új földtani modell elkészítése,
- a potenciális vízadók lehatárolása és a geotermikus potenciálbecslés,
- a lehetséges termelő és visszasajtoló fúráspontok kijelölése a földtani kockázat mérlegelésével.

Ugyanakkor a tanulmányban kitérünk a **hosszú távú**, tehát az erőforrás esetleges kimerülésével kapcsolatos kockázatok vizsgálatára is. A rendelkezésre álló archív információk birtokában elemezzük a lehetséges hasznosítás hosszú-távú fenntartásának lehetőségét is abból a szempontból, hogy azzal a térség többi, meglévő vagy potenciális természeti, környezeti értékeit és erőforrásait se kockáztassuk. Ezen vizsgálatok alapját képezik – a vizsgált területre és annak környezetére készült korábbi – a koncesszió keretében szabályozott geotermikus és szénhidrogén-kutatás/kitermelést megelőző érzékenységi és terhelhetőségi vizsgálatok. Ezen tanulmányok nemcsak egy adott koncessziós terület legfrissebb és legteljesebb térségi információit tartalmazzák, de egyfajta előzetes, vagy más néven stratégiai környezeti vizsgálattal megadják az elkerülendő, avagy számításba veendő kockázatok jó részét is.

Emellett fontos megemlíteni, hogy a jelenlegi jogszabályok mellett a hosszútávú kockázatok tekintetében más megítélés alá esik a 2500 méternél mélyebb, és más alá a 2500 méter mélység feletti rezervoár geotermikus hasznosítása. A mélyebb esetben mindenképpen

visszatáplálással kell fenntartani a rétegenergiát, és kötelező kialakíttatni a geotermikus védőidomot, melynek bizonyos időközönként el kell végezni a rendszeres megújítását is, a termeléssel együttjáró változások figyelembe vételével. Ez jelentősen csökkenti az ilyen típusú hasznosítások hosszútávú kockázatát akár a hasznosítóra, akár a lehetséges hatásviselőkre, akár a további potenciális hasznosítókra nézve.

A 2500 m-nél sekélyebb rezervoárok nem esnek koncessziós kötelezettség alá, ott nem kötelező a visszatáplálás, és a geotermikus védőidom kialakítása sem. Az érintett rezervoár, és az azt magában foglaló termál-víztest védelmét biztosító jogszabályok vagy csak korlátosan biztosítják (30/2008 KVvM rendelet) a hasznosítások védelmét, vagy nem alkalmasak erre a célra. (A VGT (2015) víztest állapotértékelési eredményétől függően vagy tiltás, vagy erősebb kontroll nélküli engedély lehetséges). Az ilyen rendszereknél a hosszútávon fenntartható hasznosítás nagymértékben kockázatos, melynek csökkentését az esetek legnagyobb részében a 219/2004 Kormányrendeletben előírt – de mind a mai napig elmulasztott – mennyiségi igénybevételei (Mi) korlátok kialakításai biztosíthatnák. Az országban a három főbb geotermikus rendszer-típus esetében (1. a termálforrással rendelkező Hévízi tó felszín alatti vízgyűjtője; 2. a porózus termálvizeket tartalmazó, egyébként határral osztott Mura-Zala termálvíztest-csoport és 3. az alapvetően zárt, csekély vízutánpótlódással rendelkező, sós vizes, gázos Bükkszéki rendszer) az MFGI bemutatta az (Mi) korlát és az ahhoz kapcsolódó intézkedések, korlátozások és lehetőségek kialakításánál követendő vizsgálatokat. Mindhárom esetben a hosszútávú földtani kockázatok elkerülését a meglévő ismereteket kiegészítő modern felmérések, az azokon alapuló korszerű állapotértékelések, (regionális áramlási modellezések és az azzal összekapcsolt monitoring-rendszerek) biztosítják, kiegészítve a megfelelő vízgazdálkodási rend megfogalmazásával. Azonban ennek a sürgető feladatnak az országos szintű elvégzésére eddig nem került sor.

Mindezek ismeretében tehát – mind a 2500 m-nél sekélyebb, mind az annál mélyebb, koncessziós kötelezettség alá eső rezervoárok esetében - kiemelt hangsúlyt kell kapnia a **szakmailag megalapozott kutatási tevékenységnek (rövidtávú kockázatok csökkentése) és hosszútávú kockázatelemzésnek is,** amire tanulmányunk számos kitekintő része rávilágít, azonban aminek a konkrét fúrási és próbatermelési adatok nélkül csak részben tehet eleget.

A mintaterület kiválasztásának kritériumai

A mintaterület kiválasztásánál fontos szempont volt, hogy

(1) a területről viszonylag sok előzetes információ álljon rendelkezésre:

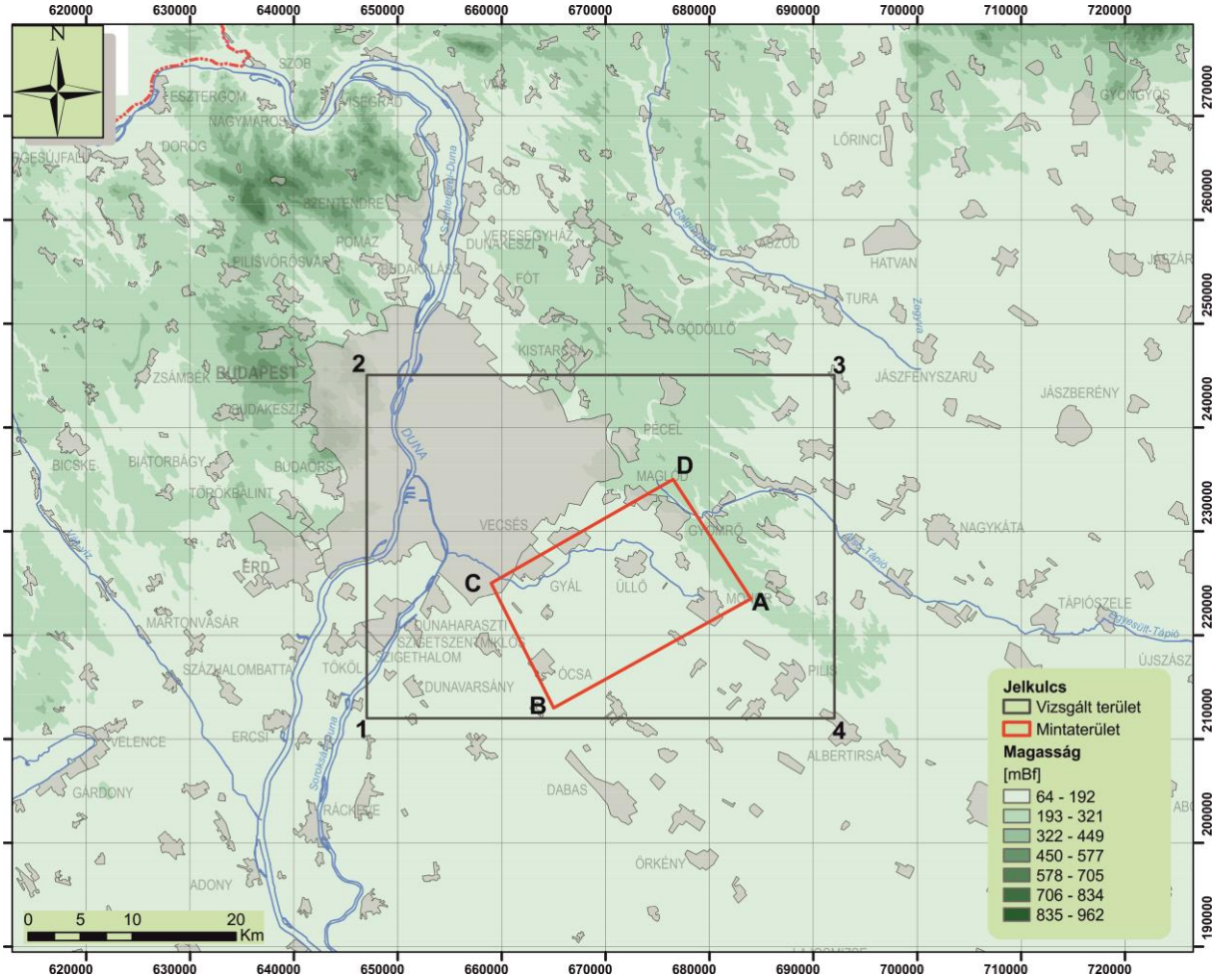
- A tágabb területet több mint ezer fúrás tárja fel, melyek nagy része azonban 100 m-nél sekélyebb. A mélyfúrások közül 12 db van a mintaterületen, az aljzati termálkarsztos víztestből termelő kút azonban legközelebb a főváros területén ismert.
- Az 1990-es évektől kezdve intenzív szénhidrogén-kutatás folyt a területen, a MOL 2004-2012 közt folyó szénhidrogén kutatása nyomán pedig új, modern, 3D szeizmikus adatok érhetők el ([49] VARGA 2005; [4] BONCZ et al. 2013).
- Több szakvélemény foglalkozik a tágabb térség geotermikus energia elérhetőségi és felhasználási lehetőségeivel ([47] TÓTH és NÁDOR 2011, [27] KUJBUS et al. 2012).
- 2014-ben az Intézet munkatársai komplex, a környezeti szempontokat előtérbe helyező érzékenységi-terhelhetőségi tanulmányt készítettek a mintaterület tágabb környezetében ([25] KOVÁCS, GYURICZA et al. 2014).

(2) koncessziós jog nélkül is kitermelhető legyen a hőenergia, azaz a rezervoár a felszíntől számított 2500 m mélység felett elérhető legyen. Ennek megfelelően a mintaterületen belül a földtani modellalkotásra kijelölt terület egy szűkebb térrészt ölel fel.

(3) a területen jelen legyenek a potenciális geotermikus energia felhasználók.

Az előzetes elemzések alapján a vecsési vizsgálati terület nagymélységű karbonátos képződmények alkotta medencealjzatában kialakulhatott olyan közvetlen hőhasznosításra alkalmas geotermikus rezervoár, amely alkalmas lehet ipari léptékű hőtermelés megvalósítására is. A tágabb környezetben ismert, magas kifolyó víz hőmérséklettel rendelkező termálkutak vizsgálati eredményei megerősítik az elemzés megállapításait. A területen található logisztikai központok, ipari parkok, bevásárlóközpontok, valamint a Liszt Ferenc nemzetközi repülőtér potenciális hőpiaci igényt jelentenek, amelyre egy jövőbeli geotermikus célú beruházás alapozható.

A tanulmány elkészítése során tehát egy viszonylag tágabb területre kiterjedő földtani és vízföldtani áttekintés és értékelés után a szeizmikus adatok megvásárlása (Monor 3D szeizmikus adattömb és számos 2D szeizmikus szelvény), azok komplex földtani–geofizikai értelmezése és a földtani modellalkotás már csak a potenciális szűkebb térrészre terjedt ki (4. ábra). Ezt követően került sor a potenciális rezervoár lehatárolására és a tervezett fúráspontok kijelölésére, a termelő és visszasajtoló kutak helyeinek meghatározására.



4. ábra Áttekintő helyszínrajz

A hidrogeológiai viszonyok megismerése céljából áttekintett, kb. 45*35 km-es tágabb térség a főváros pesti oldalát és annak keleti agglomerációját öleli fel Tura és Pilis vonaláig (4. ábra), ám a tanulmány fókuszában a Vecsés–Ócsa–Üllő–Monor térségét lefedő 289 km^2-es terület áll.

A vizsgálati terület sarokpont koordinátáit az 1. táblázat mutatja.

1. táblázat A vizsgált terület sarokponti koordinátái

Sarokpont	EOV X [m]	EOV Y [m]
1.	212.000	647.000
2.	245.000	647.000
3.	245.000	692.000
4.	212.000	692.000

A mintaterület az alábbi 4 sarokponttal lehet lehatárolni (2. táblázat):

2. táblázat A mintaterület sarokponti koordinátái

Sarokpont	EOV X [m]	EOV Y [m]
A	223.500	684.000
B	213.000	665.000
C	225.000	659.000
D	235.500	676.500

A vizsgált tágabb térség földrajzilag a Pesti-síkságon, illetve távolabbi részei a Gödöllői–Monori-dombság vidékén terülnek el. A térszín kelet felé lépcsőzetesen, a magasabb teraszok, illetve dombságok irányába emelkedik. A felszín döntő többsége közepes magasságú (100-250 mBf), tagolt síkság. A szűkebb mintaterület kb. 120-140 mBf magasságban helyezkedik el. A Duna bal parti mellékvizei (Mogyoródi-, Szilas-, Rákos-, Gyáli-patak) nagyjából DNy-ÉK irányban tagolják a térszínt.

A rendelkezésre álló adatok áttekintése

Budapest és környéke első földtani térképezései egészen az 1800-as évekig nyúlnak vissza, többnyire a Budai-hegységre koncentrálva. A síkvidéki rész mélyszerkezetének ismeretessége elsősorban a szénhidrogén célú felszíni kutatások és az ezek alapján telepített fúrások eredményein alapul. A térségben az első mélyfúrásokkal az 1950-es évek gravitációs méréseinek anomáliáit kutatták (Gödöllő, Tóalmás, Cinkota, Mátyásföld, Rákos, Bugyi, Sári, Újhartyán). A gravitációs vizsgálatok az ELGI 1935-49. évi Budapest környéki Eötvös-ingás méréseivel kezdődtek, az országos áttekintő gravitációs felmérés 1971-re fejeződött be. A gravitációs mérések pontsűrűsége az országos átlag feletti (3,92 pont/km^2).

A modern szeizmikus felmérésekre alapozott fúrásos kutatás csak az 1980-as években kezdődött meg. 1989–90-ben a területen regionális jellegű, átnézetes (20-60 km hosszú) reflexiós mérések készültek (IS jelű szelvények), melyeket számos sikeres szénhidrogén-kutatófúrás követett (Tura, Dány, Mogyoród, Monor). 1995-ben Isaszeg–Dány–Mende területén kezdődtek el a korszerű 3D szeizmikus mérések, melyek igazolták, hogy a területet több fázisban, változatos irányítottságú tektonikai hatások érték ([22] KISS et al. 1999). Ezt követően az évezred végén több, – egymást átfedő – 3D szeizmikus mérés (Tóalmás, Jászberény) is történt. 2004-ben kezdődött Monor környékének legújabb kutatása, amely során a 252 km-nyi 2D és újabb 484 km^2-nyi 3D (Monor) szeizmikus mérés, valamint 16 kutatófúrás valósult meg ([5] BONCZ et al. 2013). A mintaterület északnyugati részén, Vecsés térségében 2012-ben két rövid szeizmikus vonalat mért az ELGI ([23] KOVÁCS és HEGEDŰS 2012).

Az értelmezés során felhasznált szeizmikus adatok

A szerkezeti alapelemek kijelölése és térbeli leképezése sokkal megbízhatóbb, ha nem csak egy egyedi szelvény, különálló vagy hálózatosan lemért szelvények, hanem területi mérési rendszer áll rendelkezésre. Vonal menti mérések során az összetett, töréses vagy dőlt szerkezetek leképezése problémás lehet, részben a vonal síkján kívülről érkező jelek miatt. Hálózatos 2D mérések során az egymásra merőleges vonalakat a fő szerkezeti dőlés, illetve csapásirányba helyezik el, így segítve a térbeli szerkezetek jobb leképezését.

1990-es évekre a szeizmikus terepi adatgyűjtés és a számítástechnikai kapacitások bővülése lehetővé tette, hogy nemcsak vonalmenti mérések – illetve számos vonal lemérése után hálózatos 2D mérések – megvalósítására kerüljön sor Magyarországon, hanem valódi 3D mérésekre is. Ezen mérések során a forráspontokat és az érzékelőket egymásra merőleges vonalak mentén helyezik el, majd a forráspontokban gerjesztett rugalmas hullámokat az egész mérési területen – vagy annak egy nagyobb részén – regisztrálják. A feldolgozás során a felszín alatt lévő szerkezetek valós térbeli helyzetének meghatározása a feladat. Az így keletkezett adattömbök segítségével térképezni tudjuk a szerkezeteket a teljes mérési területen. A 3D szeizmika az olajipar egyik legfontosabb kutatómódszerévé vált az elmúlt évtizedekben, ami lehetővé teszi ezen mérések további hasznosítását geotermális kutatások során is.

A mintaterület tágabb környezete szeizmikus reflexiós mérésekkel jól megkutatott. Az adatgyűjtési terület DK-i fele 3D-s szeizmikus méréssel lefedett, azonban az ÉNy-i részen, a

főváros területén – érthető okokból – nem voltak szeizmikus mérések. A mintaterület a szeizmikusan felmért terület peremén helyezkedik el, szinte teljesen lefedi a Monor 3D tömb, és több regionális 2D szelvény is érinti (5. ábra).

A Monor 3D szeizmikus mérés

A 488 km^2 területű 3D mérést a Geofizikai Szolgáltató Kft. végezte a MOL Rt. megbízásából 2005–ben. A vibrátoros jelgerjesztésű, Maglód – Gyál – Dabas – Pilis térségét lefedő mérés célja a harmadidőszaki medencealjzat és az eocén képződmények morfológiájának, valamint tektonikai viszonyainak pontos meghatározása volt. A mérés során az egymásra merőleges forrásponti és érzékelő (geofon) vonalak távolsága 400-400 m volt. A vonalakon belül a forráspontok és az érzékelők (geofonok) távolsága egyaránt 40-40 m volt. A feldolgozás során kialakított rácstávolságot 20*20 m-nek választották, azaz a mérés területén 20*20 m hálóban állnak rendelkezésre a szeizmikus adatok.

A 2D szelvények listája nyugatról kelet felé haladva

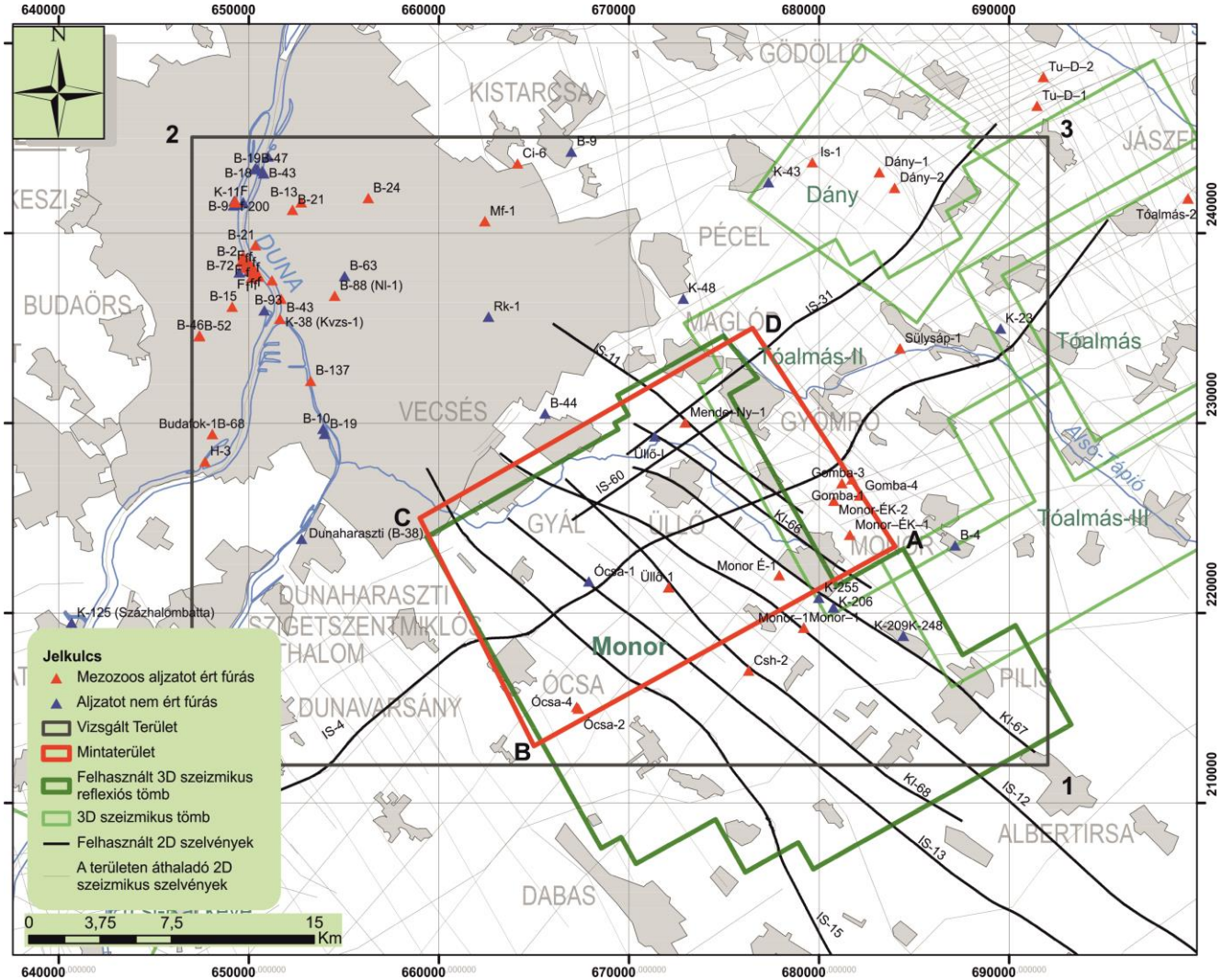
IS-13 és IS-15 (1991): A Gyáltól délre induló, közel párhuzamos vonalak több mint 60 km hosszan szelik át a Közép-magyarországi Zónát dőlésirányban (ÉNy–DK) és a mintaterületet DNy-i részen keresztezik. Az IS-13 jelű vonal áthalad az Ócsa-1 fúráson.

KI-68 (1993): A Közép-magyarországi Zónát átfogó regionális szelvény Vecséstől Albertirsáig fut az Üllő-1 és Csévharaszt-2 fúrásokon át.

IS-12 (1991): A közel 60 km hosszú szelvény ÉNy–DK-i irányban szeli át a mintaterületet. Budapest határától a Monor-1 fúráson át, az Örkényi-árkot átszelve Nagykörösnél ér véget.

KI-66 és KI-67 (1993): Üllő, Monor, Pilis térségén ÉNy-DK irányban, a fő szerkezeti vonalakra merőlegesen futó szelvények. A KI-66-os vonal az Üllő-1-es fúrás közelében halad. Az Üllő-1-es mélyfúrás a KI-67 és IS-31-es vonalak keresztezésének közelében található.

IS-11 (1991): ÉNy-DK irányú, 17 km hosszú szelvény a Tóalmási szerkezet csapására merőlegesen fut, a mintaterület északkeleti részén. Vonalában mélyült a Mende. Ny-1 fúrás.



5. ábra Részletes helyszínrajz a fúrások és szeizmikus mérések feltüntetésével

Csapásirányú 2D szelvények

IS-31 (1992): A 26 km hosszú DNy-ÉK irányú szelvény a Tóalmási vonaltól északra, vele közel párhuzamosan tárja fel a területet. A vonal az Üllő-I szénhidrogén-kutatófúrásra támaszkodik.

IS-60 (1994): A mintaterület központi részén, a Tóalmási szerkezeti vonaltól délre, a fő szerkezeti irányban húzódó 10 km-es vonal.

IS-4 (1991): A több mint 63 km hosszú, regionális szelvény a fő szerkezeti irányokkal párhuzamosan, DNy-ÉK irányban húzódik át a mintaterület tengelyében, megközelítve az Ócsa-1 fúrást.

Fúrások

A szeizmikus értelmezés alapvetően a fúrások rétegsorára és korbeosztására támaszkodik, amelyek fontos információt szolgáltatnak az észlelt szerkezetek és felületek (szerkezeti alapelemek) mélységbeli viszonyaira is. A terület fúrásos megkutatottsági szintje nem egyenletes. A tágabb területet több mint 27 ezer fúrás tárja fel az MFGI Geobank adatai szerint, ebből azonban mindössze kb. 1000 db haladja meg a 100 m-es mélységet, és mindössze 123 db a jelentősebb, 500 m-t meghaladó mélységű fúrás. Az adatgyűjtési területen számba vettük az 500 m-nél mélyebb fúrásokat, ezek közül kiemelkedő jelentőséggel bírnak azok a többnyire szénhidrogén-kutatófúrások, melyek a harmadidőszaki medence aljzatát is feltárták (5. ábra). A szénhidrogén-kutatófúrások rétegtesztjei továbbá számos adatot szolgáltatnak a potenciális rezervoárok fluidum-tartalmáról, az uralkodó nyomásviszonyokról és réteghőmérsékletekről. Vízföldtani szempontból fontosak a 30°C-nál melegebb termálvizet szolgáltató fúrások, amelyeket vízadójuk típusa szerint térképen ábrázoltuk (6. ábra).

A fúrásos feltártság egyenlőtlensége jellemző a területre: a szénhidrogén szempontjából intenzíven kutatott területek – Monor, Gomba, Dány, Isaszeg, illetve a főváros ÉK-i része, Mátyásföld, Rákos, Kistarcsa környéke – mélyfúrásokkal jól feltártak. Budapest térsége termálvíz szempontjából jól megkutatott, közel 80 db kút és forrás szerepel a 2012 óta az MFGI Vízföldtani Főosztálya által kezelt és folyamatosan vezetett Hévízkút Kataszterben, amely néhány kivétellel az aljzati triász képződményeket és a vele szorosan összefüggő paleogén rétegeket tárja fel.

A részletes helyszínrajzon (5. ábra) azokat a fúrásokat ábrázoltuk, amely a tanulmány elkészítése szempontjából relevánsak. Az alábbiakban vázlatosan összefoglaljuk a munkához felhasznált kutak és fúrások alapvető jellemzőit szöveges és táblázatos formában is (3. táblázat).

3. táblázat A tanulmányban érintett fúrások alapadatai

Fúrásnév	Fúrás-név (egyéb)	Település	EOVY [m]	EOVX [m]	Z [mBf]	TALP [m]	Aljzat (fekü képződmény) felszíne [m]	Aljzat (fekü képződmény) kora
B-9		**Kistarcsa**	666970.00	244300.00	179.42	549	487	M
B-10	**Csepel I**	**Budapest XXI. ker**	653900.00	229700.00	94.44	1129	1111	Ol
B-13	**Városli-get II**	**Budapest XIV. ker**	652754.50	241624.59	107.96	1257	1246	T3
B-19		**Budapest XXI. ker**	653991.00	229438.00	97.23	1136	1126	E3
B-21	**Városli-get I**	**Budapest XIV. ker**	652300.31	241235.55	106.42	970	925	T3
B-24	**Pm-1**	**Budapest XIV. ker**	656283.88	241850.08	110.49	1735	1379	T3
B-39	**Kr-1**	**Budapest IX. ker**	651216.50	237526.19	105.30	650	489	T3
B-44		**Vecsés**	665579.70	230516.52	132.32	500	-	Pa2
B-68	**Bf-1**	**Budapest XXII. ker**	648083.31	229433.84	101.56	2001	1584	böT2-3
B-88	**Nl-1**	**Budapest X. ker**	654515.79	236710.71	115.77	1888	1623	mT3
B-137		**Budapest XX. ker**	653240.94	232229.83	97.42	665	645	E3+T3
Csh-2		**Csévharaszt**	676293.98	216974.98	133.32	1480	1119	T
Gomba-1		**Gomba**	681726.65	227044.37	217.54	2690	2452	T
Gomba-3		**Gomba**	681188.44	226857.57	223.60	2600	2474	T
K-38	**Kvzs-1**	**Budapest IX. ker**	651644.07	235493.24	100.60	560	308	T
K-48	**Strand I.sz**	**Pécel**	672850.64	236562.60	222.86	670	606	M
K-125		**Százhalombatta**	640680.80	219500.80	98.81	1500	46	kOl1
K-209		**Monorierdő**	684415.25	218810.91	146.65	901	545	Pa1
Mende. Ny-1		**Mende**	672951.51	230042.84	130.67	1795	1708	T
Mf-1		**Budapest XVI. ker**	662413.30	240635.37	146.24	1623	1606	fT3
Monor-ÉK-1		**Monor**	681611.02	224123.80	178.58	2475	2468	T
Monor-ÉK-2		**Monor**	680763.67	225923.02	198.23	2600	2465	T
Monor. É-1		**Monor**	677896.27	221999.69	132.35	2380	2245	T3
Monor-1		**Monor**	679198.52	219334.78	129.92	1990	1372	E
Ócsa-1		**Ócsa**	667888.77	221670.46	131.02	900	657	sz-kM2
Ócsa-2		**Ócsa**	667342.94	214982.07	116.81	2000	1745	T3
Ócsa-4		**Ócsa**	667252.61	215068.92	117.46	1811	1781	T3
Rk-1		**Budapest XVII. ker**	662602.23	235609.73	137.19	650	560	Ol
Tö-1		**Tököl**	642202.76	217099.06	100.54	1503	1482	böT2-3
Üllő-1		**Üllő**	672086.06	221356.05	119.42	3270	2759	Mz
Üllő-I		**Üllő**	671359.11	229306.69	-	653	193	Pa2

B-9 (Kistarcsa)

Az 1969-ben kiképzett B-9 kút miocén korú képződményeket harántolt, legnagyobb mélysége 549 m, a vízadó réteg mélysége 487-525 m homok, iszapos homok. A kútban mért fajlagos vízhozam 62,2 l/p/m, a kitermelt víz hőfoka 30 °C.

B-10 (Bp. XXI. ker)

Az 1959-ben, oligocén rétegekre kiképzett B-10 (Csepel I) hévízkút csak vízszint-észlelésre szolgál. Legnagyobb mélysége 1143 m, vízkitermelésre hasznosítható réteg 1111-1130 m-en, homokból. A kitermelt víz hőfoka 45 °C.

B-13 (Bp. XIV. ker)

Az 1938-ban létesített B-13 (Városliget-II) hévízkút a Széchenyi fürdő vízbázisa, felső-triász Dachsteini Mészkőre szűrőzött nagy mélységű (1257 m) és magas hozamú hévízkút. 2004. évi hévíz-felhasználása átlagosan 5400 m^3/nap volt, a kifolyó víz hőmérséklete 75-77 °C volt.

B-19 (Bp. XXI. ker)

Az 1961-ben, felső-eocén Szépvölgyi Mészkőre kiképezett hévízkút az idényjellegű Csepel, Hollandi úti strandfürdő vízbázisa volt. A kút teljes mélysége 1136 m, a felső-eocén korú képződményt 1126 m-en érte el. 2004-ben április végétől december közepéig összesen 304 m^3/nap (idényátlagban 1007,46 m^3/nap), 44,7-46,0 °C-os hévizet termeltek.

B-21 (Bp. XIV. ker)

Az 1878-ban létesített B-21 jelű (Városliget-I) hévízkút a Széchenyi fürdő tartalék-kútjának tekinthető. Triász Fődolomitra kiképzett 970 m mélységű kút, melynek fúrás közben mért vízhozama 629 m^3/nap, a kifolyó víz hőmérséklete 74 ^oC-os volt. Jelen ismereteink szerint a kút napjainkban is kb. 101 m^3/nap vizet termel lefolytva.

B-24 (PM-1)

A Paskál-malmi fürdő vízbázisa az 1965-ben Dachsteini Mészkő hasadékára kiképezett és 1988-ig csak kertészeti célokra használt B-24 jelű hévízkút, melynek teljes mélysége 1735 m. Védőidomát 2004-ben külön is kijelölték. 2004. évi átlagos termelése 661,2 m^3/nap, a kifolyóvíz hőmérséklete 68-69,2 °C volt, a vízadó réteg 1379-1735 m közötti mészkő.

A perforálást 1394-1402 m közötti szakaszon végezték el. A 6 5/8-os béléscsövet 1403,5 m-ig építették be, majd a béléscső rakat süllyedni kezdett a teljes iszapveszteséget okozó hasadékban. Végül a béléscső saruja 1735 m-ben, a felső pereme 335 m-ben állt meg. Ez a nagy nyílt törés egyértelműen vastag hasadékos hévíztároló meglétét jelzi a területen. A fürdő vizét a szomszédos Paskál- lakópark lakásaiba is átvezették, de ott elsősorban fürdési célra hasznosították.

B-39 (Kr-1)

A Közraktár utcában vízmegfigyelő kútként képezték ki a B-39 jelű kutat, melynek teljes mélysége 650 m, a triász korú dolomitot 489 m-ben érte el.

A fúrás során három szakaszban történt beáramlásmérés:

589-597 m, 602-612 m és 618-619 m között.

A mérés során kapott vízhozam 374,4 m^3/nap volt, melynek több mint 50%-át a harmadik szakasz adta. A kifolyóvíz hőmérséklete 43 °C, a talphőmérséklet 51 °C volt.

B-44 (Vecsés)

Vecsés településtől ÉNy-ra mélyített B-44 jelű fúrás teljes mélysége 500 m, mely a felső pannóniai rétegekben állt le. Egyéb hidrogeológiai információnk nincs a fúrásról.

B-68 (Bf-1)

Az 1970-ben kiképzett B-68 jelű szerkezetkutató fúrás teljes mélysége 2001 m, a triász platformot 1584 m-en érte el (Budaörsi Dolomit Formáció). A fúrás során rétegvizsgálat történt 1338-1500,5 m mélységben, ahol a beáramlott víz 1,5 óra alatt 4,5 m^3 volt, a kifolyó víz hőmérséklete 52 °C, a talphőmérséklet 63 °C volt.

B-88 (Népliget 1)

A 2008-ban kiképzett, oligocén és eocén rétegeket harántoló fúrás teljes mélysége 1888 m, a triász aljzatot 1623 m-en érte el (Mátyáshegyi Formáció). A kút vízkitermelésre alkalmatlan, hiszen tömör, repedésmentes, szaruköves mészkő összlet alkotja az aljzatot.

B-137 (Bp. XX. ker)

Pestszenterzsébeti gyógyfürdő középső-miocén hideg sósvizes gyógyvíz-bázisának kiegészítéseként 1977-ben létesítették a triász és eocén rétegek összeszűrőzésével kiképezett hévíz kutat. A kút teljes mélysége 665 m. Kezdetben 47 °C talphőmérsékletű kút felszálló termeléssel naponta 2160 m^3 vizet termelt. A kitermelt víz alkáliákat és nagy mennyiségben kalcium-magnézium hidrogén karbonátot tartalmazott. 2004-ben átlagosan 407,1 m^3/nap 45 °C hőmérsékletű hévizet termeltek. Nagy történeti múltú gyógyhely, jelenleg még üzemen kívül.

Csh-2 (Csévharaszt)

2013-ban mélyült a Csh-2 jelű szénhidrogén-kutatófúrás, melynek teljes mélysége 1480 m. Triász korú karsztos repedezett mészkövet tárt fel 1119 m mélységben, mely a rétegvizsgálatok során teljes iszapveszteséget adó mezozoós szerkezetet mutatott ki. A fúrás szénhidrogén szempontjából meddővé lett nyilvánítva.

Gomba-1

A Gomba-1 szerkezetkutató fúrás 2003-ban mélyült, melynek teljes mélysége 2690 m. A fúrás célja a gombai szerkezetcsoport legmagasabb tagjának feltárása volt, mely végül olajtelepet harántolt. A triász korú aljzatot 2452 m-ben érte el.

A fúrás során 5 rétegvizsgálat történt különböző mélységtartományokban.

Az első rétegvizsgálat 2394-2452 m-es mélységben történt, a befoglaló kőzet eocén konglomerátum és triász mészkő volt. A vizsgálat során 73,2 m^3/nap olaj beáramlás történt minimális éghető gázzal. A rétegben uralkodó nyomás 22,334 MPa, a rétegben mért hőmérséklet 126,5 °C volt.

A második rétegvizsgálat 2670,8-2690 m mélységben történt, a befoglaló kőzet triász mészkő volt. A vizsgálat során 113 m^3/nap neméghető gáznyomos rétegvíz beáramlás történt. A rétegben mért hőmérséklet 128,7 °C volt.

A harmadik rétegvizsgálat 2558,8-2667,3 m-es mélységben történt, a befoglaló kőzet triász mészkő volt. A vizsgálat során 92 m^3/nap neméghető gáznyomos rétegvíz beáramlás történt. A rétegben mért hőmérséklet 126,35 °C volt.

A negyedik rétegvizsgálat 2474,3-2555,3 m-es mélységben történt, a befoglaló kőzet triász mészkő volt. A vizsgálat során 110 m^3/nap neméghető gáznyomos rétegvíz beáramlás történt. A rétegben uralkodó nyomás 22,898 MPa volt, rétegben mért hőmérséklet 123,43 °C volt.

Az ötödik rétegvizsgálat 2394-2470,8 m-es mélységben történt, a befoglaló kőzet eocén konglomerátum, homokkő és alatta triász mészkő volt. A vizsgálat során 3200 m^3/nap éghető gáztermelés történt 38 bar nyomással. A mért maximum hőmérséklet 2380 m mélységben 121,62 °C.

Gomba-3

A fúrás célja a Gomba olajtelep továbbfejlesztő kutatása a triász tároló maximumpontján és további célja a telep vagyonának növelése. A fúrás legnagyobb mélysége 2600 m, a triász aljzatot 2474 m-ben érte el.

A fúrás során 6 rétegvizsgálat történt különböző mélységtartományokban.

Az első rétegvizsgálat 2439-2489 m-es mélységben történt, a befoglaló kőzet eocén konglomerátum és triász mészkő volt. A vizsgálat során 3 óra alatt 5,7 m^3 olaj és 2,4 m^3 feltöltő víztermelés történt.

A második rétegvizsgálat 2503-2513 m-es mélységben történt, a befoglaló kőzet triász mészkő volt. A vizsgálat során 161 m^3/nap olaj és 8550 m^3/nap kevert éghető gáztermelés történt. A rétegben uralkodó nyomás 23,31 MPa, a rétegben mért hőmérséklet 129,73 °C volt.

A harmadik rétegvizsgálat 2493-2513 m-es mélységben történt, a befoglaló kőzet triász mészkő volt. . A vizsgálat során 160 m^3/nap éghető kevert gázos olajtermelés történt.

A negyedik rétegvizsgálat 2533-2548 m-es mélységben történt, a befoglaló kőzet triász mészkő (tufa csíkokkal) volt. A vizsgálat során beáramlás hiányt tapasztaltak.

Az ötödik rétegvizsgálat 2442-2452 m-es mélységben történt, a befoglaló kőzet eocén konglomerátum és triász mészkő volt. A vizsgálat során 1630 m^3/nap éghető gáz és 43,2 m^3/nap olajtermelés történt. A rétegben uralkodó nyomás 22,79 MPa, a rétegben mért hőmérséklet 128,45 °C.

A hatodik rétegvizsgálat 2493-2513 m-es mélységben történt, a befoglaló kőzet triász mészkő volt. A rétegben uralkodó nyomás 23,42 MPa, a rétegben mért hőmérséklet 129,73 °C volt.

K-38 (Kvzs-1)

A Kvassay-zsilipnél mélyült K-38 jelű fúrás célja karsztvízszint észlelő kút létesítése volt. A kút teljes mélysége 560 m, a triász korú mészkő aljzatot 308 m-ben érte el. A fúrás során történt vízmintavétel 318 m és 559,5 m között történt, ahol a mérés eredményéül kapott összes kation mennyisége 529,02 mg/l, a kifolyó víz hőmérséklete 50 °C.

K-48 (Pécel)

A 2002-ben, miocén rétegekre kiképzett K-48 jelű (Strand-I.) termálkút fürdővíz kitermelés céljából létesült. A kút teljes mélysége 1200 m, a mérőszondát 670 m-ig juttatták

le (a 3. táblázat ezt a mélységet jelöli talpmélységnek), amely miocén korú rétegben állt meg. A kitermelt víz hőfoka 30 °C, talphőmérséklet 668,2 m-ben 33,8 °C volt.

K-125 (Százhalombatta)

A Tököli magasrög-szerkezet nyugati szárnyának megismerésére célzott fúrás elsődlegesen geotermikus célra létesült, magas hőfokú, esetleg kapcsolt energiatermelésre is alkalmas tároló. Megfelelő fúráshely csak a kiemeltebb szerkezettől távolabb, a fürdő közelében állt rendelkezésre, így tervezett mélységnél lejjebb kellett hatolni.

Az 1500 méteres mélységből vett magminta a Kiscelli Agyag középső szakaszát, és egy homokkő-betelepülést mutatott ki.

K-209 (Monorierdő Strandfürdő)

A korábbi kismélységű kút használata után szükségessé vált Monorierdő Strandfürdő területén egy nagyobb mélységű kút megépítése, melyből legalább 38-40 °C hőmérsékletű vizet nyernek ki fürdővíz felhasználás céljából. A K-209 jelű fúrás holocén rétegeken át pleisztocén, majd felső pannóniai rétegeket harántolt, végül alsó pannóniai rétegekben, 901 méteres mélységben állt le. Szivattyúzással kitermelve átlagosan 346 m^3/nap vizet termeltek. A kitermelt víz hőfoka 38 °C volt, a talphőmérséklet 614,8 m-ben 47,6 °C volt.

Mende. Ny-1

Az 1994-ben mélyült Mende. Ny-1 fúrás teljes mélysége 1795 m. Korábbi adatok alapján (Magyar Bányászati és Földtani Hivatal Adattár) 1708 m-ben érte el az eocén Szépvölgyi Mészkő Formációt, de az ezen munka kapcsán történt karotázs és sebesség adatok újraértékelése alapján, véleményünk szerint már 1528 m-ben elérte az eocén képződményeket, és 1708 m-ben triász korú mészkövet harántolt.

A fúrás során 4 rétegvizsgálat történt különböző mélységtartományokban.

Az első rétegvizsgálat 1125-1132 m-es mélységben történt, a befoglaló kőzet miocén dolomitos mészmárga volt. A vizsgálat során 15 m^3/nap savas rétegvíz beáramlás történt, a rétegben mért összes sótartalom 38000 mg/l volt.

A második rétegvizsgálat 1321-1327 m-es mélységben történt, a befoglaló kőzet oligocén laza, középszemű homokkő volt. A vizsgálat során 12,2 m^3/nap savas rétegvíz beáramlás történt, a rétegben mért összes sótartalom 76500 mg/l volt.

A harmadik rétegvizsgálat 1695-1724 m-es mélységben történt, a befoglaló kőzet oligocén, majd 1708 m-től eocén aleurolit, homokkő, mészkőbreccsa volt. A vizsgálat során 10 mm-es fúvókán keresztül 20 m^3/nap rétegvíz beáramlás történt. A rétegben mért összes sótartalom 3160 mg/l, a rétegvíz hőmérséklete 62 °C volt.

A negyedik rétegvizsgálat 1783-1787 m-es mélységben történt, a befoglaló kőzet eocén mészkő volt. A vizsgálat során 65,6 m^3/nap rétegvíz beáramlás történt, a rétegben mért összes sótartalom 3150 mg/l volt (a rétegvíz beáramlás mellett több száz m^3 iszapveszteség volt tapasztalható).

Mf-1 (Mátyásföld)

A mátyásföldi, MF-1 jelű szénhidrogén-kutatófúrás teljes mélysége 1623 m. A triász korú Fődolomit aljzatot 1606 m-en érte el. Egyéb hidrogeológiai szempontból releváns információt nem tudunk a fúrásról.

Monor. ÉK-1

A 2005-ben mélyült fúrás célja a Monor-ÉK-i szerkezet felderítése, új kőolajtelep feltárása volt, melynek teljes mélysége 2475 m. Korábbi adatok alapján (Magyar Bányászati és Földtani Hivatal Adattár) 2382 m-ben érte el a mezozoós aljzatot, de ezen munka kapcsán történt karotázs és sebesség adatok újraértékelését követően a triász aljzat fedőszintje 2468 m-re módosult.

A fúrás során 3 rétegvizsgálat történt különböző mélységtartományokban.

Az első rétegvizsgálat 2300-2317 m-es mélységben történt, a befoglaló kőzet eocén korú konglomerátum (homokkő csíkokkal) volt. A vizsgálat során az elnyelt savas víz visszatermelése mellett minimális olaj beáramlás, 2000 m-ből kb. 0,150 m^3/nap vizes, emulziós olaj és kb. 8 m^3/nap elnyelt savas vízbeáramlás történt.

A második rétegvizsgálat 2325-2355 m-es mélységben történt, a befoglaló kőzet eocén konglomerátum (homokkő csíkokkal) volt. A vizsgálat során beáramlás hiány volt tapasztalható. A rétegben uralkodó nyomás 22,34 MPa, a rétegben mért hőmérséklet 131 °C.

A harmadik rétegvizsgálat 2328-2389 m-es mélységben történt, a befoglaló kőzet konglomerátum, alatta kovás aleurolit, kovás agyagkő volt. A rétegből kitermelt víz 33.4 m^3 volt (2440 m-től teljes iszapveszteség volt tapasztalható). A rétegben mért összes sótartalom 37460 mg/l. A rétegben mért hidrosztatikus nyomás 21,83 MPa, a talpnyomás 21,4 MPa volt, a rétegben mért legmagasabb hőmérséklet 129.16 °C volt.

A fúrás kiképzése során 2 db magfúrás történt. Az első, 2382,7-2389 m mélységű szakaszon szerkezet nélküli kovás aleurolit, alsó részén fehér, puha agyagásvány-csomó található (az újabb vizsgálatok alapján eocén képződmény). Ez alatt mikrokristályos, pirithintéses agyagkő, agyagos kovakő, a magrész néhol vöröses. A második, 2468-2475 m mélységű szakaszon a magminta triász korú, darabokra hullott mészkő anyag. Alsó és felső része morzsalékos, breccsa jellegű törmelékszemcsékből áll, középső része tömött szövetű, szilánkos törésű ooidos mészkő, néhol vöröses, kalcitrepedéses.

Monor. ÉK-2

A 2007-ben mélyített fúrás célja a Monor-ÉK-i szerkezet további kutatása, új kőolajtelep feltárása a Gomba mező szomszédságában. A fúrás teljes mélysége 2600 m, amely 2465 m-ben érte el a triász aljzatot.

A fúrás során 2420-2492,5 m-es mélységben történt rétegvizsgálat. 2 db 18 mm-es fúvókán (N2 hozzáadásával) 153,6 m^3/nap rétegvíz beáramlás történt. A rétegben mért összes sótartalom 33020 mg/l volt. A kezdeti hidrosztatikus nyomás 24,33 MPa, a talpnyomás 22,39 MPa volt, a mért réteghőmérséklet 2402,5 m-ben 108 °C volt.

A 2600 m-ben mért talphőmérséklet 131 °C volt. A rétegvizsgálatok alapján a kút meddővé lett nyilvánítva. Nyomásemelkedés alapján megállapítható volt, hogy jó áteresztőképességű rétegek álltak rendelkezésre, a réteg jó tároló paraméterekkel rendelkezett.

Monor. É-1

Az 1997-ben kiképzett Monor. É-1 olajtermelő kút a triász térszínre diszkordanciával települő eocén Budai Márgát harántolta. Rétegsorát szeszélyesen váltakozó partszegélyi-partközeli, néhol szárazföldi meszes finom és durvatörmelékek adják. A homokos, konglomerátumos olajtároló réteg fedője (és zárókőzete) a szinte teljesen

elagyagásványosodott tufa. Az eocén tetején megjelenő törmelékes szakasz beáramlást nem adott. A mezozoós alaphegységet 2245 m-től dachsteini típusú mészkő képviseli (ez a mélység jelöli az aljzat felszínt), melynek legfelső része mészkőbreccsa, majd 2298 m-től már szálban álló mészkő. Az alsó szakasz jelentős vízbeáramlást adott, azonban a tetőzóna is víztározó.

Összefoglalva tehát elmondható, hogy a mezozoós alaphegység víztározó, az eocén képződmények törmelékei gyenge tároló képességűek, alacsony permeabilitásúak és erősen korlátozott utánpótlódásúak.

A fúrás során 3 rétegvizsgálat történt különböző mélységtartományokban.

Az első rétegvizsgálat 2172-2204 m-es mélységben történt, a befoglaló kőzet eocén finomszemű, meszes homokkő, meszes kötőanyagú polimikt konglomerátum. A vizsgálat során 8 óra alatt 3,4 m^3 gázos olaj beáramlás történt (10,2 m^3/nap gázos olaj). A rétegben uralkodó nyomás 23,875 MPa, a rétegben mért hőmérséklet 111 °C volt. A vízanalízis során mért összes sótartalom 44941 mg/l volt.

A második rétegvizsgálat 2228-2259 m-es mélységben történt, a befoglaló kőzet eocén korú, meszes kötőanyagú polimikt konglomerátum és triász korú mészkőbreccsa volt. A vizsgálat során 8 óra alatt 3,5 m^3 olajnyomos sósvíz beáramlás történt (10,5 m^3/nap) és 40 l olaj beáramlás. A rétegben uralkodó nyomás 25,43 MPa, a rétegben mért hőmérséklet 121 °C volt. A vízanalízis során mért összes sótartalom 32030 mg/l volt.

A harmadik rétegvizsgálat 2359,5-2375 m-es mélységben történt, a befoglaló kőzet repedezett, kavernás triász mészkő. A vizsgálat során 4 óra alatt 6,7 m^3 elnyelt iszap beáramlás, majd 5 mm-es fúvókán keresztül 252 m^3/nap nem éghető gáznyomos, 57 °C kifolyó hőmérsékletű rétegvíz termelés történt. (jelentős mennyiség) A rétegben uralkodó nyomás 24,23 MPa, a rétegben mért hőmérséklet 121 °C volt. A rétegben mért összes sótartalom 37460 mg/l volt.

Monor-1

Az 1993-ban kiképzett Monor-1 felderítő, kutató fúrás teljes mélysége 1990 m. Célja a miocén és oligocén feküben jelentkező képződmények rétegtartalmának és kőzettani felépítésének megismerése. 1372 m-ben elérte az eocén korú Budai Márga Formációt, pretercier aljzatot nem ért a fúrás.

A fúrás során 5 rétegvizsgálat történt különböző mélységtartományokban.

Az első rétegvizsgálat 879-910 m-es mélységben történt, a befoglaló kőzet pannóniai mészmárga és miocén mészkő volt. A vizsgálat során 20 perc alatt 5,1 m^3 sósvíz beáramlás történt. A rétegben uralkodó nyomás 8,67 MPa, a rétegben mért hőmérséklet 54,1 °C volt. A vízanalízis során mért összes sótartalom 24970 mg/l volt. (nagy áteresztőképességű tároló)

A második rétegvizsgálat 1570,5-1678 m mélységben történt, a befoglaló kőzet oligocén agyagmárga, márga mészkőcsíkokkal és eocén márga, mészkő volt. A vizsgálat során 0,45 m^3/8 óra olajnyomos sós víz beáramlás történt. A rétegben uralkodó nyomás 17,5 MPa volt, rétegben mért hőmérséklet 76 °C volt.

A harmadik rétegvizsgálat 1788-1819 m-es mélységben történt, a befoglaló kőzet eocén homokkő volt. A vizsgálat során 1,8 m^3/6,25 óra olajnyomos sósvíz beáramlás (20 l olaj) történt. A rétegben uralkodó nyomás 17,4 MPa volt, a rétegben mért hőmérséklet 93,3 °C volt. A vízanalízis során mért összes sótartalom 21620 mg/l volt.

A negyedik rétegvizsgálat 1801,5-1806,5 m-es mélységben történt, a befoglaló kőzet eocén homokkő volt. A vizsgálat során 5 m^3/nap olajnyomos sósvíz beáramlás történt. A vízanalízis során mért összes sótartalom 23200 mg/l volt.

Az ötödik rétegvizsgálat 1691-1697 m-es mélységben történt, a befoglaló kőzet eocén mészkő volt. A vizsgálat során 0,24 m^3/nap olajos sósvíz beáramlás történt. A vízanalízis során mért összes sótartalom 17200 mg/l volt.

Ócsa-1

Az 1993-ban mélyült Ócsa-1 jelű felderítő, kutató fúrás célja a pannon fekü boltozatos szerkezetének kutatása, rétegtartalmának és kőzettani viszonyainak megismerése. A fúrás teljes mélysége 900 m, a fúrás miocén homokkőben állt le.

A fúrás során 597-680 m-es mélységben történt rétegvizsgálat. A befoglaló kőzet miocén homokkő volt. A vizsgálat során 4,54 MPa depresszió hatására 0,5 óra alatt 2,8 m^3 rétegvíz beáramlás történt, melynek összes sótartalma közel 1250 mg/l volt. A rétegben uralkodó nyomás 5,46 MPa, a rétegben mért hőmérséklet 37,7 °C volt.

Ócsa-2

A 2009-ben mélyült Ócsa-2 szerkezet- és szénhidrogén-kutatófúrás Ócsa településtől DK-re található, melynek teljes mélysége 2000 m. A fúrás 1745 m-ben triász mészkövet harántolt. Ezen munka kapcsán történt karotázs és sebesség adatok újraértelmezése alapján, véleményünk szerint 1905 m-ben elérte a triász korú dolomitot.

A fúrás során 4 rétegvizsgálat történt különböző mélységtartományokban.

Az első rétegvizsgálat 1802,6-1845 m-es mélységben történt, a befoglaló kőzet triász breccsásodott mészkő és dolomit volt. A vizsgálat során 5,9 m^3/óra rétegvizes iszap beáramlás történt. A rétegben uralkodó nyomás 17,49 MPa, a legmagasabb mért réteghőmérséklet 83,93 °C volt.

A második rétegvizsgálat 1733-1796 m-es mélységben történt, a befoglaló kőzet eocén mészkő, majd 1745 m-től triász breccsásodott mészkő volt. A vizsgálat során 1,5 m^3/nap ütemű vízbeáramlás történt. A rétegben mért hőmérséklet 95 °C volt.

A harmadik rétegvizsgálat 1711-1722 m-es mélységben történt, a befoglaló kőzet eocén mészkőbreccsa volt. A vizsgálat során 2-19 m^3/nap olajtermelés és éghető gáztermelés történt. A rétegben uralkodó nyomás 16,51 MPa, a rétegben mért hőmérséklet 99 °C volt.

A negyedik rétegvizsgálat 1694-1703 m-es mélységben történt, a befoglaló kőzet eocén mészkőbreccsa volt. A vizsgálat során 38 m^3/nap olajtermelés és 920 m^3/nap ütemű gáztermelés történt. A rétegben mért hőmérséklet 98,5 °C volt.

Ócsa-4

A 2011-ben mélyült Ócsa-4 szerkezet- és szénhidrogén-kutatófúrás az Ócsa-2 jelű fúrás szomszédságában helyezkedik el. A fúrás teljes mélysége 1811 m, és 1781 m-ben érte el a triász mészkövet.

A fúrás során 3 rétegvizsgálat történt különböző mélységtartományokban.

Az első rétegvizsgálat 1752-1811 m-es mélységben történt, a befoglaló kőzet eocén mészkőbreccsa, alatta kovás agyagkő, márga, majd 1834 m-től triász mészkő volt. A vizsgálat során 1 óra alatt 10,1 m^3 rétegvíz beáramlás történt. A rétegben uralkodó nyomás 16,96 MPa, a rétegben mért hőmérséklet 100 °C volt.

A második rétegvizsgálat 1719-1749 m-es mélységben történt, a befoglaló kőzet eocén kovásodott tufa agyagmárga csíkokkal. A vizsgálat során 1 nap alatt 138 m^3 rétegvíz beáramlás történt. A vízanalízis során mért összes sótartalom 36090 mg/l volt. A rétegben uralkodó nyomás 16,46 MPa volt.

A harmadik rétegvizsgálat 1676-1689 m-es mélységben történt, a befoglaló kőzet eocén konglomerátum, tufa, aleurolit volt. A vizsgálat során 27 óra alatt 0,03 m^3 olajnyomos folyadék beáramlás és 3,11 m^3 víz beáramlás történt.
A kút CH termelésre nem alkalmas, meddő.

Rk-1 (Rákoskeresztúr)

A fúrás 1968-ban mélyült szerkezetkutatási céllal, melynek teljes mélysége 650 m. A fúrás 560 m-ben elérte az oligocén korú képződményeket és ebben is állt le. Hidrogeológiai vizsgálatra nem került sor.

Tö-1 (Tököl)

1969-ben kiemelt rögszerkezetet tárt fel az 1503 m mélységű szerkezetkutató fúrás, mely 1482 m-ben elérte a középső-triász dolomit aljzatot (Budaörsi Dolomit Formáció), 126 °C-os meglepően magas talphőmérséklettel. Hidrológiai jellemzőit azonban nem vizsgálták.

Üllő-1

Az 1999-ben mélyült fúrás célja az eocén és a mezozoikum tetőzónájában kimutatott boltozatos szerkezetek CH földtani értékének megállapítása. Teljes mélysége 3270 m. Korábbi értelmezések alapján 2569 m-ben érte el az eocén mészkő szintet, és további képződményt nem harántolt. Ezen munka kapcsán történt karotázs és szeizmikus adatok újraértelmezése alapján, véleményünk szerint 2534 m-től eocén, 2759 m-től törmelékes mezozoós, majd 2949 m-től kompakt mezozoós aljzatot ért a fúrás.

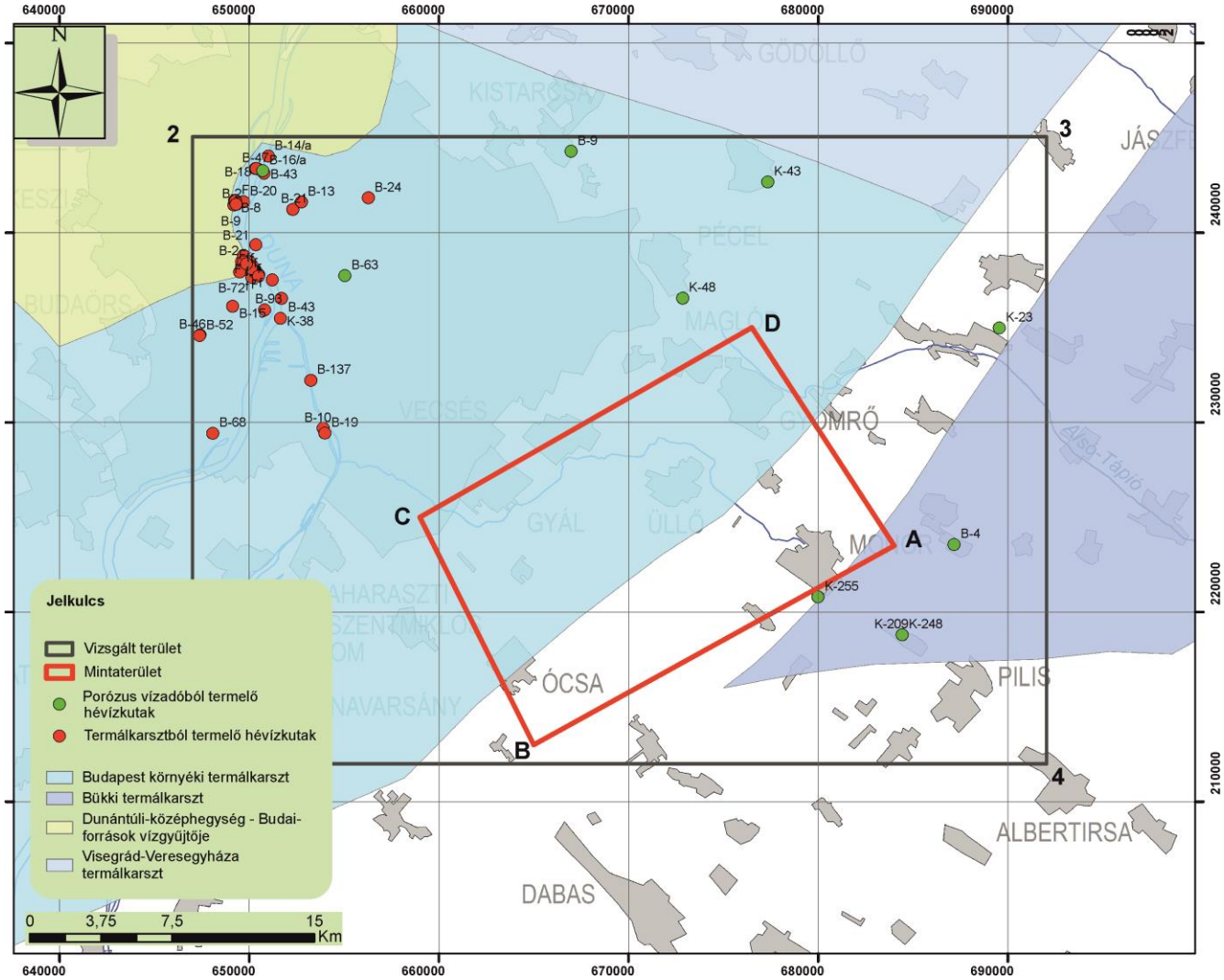
A fúrás során 2 db rétegvizsgálat történt különböző mélységtartományokban.

Az első rétegvizsgálat 2760-2810 m-es mélységben történt, a befoglaló kőzet eocén mészkő, aleurolit volt (átértékelés után mezozoós képződmény). A vizsgálat során 7 óra alatt 2,5 m^3 olaj és éghető gáz beáramlás történt. A rétegben uralkodó hidrosztatikus nyomás 31,43 MPa volt, a rétegben mért hőmérséklet 124 °C volt.

A második rétegvizsgálat 2635-2680 m-es mélységben történt, a befoglaló kőzet eocén aleurolit volt. A rétegben mért hidrosztatikus nyomás 29,72 MPa volt.

Üllő-I

Az 1948-ban mélyített kút 652,8 m-es mélységben állt meg a pannóniai rétegekben. Egyéb számunkra releváns információt a kútkönyv nem tartalmazott.



6. ábra A 30 °C-nál magasabb hőmérsékletű kifolyó vizet adó kutak térképe a vízadó képződmények kora alapján elkülönítve

Mélyfúrás-geofizikai adatok

A reflexiós időszelvények adatainak kétszeres futási időből mélységre való átszámításakor pontos eredmény csak akkor várható, ha az adott térrészben a szeizmikus hullámterjedés sebességének eloszlását kellő pontossággal meghatározták egyéb geofizikai módszerrel is. A vizsgálati területen 17 db VSP (Vertical Seismic Profile, [39] RÁDLER 1985) mérés áll rendelkezésre, melyből 2 db esik a mintaterületre – Üllő-1 és Mende. Ny-1 fúrásokban – illetve további 3 db – Monor-1, Monor. É-1 és Monor. ÉK-1 – esnek az értelmezett 3D szeizmikus tömbre, melyek így a szeizmikus adatok megbízható idő-mélység transzformációjához felhasználhatók (4. táblázat)

A környező szénhidrogén-kutatófúrásokban végeztek lyukgeofizikai méréseket, amelyeket a kútkönyvek alapján áttekintettünk és mind a szeizmikus, mind a vízföldtani értelmezésnél figyelembe vettünk. A területről digitálisan elérhető mélyfúrás-geofizikai szelvényeket a 4. táblázat foglalja össze. A kőzetfizikai tulajdonságok meghatározására számos, különböző fizikai elven működő szonda áll rendelkezésre. Az egyes szondaféleségek által mért digitálisan rögzített jelek együttes értelmezése információt ad a fúrás által harántolt rétegek kőzettani összetételéről, porozitásáról, permeabilitásáról, szénhidrogén tartalmáról, a fúróiszap által elárasztott zóna kiterjedéséről, a kőzetsűrűségről. Lehetőség van a lyukfal képszerű megjelenítésére is, így vizsgálható a vékonyrétegzettség és a rétegek dőlése, repedezettsége, kavernásodása.

Azokban a fúrásokban, ahol nem állnak rendelkezésre vízkémiai adatok (pl. a rétegvizek sótartalmáról), ezek mélyfúrás-geofizikai paraméterekből szintén megbecsülhetők.

4. táblázat A vizsgálati területen elérhető mélyfúrás-geofizikai mérések

Település	Fúrás	EOV Y (m)	EOV X (m)	Z (mBf)	Mélység (m)	Log szám	Dátum	Terület +
MFGI Mélyfúrás-geofizikai adatbázisában digitálisan elérhető mélyfúrás-geofizikai mérések								
Dunaharaszti	B-38	652727	223912	98	701	8	1979	1
Monor	Monor. É–1	677896	222000	132	2380	9		1
Digitális formában jelenleg elérhető, MOL által 1992–98 közt mért mélyfúrás-geofizikai mérések								
Dány	Dány–1	683173	243207	201	1922		1994	
Dány	Dány–2	683975	242385	165	1759		1995	
Isaszeg	Is–1	679642	243740	200	1800		1996	
Monor	Monor. É–1	677896	222000	132	2380		1997	
Monor	Monor–1	679199	219236	130	1990		1993	
Tura	Tu–D–1	691465	246705	137	2650		1995	
Tura	Tu–D–2	691804	248227	127	2234		1996	
Ócsa	Ócsa–1	667889	221671	132	900		1993	
A mintaterületre eső VSP mérések								

Település	Fúrás	EOV Y (m)	EOV X (m)	Z (mBf)	Mélység (m)	Log szám	Dátum	Terület +
Mende	Mende. Ny–1	672952	230043	130	1851		1994	1
Üllő	Üllő-1	672086	221356	119	3300		1999	
A Monor 3D szeizmikus tömbre eső VSP mérések								
Monor	Monor. É–1	677896	222000	132	2380			1
Monor	Monor–1	679199	219236	130	1990		1993	1
Monor	Monor. ÉK–1	681611	224124	169	2532		2005	

A mintaterületre eső mélyfúrások (5. ábra) kútkönyveit, fúrási jelentéseit és karotázsgörbéit részletesen feldolgoztuk és esetenként át is értékeltünk rétegsorokat (Monor. ÉK-1, Mende. Ny-1, Ócsa-2, Üllő-1). A szeizmikus értelmezésben már az általunk (át)értékelt adatok tükröződnek.

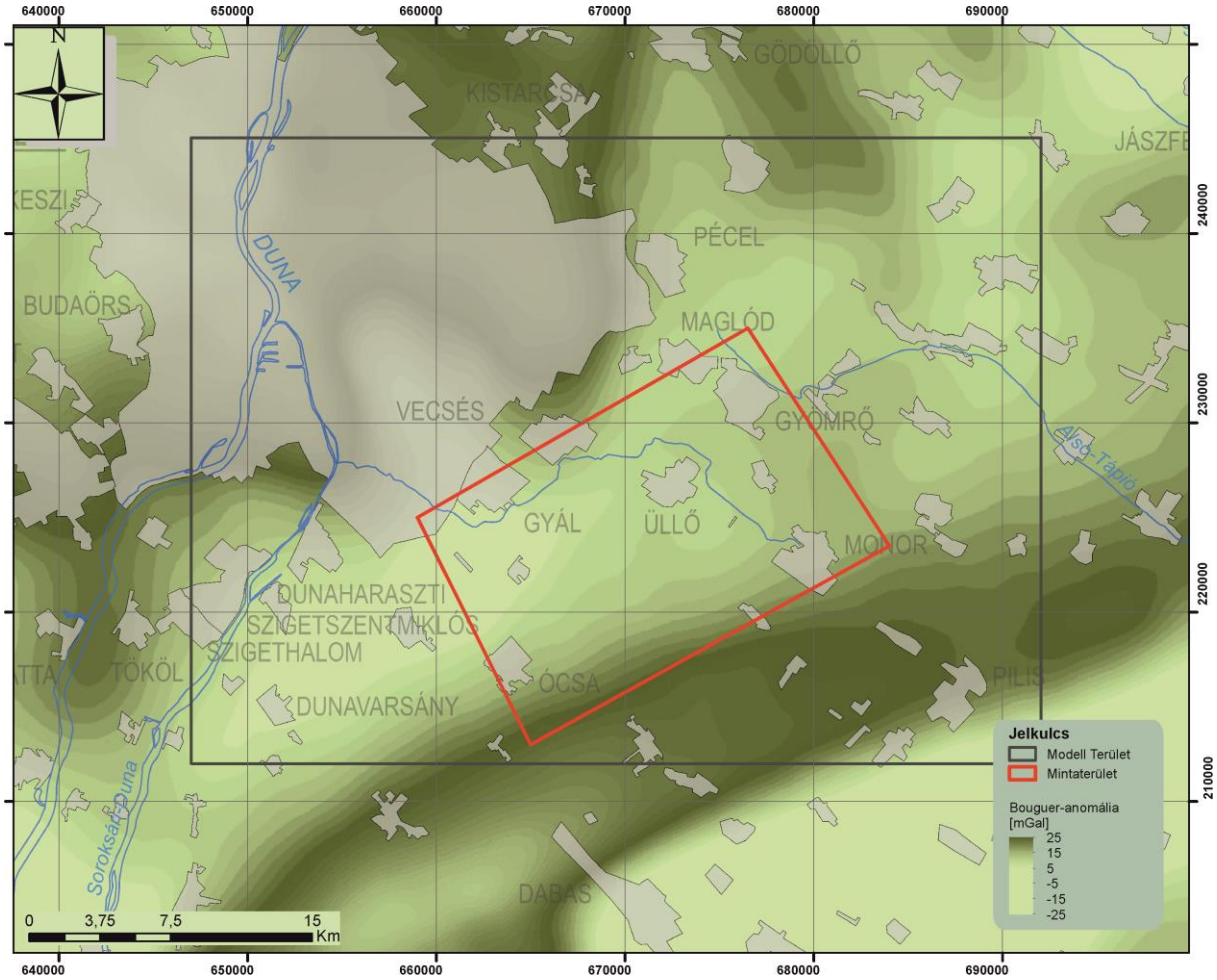
Az adatgyűjtés során kapott rétegsorok és a szeizmikus adattömb egyes markáns szintjei között eltéréseket tapasztaltunk a rendelkezésre álló idő-mélység összefüggések mentén. Mivel az olajipari fúrások majdnem mindegyikében rendelkezésre állnak a pontos idő-mélység összefüggést megadó VSP mérések, ezért az eltérések okai a fúrások rétegsorában keresendők. Ezen adatok pontosítására használtuk a mélyfúrás-geofizikai adatokat. A szeizmikus szelvényeken az akusztikus impedancia (a sebesség és a sűrűség szorzataként előálló érték) ugrásszerű változásainál alakulnak ki a reflexiós szintek, ezért a karotázsgörbéken is elsősorban azokat a változásokat keressük, ahol a sebesség, illetve a sűrűség vagy mindkettő ugrásszerűen és a szeizmika felbontásának megfelelő léptékben változik.

A pannóniai formációk azonosítása általában karotázs görbe alakja alapján, az általuk képviselt paleofáciesek figyelembe vételével történik. A kijelölés elve az összlet-korreláció, mivel az elemi rétegek egy medencekitöltő üledéksorban nem követhetőek végig a teljes területen. A miocén korú összlet a pannóniai rétegek alatt jól azonosítható, mivel alacsonyabb sűrűséggel és magasabb elektromos ellenállással jelenik meg, mint az oligocén képződmények. A miocén korú összletek tetejénél a természetes gamma aktivitás is megemelkedik, kijelölése a görbealak segítségével történhet. Az oligocén tető szintjében a mért sűrűségérték a fedőhöz képest átlagosan körülbelül 0.2 g/cm^3-rel növekszik a mélység felé. Az oligocén rétegek teteje a természetes gamma alapján is kimutatható a megjelenő agyagos jelleg következtében. A miocén korú rétegeknél a különböző paraméterek változatos képet mutatnak, míg az oligocén korúaknál a regisztrált paraméterekre a lassú változások jellemzők. A bontatlan alaphegységre az 5000 m/s sebesség és 2,7-2,8 g/cm^3 sűrűség jellemző.

Térképek

A tanulmány elkészítése során geoinformatikai rendszerbe integráltuk a területről elérhető térképi adatokat is, melyek a terület földtani áttekintését segítik elő (7. ábra).

- A felszíni képződmények elterjedését a [14] GYALOG L. 2013 szerkesztésében a legfrissebb Budapest és környékének 50 000-es földtani térképe mutatja be részletesen.
- A pre-kainozoós földtani térkép ([15] HAAS et al. 2010) összegzi a medence aljzatára vonatkozó eddigi ismereteket.
- A terület gravitációs térképét [20] KISS, GULYÁS (2005), mágneses térképét [21] KISS, GULYÁS (2006), a tellurikus vezetőképesség-térképet [33] MADARASI et al. (2006) mutatja be.



7. ábra A terület gravitációs Bouguer-anomália térképe [20] KISS, GULYÁS (2005) alapján. Az értékek mGal-ban kerültek megadásra.

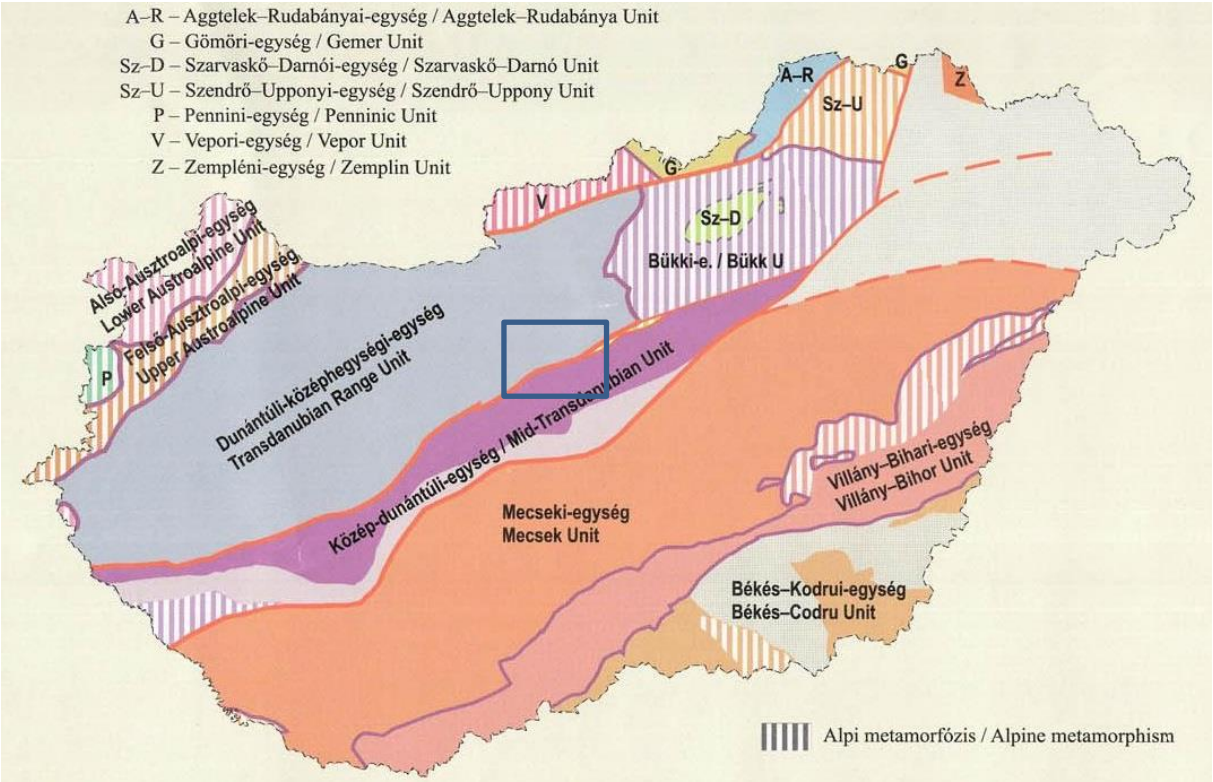
Földtani áttekintés

Nagyszerkezeti vázlat

A vizsgálati terület [15] HAAS et al. (2010) térképe alapján két különböző egység: a Dunántúli-középhegységi-egység és a Közép-dunántúli-egység területére esik (8. ábra). Mindkettő az alpi orogén és a különböző alpi üledékgyűjtők terméke, de ősföldrajzi és fáciesgenetikai helyzetükben, metamorf fokukban különbözőek. A legjelentősebb különbség az eltérő geodinamikai eseménytörténet miatt kialakult eltérő szerkezetföldtani felépítésben van. A két egység közt becsípődve egy vékony sávban a Szarvaskő-Darnói-egység képződményeivel rokonítható kőzetegyüttes található.

A Dunántúli-középhegységi-egység alapvetően nem metamorf, paleo–mezozoós üledékciklusok és vulkanoszediment folyamatok terméke. [45] TARI (1994), [46] TARI és HORVÁTH (2010) szerint a tektonikai egység takarósan helyezkedik el az Ausztroalpi takarók és a Tátrikum, Veporikum fölött. Az egység belső felépítése szintén csapás menti feltolódásokkal, enyhe gyűrődéssel, majd ezeket deformáló normál vetőkkel és eltolódásokkal jellemezhető.

A Közép-dunántúli-egység fúrásokkal feltárt kőzetei dinári, dél-alpi rokonságúak, a területen uralkodóan nem metamorfok. Az egységet [9] CSONTOS és VÖRÖS (2004) és [35] PALOTAI és CSONTOS (2010) alapján egy eredendően feltolódásos, majd eltolódásos duplex mega-nyírási zónaként értelmezzük, amelyet a szerzők Közép-magyarországi nyírási övnek neveznek.



8. ábra A medencealjzat szerkezeti egységei ([15] HAAS et al. 2010)

A két egység határa a Közép-magyarországi nyírási öv északi határzónájaként leírt Balaton–Tóalmás-törészóna. A Közép-magyarországi nyírási öv a területen a késő-oligocénben térrövidüléses zóna volt, melynek következtében ÉNy-i vergenciájú gyűrődési és feltolódásos deformáció jött létre. A térrövidülés meggyűrte az eocén és oligocén kőzetsorozatokat. A miocén bázisának felboltozódása a feltolódási zónák fölött azt jelzi, hogy a feltolódások vak feltolódásokként a miocén elején is aktívak voltak ([35] PALOTAI és CSONTOS 2010). A Balaton–Tóalmás-törészóna feltehetően egy paleogén feltolódási öv reaktivációjaként a kora-miocénben jött létre és először jobbos eltolódásként működött. A balos oldalelmozdulás kora pannóniai korú, a felboltozódás akár a pliocén és a negyedidőszak során is tarthatott, amit a recens kompresszív inverzió is támogathat.

A zónától É-ÉNy-ra lévő területrészen harántvetők mentén kibillent gerincsorok helyezkednek el, amelyek a balos jellegű oldalelmozdulás húzásos oldalán jelennek meg. A levetett oldalakon a paleogén üledékek jelentős mélységben találhatók, helyenként igen vastag neogén üledékkel fedve.

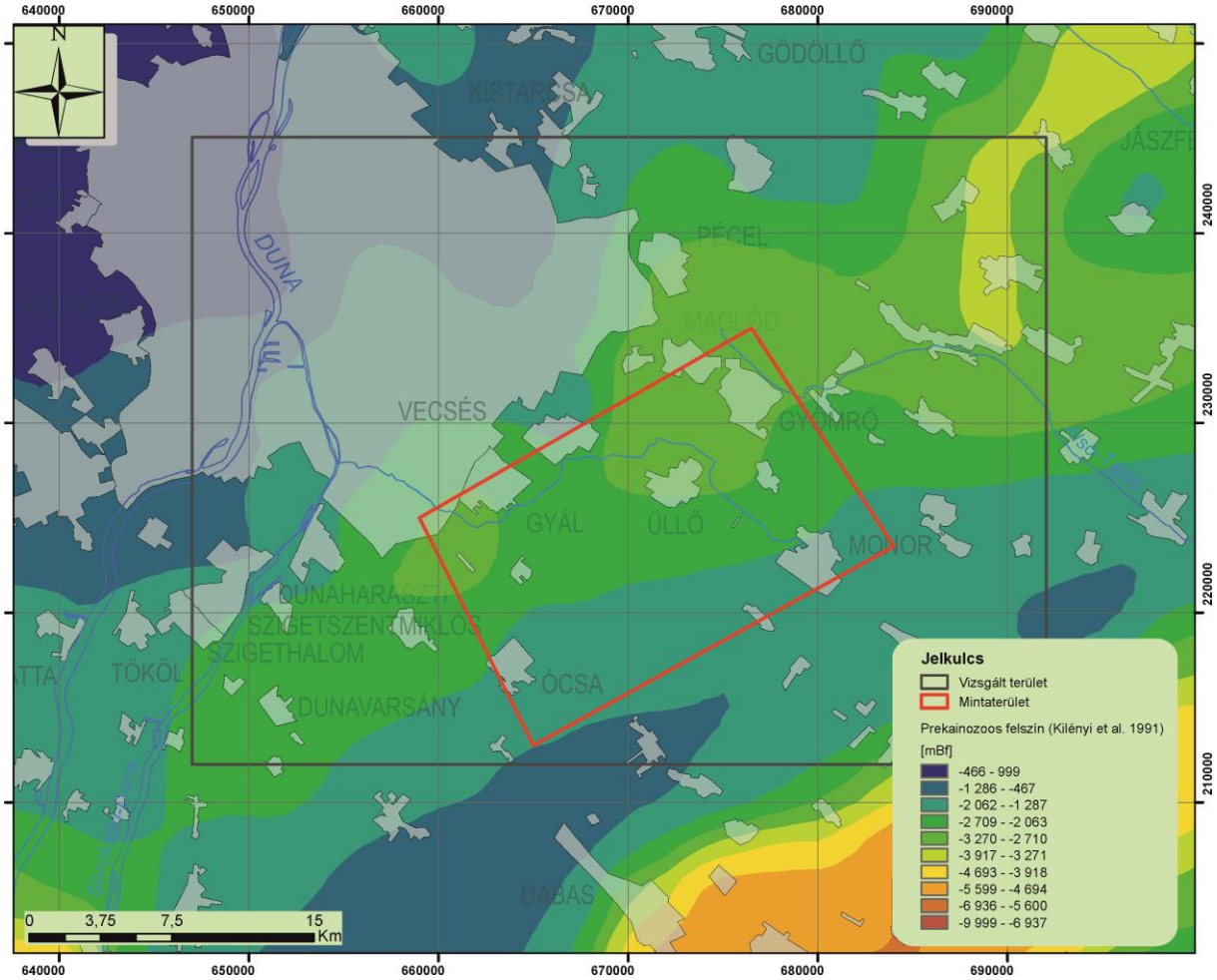
A Balaton-Tóalmási-vonaltól D-DK-re az oldalelmozdulás kompressziós hatásai a paleogén aljzatban kimutathatók, mint a korábbi összenyomó erők által kialakított gyűrt szerkezeteket kisebb-nagyobb mértékben módosító pikkelyek, föltolódások ([5] BONCZ et al. 2013).

Sülysáp térségétől Ny-DNy-i irányban a zóna két részzónára bomlik, amelyek közt egy szűk árok alakult ki. A zóna mentén több, a Riedel-rendszereknek megfelelő irányú segédtörés értelmezhető. A Balaton–Tóalmás-zónától DK-re a Közép-magyarországi nyírási öv kompressziós szerkezetei, míg tőle É-ra és ÉNy-ra a kora-miocén szinrift fázis lecsúszó normálvető rendszerei válnak dominánssá.

Az aljzati képződmények áttekintő ismertetése

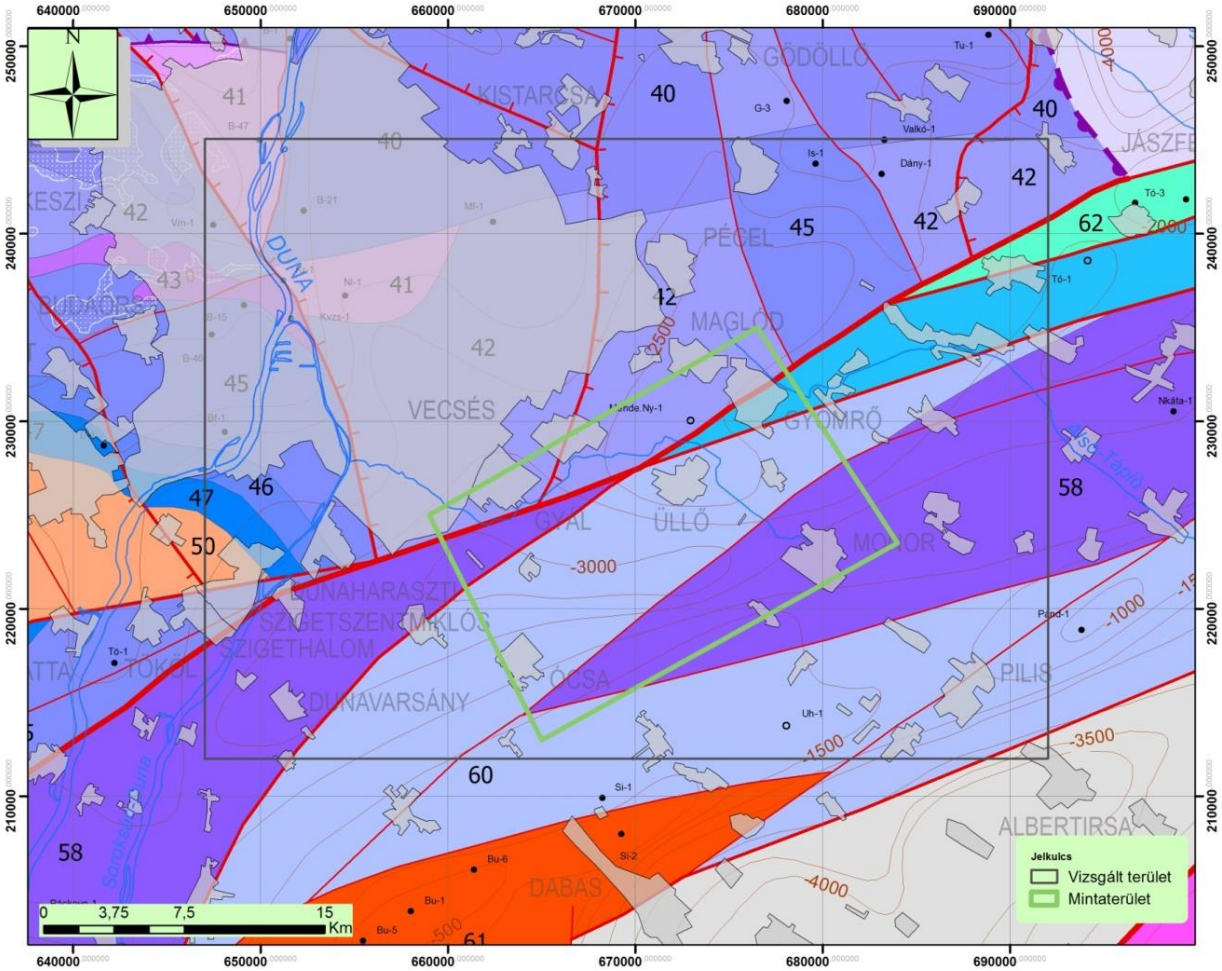
A prekainozoos medencealjzat az adatgyűjtési terület nyugati részén – a Budai-hegység területén – felszínre bukkan. A Budai-hegység K-i peremvetője mentén a Pesti-síkság alá viszonylag meredeken zökken alá. A mintaterületen Vecsésnél az aljzat eléri a -2500 mBf mélységet, míg a Közép-magyarországi nyírózónában Üllő és Ócsa között -3000 mBf alá süllyed. Ettől délre húzódik a Bugyi-jászberényi magas, paleo-mezozoós rögvonulat, ahol ismét -500– -1000 m magasságba emelkedik a medencealjzat (9. ábra)

A Dunántúli-középhegységi-egységhez tartozó kőzetek a Balaton–Tóalmás-zónától É–ÉNy-ra találhatók (10. ábra HAAS et al. (2010), medencealjzat). Az aljzatot itt mezozoós (triász korú) karsztosodásra hajlamos karbonátos kőzetek építik fel. A két leggyakoribb képződmény a jellegzetesen lofer ciklusos, Megalodusokat tartalmazó Dachsteini Mészkő Formáció (40: felső-triász platform fáciesű mészkő), mely Budapest északi részén és Kistarcsa körzetében került több helyen feltárásra; illetve a mintaterület aljzatában is feltételezett Fődolomit Formáció (42: karni–nori platform fáciesű dolomit) ([16] HAAS et al 2014). A képződményt feltáró legközelebbi fúrás, Budapest (Mátyásföld) Mf–1, a mintaterülettől azonban több mint 10 km-re helyezkedik el északra.



9. ábra A prekainozoos medencealjzat szintvonalas térképének kivágata ([19] KILÉNYI és SEFARA 1991)

A főváros déli részén mélyült hévízkutak a Mátyáshegyi Formáció laminites, tűzköves mészkő-dolomitjait (41: nori-rhaeti és legalsó jura medence fáciesű tűzköves mészkő, dolomit) (Nl-1, Kr-1 kutak) és a Sashegyi Dolomit Formáció vékonyréteges-pados, tűzkőgumós dolomitjait (43: karni medence fáciesű márga és mészkő) (H-3, Kvzs-1/K-38/ kutak) csapolják meg. Továbbá a világosszürke, vastagpados és pados-lemezes dolomit váltakozásából felépülő Budaörsi Dolomit Formáció rétegeiből (45: ladin–karni platform fáciesű dolomit) (B–15, B–46, B-52 kutak) is vízkitermelés folyik. Szintén ezeket a rétegeket tárja fel a Budafok–1 és a távolabbi Tököl-1 fúrás is 4-500 m vastagságban. A képződmény intertidális változatát írták le a terület északkeleti részén az Isaszeg (Is)-1 fúrásban (Steinalmi Mészkő).



10. ábra A terület prekainozoos aljzatának térképe ([15] HAAS et al. 2010 kivágata)

Jelmagyarázat:

Dunántúli-középhegységi-egység: 40 – felső-triász platform fáciesű mészkő; 41 – nori-rhaeti és legalsó jura medencefáciesű tűzköves mészkő, dolomit; 43 – karni medence fáciesű márga és mészkő; 45 – ladin–karni platform fáciesű dolomit; 46 –középső-triász sekélytengeri mészkő és dolomit; 47 – alsó-triász sekélytengeri siliciklasztos és karbonátos összlet; 50 – felső-perm sekélytengeri karbonátos és evaporitos összlet.

Közép-dunántúli-egység: 58 – Középső- és felső-triász platform és medence fáciesű karbonátos képződmények; 60 – újpaleozoós és mezozoós képződmények tagolás nélkül; 62 – jura bázisos magmatitok; 63 – középső jura olisztosztróma melanzs

A terület nyugati részén a medence aljzatában, kis elterjedésben megjelenik a Dunántúli-középhegységi-egység szerkezetét meghatározó szinklinális tengelyére jellemző idősebb (50) felső-perm sekélytengeri karbonátos és evaporitos összlet (Tabajdi Evaporit, Dinnyési Dolomit). Szintén megjelenik az (47) alsó-triász sekélytengeri sziliciklasztos és karbonátos összlet (Alcsútdobozi Mészkő, Hidegkúti Formáció, Csopaki Formáció), valamint a (46) középső-triász sekélytengeri mészkő és dolomit (Aszófői Dolomit, Iszkahegyi Mészkő, Megyehegyi Dolomit) képződményei.

A Közép-dunántúli-egységhez, illetve a Közép-magyarországi nyírási övhöz tartozó kőzetek a Balaton–Tóalmás-zónától D–DK-re találhatók. Az övön belül elhelyezkedő szerkezeti duplexek egyedi rétegsorai egy-egy fúrásból ismertek csak, az előzőekben tárgyalt egységek ismeretességéhez képest az egységről felhalmozott tudás jóval szegényesebb. A kevésszámú aljzatot ért fúrás itt is többnyire karsztosodott karbonátos képződményeket tárt fel. Ezek az aljzattérkép ([15] HAAS et al. 2010) alapján az alábbiakkal jellemezhetők (10. ábra)

58: Középső- és felső-triász platform és medence fáciesű karbonátos képződmények: Ebben a takaróroncsban a Táskai, Somi és Igali Formáció, összességében egy középső–felső-triász korú platform és medence fáciesű karbonátösszlet képződményei valószínűsíthetők. Középső–felső-triász platform fáciesű sekélytengeri mészkövet (Kisfennsíki Mészkő?) harántolt a Gomba–3 és a Gomba–4 jelű fúrás, illetve a monori szénhidrogén-kutatófúrások is (Monor. ÉK-1,-2, Ócsa- 2, -4)

60: újpaleozoós és mezozoós képződmények tagolás nélkül: A terület D-i és K-i határa mentén a térkép által közelebbről meg nem határozott paleozoós és mezozoós kőzetek találhatóak. A terület déli peremén, a Csévharaszt (Csh)-2 fúrásban az alsó-triász Ablakoskővölgyi Formáció mészköves, agyagmárgás, homokköves rétegei jelentek meg.

A Tóalmás szerkezeti vonaltól közvetlenül délre a szarvaskői jura vulkanitokkal párhuzamosítható diabázt (62: jura bázisos magmatitok) tártak fel a területen kívül eső, az aljzatot elérő fúrások (Tóalmás-2, -3). Az előzőtől délre szintén jura kőzeteket – mészkövet, kovás mészkövet, kovapalát (radiolaritot), kovás agyagkövet, kovás márgát (63: középső jura olisztosztróma melanzs) – ismertek meg.

Kainozoós fedőképződmények

A Közép-magyarországi nyírási övre, mint a terület uralkodó szerkezeti elemére tekintettel a paleogén és neogén rétegsort az ív mögötti extenziós-transztenziós medencefejlődés fázisaihoz igazodva célszerű tárgyalni, ami meghatározza a medence neotektonikai fejlődéstörténetét, egyben a negyedidőszaki rétegsort is.

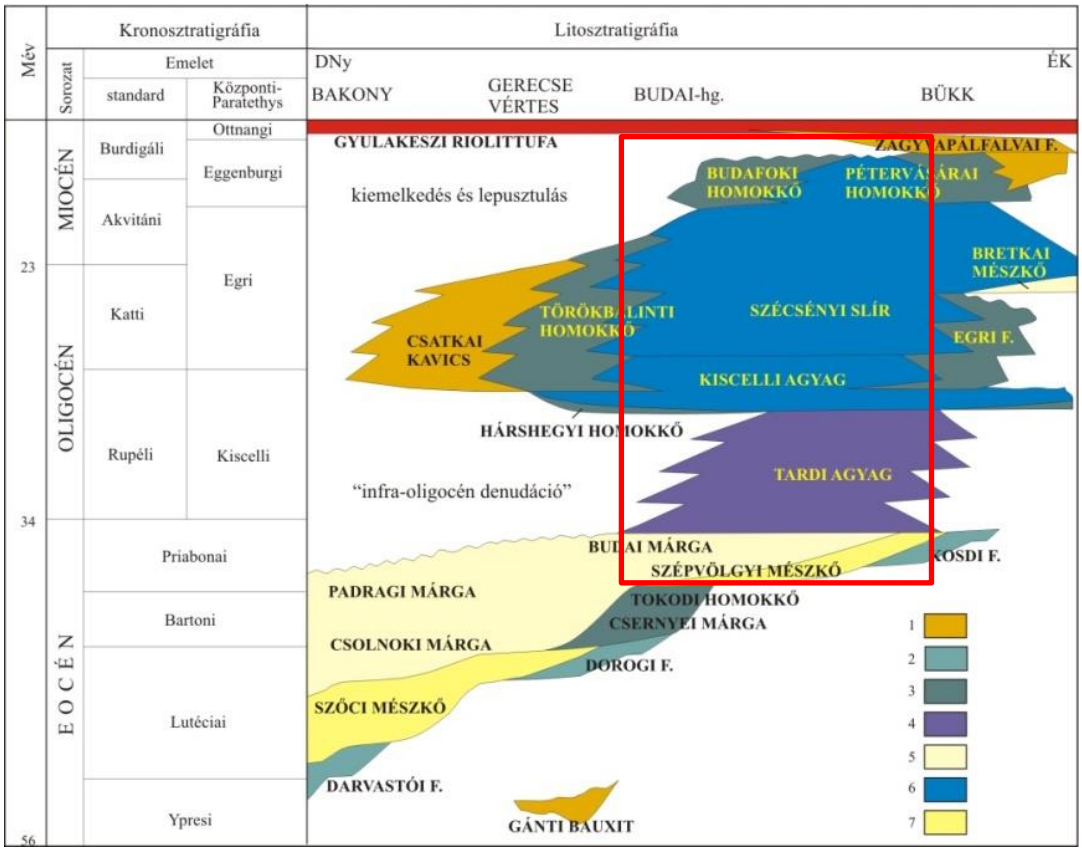
Prerift képződmények (felső-eocén–legalsó-miocén)

A vizsgálati terület prerift képződményei, már a késő-paleogénben meginduló ([35] PALOTAI és CSONTOS 2010) és a szinrift fázisban (a miocén során) egymás mellé kerülő ALCAPA- és Tiszai-egység ([40] ROYDEN, HORVÁTH 1988, [13] FODOR et al. 1999) szerkezetfejlődésének következtében erősen deformáltak. Az esetenként jelentős mértékű szerkezeti mozgások miatt, a Közép-magyarországi nyírási öv mentén található paleogén

képződmények, gyakran területenként egymástól eltérő vastagságú és kifejlődésű, allochton rétegsorokkal jellemezhetők.

A terület legnagyobb része az Alföld paleogén medencéjének térségében foglal helyet. A késő-kréta – kora-eocén denudációs időszak után a paleogén flexurális medencefejlődés ([44] TARI et al. 1993) eredményeképpen DNy-ról ÉK felé időben és térben vándorló fácies eltolódásokkal és ÉNy-ról DK felé csökkenő eróziós üledékhiányokkal jellemezhető üledékképződés zajlott a középső-eocén legelejétől a miocén ottnangi emeletének legaljáig (11. ábra).

A terület nyugati peremén helyezkedik el a paleogén képződmények elterjedése és kifejlődése szempontjából fontos – jelentős fácieshatárként jelentkező – ÉÉK–DDNy-i lefutású Budai-vonal ([3] BÁLDI, NAGYMAROSY 1976, [11] [12] FODOR et al. 1992, 1994), amitől DK-re, Pest alatt mélyebb medence környezet volt jellemző. Itt a késő-eocén során meredek lejtővel határolt karbonátos rámpa épült ki (Szépvölgyi Mészkő Formáció), amely DK-re a rövid idő alatt nagy mélységbe süllyedt medence márgarétegeivel (Budai Márga Formáció) fogazódott össze (11. ábra). A mészkövet felépítő mésziszap és karbonáthomok a lejtőn átülepített karbonátturbiditként, illetve konszolidált vagy félig konszolidált mészkőolisztolitként jelentkezik a mélyebb környezetben lerakódott márgában.



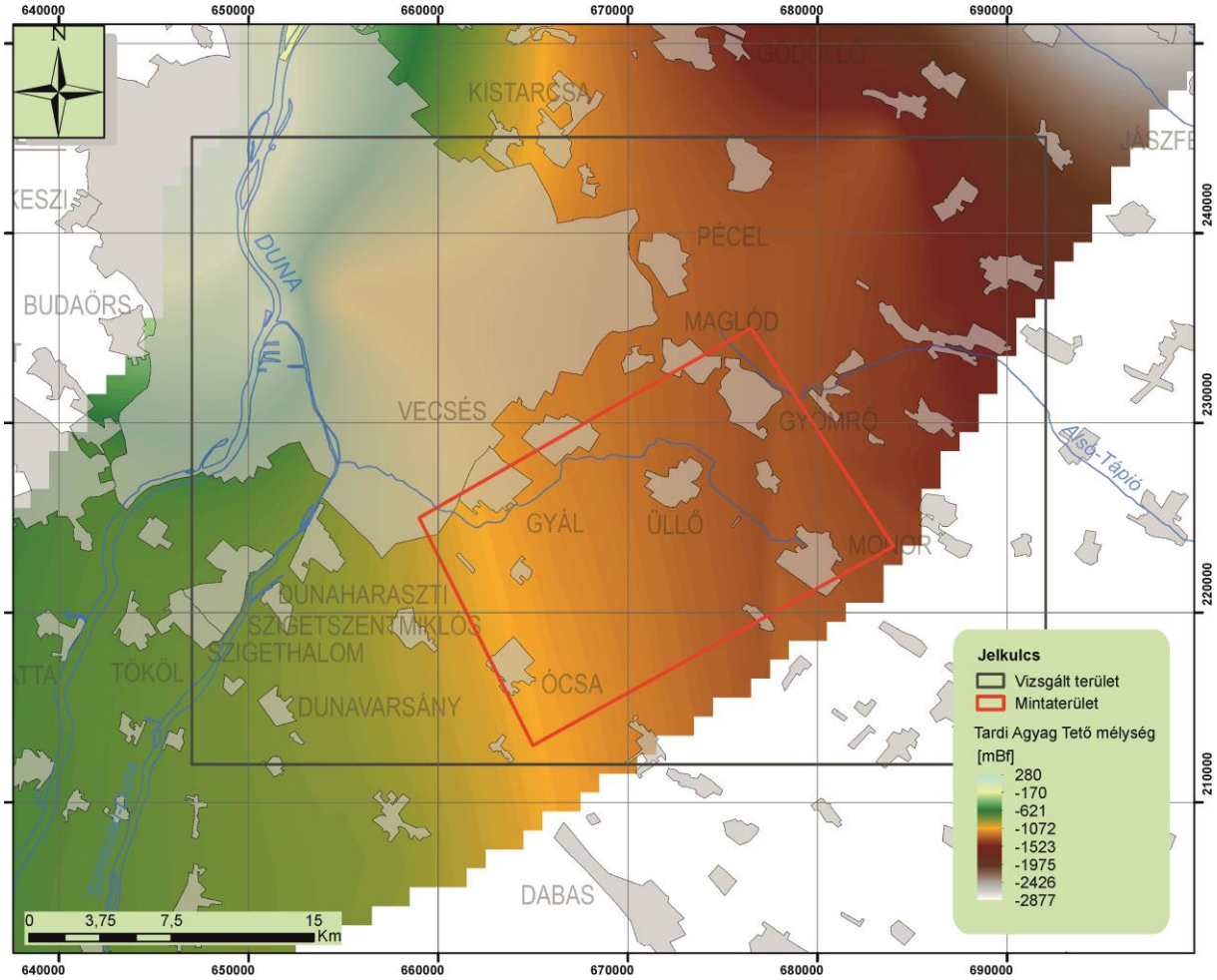
11. ábra A paleogén üledékciklus litosztratigráfiai és faciológiai összefüggései a paleogén medencében [44] TARI et al 1993 alapján.

Jelmagyarázat: 1. szárazföldi törmelékek, alluviális homokos és kavicsos fáciesek 2. partmenti, paralikus, mocsári fáciesek 3. tengerparti sziliciklasztos fáciesek 4. nyílttengeri, batiális, euxin mélymedence agyagos képződményei 5. selfperem, selflejtő, medence mészmárga, márga képződményei 6. medence üledékek turbidites homokkőtestekkel 7. medenceperemi karbonátok

További elterjedési határt jelent a Tóalmási szerkezet, mely az aljzatot és a diszkordánsan rátelepülő priabonai–eggenburgi képződményeket két részre osztja. A szerkezeti vonaltól DK-re eső területen, a Közép-magyarországi nyírási övben, 100–1000 m vastag, főként tufa-tufitcsíkos konglomerátumból, breccsából, kavicsos-durvaszemű homokkőből és a kevert, durva törmelék mátrixát adó agyagos, homokos mészmárgából álló felső-eocén rétegsor (Kosdi Formáció) található (pl. Gombai fúrások), amire a Budai Márga felső-eocén mészmárga-, márgarétegei települnek.

A nyírási zónában és a szerkezeti vonaltól ÉNy-ra a prekainozoos aljzatra, az előbbiekkel párhuzamosítható, azonban esetenként csak néhány tíz méter vastag, vörösagyagos, durvatörmelékes Kosdi Formáció után (pl. Ci-6, Mf-1, Bf-1), 100–150 m-es összvastagságban a már említett discocyclinás sekélytengeri mészkő következik (Szépvölgyi Mészkő Formáció) (Tóalmás, Tura, Mende környéke, illetve a fővárosi Ci-6, Mf-1, Nl-1 fúrások). Majd az ebből folyamatosan kifejlődő lejtő fáciesű bryozoás mészmárga és medence fáciesű márga (Budai Márga Formáció) (Tóalmás, Üllő, Monor, Gomba környéke) követi az előzőeket ([4] BONCZ et al. 2004). A képződményt változó vastagságban számos fővárosi fúrás is feltárta (pl. Ci-6, Nl-1, városligeti és XI. kerületi fúrások). Az eocén során zajló több ciklusú rétegvulkáni működés eredményeként a területen előfordulnak a Recski Andezit Formáció víz alatti fáciesű kőzettestei is, melyet a Sülysáp-1 fúrás tárt fel 30 m vastagságban.

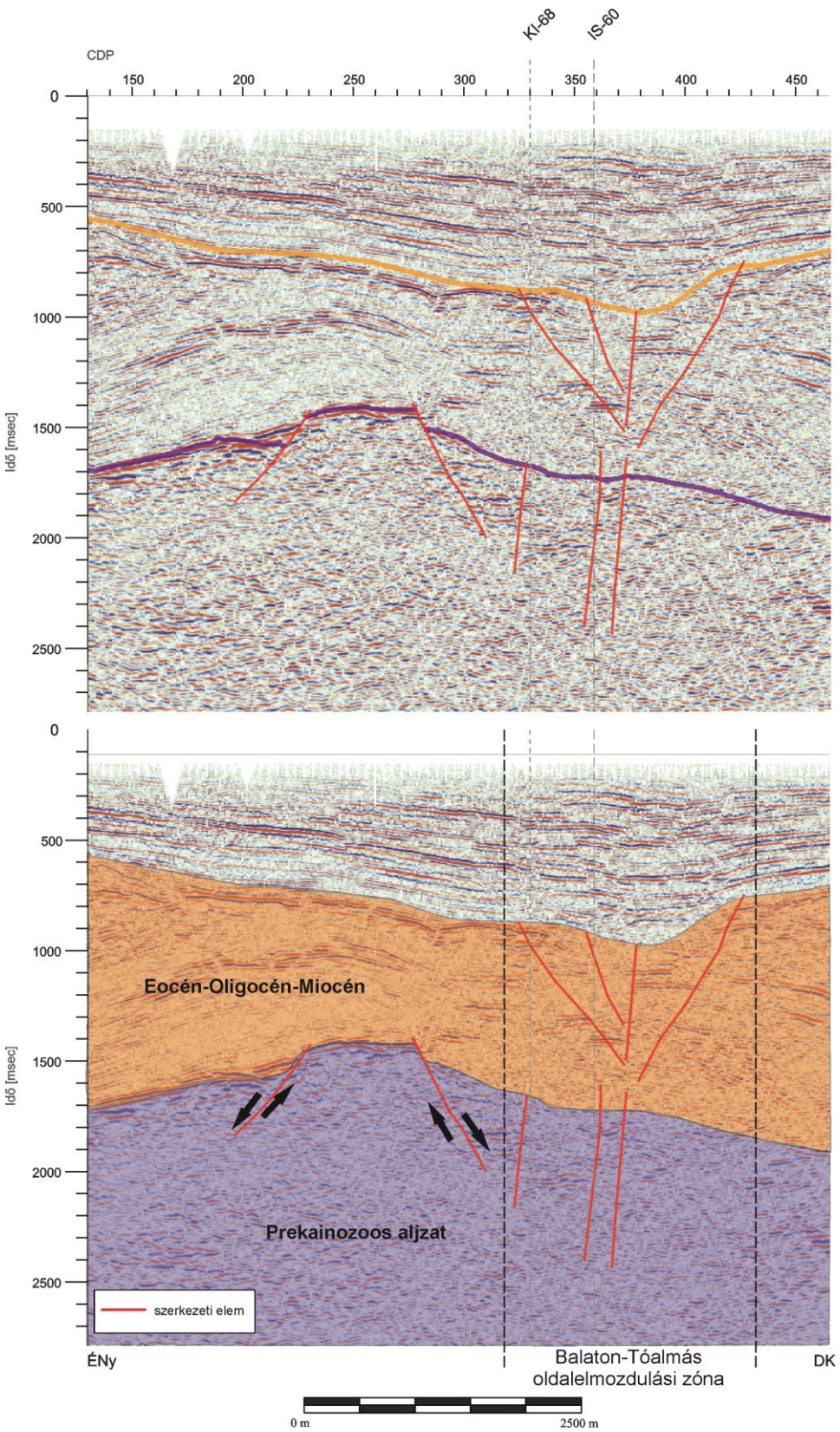
Az eocén összletből üledék folytonosan fejlődött ki az az oligocén rétegsor, melynek anoxikus környezetben képződött, ősmaradványban szegény, lemezes rétegzésű agyag, aleurit, agyagmárga rétegeket tartalmazó nyitótagjai a Tardi Agyag Formációba sorolhatók, melyet a tágabb területen belül a Sülysáp-1, Monor-É1 fúrásokban, illetve több budapesti fúrásban (Nl-1, Ci-6, B-15, Kvzs-1) azonosították. A medenceképződmény elterjedésének DK-i határát – jelenlegi ismereteink szerint – szintén a Tóalmási szerkezet adja (12. ábra [4] BONCZ et al. 2004).



12. ábra Tardi Agyag elterjedése a területen

A Tardi Agyagra települő, a területen általános elterjedésű – több mint 20 mélyfúrás által feltárt – Kiscelli Agyag Formáció nyíltvízi, normál sósvízi, az előzőekkel ellentétben bioturbált, gazdag mikrofaunát és szegény makrofaunát tartalmazó, világosszürke agyag és finomhomokkő rétegekből álló képződmény. A Kiscelli Agyag Formáció a Budai-vonal DK-i oldalán, a vizsgálati terület ÉNy-i részén turbidit jellegű, lencsésen kiékelődő, vastag homoktesteket tartalmaz. A délkeleti oldalon a képződmény túlterjed a Tardi Agyagon. Vastagsága néhol több száz m-t is eléri: pl. a zuglói Budapest B-24 fúrásban 530 m volt.

A Kiscelli Agyag fáciese már a kinyíló, összefüggővé váló paleogén üledékgyűjtőket jelzi, melyek további mélyülésével a nyíltvízi Szécsényi Slír mélyszublitorális-sekélybatiális üledékei jelennek meg. A szürke, zöldesszürke színű, rétegzetlen, vagy nagyon gyengén rétegzett, csillámos, finomhomokos agyagos kőzetliszt, agyagmárga és agyag, finomhomokkő-közbetelepülésekkel jellemzett képződmény a terület északi részén jelenik meg (Budapest Nl-1, Rk-1, Ci-6, Dány-2). A nyugati medenceperemeken ezzel egy időben a Törökbálinti Homokkő durva- és finomszemcsés homokkő rétegsorai rakódtak le, alsó részén lokálisan finomhomokkő– agyag váltakozással, magasabb szintjében meszes, finomhomokos kőzetliszt-betelepülésekkel. Budapest térségében 5 fúrás tárja fel a vizsgálati területen.



13. ábra ÉNy-DK irányú, értelmezett IS-12 szeizmikus időszelvény részlet

Jelmagyarázat: sötétlila: prekainozoos aljzat felszín, sárga: pannon fekü, függőleges/közel függőleges vonalak: korrelált vetők

A paleogén üledékciklus záró tagjaként, az egri-eggenburgi emeletekben lerakódott Pétervásárai Homokkő Formáció regressziós képződményei (glaukonitos homokkő, durvahomokkő, konglomerátum) is jelentős elterjedésben jelen vannak a vizsgálati terület keleti, déli részein (Dány-2, Monor. É-1, Monor. ÉK-1, Monor. ÉK-2, Ócsa-2, gombai fúrások). A szűkebb mintaterületen a Mende. Ny-1 fúrás is ezt a képződményt tárta fel közvetlenül a kiscelli rétegekre települve. A nyugati részen – Tököl Tö-1, Budapest Rk-1, B-21 és Budafok Bf-1 fúrások – a már tisztán miocén, eggenburgi korú Budafoki Homok a paleogén üledékciklus záró tagja, melyet uralkodóan durva szemcséjű, sárga és szürke homok, laza homokkő épít fel kavicsos–agyagos betelepülésekkel.

A teljes paleogén üledékciklus vastagsága néhány 100 m-től 1000 méterig terjedhet (13. ábra), amit az értelmezett IS-12 szelvényrészlettel szemléltetünk.

Szinrift képződmények (kárpáti, bádeni)

A Pannon-medence szinrift fázisát képviselő képződmények eróziós diszkordanciával települnek a paleogén és az alsó-miocén rétegsorra. A kárpáti során, gyakran vékony homokkő-betelepüléses, szárazföldi–mocsári szenes rétegsorral indul az új üledékképződési ciklus (pl. Monor. ÉK-2, Budapest B-24, Sülysáp-1, gombai fúrások) (Salgótarjáni Barnakőszén Formáció) ([38] PÜSPÖKI 2006). A formáció a kőszéntelepeinek fedőjében található szenes agyag, életnyomos aleurit miatt nehezen különíthető el a felette települő hasonló litológiájú kárpáti üledékektől (Garábi és Egyházasgergei Formáció). A szürke színű, homokkő, aleurolit, agyag, agyagmárga ciklikus váltakozásából álló Garábi Slír a parttávoli, nyíltvízi fáciest képviseli és laterálisan összefogazódik az Egyházasgergei Formáció partszegélyi, síkparti fáciesre jellemző üledékeivel. A képződményeket több budapesti, monori és gombai fúrás feltárta.

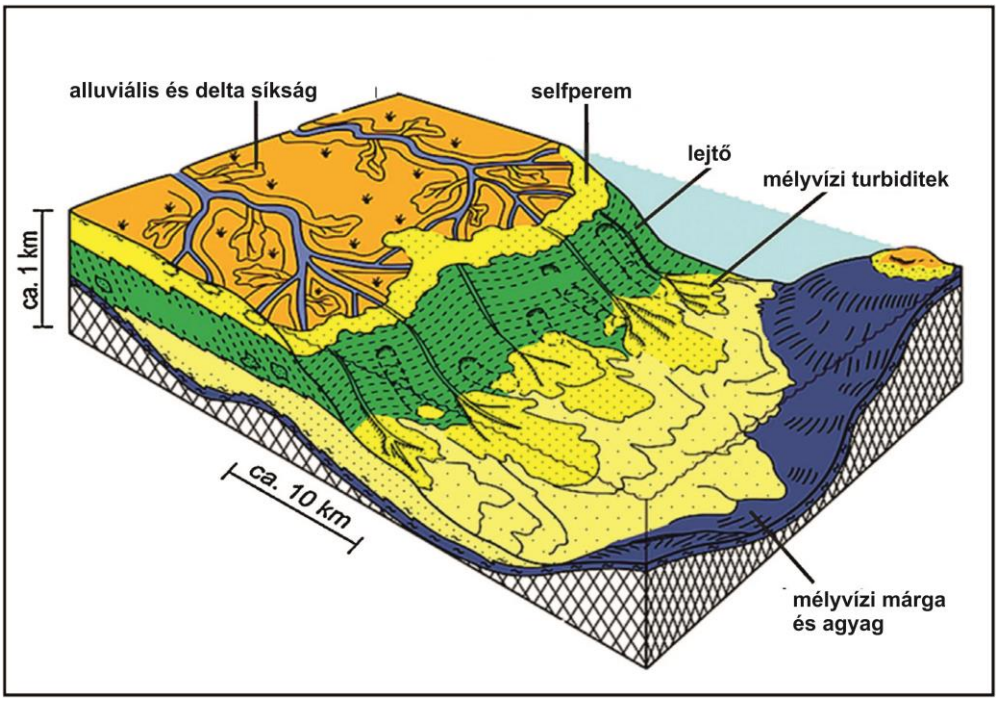
Az alsó-bádeniben DNy felől transzgresszió következett be, melynek bázisképződményei a zátonyos szigettengeri fáciest képviselő „lajtamészkövek" (Sámsonházai Formáció, Monor. ÉK-1), melyek főként molluszkás homokból, lithothamniumos-molluszkás mészkőből épülnek fel. Az üledékképződést többfázisú, intenzív vulkáni tevékenység kísérte, lávakőzetekkel, tufarétegekkel, és vulkanoszediment üledékekkel (Monor-1, Monor. É-1, Monor. ÉK-1, Monor. ÉK-2, Mende. Ny-1, Gomba-3, Gomba-4) (Tari Dácit, Mátrai Vulkanit Formációcsoport a Hasznosi Andezittel). A vulkanizmussal egyidejűleg, a badeni végén, az üledékképződési ciklus regresszív ágát képviselő, sekélytengeri, partszegélyi homokkő található az északnyugati részen (Fóti Formáció, Budapest B-24), míg az északkeleti területeken homokos üledékkel kevert, partmenti, keresztrétegzett riolit–dácit tufa és agglomerátumos piroxénandezit tufa található (Tura). A sekély neritikus, nyíltvízi kifejlődésű késő-badeni Szilágyi Agyagmárga megjelenése a terület nyugati részére jellemző: Budapest Nl-1fúrás 159 m vastagságban harátolta.

A jelentős középső-miocén vulkanit feltételezhetően a Közép-magyarországi-vonal közelségét és annak aktív működését jelzi ([35] PALOTAI és CSONTOS 2010). Az ekkor képződő peremi és mélyebb tengeri környezetben lerakódó törmelékes üledékek és a területen alárendeltebb karbonátok kis vastagságban, erősen deformálva jelennek meg a szerkezeti zónában. A miocén sorozat kifejlődése rendkívül változatos, így vastagsága is erősen változó a területen, néhány 10 m-től 300 m-ig terjed.

Posztrift képződmények (szarmata–pannóniai)

A lecsengő riftesedési szakaszt követő késő-badeni–szarmata inverzió ([40] ROYDEN és HORVÁTH 1988) során, a szarmatát világos zöldesszürke sekélytengeri, partközeli agyagmárga képviseli, vékony molluszkás mészkő- és homokpadokkal, kevés riolittufacsíkkal, gipszes gumókkal és repedéskitöltésekkel (Kozárdi Formáció), valamint ooidos mészkő- és mészhomokkő-rétegekkel (Tinnyei Formáció).

A medence késő-miocén posztrift fázisában kialakult termális süllyedésének következtében, jelentős mélységű, a korábbi tektonikai fázisok nyomán nagy szintkülönbségekkel jellemezhető, egyenetlen aljzatmélységgel rendelkező, elzárt, sós vizű tó jött létre (Pannon-tó). A Pannon-tóba ÉNy és ÉK felől érkező vízfolyások deltarendszerének törmelékanyaga folyamatosan töltötte fel a medencét, időben fiatalodva és térben DK felé szorítva a nyílt és sós vizű medencét és a deltasíkság-deltafront-deltalejtő-medence fáciesegyüttes képződményeit ([18] JUHÁSZ 1992, [48] UHRIN 2011). A jellemző fácies átmenetek és azok jellegzetes egymásra épülése, a vizsgálati területen is megtalálhatóak, a peremeken heteropikus mocsári képződményeket tartalmazva (14. ábra).



14. ábra A Pannon-tó elvi üledék-felhalmozódási modellje az egymásra következő üledékképződési környezetek megjelölésével ([18] JUHÁSZ 1991 nyomán)

A területen átlagosan kb. 800-1000 m vastag pannóniai rétegsor az É-i, peremi részeken, a felszínen, illetve a felszín közelében, az Alföld felé eső területen vastagabb negyedidőszaki rétegsorral lefedve található. A pannon üledékciklus jellemzően egy 100-150 m vastagságú aleuritos agyagmárga összlettel kezdődik (alsó-pannóniai Peremartoni Formációcsoport tagjai), amely fölött főleg a deltasíkság változó szemcseméretű, de döntően homokos képződményei alkotják a rétegsort (felső-pannóniai Dunántúli Formációcsoport tagjai). A medenceképződményeket az Endrődi Márga és a turbidites homoktestekkel jellemzett Szolnoki Formáció képviseli, amire vékony, kisebb vastagságú homokkő-

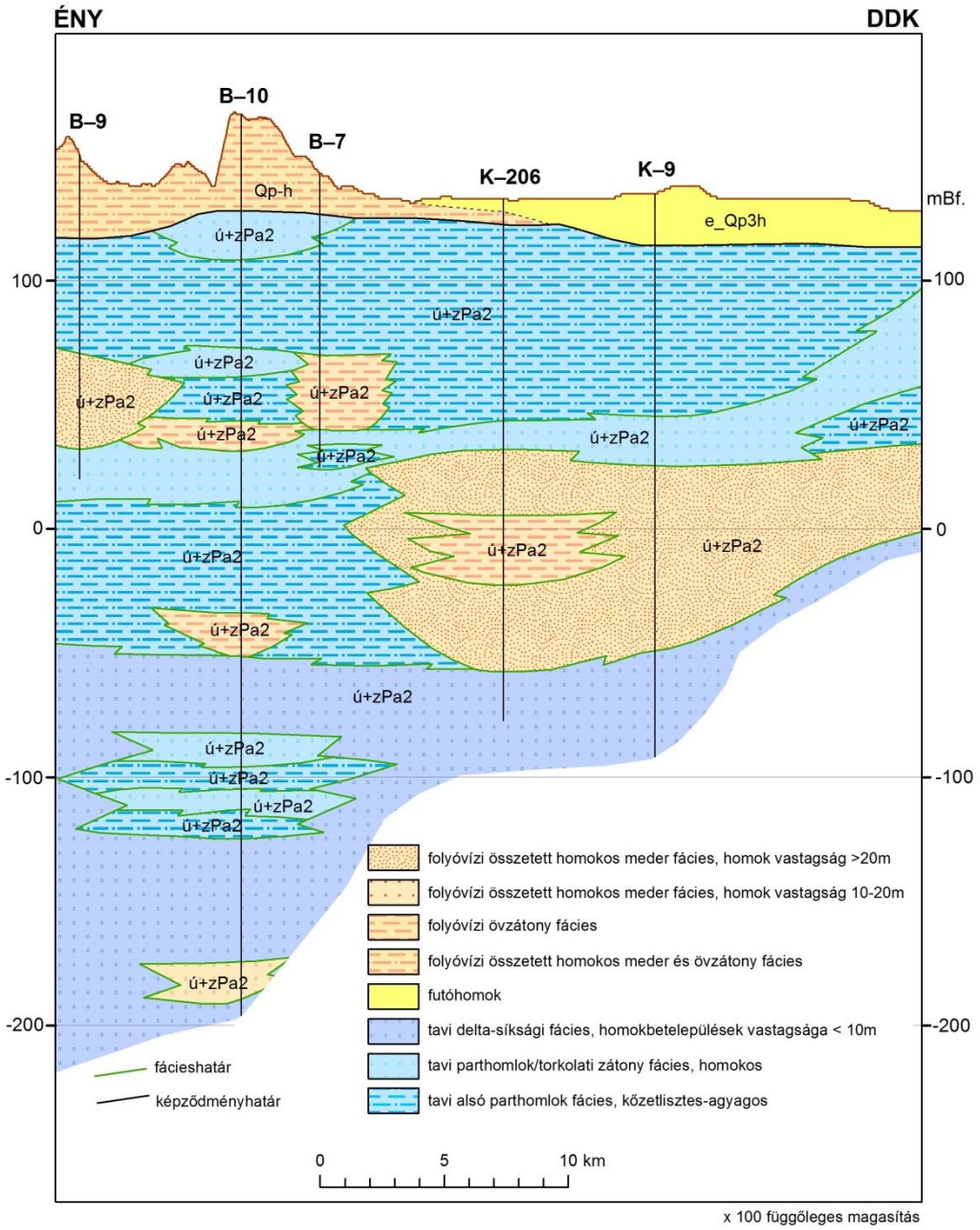
betelepüléses deltaelőtéri agyag települhet (Algyői Formáció). A vizsgálati területet túlnyomórészt – 600–700 m vastag – deltafront és deltasíksági környezetben képződött üledékek váltakozása építi fel (Zagyvai és Újfalui Formáció) (15. ábra). A finomszemű aleuritos, finomhomokkal sűrűn váltakozó üledékekben gyakran találhatók vastag, durvább törmelékes csatornakitöltő, illetve mederüledékek. A Zagyvai és Újfalui Formációkra eróziós diszkordanciával, a fekütől nehezen elkülöníthetően, alluviális síkságon lerakódott, folyóvízi törmelékes képződmények tarkaagyagos, homokos, kavicsos késő-pannóniai (pliocén) rétegsora települ (Nagyalföldi Tarkaagyag Formáció). A Zagyvai formáció felszíni előfordulásai Kőbányán és Mátyásföldön, a Nagyalföldi Tarkaagyagé pedig Csömör–Nagytarcsa–Pécel környezetében ismertek.

Negyedidőszaki képződmények

A terület negyedidőszaki üledékei eróziós diszkordanciával települnek a pannóniai rétegsorra. Általánosságban a vizsgálati területen a negyedidőszaki rétegsor ÉNy-ról DK-felé illetve É-ról D-felé irányuló vastagodása jellemző.

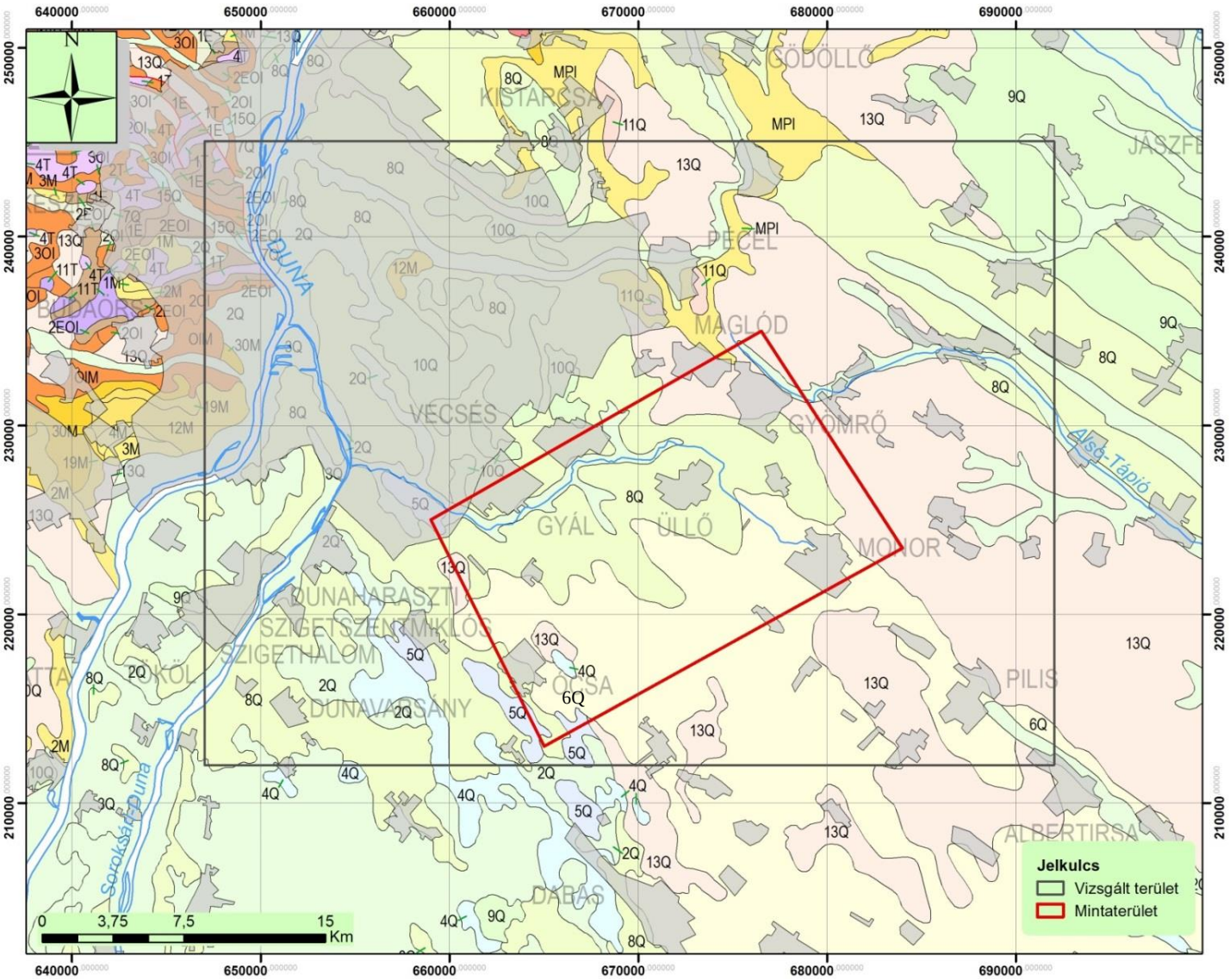
A vizsgálati terület Ny-i részén a Duna-terasz üledékei találhatók a felszínen, vagy a közvetlen felszín közelében. Az ős-Duna a mainál 50–60 m-rel magasabb térszínen 10–15 km széles völgyet alakított ki, ebben rakta le a szállított kavicsot. Az egyre mélyebbre vágódó folyó szakaszosan nyugatra tolódott, az elhagyott terület a kavicstakarót megőrző teraszként magasodott az új meder fölé. Pleisztocén és holocén folyóvízi üledékek a Duna mentén, valamint ettől K-re a vizsgálati terület felszínének jelentős részét borítják (16. ábra). Az É-D-i csapású, Kistarcsa–Vecsés vonallal határolható terasz kavicsos, homokos kavicsos és homok rétegekből áll ([26] KŐRÖSSY 2004).

A negyedidőszaki szerkezetalakulásnak és a felszínt is deformáló tektonikai zónák deflációs pusztításának megfelelően, a terület kiemeltebb részein felhalmozódó lösz, és áthalmozott lösz – pl. Pécel–Maglód, valamint Dunaharaszti és Ócsa környékén – eróziós diszkordanciával települ az idősebb pleisztocén és pannóniai képződményekre. A lösz-paleotalaj összletek vastagsága 40 m is lehet. A szél által kifújt területeken futóhomokszemcsékből álló homokbuckák, homokleplek jellemzők ([41] RUSZKICZAY et al. 2007), a pliocén és posztpannóniai szerkezetalakulásnak megfelelő geomorfológiai süllyedékekben folyóvízi, ártéri és mocsári üledékképződés folyik a jelenkorban is.



15. ábra ÉNy-DDK irányú földtani szelvény a terület keleti részén, Maglód – Monor – Nyáregyháza vonalában (szerkesztette: Babinszki E., Makk Á. in [25] KOVÁCS és GYURICZA 2014).

A mintaterületen előforduló képződmények: 4Q – Holocén tavi üledkek; 5Q – Holocén mocsári üledékek; 6Q – Pleisztocén-holocén futóhomok; 8Q – Felső-pleisztocén folyóvízi-eolikus homok; 13Q – Pleisztocén löszöszlet



16. ábra Magyarország földtani térképének kivágata ([14] GYALOG 2013)

Földtani összefoglaló

A terület fő szerkezeti eleme a térséget DNy-ÉK irányban átszelő Balaton –Tóalmás törészóna, mely feltehetőleg egy korábbi (paleogén) feltolódási öv felújulásaként jött létre a kora-miocénben és főként balos oldalelmozdulásként működött. Az elmozdulási zóna mentén eltérő minőségű idősebb (pre-kainozoos) aljzatképződmények kerültek egymás mellé, a paleogén képződmények erősen deformálódtak. A szerkezeti vonaltól DK-re kompressziós szerkezetek dominálnak, míg tőle É-ra és ÉNy-ra a kinyíló medencék normálvető rendszerei jellemzőek inkább.

A prekainozoos medencealjzat a Budai-hegység területén felszínre bukkan. A Budai-hegység K-i peremvetője mentén a Pesti-síkság alá viszonylag meredeken zökken alá. Vecsés környékén az aljzat eléri a -2500 mBf mélységet, míg a Közép-magyarországi nyírózónában -3000 mBf alá süllyed, míg tőle délre a Bugyi-jászberényi magas paleo-mezozoós rögvonulat húzódik, ahol ismét -500 – -1000 mBf magasságba emelkedik a medencealjzat. A medence aljzatát jórészt könnyen karsztosodó, triász korú karbonátos kőzetek építik fel a térségben. A Balaton-Tóalmás vonaltól északra uralkodóan a Dachsteini Mészkő és Fődolomit nagy vastagságú platformkarbonátjai jelennek meg, míg a déli részeken csak egy-egy egyedi fúrási rétegsorban feltárt platform és medencefáciesű karbonátösszletek kevésbé jól ismertek.

A jelentős szerkezeti mozgások miatt a paleogén képződmények gyakran területenként egymástól eltérő vastagságú és kifejlődésű rétegsorokkal jellemezhetők. A hosszú szárazföldi lepusztulási időszak után az aljzatra diszkordánsan települő rétegsor általában a durvatörmelékes Kosdi Formációval indul, amire a sekélytengeri Szépvölgyi Mészkő települ változó vastagságban. Ezzel összefogazódva, illetve rátelepülve a Budai Márga változóan agyagos rétegei következnek. Üledékfolytonosan fejlődnek ki az oligocén több száz méter vastagságú agyagos képződményei (Tardi és Kiscelli Agyag), amit jellemzően homokos rétegsorok (Pétervásárai Homokkő, Törökbálinti Homokkő, Budafoki Homok) követnek az üledékciklus zárásaként.

A miocén medenceképződés időszakában lerakódott üledékek szintén eróziós diszkordanciával településnek a paleogén rétegekre; kifejlődésük rendkívül változatos, így vastagságuk is erősen változó, néhány 10 m-től 300 m-ig terjed. Az üledékképződést többfázisú, intenzív vulkáni tevékenység kísérte, lávakőzetekkel, tufarétegekkel, és vulkanoszediment üledékekkel (Mátrai Vulkanit Formációcsoport). A jelentős középső-miocén vulkanit feltételezhetően a Közép-magyarországi-vonal közelségét és annak aktív működését jelzi. Az ekkor képződő peremi és mélyebb tengeri környezetben lerakódó törmelékes üledékek és a területen alárendeltebb karbonátok kis vastagságban, erősen deformálva jelennek meg a szerkezeti zónában.

A miocén végén a medence tágulását a termális süllyedése követte, mely jelentős mélységű, nagy szintkülönbségekkel jellemezhető, egyenetlen aljzatmélységgel rendelkező, elzárt, sós vizű tó kialakulásához vezetett (Pannon-tó). Ezt a térségben ÉK felől érkező vízfolyások deltarendszerének törmelékanyaga folyamatosan töltötte fel, létrehozva a jellegzetes egymásra következő környezeteket jelző pannóniai rétegsort. A területen átlagosan kb. 800-1000 m vastag pannóniai rétegsor az É-i, peremi részeken, a felszínen, illetve a felszín közelében, az Alföld felé eső területen vastagabb negyedidőszaki rétegsorral lefedve található. Általánosságban a vizsgálati területen ez utóbbi ÉNy-ról DK-felé irányuló vastagodása jellemző. A nyugati részen, nagyjából a Kistarcsa–Vecsés vonalig az Ős-Duna homokos kavicsos teraszüledékei találhatók, míg a kiemeltebb részeken lösz halmozódott fel.

Hidrogeológia és potenciális vízadók

A fúrással feltárandó potenciális rezervoár feltételezhetően a Budapest környéki termálkarszt (kt. 1.3.) része, így a vizsgálandó kérdések regionális megközelítést igényelnek. A földtani és rétegtani viszonyok ismeretében fentről lefelé az alábbi nagyobb hidrogeológiai egységet különíthetjük el.

Talajvíztartó

A talajvíztartó képződmények a vizsgált terület nyugati, fővárosi és ahhoz közel eső részein a pleisztocén–holocén korú, elsősorban folyóvízi képződményekben (Duna kavicsteraszai; agyag, aleurit, homok) alakultak ki. A tagoltabb felszínű területeken (Gödöllő–Monor–Irsai-dombság) lösz, löszös-homok, homok található, melyek leginkább az Alföld irányában fordulnak elő nagy, összefüggő kiterjedésben. A főváros „szegélyzónáiban" felső-pannóniai üledékekben alakult ki a talajvíztartó. A talajvíztartó vastagsága néhány méterre, esetenként néhány tíz méterre tehető. A talajvízdomborzat alakulása nagyjából követi a felszíni domborzatot, jellemző mélysége 2–6 m-rel van a felszín alatt. A vízfolyások völgyeiben maga az allúvium jelenti a talajvízadó képződményt.

Regionális elterjedésű hideg és termális rétegvizek

A talajvíztartó alatti első jelentősebb víztartó összlet a pleisztocén folyóvízi–ártéri üledékek alkotta összlet, mely a területen változó vastagságban (ÉNy–DK irányú kivastagodás jellemző) jelenik meg. A települések vízmű-kútjainak egy része ezeken a felső, homokosabb, viszonylag sekély kutakkal könnyen elérhető, megfelelő vízminőségű vízadó rétegeken települ.

Ez viszonylag szoros hidraulikai kapcsolatban áll az alatta települő összlettel, melyet folyóvízi–ártéri, tavi, mocsári környezetekben képződött felső-pannóniai (Dunántúli Formációcsoport: Nagyalföldi Tarkaagyag Formáció, Zagyvai Formáció, Újfalui Formáció) különböző alluviális síksági formációk horizontálisan és vertikálisan is változatos homokos-agyagos rétegei alkotnak. Az Újfalui Formáció homokos vízadója az alföldi előfordulásokhoz képest kisebb vastagságban jelenik meg a vizsgálati területen. Az összlet legnagyobb (7-800 m-es) vastagságát az Alföld irányában, a vizsgálati terület K–DK-i részein éri el (Monor-1, Monor. ÉK-2).

A vizsgálati terület egyéb részein ÉNy–Ny-i irányban általában ennél (jóval) kisebb vastagságban, vagy egyáltalán nem fordul elő (pl. a főváros területén). A felső-pannóniai összlet (Dunántúli Formációcsoport) mintegy 450–500 m-nél mélyebb részein, a homokosabb deltafront üledékek már 30 ºC-nál melegebb vizet, azaz hévizet szolgáltathatnak (monori hévízkutak: K-209, K-248, K-255; Pécel-K-48; Isaszeg K-43; Tápiószecső K-23; 6. ábra). A felső-pannóniai és negyedidőszaki rétegek nyomásviszonyai hidrosztatikusnak tekinthetők. Az Újfalui Formáció feküje egyúttal a medence porózus, regionális áramlási rendszerének feküjét is jelenti.

A területen található törmelékes (pannóniai, pannóniainál idősebb miocén–oligocén) összlet rétegeinek horizontális és vertikális jellemzőit fontos ismerni, hiszen jelentős szerkezetalakulási folyamatok településükre jelentős hatással vannak. Ezek alapvetően

meghatározzák az utánpótlódási útvonalakat, a jelenlévő vizek összetételét, korát, sok esetben a mélyebb régiók sós vizének sekélyebb szintekbe jutását is. A medence porózus üledékeiben kialakult köztes, (intermedier) áramlási rendszer elhatárolása a területen nehézkes, mivel a pannóniai rétegek Ny–ÉNy-i irányban kiékelődnek, alattuk késő-pannóniainál idősebb miocén korú rétegek települnek. Ennek következtében a köztes áramlási rendszer a területen Ny–K-i irányban előbb a késő-pannóniainál idősebb miocén, majd kb. Gödöllő–Monor vonalától K-re már a késő-pannóniai korú üledékekben húzható meg. Az itt tárolt vizek összetétele jól tükrözi a víztartó összlet – természetes állapotban is viszonylag intenzív – áramlási rendszerét. A döntően $CaMgHCO_3$-os kémiai jelleg a mélységgel a $NaCaMgHCO_3$-os, majd $NaHCO_3$-os, $NaHCO_3Cl$-os kémiai jelleg felé tolódik el. Az összes oldott anyag tartalom a kb. 400 m-es mélységig jellemzően 1000 mg/l alatt marad (370–1000 mg/l), míg ennél mélyebben valamivel magasabb, 1000–2000 mg/l érték jellemző. Ritkán előfordulnak 3000–5000 mg/l összes oldott anyag tartalmú vizek is (pl. Monor), melyek főleg $NaHCO_3Cl$–os jellegűek és lassabb áramlási rendszerre utalnak a felső-pannóniai (Dunántúli Formációcsoport) összlet alsóbb részein. A relatíve alacsony sótartalmú vizek (<1500 mg/l) a felső-pannóniai összletben (Dunántúli Formációcsoport) uralkodó intenzívebb áramlási rendszer meglétére utalnak. Ehhez hozzájárul, hogy a zömében vízzáró alsó-pannóniai (Peremartoni Formációcsoport), prepannóniai miocén–oligocén–eocén korú rétegek jelentős vastagsággal rendelkeznek (DK-i részek), elszigetelve így a késő-pannóniai korú víztartókat a mélyebb helyzetű, magasabb összes oldott anyag tartalmú vizeket tartalmazó összletektől.

Lokális víztartók

Rétegvízadók

A vizsgálati területen a felső-pannóniai rétegek alatt lokális vízadókkal kell számolni az alsó-pannóniai képződmények turbidit-homokjaiban, a pannóniainál idősebb miocén medence fáciesű képződmények homok–homokköves rétegeiben, valamint az oligocén sekélybatiális márgás rétegsor homokos, homokköves közbetelepüléseiben. A szublitorális és sekély-szublitorális zóna durvább szemcsés rétegsoraiban, kedvezőbb porozitású homokköveiben (Pétervásárai Homokkő Formáció) jobb adottságú víztartókkal számolhatunk. Az esetlegesen megjelenő báziskonglomerátumnak főleg ott van/lehet jelentősége, ahol más víztartó képződményekkel kapcsoltan jelenik meg. Az összletek nyomásviszonyai hidrosztatikusnak megfelelőek.

A vizsgált területen és környezetében mindezidáig hévíztermelés, vagy geotermikus energia-hasznosítás céljából az alsó-pannóniai és prepannóniai miocén képződményeket nem vették számításba a felső-pannóniai vízadók (Dunántúli Formációcsoport) kedvezőbb adottságai, valamint ezen alsó-pannóniai képződmények (Peremartoni Formációcsoport) elsősorban kisebb települési vastagsága és rosszabb vízvezető-képessége miatt. Vízkémiai elemzés az alsó-pannóniai összletből a vizsgálati területen csupán néhány fúrásból áll rendelkezésre: a sótartalom 13 000–19 000 mg/l között változik, a kémiai jelleg NaCl–os, $NaCl(HCO_3)$–os, mely a homokkőtestek rossz kapcsolatára, egymástól való elzártságára utal.

A prepannóniai miocén összletben tárolt víz minősége változik Ny–K-i irányban a víztartó anyagának finomodásával és a rétegek kisebb kiterjedésű, foltszerű elterjedésével,

illetve az eltemetődés mélységével. A felső 500 m-es vastag zónában intenzív áramlási rendszer(ek)nek megfelelő vízösszetétel található, 500 m-es mélységtől mélyebben már döntően NaCl-os kémiai jellegű vizek jellemzőek. Néhány esetben, Budapest DK-i részein 8400 mg/l-t is meghaladó, akár 17 000 mg/l-t is elérő TDS-ek (*Total Dissolved Solids*, összes oldott anyag tartalom) és NaCl-os kémiai jellegű vizek is kimutathatóak az elzárt víztartókban.

Porózus, kettős porozitású rendszerek

A lokális, porózus, esetleg kettős porozitású rendszerek közé sorolhatjuk a vizsgálati területen előforduló prepannóniai miocén képződmények karbonátos kifejlődéseit, közbetelepüléseit (Rákosi Mészkő Formáció, Kozárdi és Tinnyei Formáció), valamint a felső-eocén Szépvölgyi Mészkő és esetenként a Budai Márga Formációt. Vízföldtani jelentőségük csak akkor van, ha közvetlenül települnek az aljzaton és egy hidraulikai rendszert képeznek a repedezett alaphegységi zónákkal.

Az eocén víztartók döntően 500-1500 mg/l összes oldott anyag tartalmú és $CaMgHCO_3$-os kémiai jellegű vizet tárolnak, mely jól tükrözi a víztartó(k)ban zajló intenzív áramlásokat. A kevert, eocén–triász víztartók vizei 1030–1730 mg/l sótartalmúak és $CaMgHCO_3$-os, $NaHCO_3$-os kémiai jellegűek. Ugyanakkor az eocén–oligocén kevert vizek már inkább $NaCaClHCO_3$-os, *Na(Ca)Cl*-os kémiai jellegűek.

Az oligocén homokkövekben tárolt vizek a sekélyebb, intenzívebb vízáramlással érintett, felső 200 m-es zónában alacsonyabb (500–1500, illetve 2000–3000 mg/l) sótartalmúak és $CaMgHCO_3$-os, $CaMgHCO_3SO_4$-os kémiai jellegűek, míg mélyebben, ahol már lassabb az áramlás, elzártabb a víztartó, már inkább NaCl-os $NaCa(Mg)ClHCO_3$-os jellegűek (pl. Cinkota térségében). Az összes oldott anyag tartalmuk megemelkedett, általában 10 000 mg/l feletti, de inkább 22 300–24 100 mg/l körüli.

A vizsgált területen kívül, illetve részben annak ÉNy-i részén találhatóak a pannóniai, a prepannóniai miocén hidrosztratigráfiai egységek beszivárgási területei. A pannóniai képződmények esetében oldalirányú utánpótlásra Ny–ÉNy-i irányból számíthatunk, melyet jelez a rezervoárokban tárolt vizek kémiai összetétele is. A miocén rétegekben tárolt vizek összetétele a víztartók elzárt, pangó jellegére, míg az oligocén rétegekben tárolt vizek összetétele a víz fosszilis eredetére utal.

Regionális vízzáró egységek

Az Újfalui Formáció és a prekainozoos aljzat között több kora-pannóniai, pannóniainál idősebb miocén, oligocén és eocén korú regionális/lokális elterjedésű vízzáró képződmény is elkülöníthető, melyek döntően finomszemcsés, agyagos, aleuritos kifejlődésűek, és bennük a homokkőlencsék, -betelepülések részaránya alacsony.

A kora-pannóniai korú üledékek alatt a területen a pannóniainál idősebb miocén medence fáciesű üledékek elterjedése általános egészen az eocénig. Ezeket az üledékeket döntő részben aleurit, agyagmárga, agyag építik fel. A rétegsorok ÉNy–DK-i irányban jól nyomozhatóak, de eltérő vastagsággal rendelkeznek a szerkezeti vonalaknak megfelelően. Regionális, illetve helyenként (az elvékonyodás következtében) lokális vízzáró képződménynek tekinthetők a területen a miocén Szilágyi Agyagmárga, a Garábi Slír, a

Szécsényi Slír, a Kiscelli Agyag, és a Tardi Agyag Formáció finomszemcsés üledékei, illetve a felső-eocén Budai Márga Formáció márgás, nem karsztosodott képződményei is.

Alaphegységi rezervoárok

Az alaphegységet a területen többnyire mezozoós korú karbonátos képződmények építik fel: ÉNy-i részen felső-triász platform fáciesű karbonátos képződmények (Dachsteini Mészkő Formáció, Fődolomit), valamint ladini–karni platform fáciesű dolomit (Budaörsi Dolomit Formáció Isaszeg környékén és tőle délre). Rezervoárként ott jöhetnek szóba, ahol hosszabb ideig felszíni hatásnak, mállásnak és karsztosodásnak voltak kitéve. Az ilyen környezetben néhányszor tíz, esetleg száz méteres vastagságban is lehet megnövekedett pórus- és repedéstérrel, valamint permeabilitással számolni. A rezervoárok tárolóképességét jelentős mértékben befolyásolja a tektonika nyomán létrejött repedezettség, mely a tárolt vizek minőségére és áramlására is hatással van. Az aljzat mélysége erősen változó, a Budai-hegységben felszínen lévő képződmények a Duna mentén meredeken süllyednek a Pesti-síkság alá, kb. -1000 mBf mélységig. Innen fokozatosan lejt a Balaton-vonalig, ahol már mintegy -2400 – -2500 mBf mélységbe zökken. A mintaterület déli részén éri el legnagyobb mélységét, ami hozzávetőlegesen -3000 mBf.

A regionális értékeléseknél fontos elemezni azt is, hogy a repedezett, mállott, karsztosodott medencealjzatra közvetlenül települő fedőképződmények egy hidraulikai egységet képeznek-e az alaphegységi rezervoár-részekkel. Az aljzatra települő eocén korú Szépvölgyi Mészkő Formáció, illetve a Kosdi Formáció durvatörmelékes képződményei ott jelentősek, ahol egységes hidraulikai rendszert alkotnak az aljzat karbonátjaival. Az aljzati repedezett karbonátos tárolók vízadó képessége kiváló, míg az eocén tárolók általában csekélyebb víztermelő kapacitással bírnak. Az eocénben az erősen repedezett szakaszok képeznek kivételt.

Végül meg kell említeni, hogy a karbonátos összletek esetében nem zárható ki a tágabb körzetben (különösen a Közép-dunántúli egységben) ismert, az eocén és miocén magmás tevékenységek hatására bekövetkezett hidrotermális üregképződés, valamint a Budapest környéki termálrendszernél feltételezhető, nagyobb mélységekből feláramló CO_2 hatására bekövetkező pórustér növelő hatás sem.

Az adatgyűjtési terület nagyrészt a Budapest környéki termálkarszt-rendszer részét képezi (6. ábra), mely részben a Budai-hegységben beszivárgó vizekből táplálkozó és a Gellérthegyi forráscsoportok megcsapolásain távozó nyitott termálkarszt-rendszer. A mintaterület – a térség földtani–szerkezeti viszonyait és a jellemző áramlási rendszereket is figyelembe vevő mesterséges lehatárolás szerint a termálkarszt rendszer peremére esik. A kérdés megítélése fúrásos adatok hiányában azonban közel sem egyszerű. Az elgondolást alátámasztják a vízkémiai eredmények. Az alaphegységi rezervoárokban tárolt vizek jellemzően a Tóalmás–Balaton-vonaltól délre fosszilisek, attól északra karsztvizek. A fosszilis vizek hosszú idejű vízkörforgalmi rendszerbe és kis statikus vízkészletekhez köthetőek, míg a karsztvizek közepes körforgalmi rendszerbe és jelentős méretű dinamikus vízkészletekhez kapcsolódnak. A fosszilis vizek sótartalma jellemzően 17 000-39 000 mg/l ([5] BONCZ et al. 2013), a Tóalmás-Balaton-vonaltól északra feltárt vizek kis, általában 450-1500 mg/l összes oldott anyag tartalmúak és $CaMgHCO_3$-os kémiai jellegűek, a mélységgel

enyhén emelkedő szulfáttartalommal. Mészkövek esetén ennél alacsonyabb (680–840 mg/l) oldott anyag tartalom jelentkezhet. Kiugró értéket mutat a Népliget Nl-1 (Budapest B-88) fúrásból kiképzett kút triász mélységi vize, mely 23 500 mg/l összes oldott anyag tartalommal rendelkezik, Na^+ tartalma eléri a 8000 mg/l-t, Cl^- tartalma a 14 000 mg/l értéket.

Az aljzati képződmények vízkészleteinek utánpótlódása a kiemelt, nyíltkarsztos zónák irányából történik. A vizsgált területen kívül, illetve részben annak ÉNy-i részén találhatóak az eocén és az alaphegységi hidrosztratigráfiai egységek beszivárgási területei. A térségben húzódó kiemelkedések szárnyzónái, valamint az aljzatból akár a pannóniai rétegekig, vagy a felszínig felnyúló szerkezeti vonalak a terület áramlási rendszerére hatással bírnak: az itt kiékelődő felső-, alsó pannóniai, valamint miocén üledékekben, illetve a tektonikai elemek mentén a vizek kényszerpályára kerülve a mélyebb medence irányából a sekélyebb régiók felé áramlanak. Az aljzat alacsonyabb oldott anyag tartalma és a Ca-os, valamint a HCO_3-os jelleg intenzívebb áramlási rendszert sejtet az idősebb, triász korú karsztvíztartóban. Ugyanakkor a karsztvíztartó vizeinek összetételében megfigyelhető eltérések a fedő oligocén üledékekből származó víz vertikális áramlására, szivárgására utalnak.

A kt.1.3. Budapest környéki termálkarszt víztest minőségi állapota jó, mennyiségi állapota az első hazai Országos Vízgyűjtőgazdálkodási Tervben még "nem jó" érékelést kapott, melynek okául a nem megfelelő vízmérleget említették. ([51] VGT, 2009). Az EU Víz Keretirányelve szerinti első vízgyűjtő-gazdálkodás 6 éves ciklusának zárásakor külön tanulmány készült, mely ebben az időszakban a vízmérleget is megfelelőnek találta. ([8] CSEPREGI et al. 2015).

Vízföldtani összefoglaló

A talajvíztartó alatti első jelentősebb víztartó összlet a pleisztocén folyóvízi–ártéri üledékek alkotta összlet. A települések vízmű-kútjainak egy része ezeken a felső, homokosabb, relatíve sekély kutakkal könnyen elérhető, megfelelő vízminőségű vízadó rétegeken települ.

A pleisztocén rétegekkel szoros hidraulikai kapcsolatban álló felső-pannóniai Újfalui Formáció homokos vízadója az alföldi előfordulásokhoz képest kisebb vastagságban jelenik meg a vizsgálati területen. Az összlet 500 m-nél mélyebb részein, a homokosabb deltafront üledékek már 30 ºC-nál melegebb vizet, azaz hévizet szolgáltathatnak. A relatíve alacsony sótartalmú vizek (<1500 mg/l) intenzívebb áramlási rendszer meglétére utalnak.

Az oligocén és miocén kőzetek javarészt vízzárók, helyenként alacsony vízvezető képességű részekkel. Az itt tárolt vizek sósak, sótartalmuk 17 000-36 000 mg/l között változik. Uralkodó sójuk a NaCl. Az átlagos geotermikus gradiens 5,4 °C/100 m. Vízutánpótlásuk nincs, víztermelésre nem alkalmasak.

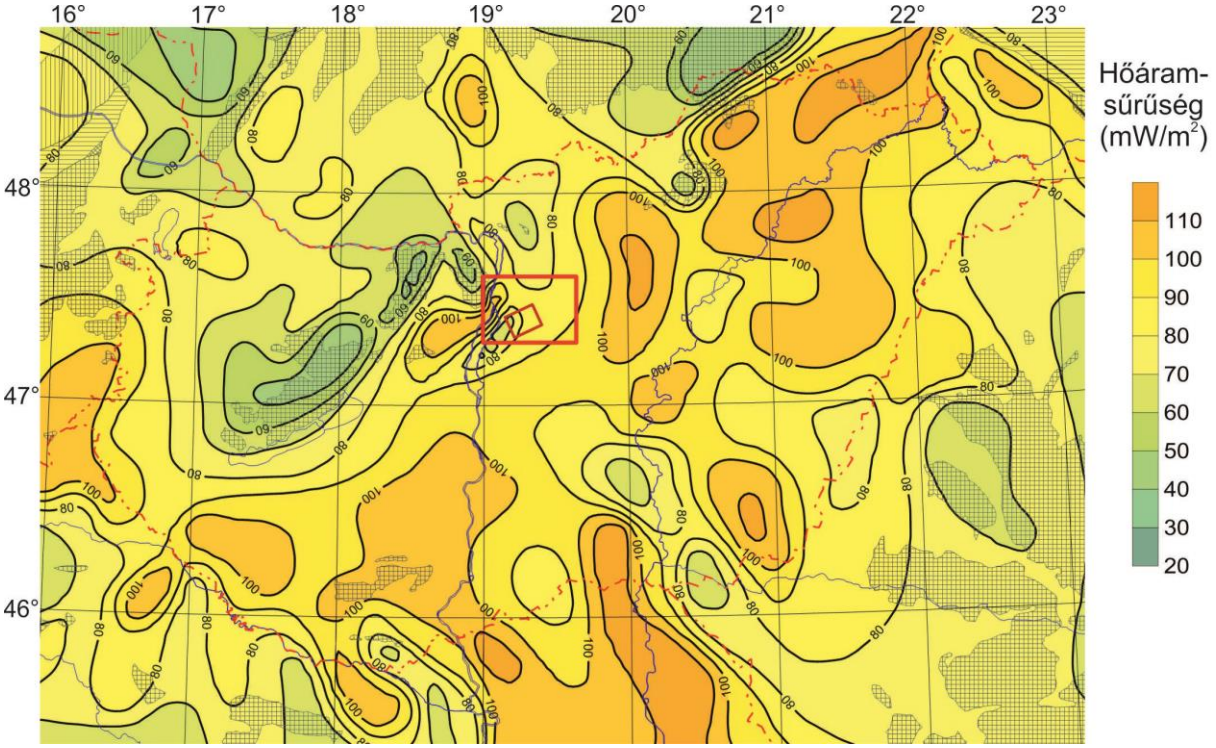
Az alaphegységi mezozoós korú karbonátos képződmények rezervoárként ott jöhetnek szóba, ahol hosszabb ideig felszíni hatásnak, mállásnak és karsztosodásnak voltak kitéve. Tárolóképességüket jelentős mértékben befolyásolja a tektonika nyomán létrejött repedezettség, mely a tárolt vizek minőségében és áramlásában is szerepet játszik. Szerencsés esetben az aljzatra települő eocén fedőképződmények egységes hidraulikai rendszert alkotnak az aljzat karbonátjaival. Az aljzati repedezett karbonátos tárolók vízadó képessége kiváló, míg az eocén tárolók általában csekély víztermelő kapacitással bírnak. Az eocénben az erősen

repedezett szakaszok képeznek kivételt. A mintaterület feltételezhetően a Budapest környéki termálkarszt-rendszer részét képezi, mely részben a Budai-hegységben beszivárgó vizekből táplálkozó és a Gellért-hegyi forráscsoportok megcsapolásain távozó nyitott termálkarszt-rendszer, azonban a kérdés megítélése a kevés fúrásos adat miatt nem egyszerű. Erre példa a Népliget Nl-1 (B-88) kút vízösszetétele és anomális, gyenge hidraulikai kapcsolata a környező kutakkal.

A terület geotermális viszonyai

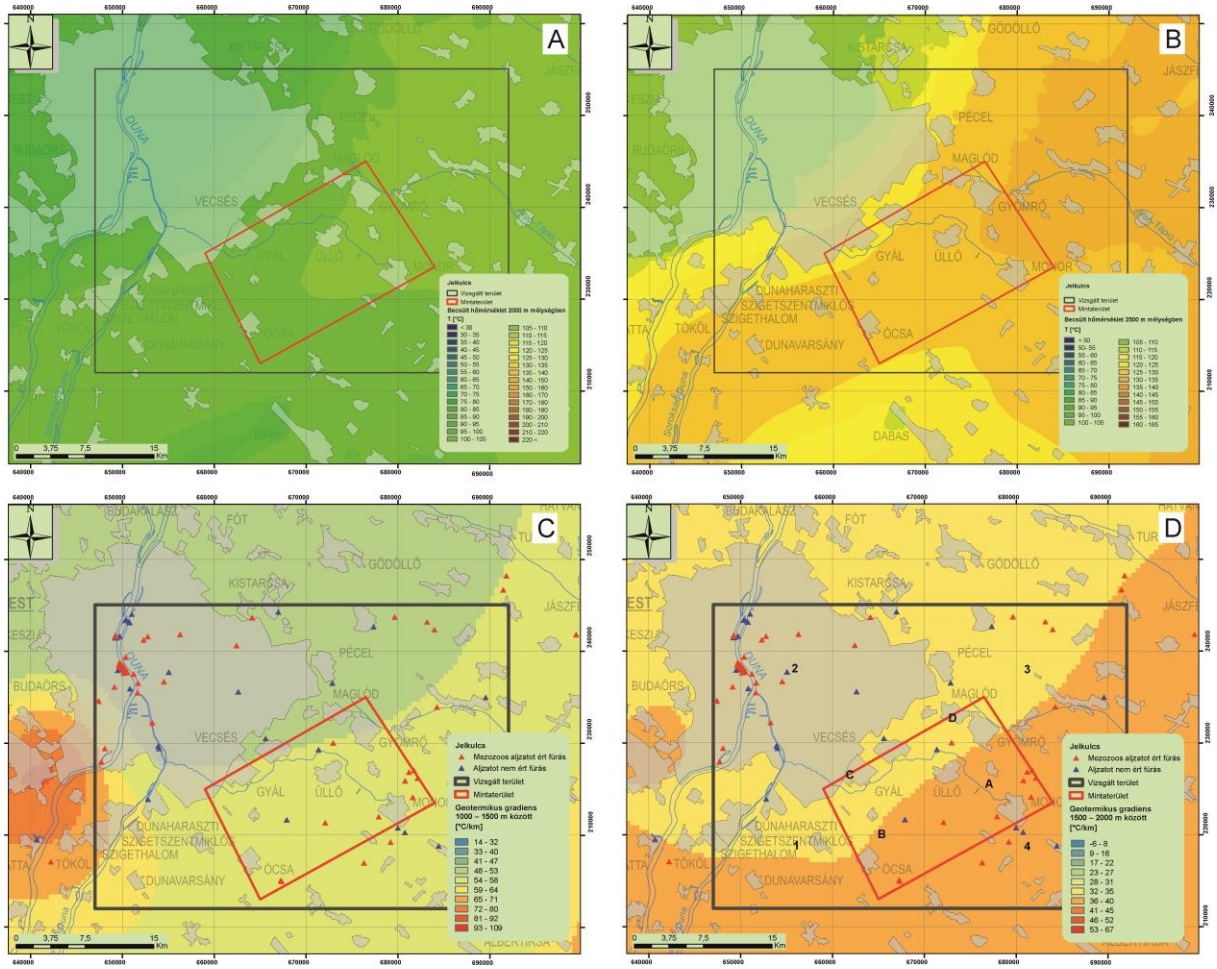
A Kárpát-medencében a miocén során zajló nagytektonikai változások következtében – melyek a vizsgálati terület fejlődésében kiemelten fontos szerepet kaptak – a litoszféra jelentősen kivékonyodott. Ez azt jelenti, hogy a normál kéregvastagságú (35-40 km) Európával szemben a Kárpát-medencében a földkéreg alatti, meleg hőáramlást biztosító felső köpeny közelebb került a felszínhez (24-28 km). Ennek megfelelően a hőáram a Kárpát-medencében majdnem duplája az európainak (90-100 mW/m^2) és különösen magas ez az érték az Alföld egyes részmedencéiben és a Kisalföldön ([10] DÖVÉNYI et al. 2002, [17] HORVÁTH et al. 2005). Hőmérsékleti adatokra lefordítva, míg világátlagban a föld felszínétől lefelé haladva 25 °C-kal nő a hőmérséklet 1 km-ként a mélységgel, addig a pannon medencében ez elérheti az 50 °C-t is. A Kárpát-medence részmedencéit több kilométeres vastagságban jó hőszigetelő tulajdonságú üledékek töltik ki. Az üledékek nagy rétegvíztartalma kedvező geotermális adottságainak másik fontos összetevője.

Az ELTE Geofizikai Tanszéke által publikált hőáram sűrűség térképe ([17] HORVÁTH et al. 2005, 17. ábra) alapján a területre 80 mW/m^2 érték adható meg, mind a felszíni, mind a mélységi részekre, mivel a kettő között jelentősebb vízáramlás torzító hatása nem valószínű.



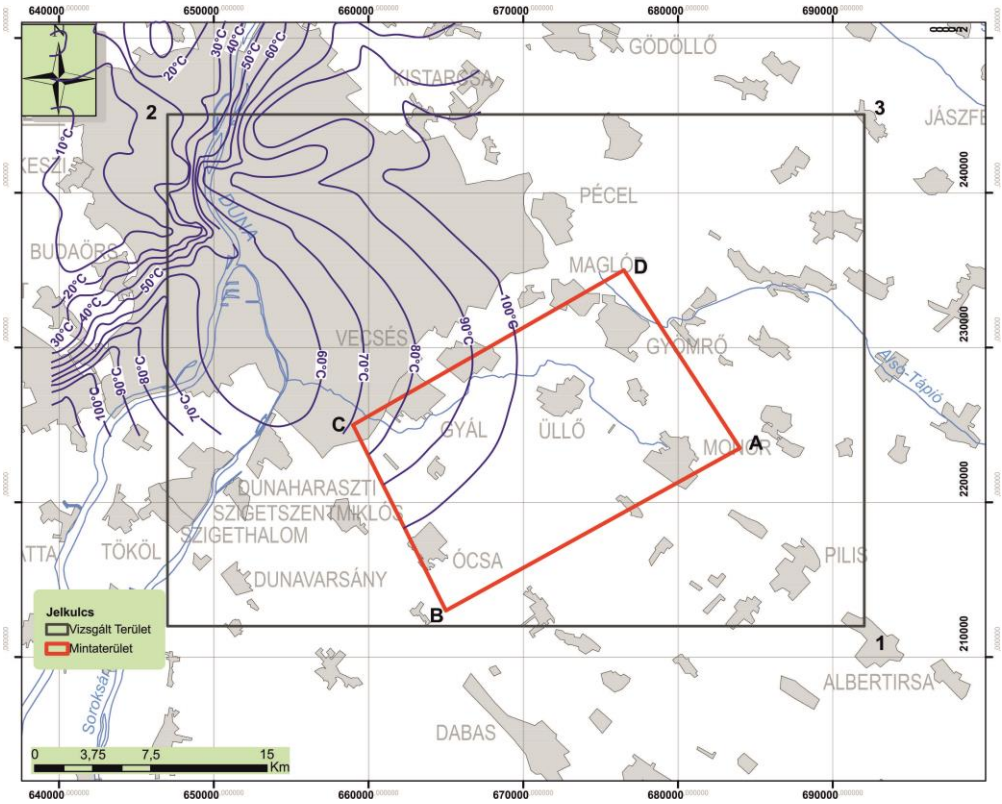
17. ábra A Pannon-medence és környezete hőáram-sűrűség térképének részlete ([17] HORVÁTH et al. 2005)

Az ugyanakkor publikált hőmérséklet-térképek a 100 ºC-os izotermát 1750 méteres mélységben, a 120 ºC-os izotermát a 2175 méteres mélységre adják meg. Ez 50-51 ºC/km átlagos geotermikus gradienst jelöl a területre nézve (18. ábra). A tágabb térségben a pannon korú rétegre számolt átlagos gradiens érték a MOL adatai szerint is hasonló: 5,4 °C/100 m ([5] BONCZ et al. 2013).



18. ábra A területre vonatkozó becsült kőzethőmérsékleti térképek 2000 m (A) és 2500 m (B) mélységben, illetve becsült geotermikus gradiens térképek 1000-1500 m (C) és 1500-2000 m (D) mélységtartományokban ([53] ZILAHI-SEBESS 2012).

A szűkebb területre, illetve a Budapest környéki termálkarszt tározóra vonatkozóan [31] LORBERER 2002 közöl archív adatokon alapuló geotermikus térképet, amelyben a Pesti-síkságra is kiterjedően mutatja be a tárolófelszín becsült hőmérsékletét, rávilágítva arra, hogy a délkeleti területeken adathiány miatt nagy a bizonytalanság (19. ábra). Ez alapján, a mintaterületen 90-100 °C körüli réteghőmérséklet feltételezhető a mintaterület alatti aljzatképződményekben.



19. ábra A budapesti termálkarszt tárolófelszínének kőzethőmérsékleti izotermái (°C) ([31] LORBERER 2002 nyomán)

A továbbiakban a területre vonatkozó fúrási adatokból rendelkezésünkre álló hőmérsékletadatokat elemezzük.

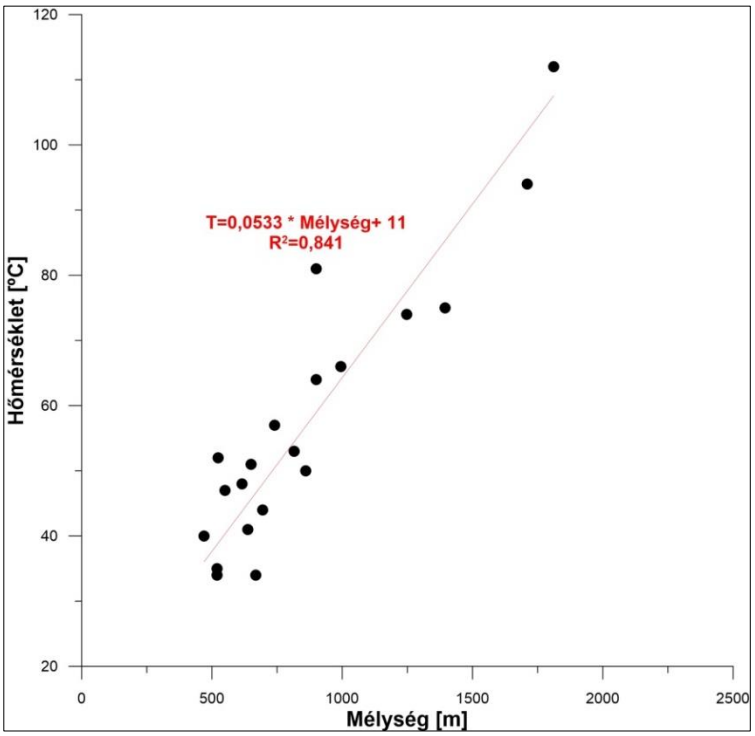
Az MBFH Adattárában található kútkönyvekből és a Hévízkút Kataszterből kigyűjtésre került hőmérséklet adatokból határoztuk meg a hőmérséklet-mélység összefüggéseket.

Egy adott területre jellemző átlagos geotermikus gradiens számításoknál és azok értelmezésénél figyelembe kell venni, hogy a vizsgált kutaknál a hőmérséklet értékek milyen körülmények között kerültek leolvasásra, milyen nyomás viszonyok mellett, mennyi volt a fúrás befejezésétől eltelt idő. Az egyes kutaknál általában rögzítik a fúrás talphőmérsékletét a legalsó harántolt képződmény mélységével együtt. A geotermikus célokra felhasznált kutaknál, hévízkutaknál megadják a kifolyó víz hőmérsékletét is. Jellemző, hogy a szerkezetkutató fúrásoknál és szénhidrogén-kutatófúrásoknál több réteghez tartozó hőmérsékletértékeket is megadnak. Ezek részben számított értékek, részben pedig a rétegvizsgálatoknál kapott hőmérséklet értékek.

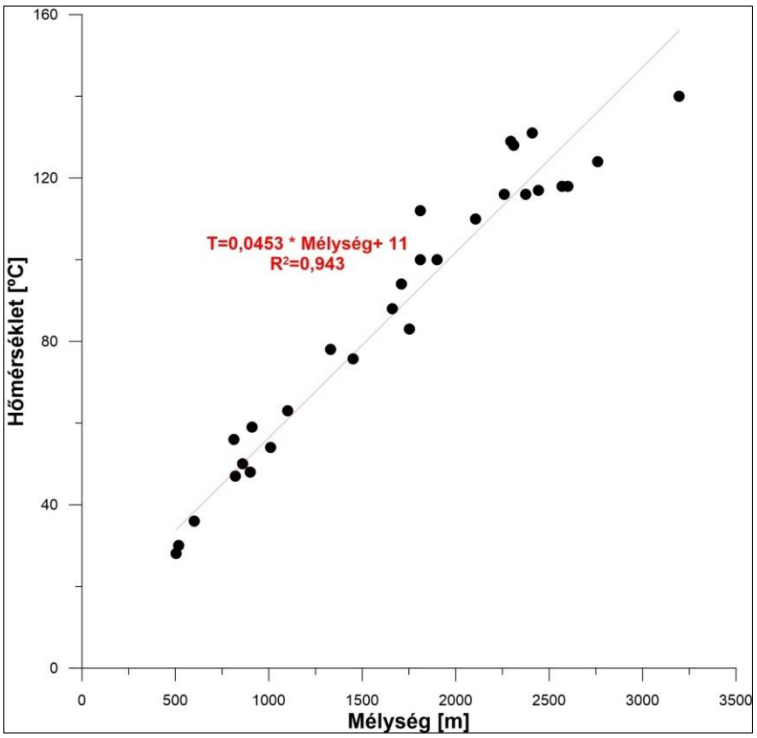
A 20. ábrán 400 m-nél mélyebb budapesti hévízkutakat ábrázoltuk a Mende Ny-1 fúrás számított, statikus réteghőmérséklet értékeivel kiegészítve, a hőmérséklet és mélység függvényében. Ezek a fúrások azonos vízföldtani egységbe sorolható rétegeket tárnak fel, így a kőzet termális tulajdonságai tekintetében is hasonlóságot feltételezhetünk. Az itt kapott átlagos geotermikus gradiens értéke 53,3 °C/km.

A 21. ábrán látható a nagy mélységű szerkezet és szénhidrogén-kutatófúrások réteghőmérsékleteinek és az adott réteghez tartozó mélységeknek az összefüggése (5. táblázat). Ezek a fúrások a mintaterületen lévő, illetve annak közelében, délkeletre található fúrások. Az ábrázolt értékeket a fúrási munkálatok közben, a különböző rétegvizsgálatok

során mérték. A budapesti hévízkutak elhagyásával az átlagosnál alacsonyabb értéket kaptunk, mely 45,3 °C/km.



20. ábra A 400 m-nél mélyebb budapesti hévízkutak és a Mende. Ny-1 fúrás réteghőmérsékletei a mélység függvényében



21. ábra Nagy mélységű szerkezet és szénhidrogén-kutatófúrások számított, statikus réteghőmérsékletei a mélység függvényében

A két számított érték közti eltérés adódhat a mérési körülmények különbözőségéből. A szénhidrogén-kutatófúrások réteghőmérsékletei jellemzően a fúráskori, a fúróiszap által

lehűtött környezet hőmérsékletét mutatják, tehát a valós értéket várhatóan alábecslik. Azonban az aljzati karsztos termálvíz-tárolóban számolni kell pozitív hőmérsékleti anomáliát okozó, a törésrendszerek mentén feláramló rétegvizek hatásával is.

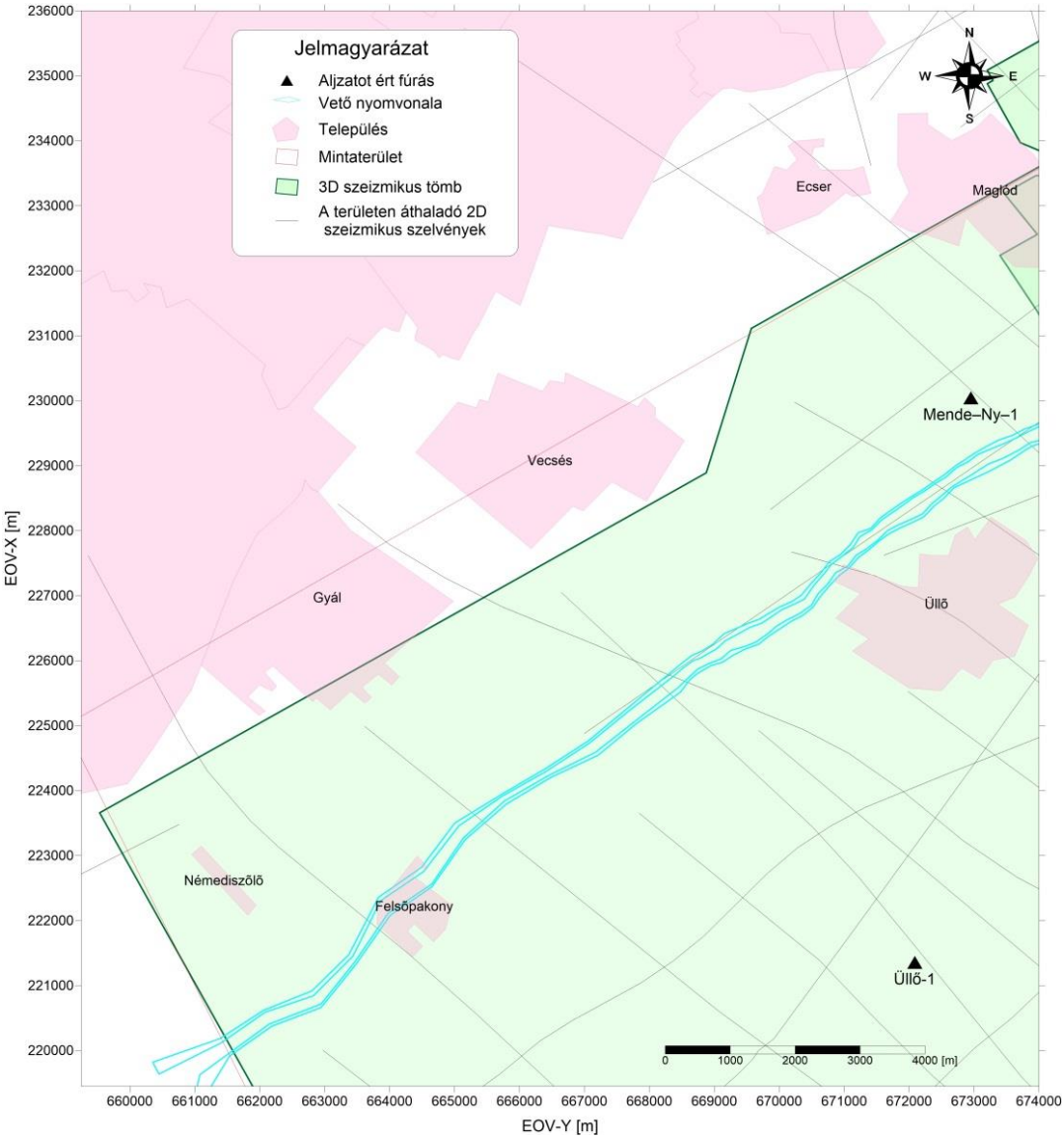
5. táblázat A felhasznált szénhidrogén-kutatófúrások réteghőmérséklet adatai

Fúrásnév	Réteghőmérséklet [°C]	Mélység [m]
Mende. Ny-1	50	860
Mende. Ny-1	94	1710
Mende. Ny-1	112	1811
Gomba-3	30	517
Gomba-3	78	1330
Gomba-3	117	2442
Gomba-3	118	2600
Monor. ÉK-1	28.1	504.5
Monor. ÉK-1	75.7	1450
Monor. ÉK-1	116	2260
Monor. ÉK-1	129	2295
Monor. ÉK-1	131	2410
Monor. ÉK-2	128	2310
Monor. É-1	54	1010
Monor. É-1	110	2107
Monor. É-1	116	2375
Monor-1	47	820
Monor-1	88	1660
Monor-1	100	1900
Ócsa-1	36	600
Ócsa-1	48	900
Ócsa-2	56	812
Ócsa-4	63	1100
Ócsa-4	83	1752
Ócsa-4	100	1811
Üllő-1	59	910
Üllő-1	118	2569
Üllő-1	124	2759
Üllő-1	140	3196

Fúráspontok kijelölése szeizmikus értelmezés alapján

A korábbi fejezetekben bemutatásra került előzetes földtani, geofizikai és vízföldtani ismeretek alapján került kiválasztásra – a pontosabb szerkezeti viszonyok tisztázása érdekében szeizmikus értelmezésre kijelölt – mintaterület, melyet az 5. ábrán bemutatott Monor 3D szeizmikus tömb és a 2D szelvények hálója fed le. A gyakorlati célú alkalmazás tudományos megalapozása során, a felszínhez képest 2500 m-nél sekélyebb helyzetű, prekainozoos medencealjzatbeli karbonátos tárolót keresünk. Ebből a célból a vizsgált régióban a Budapest környéki termálkarszt és a Bükki termálkarszt jöhet számításba, melyek közül a Budapest környéki termálkarszt a megkutatottabb a mintaterületen (6. ábra).

Korábban részletesen ismertetésre került a terület geológiája is, amely alapján a legfontosabb szerkezeti elem a DNy-ÉK-i irányban húzódó Balaton-Tóalmás vonal, amely a két nagyszerkezeti egység, illetve a két termálkarszt víztest feltételezhető határa is egyben. Ez a szerkezeti elem könnyen azonosítható a Monor 3D szeizmikus tömbön, melynek a prekainozoos aljzaton való lefutását a 22. ábra mutatja.

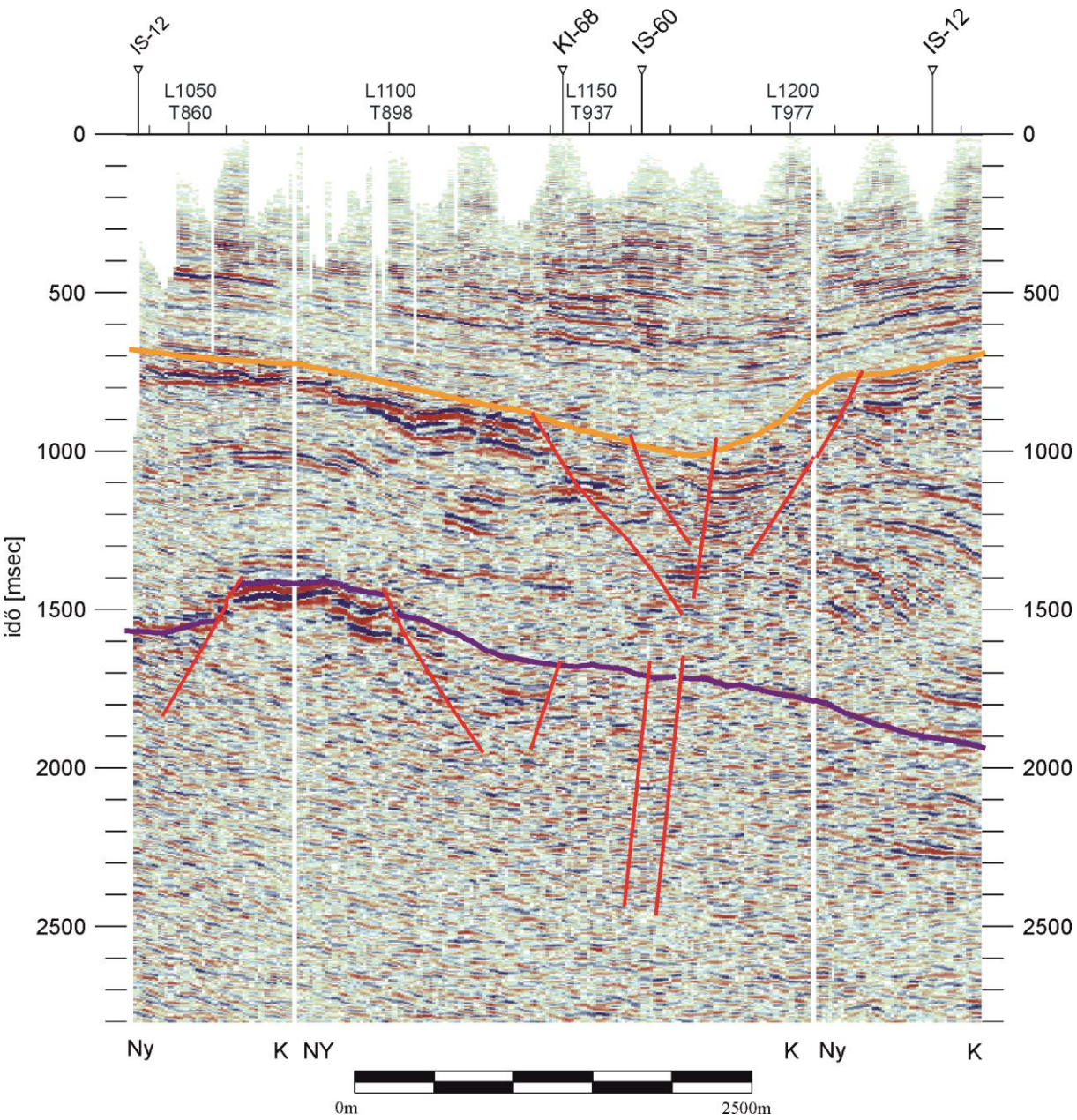


22. ábra A Balaton-Tóalmás törészóna nyomvonala a prekainozoos medencealjzaton

A 13. ábrán a már korábban bemutatott IS-12 2D szelvényen körvonalazható egy kiemelt helyzetben lévő, reflexiós jellege alapján feltehetően karbonátos anyagú aljzati rög a fő szerkezeti elemtől ÉNy-ra. A prekainozoos aljzatfelszín (az ábrákon: lila horizont) részletes térképezését erre a célterületre fókuszálva, a vetőzónától ÉNy-ra eső területre végeztük el a Monor 3D szeizmikus tömbön (22. ábra). Az értelmezés során kijelöltük a pannon képződmények fekü szintjét (az ábrákon: sárga horizont), illetve a területen előforduló főbb szerkezeti elemeket, vetőket – melyek jellemzően normál vetők és térben korrelálhatók egymással (az ábrákon: piros színnel jelöltük). A fő vetőzónától délre térrövidüléssel jellemezhető kompressziós szerkezetek a gyakoribbak, mely a vízkitermelés szempontjából kedvezőtlen.

Az értelmezésnél felhasználtuk a korábban ismertetett fúrások rétegsorát, melyek a 2D szelvények mentén találhatóak, illetve a 3D tömb területére esnek. A szeizmikus adatokon felismert réteghatárok, jellemző szeizmikus fáciesek ezek alapján korrelálhatók, időben azonosíthatók, és litológia (kőzetminőség) rendelhető hozzájuk. Segítségükkel a szűkebb terület fejlődéstörténete rekonstruálható, ami nagyban befolyásolja a potenciális rezervoár vízadó tulajdonságait. A mintaterület ÉK-i részén mélyült, aljzatot ért szénhidrogén-kutató Mende. Ny-1 fúrás rétegsora és mélyfúrás-geofizikai adatai alapján a kiemelt aljzati rögöt feltételezhetően triász korú, karbonátos képződmények építik fel. A jelen munka keretében elvégzett karotázs értelmezés és szeizmikus sebességvizsgálat alapján a fúrás feltételezhetően már 1550 m-ben elérte az eocén képződményeket, és 1742 m-től már triász korú mészkövet harántolt.

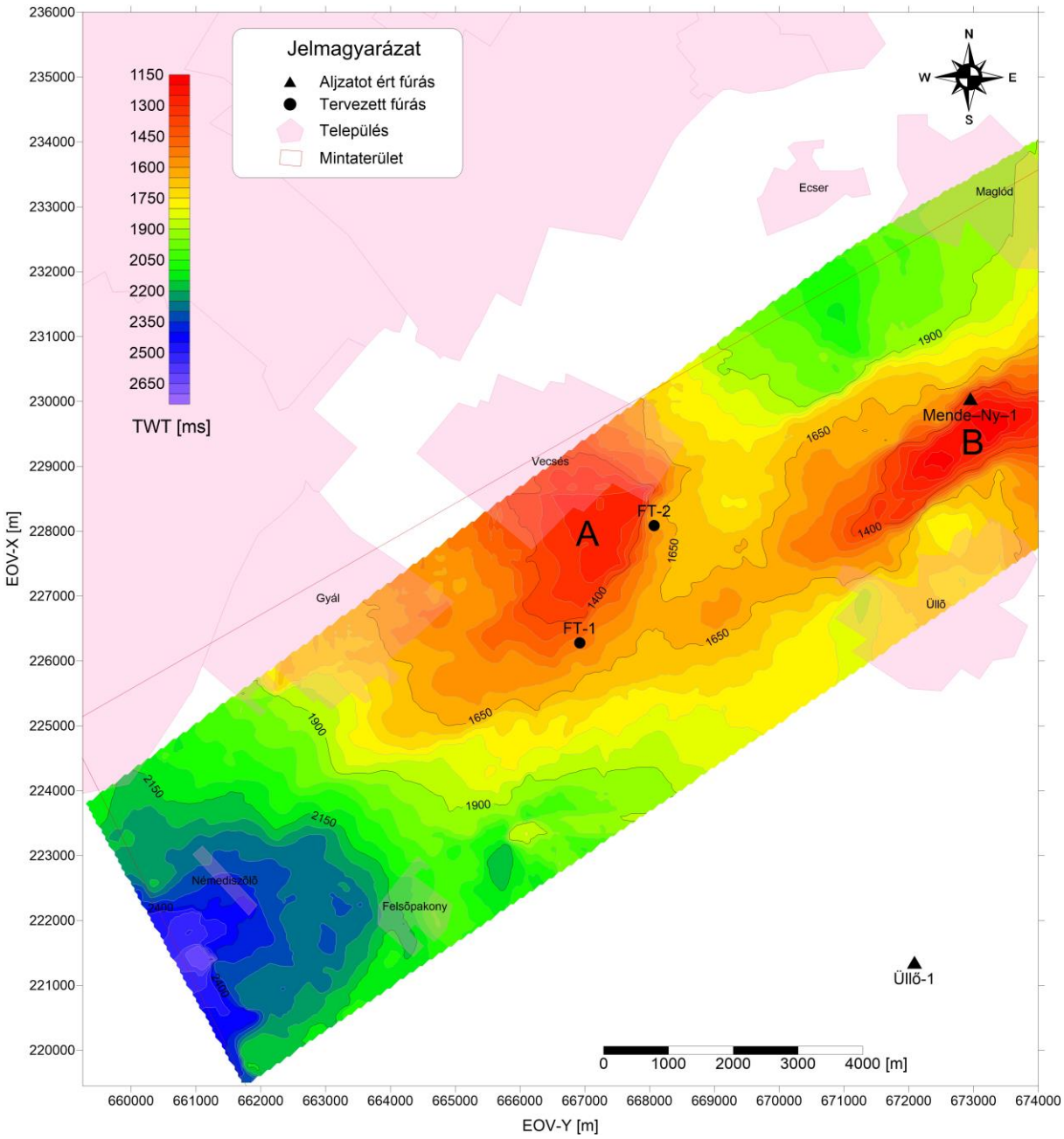
Elkészítettük az IS-12 szelvény nyomvonala menti 3D adattömb metszetet, a fenti aljzati kiemelkedés pontos térbeli helyzetének meghatározásához. A korábban bemutatott (13. ábra) IS-12 2D szelvény és ennek nyomvonala mentén leválogatott metszet (23. ábra) hasonló képet mutat, viszont a 3D adattömb segítségével térképezhetővé válik az aljzati kiemelkedés.



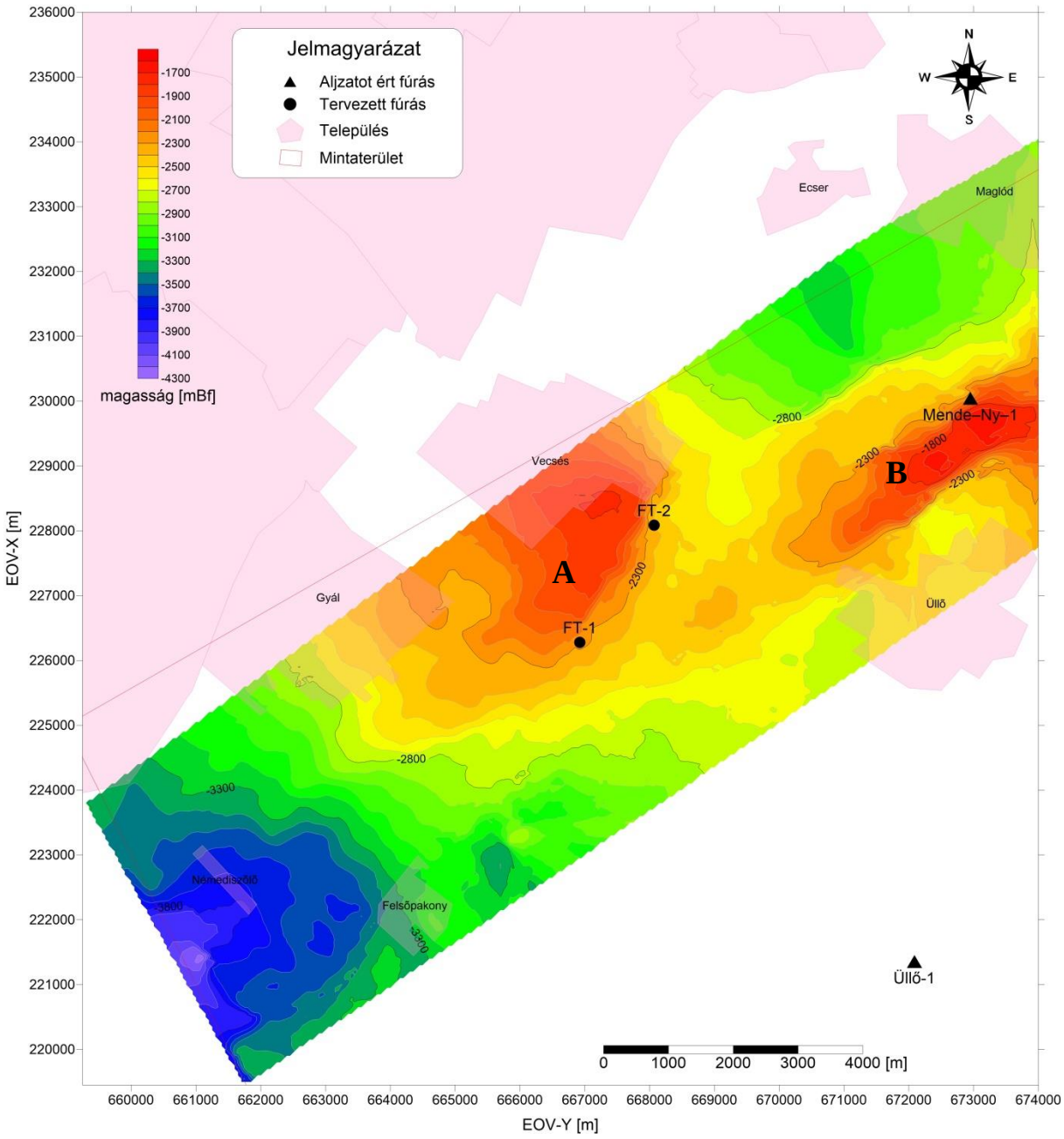
23. ábra A Monor 3D tömb IS-12 szelvény irányának megfelelő 2D metszete

Jelmagyarázat: sötétlila: prekainozoos aljzat felszín, sárga: pannon fekü, függőleges/közel függőleges vonalak: korrelált vetők

A mintaterületen belül a DNy-ÉK-i irányban húzódó Balaton-Tóalmás törészóna északi oldalán a pretercier korú medencealjzat két helyen is kiemelt helyzetben található és záródó szerkezetet alkot a fiatalabb üledékekkel fedve (24. ábra 25. ábra A és B szerkezet). A keletebbre lévő szerkezetet (B) a Mende. Ny-1-es – szénhidrogénre meddőnek minősített – fúrással feltárták 1994-ben, még a Monor 3D szeizmikus mérés kivitelezése előtt. A másik, Vecsés közelében húzódó kiemelt aljzati rög (A) DK-i oldalát normál vetők határolják. A felvevő piachoz közelebbi helyzete miatt a tervezett kutak kijelölésekor ezt a helyet preferáltuk.



24. ábra A prekainozoos aljzati képződmények térképe kétszeres futási időben a tervezett kútpár helyének megjelölésével



25. ábra A prekainozoos aljzati képződmények tengerszinthez képesti mélysége a tervezett kútpár helyének megjelölésével

A tervezett fúrások (FT-1 és FT-2) talppontjait a triász korú, karbonátos anyagú kiemelt rög DK-i oldalán húzódó, tektonikailag erősen igénybe vett zóna mentén jelöltük ki (6. táblázat). A tektonikai zóna mélybeli részén a jelentős elvetési magasságú (200-300 m) normálvető közvetlen környezetéből remélhető, hogy a kellő hozamú és hőmérsékletű víztermelés megvalósítható legyen. A tervezett fúrások esetében 45 °C/km-es geotermikus gradienssel számolva, kb. 122 °C-os talphőmérséklet becsülhető ~2400 m-es mélységben (6. táblázat). A hasonló reflexiós jellege alapján feltételezhetően azonos geológiai egységet feltáró, a keletebbi kiemelkedés tetőpontját elérő Mende. Ny-1 fúrás mélyítése során az aljzati képződmények elérésekor teljes iszapveszteséget tapasztaltak. Az aljzati rész olajipari jellegű rétegvizsgálata során jelentős rétegvíz beáramlást tapasztaltak az adott vizsgálati körülmények között. A fentiek is alátámasztják, hogy kedvező adottságú vízadó réteget várhatunk a

tervezett fúrások környezetében. A normálvető nyitott, hasadékos, kavernás gyökérzónájából, a medencealjzat belsejéből feláramló termálvíz hőmérséklete kedvező esetben jelentősen meghaladhatja a talpponti kőzethőmérsékletet, így tovább javíthatja a hőtermelés gazdaságossági mutatóit.

Az általunk kijelölt termálvíz kutató fúrások talppontjai a két különböző jellegű víztestet elválasztó – Balaton-Tóalmás vonalhoz kapcsolódó – zóna közvetlen közelében találhatók. Ha a két zónában lévő különböző hőmérsékletű és vegyi összetételű víz kölcsönhatásba kerül, akkor agresszívvá válhatnak az aljzatot alkotó karbonátos kőzetekkel szemben. Az erős oldó hatást kiváltó un. keveredési korrózió következtében jelentős méretű üregek alakulhatnak ki a találkozási zónában, ami növeli a kőzettest másodlagos porozitását és áteresztőképességét is.

6. táblázat A tervezett fúrások koordinátái és mélységei

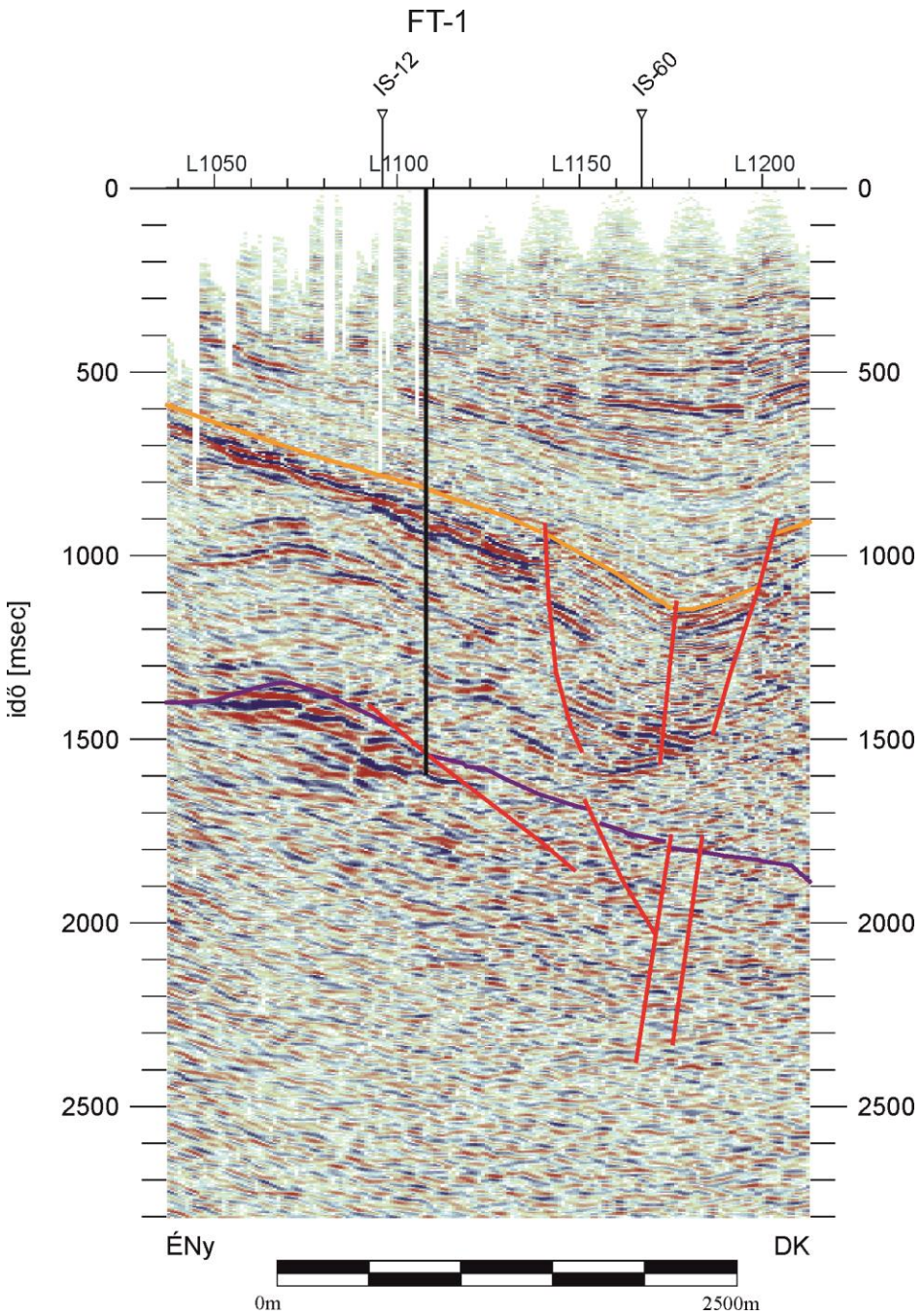
név	EOV-Y [m]	EOV-X [m]	magasság [mBf]	talppont mélysége [mBf]	fúrásmélység [m]
FT-1	666924	226280	113	-2320	2433
FT-2	668069	228087	113	-2370	2483

A nyitott vetők illetve a törési csomópontok közelébe telepített fúrásokból remélhető a legmagasabb hozamú vízkitermelés. A karsztvíz-veszélyes szénbányák jelentős vízbetöréseinek tapasztalatai is megerősítik a fenti megfigyelést. A tervezett fúrások esetében az eddigi gyakorlati tapasztalatok és a kialakított tektonikai és hidrogeológiai modell értékelése alapján akár 50 l/sec tömegáram is elérhető, ami a gazdaságos fűtési célú üzemeltetést lehetővé teszi. Ennek szükséges előfeltétele a fúráspontok optimális helyének megválasztása, és a modern lyukserkentési technológiák alkalmazása.

A két kijelölt fúrás talppontjainak távolsága 2140 m, amelyek lemélyítése irányított ferdefúrási technológiát alkalmazva egy telephelyről is kivitelezhető. Az első kút lefúrását követően, a próba-termeltetési tapasztalatok alapján kerülhet módosításra a második fúrás talppontja. Így érhető el, hogy a visszasajtolásból származó hűtőhatás ne érvényesüljön valamint a termelő kút esetében az optimális víztározó nyomás biztosítva legyen.

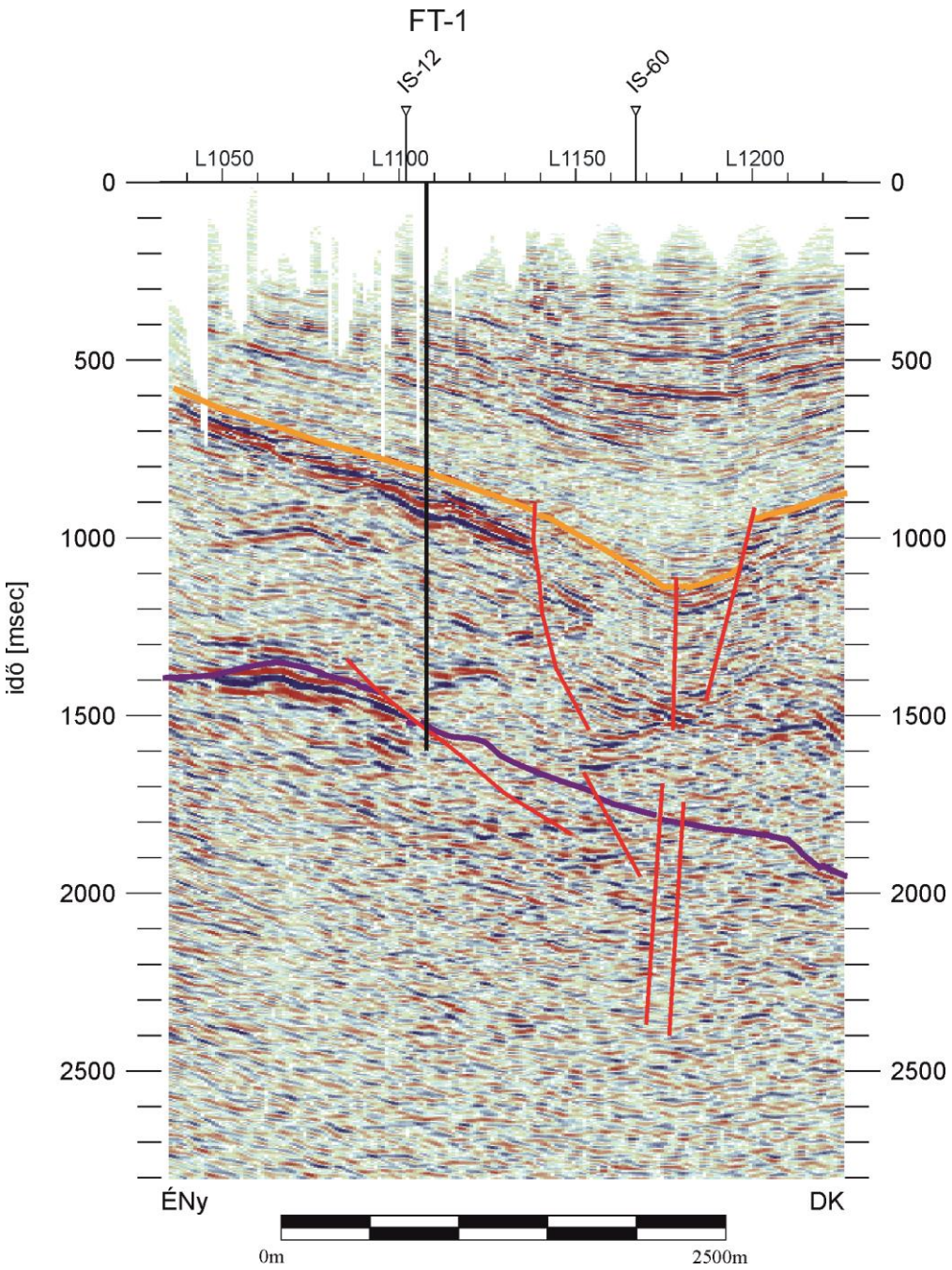
A hazai, kedvező adottságú, jó kitermelési mutatókkal rendelkező karsztos tárolók esetében a visszasajtolás paraméterei kedvezőek, így gazdaságosan működő injektálás várható a visszasajtolási üzemmódban.

A fúrások talppontjai a prekainozoos aljzat töréses, erősen karsztosodott zónáját kell, hogy elérjék. A tervezett fúráspontok (talppontok) optimális elhelyezését a 3D szeizmikus adattömb ÉNy-DK-i irányú (crossline) 2D időmetszetei alapján végeztük el. Mindkét fúráspont esetében bemutatjuk a talpponton áthaladó és a szomszédos 100 m-re lévő párhuzamos szelvényeket is (26. ábra, 27. ábra, 28. ábra, 29. ábra, 30. ábra, 31. ábra).



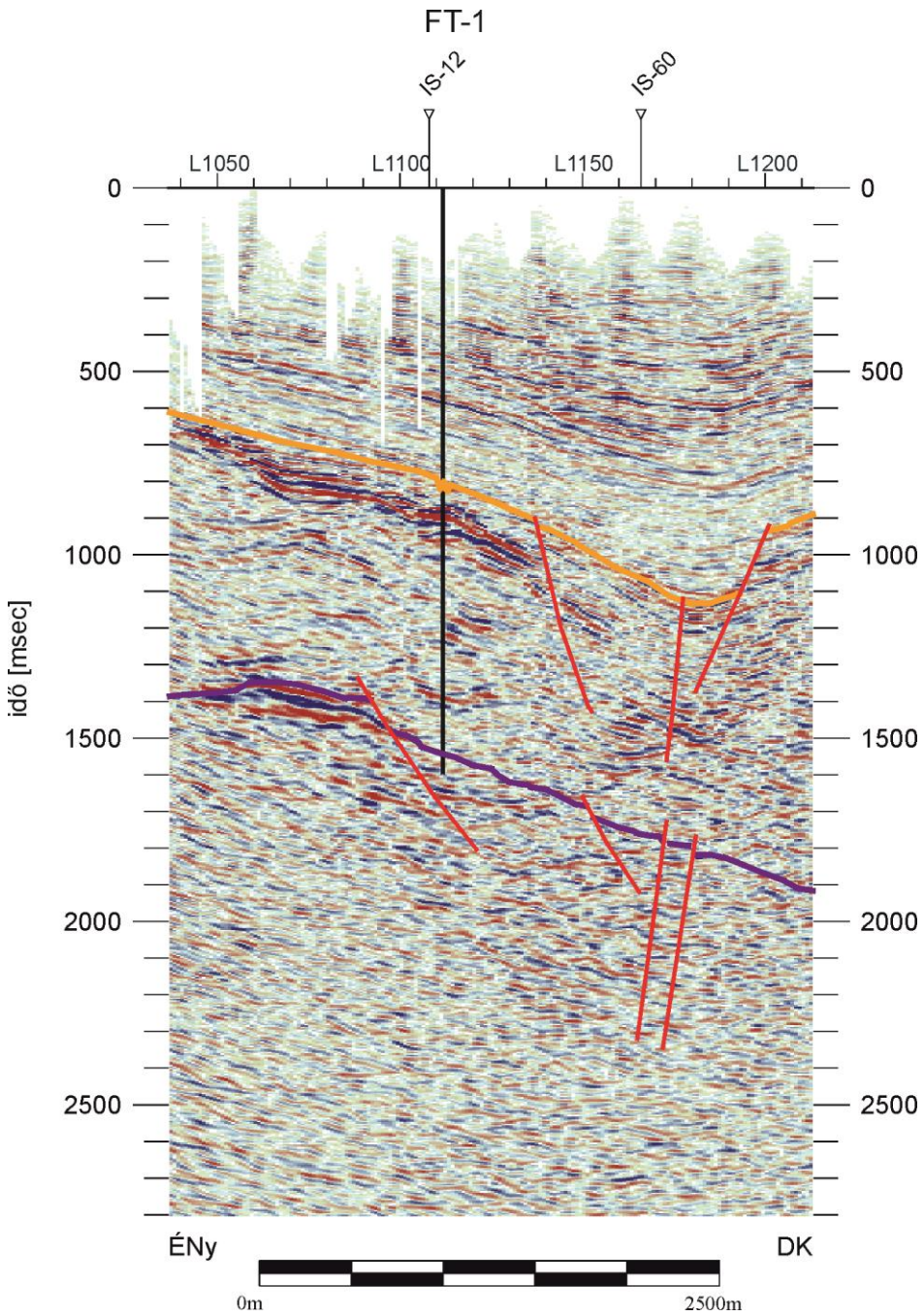
26. ábra Az FT-1-es fúrástól 100 m-re DNY-ra lévő 896-es crossline szelvény

Jelmagyarázat: sötétlila: prekainozoos aljzat felszín, sárga: pannon fekü, függőleges/közel függőleges vonalak: korrelált vetők



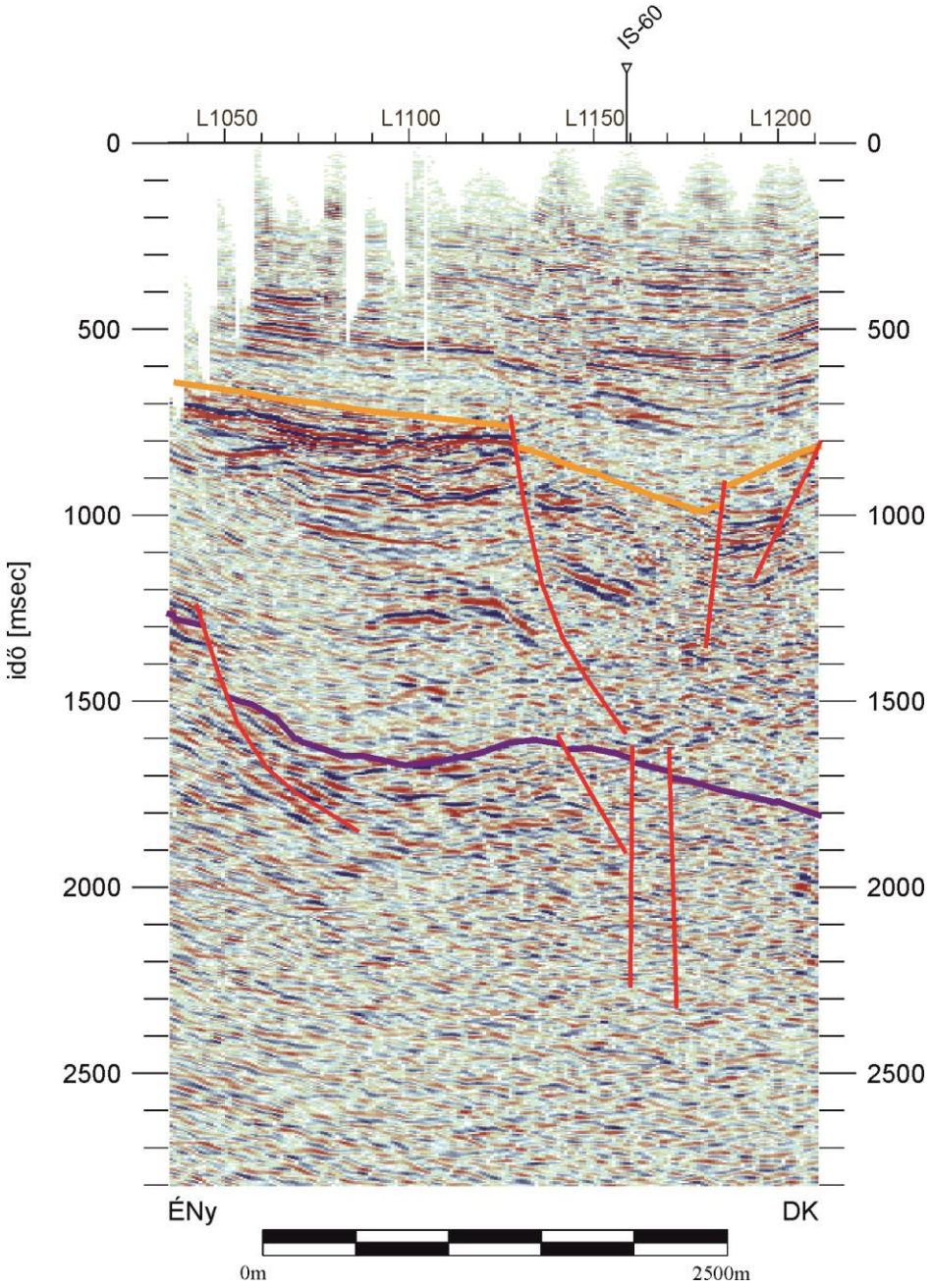
27. ábra Az FT-1-es fúráson áthaladó 901-es crossline szelvény

Jelmagyarázat: sötétlila: prekainozoos aljzat felszín, sárga: pannon fekü, függőleges/közel függőleges vonalak: korrelált vetők



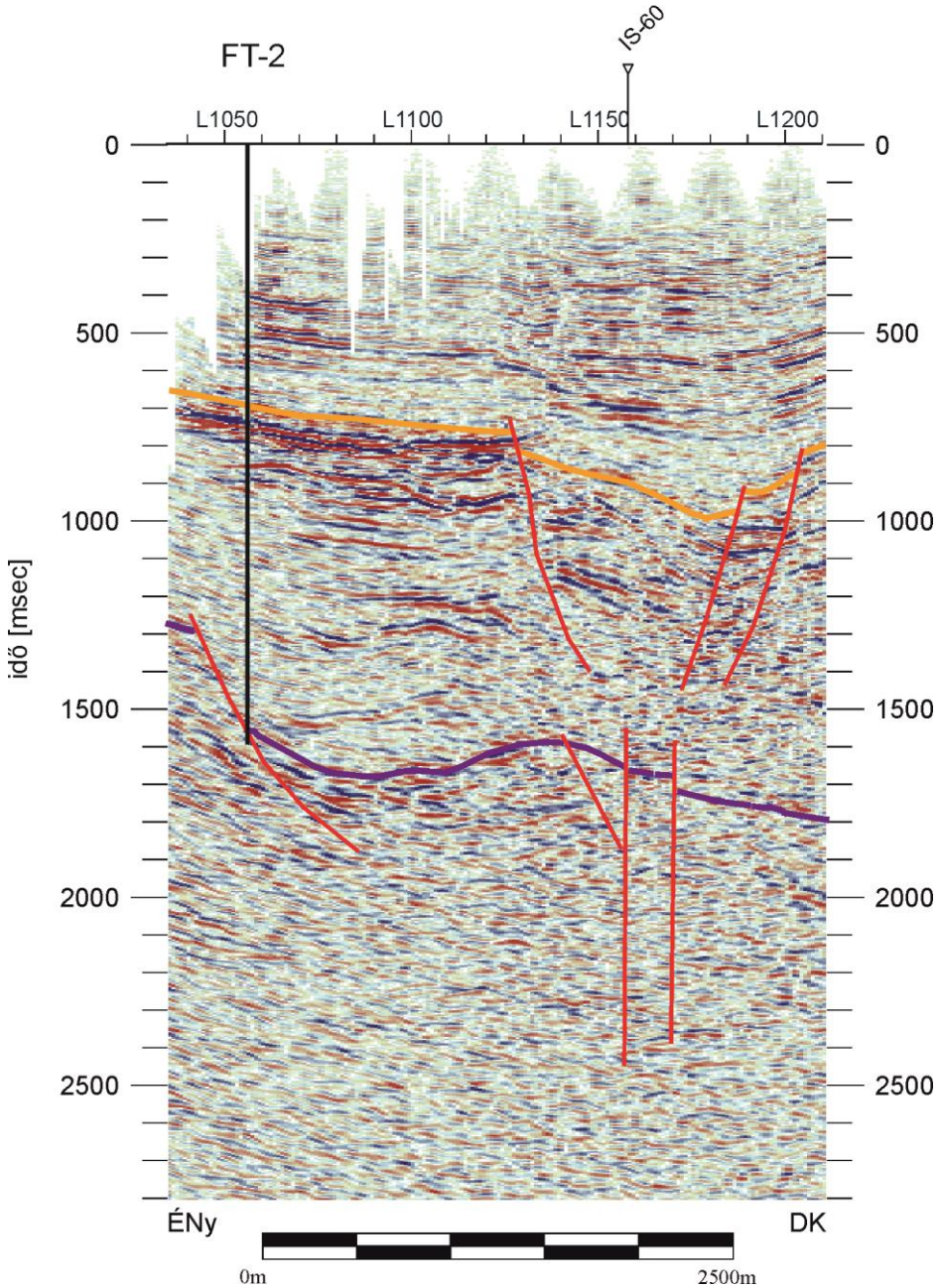
28. ábra Az FT-1-es fúrástól 100 m-re, ÉK-re lévő 906-os crossline szelvény

Jelmagyarázat: sötétlila: prekainozoos aljzat felszín, sárga: pannon fekü, függőleges/közel függőleges vonalak: korrelált vetők



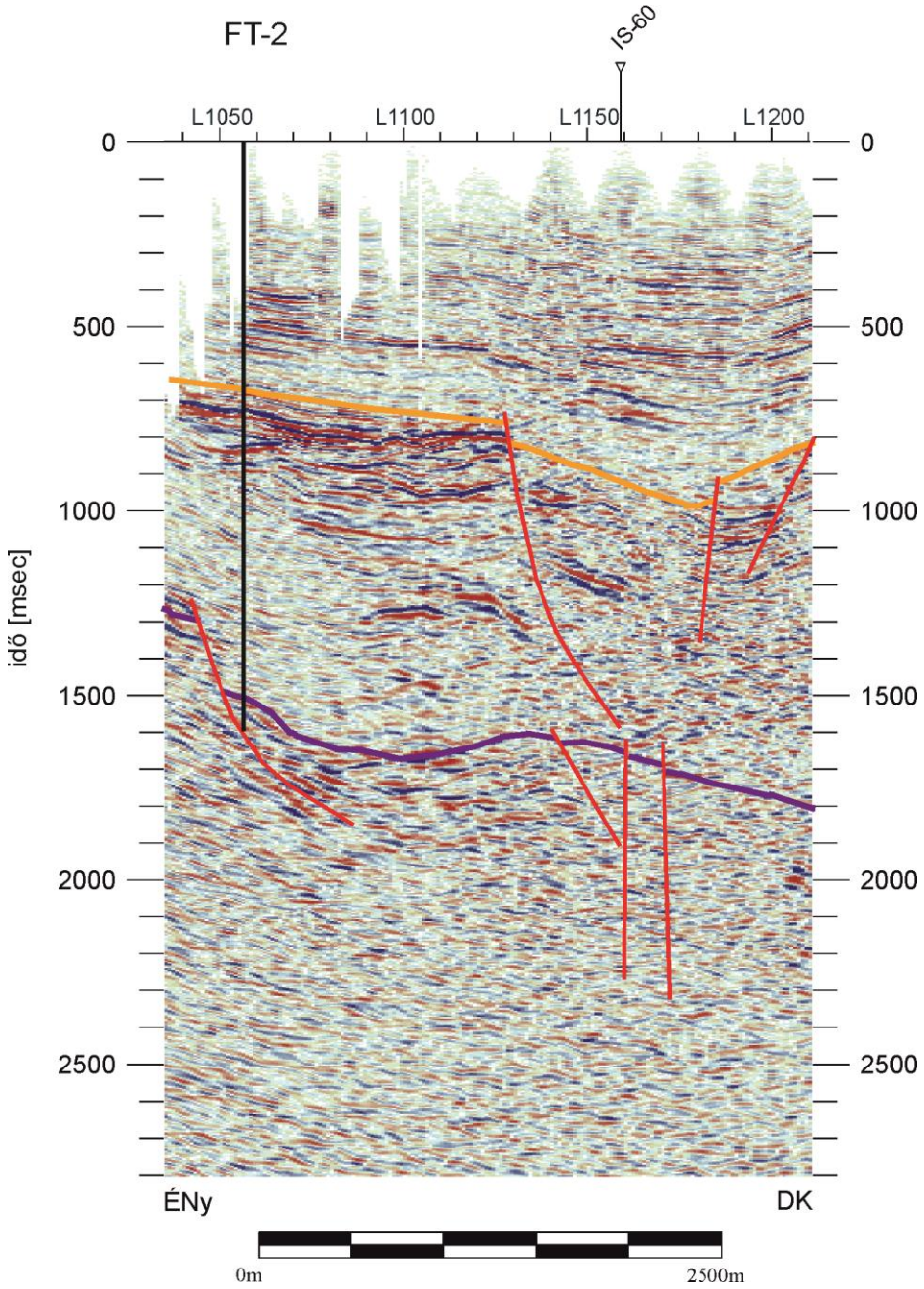
29. ábra Az FT-2-es fúrástól 100 m-re, DNy-ra lévő 990-es crossline szelvény

Jelmagyarázat: sötétlila: prekainozoos aljzat felszín, sárga: pannon fekü, függőleges/közel függőleges vonalak: korrelált vetők



30. ábra Az FT-2-es fúráson áthaladó 995-ös crossline szelvény

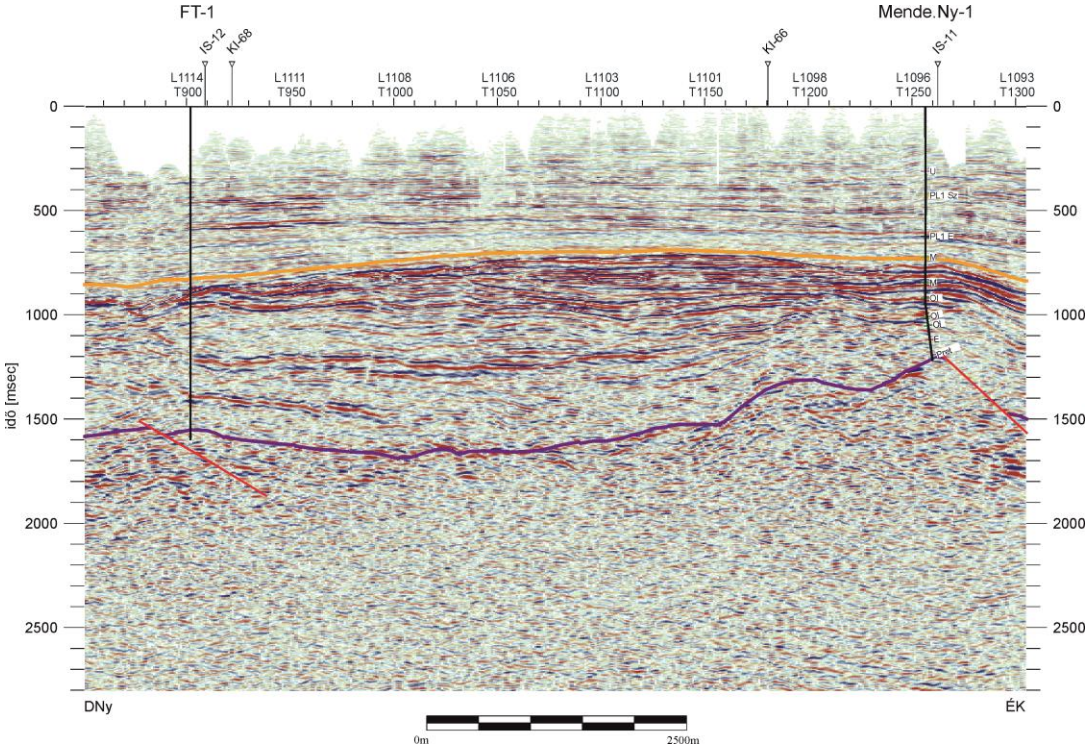
Jelmagyarázat: sötétlila: prekainozoos aljzat felszín, sárga: pannon fekü, függőleges/közel függőleges vonalak: korrelált vetők



31. ábra Az FT-2-es fúrástól 100 m-re, ÉK-re lévő 1000-es crossline szelvény

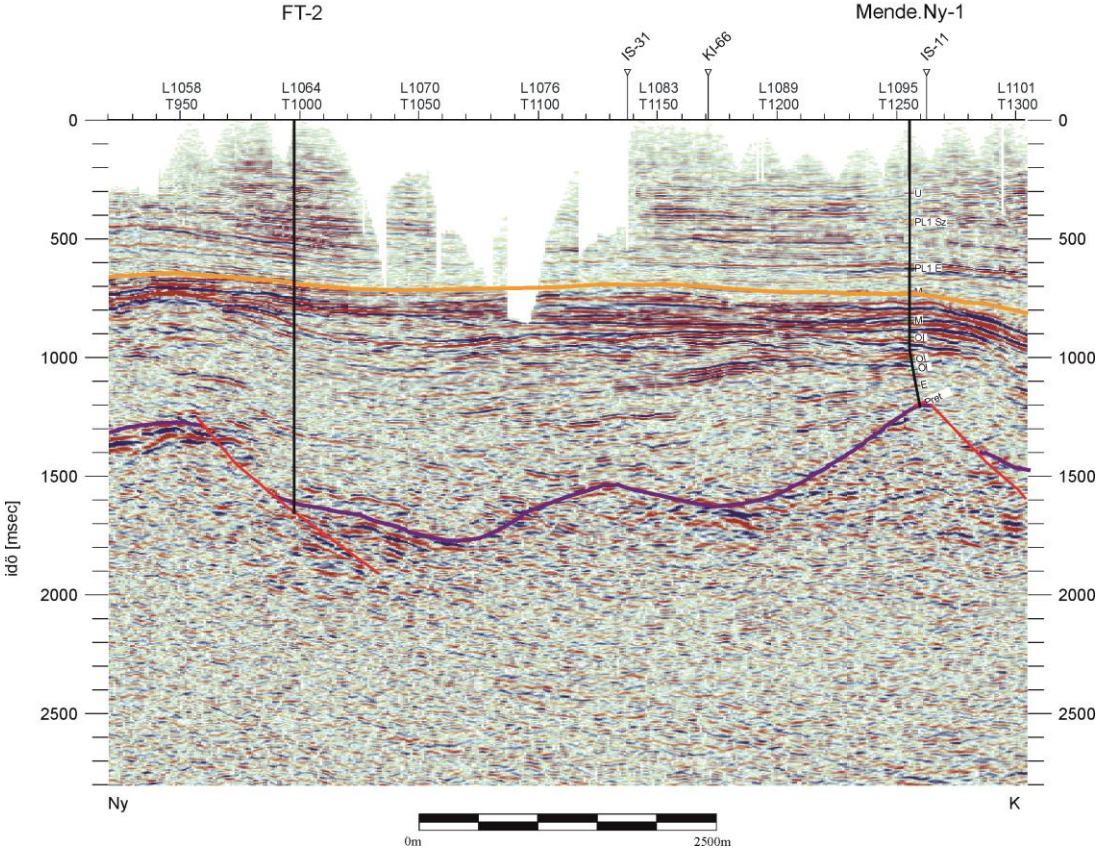
Jelmagyarázat: sötétlila: prekainozoos aljzat felszín, sárga: pannon fekü, függőleges/közel függőleges vonalak: korrelált vetők

A tervezett fúrásoktól kb. 6 km-re található a Mende. Ny-1 fúrást használtuk fel arra, hogy a 3D adattömb metszetei segítségével becslést készítsünk az új fúrások réteghatárairól. Ennek illusztrálására bemutatjuk az FT-1, FT-2 fúrások talppontjain áthaladó metszeteket a Mende. Ny-1 fúrás talppontjáig (32. ábra, 33. ábra, 34. ábra).



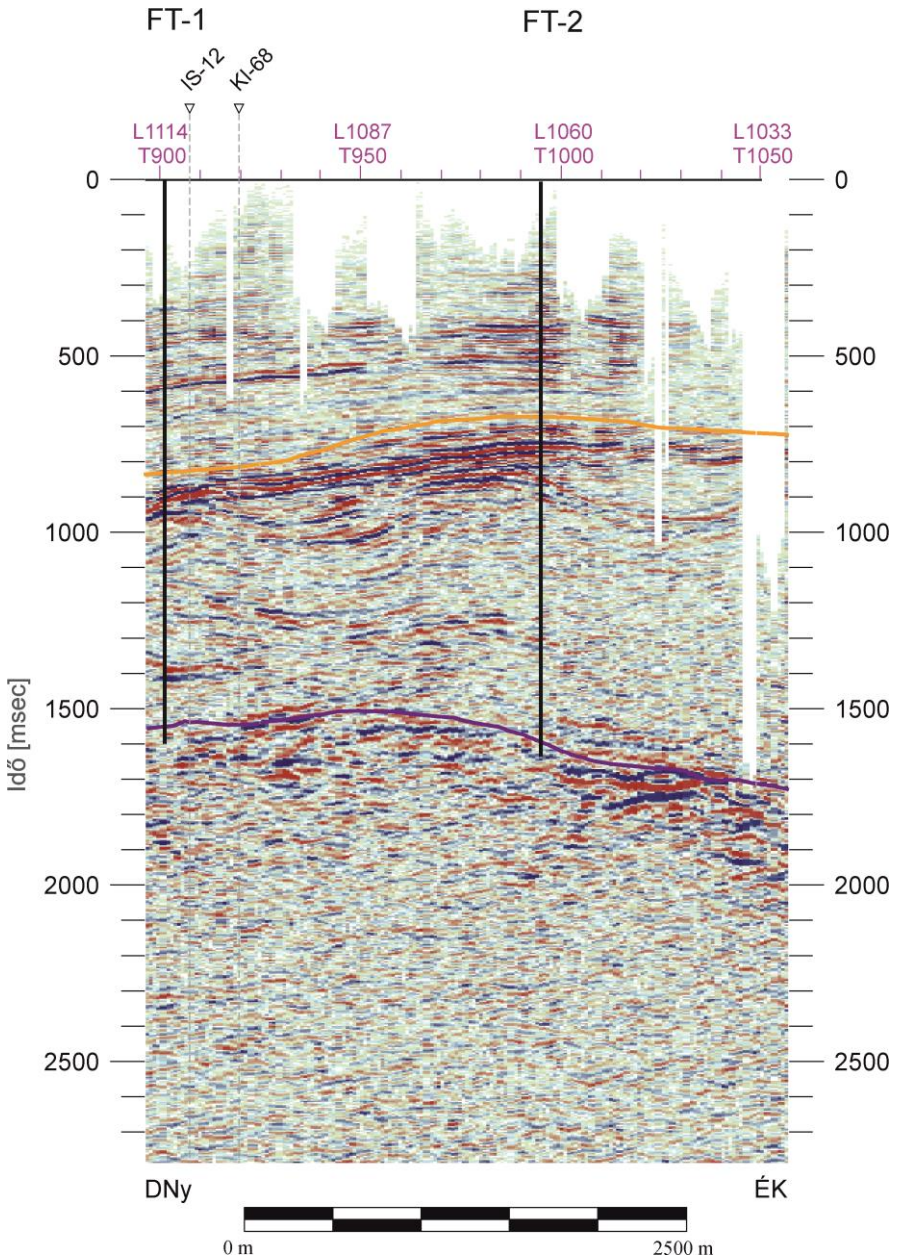
32. ábra Az FT-1 és a Mende. Ny-1 fúrást összekötő időmetszet

Jelmagyarázat: sötétlila: prekainozoos aljzat felszín, sárga: pannon fekü, függőleges/közel függőleges vonalak: korrelált vetők



33. ábra Az FT-2 és a Mende. Ny-1 fúrást összekötő időmetszet

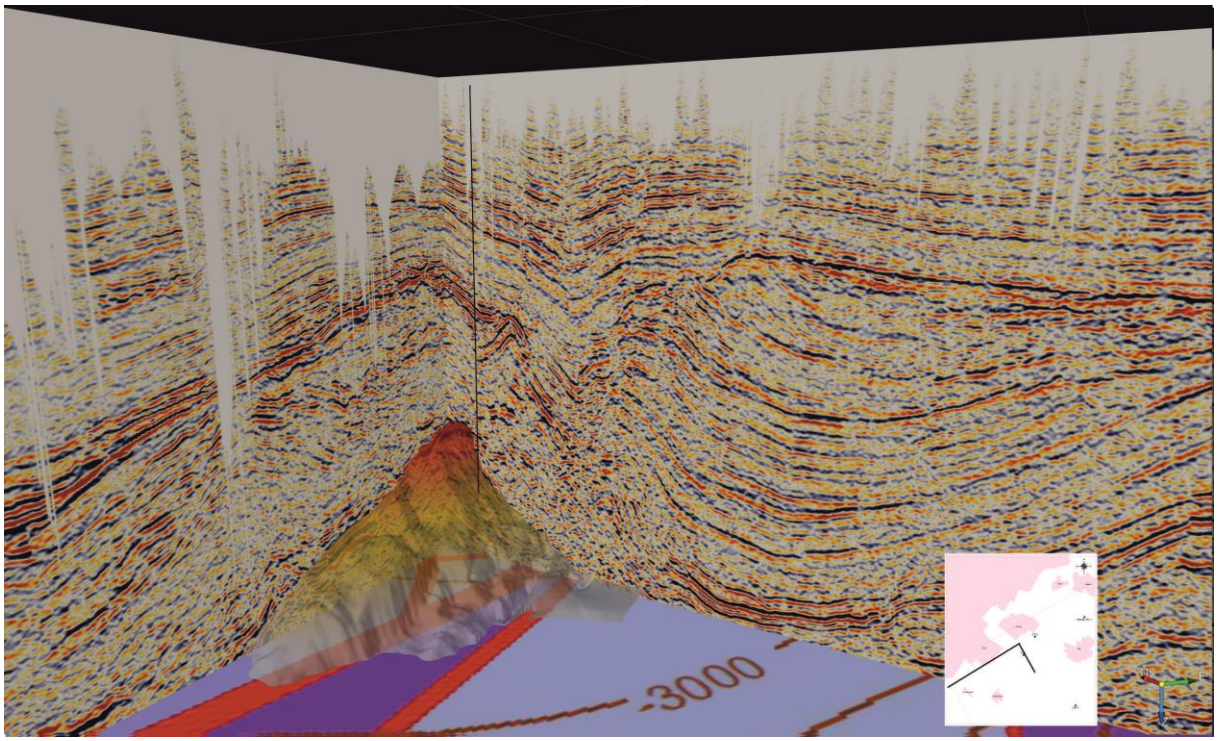
Jelmagyarázat: sötétlila: prekainozoos aljzat felszín, sárga: pannon fekü, függőleges/közel függőleges vonalak: korrelált vetők



34. ábra Az FT-1 és FT-2 tervezett fúrásokat összekötő időmetszet

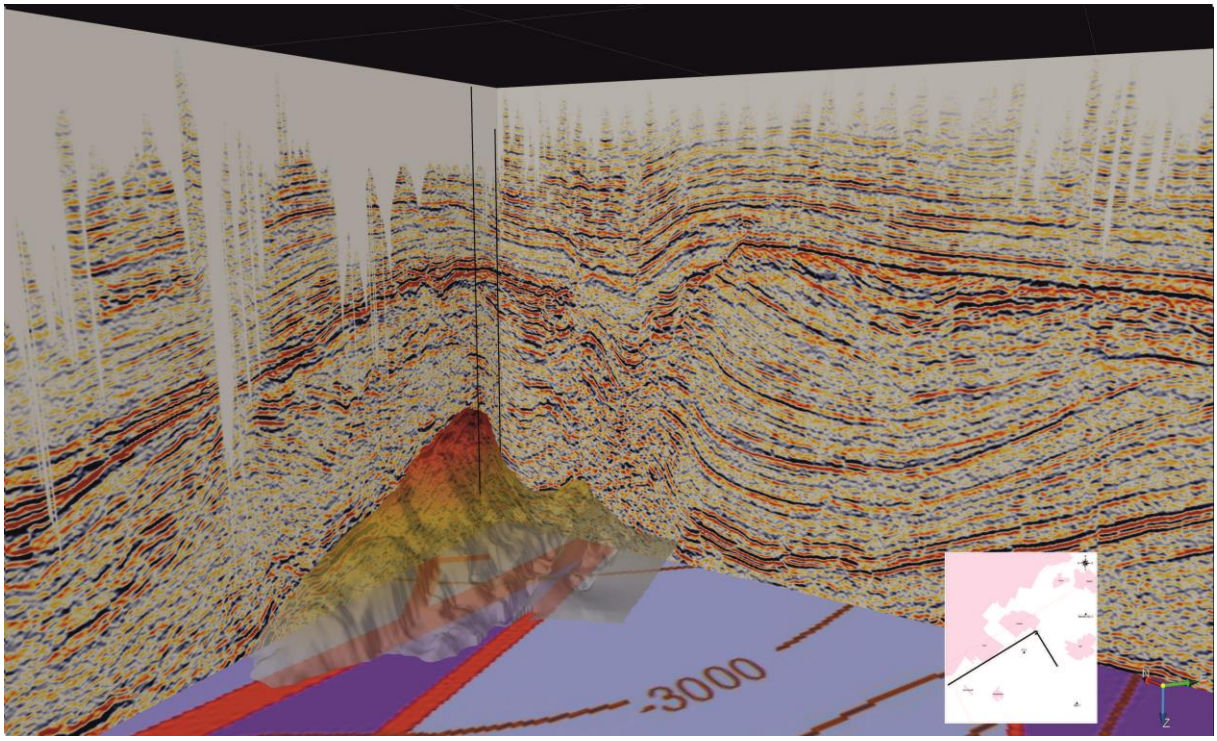
Jelmagyarázat: sötétlila: prekainozoos aljzat felszín, sárga: pannon fekü, függőleges/közel függőleges vonalak: korrelált vetők

A 3D adattömb ÉNy-DK-i (crossline) és a rá merőleges DNy-ÉK-i (inline) irányú időszelvényei, a prekainozoos medencealjzat és a fúrások felhasználásával készített axonometrikus ábrákon mutatjuk be a Balaton-Tóalmás vonal környezetének szerkezeti képét (35. ábra, 36. ábra, 37. ábra).



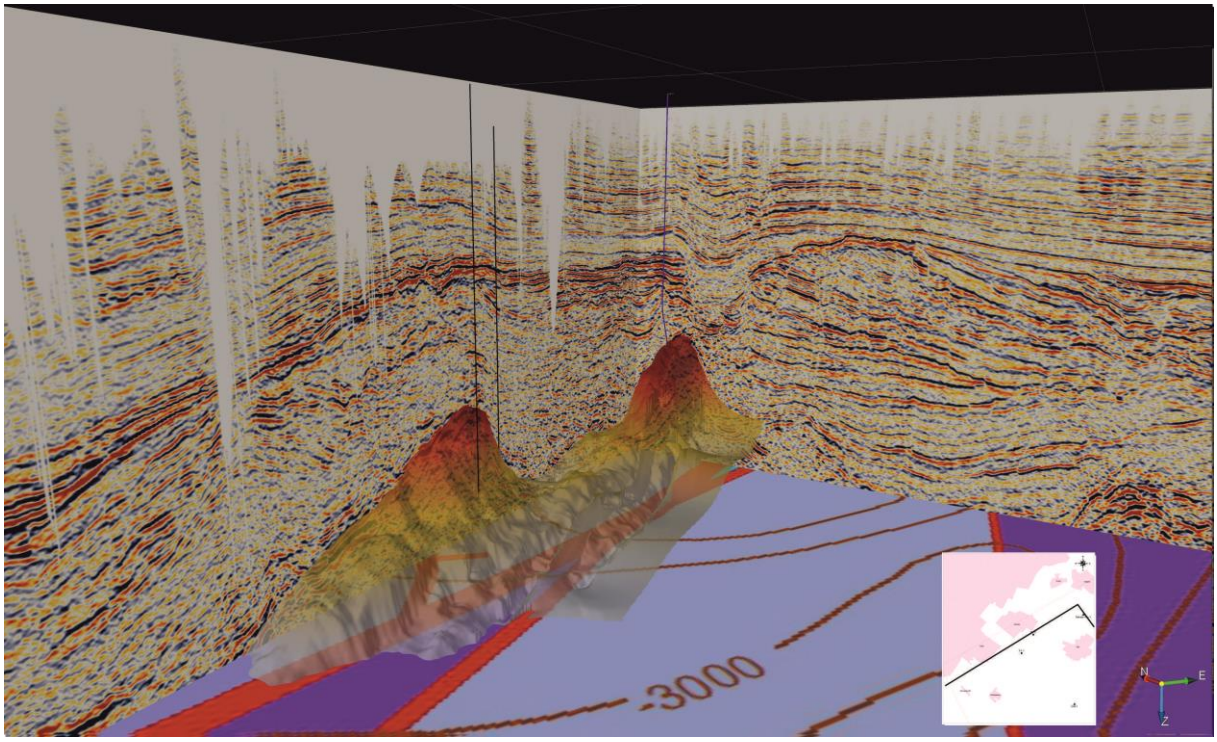
35. ábra A FT-1-es fúrás, a prekainozoos medencealjzat és a 3D adattömb 1055-ös inline és 927-es crossline időszelvényeinek axonometrikus képe DDNy-i irányból nézve

Az ábra alaplapján a prekainozoos medencealjzat képződményeinek térképe látható ([15] HAAS et al. 2010 kivágata)



36. ábra A FT-1, FT-2-es fúrások, a prekainozoos medencealjzat és a 3D adattömb 1055-ös inline és 1000-es crossline időszelvényeinek axonometrikus képe DDNy-i irányból nézve

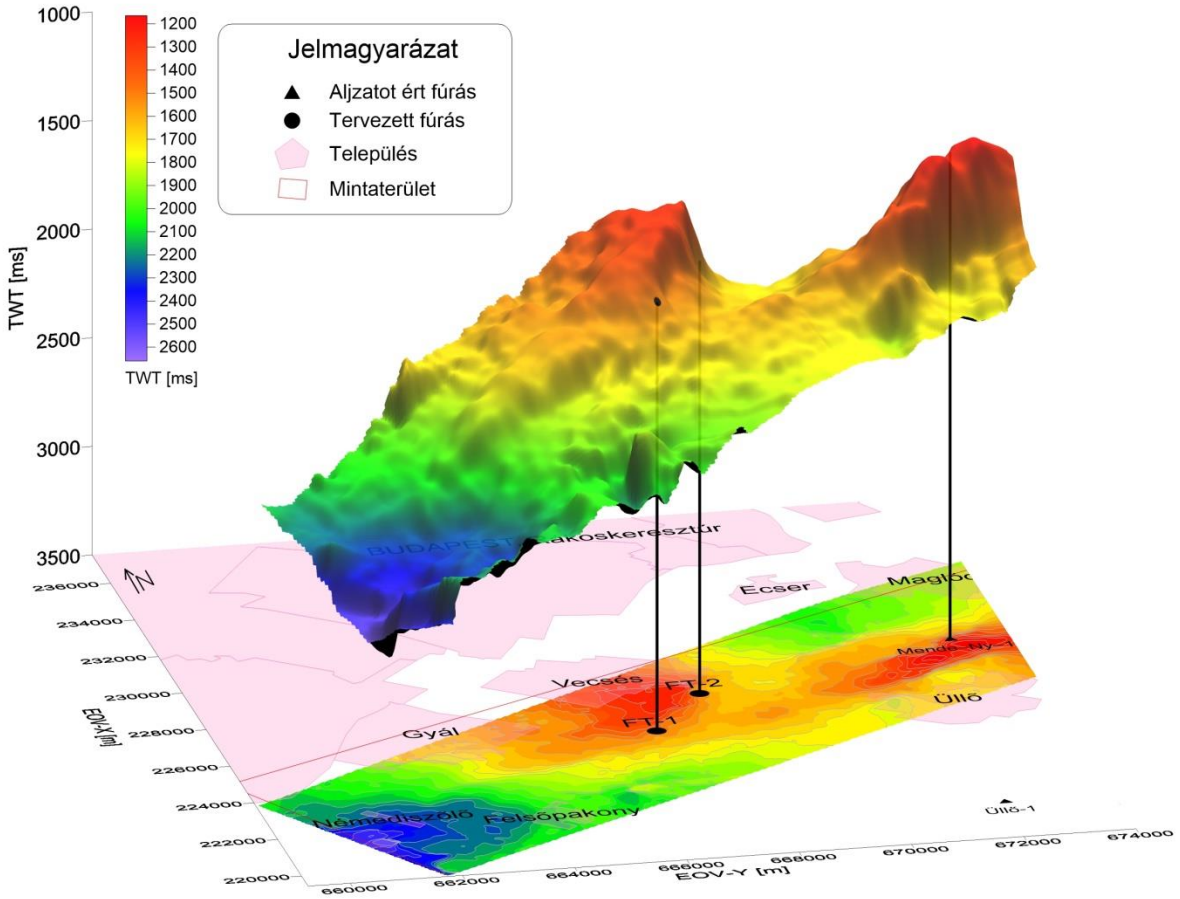
Az ábra alaplapján a prekainozoos medencealjzat képződményeinek térképe látható ([15] HAAS et al. 2010 kivágata)



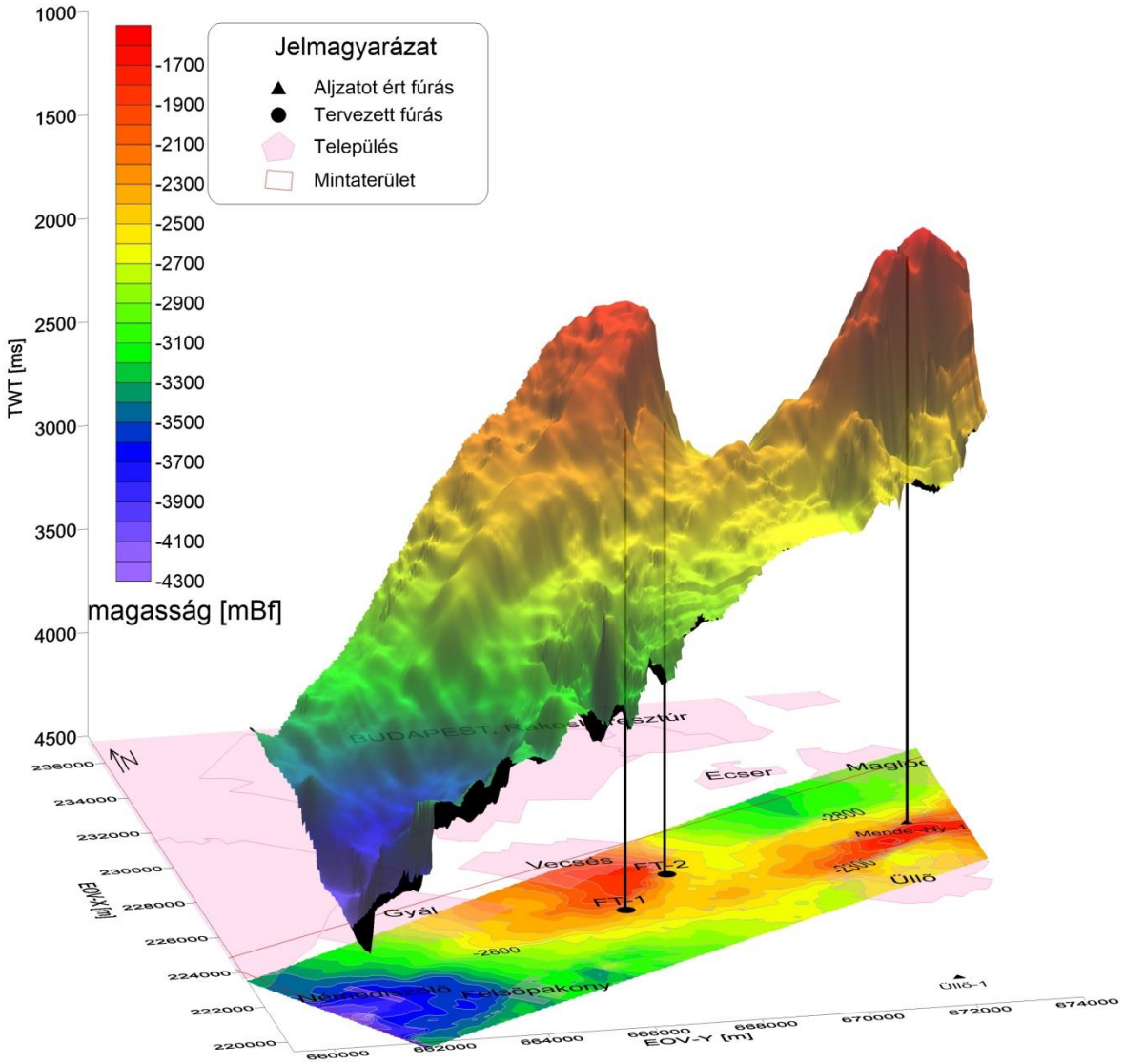
37. ábra A FT-1, FT-2, Mende. Ny-1-es fúrások, a prekainozoos medencealjzat és a 3D adattömb 1055-ös inline és 1259-es crossline időszelvényeinek axonometrikus képe DDNy-i irányból nézve

Az ábra alaplapján a prekainozoos medencealjzat képződményeinek térképe látható ([15] HAAS et al. 2010 kivágata)

Egy szeizmikus adattömb első két dimenziója a felszíni koordináták, míg a harmadik dimenziója az idő, mivel a felszínen gerjesztett hullámok időbeli beérkezéseit rögzítjük. Ennek eredményeképpen időszelvényeket kapunk, ahol az egyes szerkezetek mélységei a kőzetek hullámterjedési sebességeitől függnek. Az értelmezés során sebesség-mélység függvény becslésével kell átszámítani a kapott időértékeket mélységbe. Ehhez szükséges a mélyfúrásokban végzett ún. vertikális szeizmikus szelvényezés (VSP mérés), amely az adott pontban megadja a pontos idő-mélység összefüggést. A mélyfúrások száma és a VSP mérések mennyisége limitált – térbeli eloszlásuk sem egyenletes – ezért a mélységátszámítás becslésen alapul. A területen lévő VSP mérések felhasználásával elkészítettük a prekainozoos képződmények mélységtérképét is, amit mindig a közvetlenül meghatározott időtérképpel együtt mutatunk be (24. ábra, 25. ábra, 38. ábra, 39. ábra).



38. ábra A prekainozoos aljzati képződmények mélysége kétszeres futási időben



39. ábra A prekainozoos aljzati képződmények tengerszinthez képesti mélysége

Rezervoár lehatárolás

A vizsgálati területen 88 db 30 °C-os vagy annál melegebb kifolyó vizet adó termelő, illetve visszasajtoló kút mélyült, melyek a kt.1.3 termálkarszt, illetve a pt.1.2 porózus termál víztestre szűrőzöttek (6. ábra) és a mezozoós aljzatot (felső-triász), illetve a felső-pannóniai összleteket csapolják. A szűrőzési mélység egy esetben sem haladja meg a 2500 m-t. Geotermikus/távfűtési célra hasznosítható nagy mennyiségű és 80°C-nál magasabb hőmérsékletű víz csak az aljzati rezervoárból várható.

A mintaterülethez legközelebbi, aljzati rezervoárból termelő termálkutak – a főváros területére eső csepeli hévízkutak (B-10, B-19, B-137), illetve a Városliget és Zugló termálkútjai (B-13, B-21 és B-24) – a Budapest környéki termálkarszt rendszert tárják fel. A mintaterület közvetlen közelében fiatal pannóniai vízadót szűrőző termálkutak létesültek (Pécel K-48, Monor K-209, K-248, K-255, és Bénye B-4) 30-50 °C-os kifolyó víz hőmérsékletekkel. A mintaterületen belül csak a szénhidrogén-kutatófúrások érték el az aljzati tárolót. Ezek rétegvizsgálatai és vízanalitikai elemzései adhatnak támpontot a potenciális rezervoár hidrológiai tulajdonságainak meghatározására. Ahogy azt az Alaphegységi rezervoárok c. fejezetben bemutattuk, jelentős határvonalat képvisel hidrogeológiai szempontból is a Balaton-Tóalmás vonal, feltételezhetően itt húzható meg a Budapest környéki termálkarszt határa.

A lehetséges fúráspontokhoz legközelebbi Mende. Ny-1 fúrás részletes vizsgálata is azt támasztja alá, hogy a tervezett fúrással elérendő rezervoár a termálkarszt része. A Mende. Ny-1 fúrás aljzati karsztos rétegeiben végzett rétegvizsgálatok - a karsztos üregek jelenlétére utaló nagymértékű iszapveszteségen túl – jelentős rétegvíz beáramlásról tanúskodnak. A rétegvizek viszonylag kis oldott anyag tartalma (3150-4500 mg/l) intenzív áramlást feltételez a fúrás környezetében. A fúrás karotázsgörbéinek ellenállás-értékei szintén a tárolt fluidum alacsony oldott anyag tartalmára utalnak a triász tárolóban. A karotázs értelmezés arra is rámutat, hogy a miocén rétegek ezzel szemben nagyobb sótartalmú vizekkel jellemezhetők, de a valószínűsíthető, hogy ezen a helyen a két vízrendszer nem keveredik egymással.

A hosszútávú földtani kockázat becslés szempontjait is szem előtt tartva a továbbiakban a Budapest környéki termálkarszt víztestre vonatkozóan részletesebb áttekintést teszünk.

Budapest környéki termálkarszt

A termálkarszt víztest (kt. 1.3.) a Dunántúli-középhegység felszín alatti vízrendszerébe illeszkedik, a Főkarsztvíztározó rendszer része. A víztest nyugati, Dunántúli-középhegységi – Budai-források vízgyűjtője (k.1.3.) víztesttel érintkező határvonala a legbonyolultabb (6. ábra), nem is köthető geológiai határvonalakhoz. A délkeleti és délnyugati határa kapcsolható olyan tektonikai határzónához, amely egyben hidrogeológiai határnak is megfeleltethető. Az északabbi, Visegrád-Veresegyház termálkarszt (kt. 1.4.) víztest felé történő elhatárolás részint önkényes, de a tektonikai határvonalaknak nagyrészt szintén megfeleltethető. A Budapest környéki termálkarszt bázisa nem ismert, de Dunántúli-középhegységi analógia alapján feltételezhető, hogy perm korú törmelékes kőzetek alkotják.

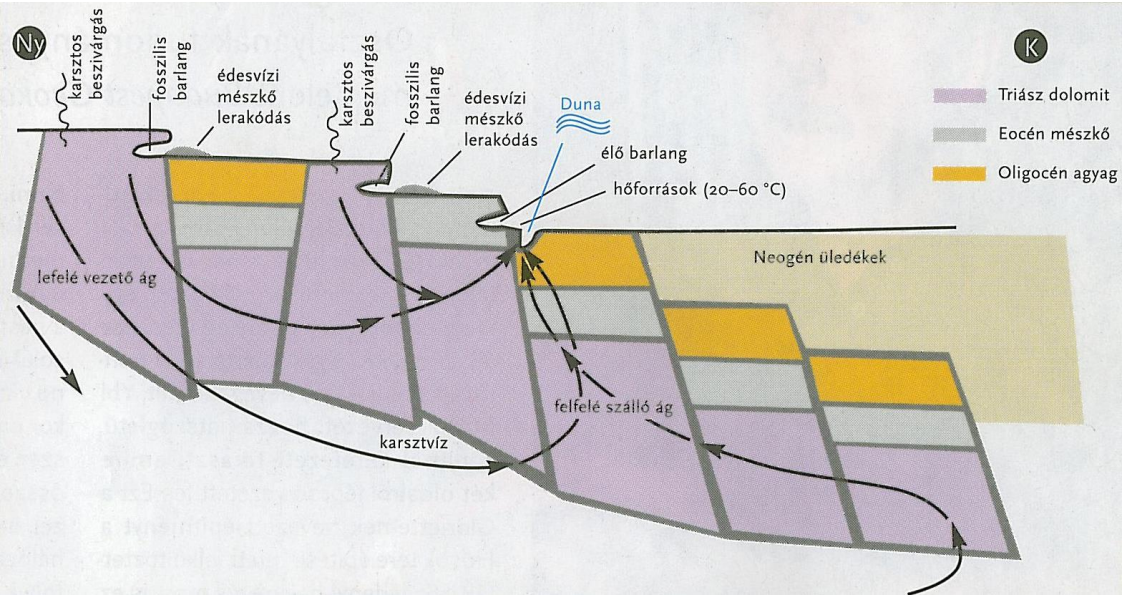
A budapesti termális kasztvizek a Budai-hegység, a Pilis és a Duna-balparti rögök karsztos felszínén keresztül beszivárgott csapadékvízből táplálkoznak. Továbbá keletre

topográfiailag magasabb helyzetben nem karsztos kőzetek is találhatóak, melyeknek a beszivárgáshoz való hozzájárulását [37] POYANMEHR (2013) vizsgálta. A főkarsztvíztároló megcsapolódási területe a szökevényforrásoktól eltekintve egyértelműen kijelölhető. A karsztrendszer regionális erózióbázisa a Duna. A megcsapolódás jellegzetessége, hogy erősen koncentrált, mivel a keveredési korrózió által is tágított, feltehetően tektonikailag preformált, jó vízvezető repedés és üregrendszerekhez kapcsolódik, és magas geotermikus gradiens kíséri ([31] LORBERER, 2002). A források eloszlásában egyértelmű tendencia figyelhető meg: északon csak langyos források, a Rózsadomb területén egymás mellett langyos, meleg és hévforrások, míg délen, a Gellért-hegy környezetében főként hévforrások találhatóak ([1] ALFÖLDI et al., 1968).

Budapest első hévízkútját 1866-ban létesítette Zsigmondy V. a Margitsziget É-i részén, azóta máig 70 db, 3,6 – 2001 m mélységű meleg, langyos és hideg vizű karsztkút és észlelőfúrás létesült a fővárosban, közülük jelenleg 25 db 35-70 °C-os hévízkút üzemel. A hévíztermelés tehát ma már főleg kutakból történik, amelyek erősen befolyásolják a karsztrendszer természetes megcsapolódását. A víztest feltártság szempontjából két részre osztható: egy kifejezetten jól feltárt nyugati és egy hidrogeológiai szempontból gyakorlatilag feltáratlan délkeleti területrészre. A délkeleti területrészen a kiemelt magasrög-szerkezetek is feltáratlanok hidrogeológiai szempontból (pl. Százhalombattán egy geotermikus rendszer kivitelezésére irányuló fúrás elérte a triász rétegeket, de nem tárta fel azokat, [32] LORBERER és LORBERER 2011). A víztestre vonatkozó ismereteink másik jellegzetessége, hogy az északi felén szinte csak termelőkutak találhatóak, míg a délebbi területen a termelőkutak nagy többségét sem használják már jó pár éve, vagy csak a lehetséges hozamuk töredéke van kihasználva. Pontos monitoring adatok viszont főként csak e két zóna határterületéről állnak a rendelkezésre, elsősorban a belvároson áthaladó új 4-es Metro-vonal környezetéről [32] LORBERER és LORBERER 2011).

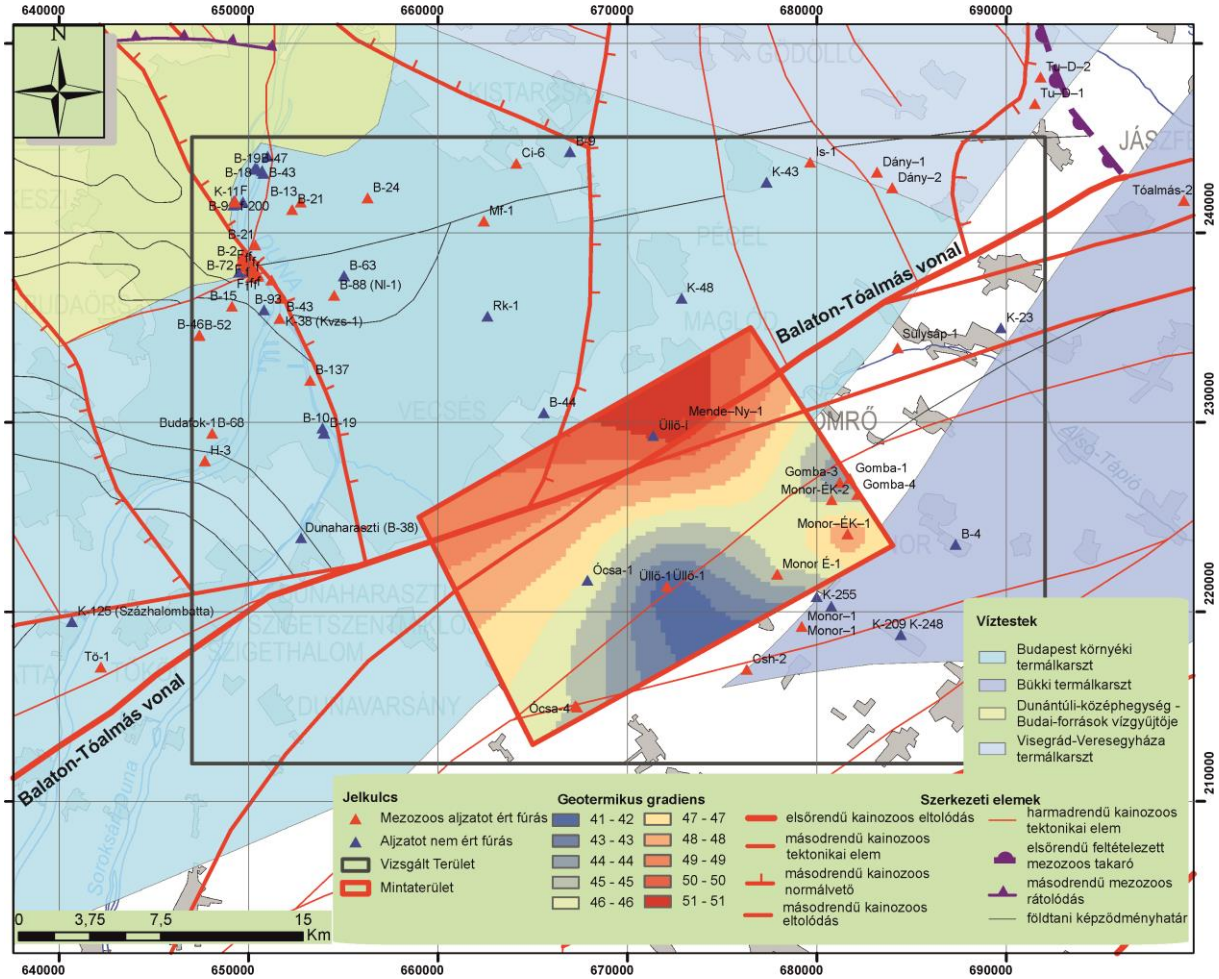
A források területi elterjedésének, valamint a kifolyó víz hőmérsékletbeli eltérésének az oka utánpótlódási területek eltérő kifejlődése, valamint a felszín alatti áramlás pályák különbözősége ([31] LORBERER 2002). A Dunántúli-középhegység karbonátos kőzetein keresztül beszivárgó vizek nagy mélységbe áramolva felmelegednek, majd termálvíz formájában jutnak újra a felszínre ([54] ZSIGMONDY 1878). A termálvíz feláramlása és megcsapolódása törési zónákhoz kapcsolódik ([50] VENDL és KISHÁZI 1964). A különböző mélységű és hőmérsékletű kutak a budapesti termálvizes területen egymástól távoli és eltérő áramlási pályán helyezkednek el és nagy tárolótereket képviselnek ([2] ALFÖLDI, KAPOLYI 2007) (40. ábra). Az áramlási pályák egyrészt lehetővé teszik a csapadékvíz nagyobb mélységbe történő lejutását, másrészt a vizet meghatározott zárt pályákra kényszerítik, mert az impermeábilis kőzetszakaszok elzárják a már leszivárgott víz felfelé való áramlásának útját, és továbbhaladásra kényszerítik mindaddig, amíg valamely meghatározott szerkezeti öv mentén a felszínre nem bukkanhatnak. Ennek a koncepciónak az értelmében a langyos és meleg vizeknek mind a beszivárgási területe, mind az áramlási útvonala elkülönülhet egymástól. Az utánpótlódási területeken beszivárgó csapadékvíz a forrásvonalakat megkerülve karéjos áramlással jut vissza a felszínre ([24] KOVÁCS ÉS MÜLLER 1980). A karéjosan mélybe áramló víz földalatti útja során a természetes földi hőáram hatására melegszik fel. A budapesti áramlási rendszer energiáját a felfűtés hatására bekövetkező sűrűség csökkenés (hőlift hatás) és a hegységbeli beszivárgás által fenntartott gravitációs

szintkülönbség szolgáltatja. Ezt az áramlási rendszertípust hidrodinamikus vezérlésű geotermikus áramlásnak ([24] KOVÁCS ÉS MÜLLER, 1980).



40. ábra A budapesti emeletes hévízrendszer elvi vázlata ([24] KOVÁCS ÉS MÜLLER 1980 ábrája alapján szerkesztette Tóth Gy.)

A mélybe áramló víz hőt von el a környezetéből és a feláramlás során ezt a hőt hévforrások formájában a felszínre juttatja. Ez a hőelvonás és hőhozzáadás a geotermikus gradiensben is érzékelhető területi különbségeket okoz ([29] LORBERER 1984, [31] LORBERER 2002). A területen lévő fúrások mélységi hőmérsékleteit vizsgálva – és összevetve a 40 ºC/km 45 ºC/km és az 50 ºC/km regionális átlag-gradiensből számítható hőmérsékletekkel – jelentősebb anomáliákat találunk. A lefelé való vízmozgás hűtő hatását jelezheti az Üllő-1 fúrás 2500 m alatti szakasza, jelentősebb pozitív anomáliával és aktív felfelé való áramlást jelezhet a Mende. Ny-1 1800 méternél mélyebb szakasza, a Monor. ÉK-1 és a Monor. ÉK-2 2300 méter körüli szakaszai (41. ábra). A tágabb körzet legjelentősebb geotermikus anomáliáját a Tököl-1 fúrásban észlelték. Az országosan is szokatlanul magas, 1503 méteres talpmélység felett mért 126 ºC érték ellenőrzésre szorulna, mindenesetre, ha elfogadjuk a mérés eredményét, akkor ott olyan jelentős és aktív vertikális vízáramlással kellene számolni, melynél a vízvezető vertikális szerkezet alja még a 3000 méteres mélységet is meghaladhatja. Az ilyen szerkezeteket "hőkéménynek” is nevezhetjük, melyek alsó részén lévő szívóhatás az, amelyik a karsztos beszivárgásoktól távoli medencebeli mélységekig lehetővé teszi a regionális áramlásokat. Geotermikus kút-párokkal, vagy multipletekkel való hőhasznosítások esetében minden esetben vizsgálni szükséges a regionális rendszerre várható hatásokat is.



41. ábra A mintaterületen az egyes kutak hőmérsékletadatai alapján tapasztalható geotermikus anomáliák

A különböző kémiai komponensek (pl. a Cl^- koncentrációk) eloszlása szintén az áramlási pályákra utal: az egyes valószínű szivárgási pályák mentén fokozatosan növekedő oldott anyag tartalmakat észlelünk, a legnagyobb értékek a mélyebb süllyedékek maximális hőmérsékletű előfordulásainál észlelhetők. A „forrásvonal” felé közeledve a különböző pályák vizei egymással keverednek, a töménység kissé csökken, de így is jelentősen különbözik a hegységrészek friss beszivárgású, hideg karsztvíz-előfordulásaitól. A karsztvizek ^{14}C-vízkor-adatai szerint egy-egy áramlási vonal mentén folyamatosan növekedik a karsztvíz felszín alatti tartózkodási ideje, a hideg és meleg karsztvizek közötti kor-különbség 10 000 éves nagyságrendű, a vízmozgás szivárgási sebessége dm/év körüli ([31] LORBERER 2002).

Nyomásszint (karsztvízszint) adatok csak a budapesti jól feltárt (központi) részen állnak rendelkezésre (a Duna mentén ~110 mBf), ÉK-i irányba a nyomásszint emelkedését feltételezik (Gödöllő-Veresegyház térségében ~120 mBf), azonban a délkeleti részeken adatok hiányában nem becsülhető. Elméletileg az utánpótlódási terület karsztvízszint adatait (125-135 mBf) nem haladhatja meg ([32] LORBERER és LORBERER 2011). A termálkarszt területén a kutaknak és forrásoknak kimért egymásra hatása az archív adatok szerint 3-14 km közt változik ([6] BÖCKER 1967, [42] SÁRVÁRY 1972).

A Budapest környéki termálkarszt víztest minőségi és – a legutóbbi értékelés alapján – mennyiségi állapota is jó. [8] CSEPREGI et al. 2015 háttértanulmánya a termálkarszt területén az elmúlt 11 évben 3-5 méteres vízszintemelkedést említ, jelezve az Mány, Nagyegyháza és Dorog térségi bányászati vízkivételek leállítása utáni rehabilitációs fázis végsőhöz közeli szakaszát. A bányászattól kevésbé befolyásolt déli részeken – különösen a dél-budai termelő kutak lezárása után – az elmúlt évtizedekben észlelt pozitív vízmérleg-változások állandósulni látszanak, a mai állapot gyakorlatilag alapállapotnak vehető ([32] LORBERER és LORBERER 2011). A [52] VGT (2015) adatai alapján termálkarszt nettó utánpótlódása 50 471 m^3/nap, mellyel szemben a vízkivételek és a források összmennyiségére ~15 000 m^3/nap értékre becslik. Bár a számítások részletei nem találhatók meg a tanulmányban, ez az érték és az emelkedő vízszintek ténye alátámasztja a víztest szintjére vonatkozó "jó állapot" minősítést.

A budai langyos és meleg karsztforrások a terület környezetének nyugati részén helyezkednek el és a területen karsztos vízadókból történő termelés azok hozamát befolyásolhatja. Kiemelt hangsúlyt kap a budai termálkarszt területén meglévő termálvíztermelés, melyeknek védelme, a hosszútávú fenntartható üzemelés érdekében kiemelt fontosságú. Fel kell hívni a figyelmet arra, hogy a víztest EU-s útmutatók szerinti állapotértékelése közvetlenül nem alkalmasak arra, hogy a hatósági engedélyezések, vagy korlátozások részére alapul szolgáljanak. A termálforrással rendelkező termálkarsztok esetében különösen fontos a felszín alatti vizek védelméről szóló 219/2004. korm. rendelet szerinti mennyiségi igénybevételi (Mi) korlátok meghatározása a víztestek jól körülhatárolható részeire. Az (Mi) korlátok kialakításánál ezeken a helyeken mindenképpen szükséges regionális áramlási modellezések végrehajtása, mely alapján azt kell vizsgálni, hogy mi az az érték, melynek kitermelése még nem okoz tartós vízszintsüllyedés, ökológiai károsodásokat, avagy kedvezőtlen összetételű vizek rendszerbe áramlását. A forrásokkal rendelkező termálkarsztok esetében különösen fontos vizsgálni a hőtranszport-rendszert is, abból a célból, hogy a rendszer egészének lényegét jelentő konvekciós áramlásokat biztosító elemeket (a hőkéményeket) káros hatások ne érhessék.

Potenciálbecslés, kockázatelemzés

Geotermikus/távfűtési célra hasznosítható nagy mennyiségű és 80 °C feletti hőmérsékletű víz tehát csak az aljzati rezervoárból várható, ha a karbonátos tároló összefüggő karszt vagy kiterjedt repedésrendszerrel rendelkezik, nagyobb vetőzóna harántolja.

Habár a termálkutakból számított (21. ábra), illetve a hivatkozott térképekről (18. ábra) leolvasható átlagos geotermikus gradiens 50-51 ºC /km körülinek adódott, mélyebb (~ 2500 m) fúrás esetén reálisabb e mélységre a mélységi kőzetek nagyobb hővezető-képessége miatt alacsonyabb, 45 ºC/km geotermikus gradienssel számolni a teljes vertikumra nézve ([36] POYANMEHR, TÓTH 2010). Ezek alapján kb. 122 °C-os talphőmérséklet becsülhető ~2400 m-es mélységben.

Az archív fúrási adatok szerint a mintaterületen nagy valószínűséggel karbonátos aljzat található, amit az aljzati szeizmikus reflexiós jelek jellege is alátámaszt. A kijelölt fúráspontok közelében lévő aljzati kiemelkedés egy vetőzóna mentén emelkedik ki, tehát valószínűsíthetők a jó vízvezető képződmények. Amennyiben a karsztosodásra hajlamos eocén fedő képződmények (pl. Szépvölgyi Mészkő) is jelen vannak, akkor hasonlóan a budapesti termálrendszerhez a karsztos folyamatok az eocén képződményekre és a triász-eocén határra is kiterjedhetnek, a triász és eocén rétegsor együtt egységes hidraulikai egységet alkothat. Fontos továbbá megemlíteni, hogy a mintaterület a Budapest környéki termálkarszt és a Bükki termálkarszt határán fekszik. Két eltérő hőmérsékletű, ugyanakkor $CaCO_3$-ra nézve telített oldat keveredése esetén az oldat, újra oldóképes lesz (BUNYEJEV 1932 in [7] BÖGLI 1978). A budai karsztrendszer kialakulásában is óriási szerepe van a keveredési korróziónak ([34] MÜLLER 1974; [28] LEÉL-ŐSSY 1995) és jelenlegi ismereteink alapján minden földtani és hidrogeológiai feltétel adott volt a földtörténeti múltban ahhoz, hogy a keveredési korrózió folyamata a minta területen is extrém módon növelje karsztosodott zónák porozitását és permeabilitását.

Végül meg kell említeni, hogy a karbonátos összletek esetében nem zárható ki a tágabb körzetben (különösen a Közép-dunántúli egységben) ismert, az eocén és miocén magmás tevékenységek hatására bekövetkezett hidrotermális üregképződés, valamint a Budapest környéki termálrendszernél feltételezhető, nagyobb mélységekből feláramló CO_2 hatására bekövetkező pórustér növelő hatás sem.

A vízadó-képességre csak a budapesti termálkarszt déli részein mélyített, hasonló karbonátos képződmények adatait vehetjük alapul, ezekben a fajlagos vízhozam jellemző érték-intervalluma: 50-200 l/perc/méter. Amennyiben ilyen vízadó képződményről van szó, akkor ott elvileg lehetőség van több ezer m^3/nap (mélységi vízáramot) kitermelő-visszasajtoló kút-pár vagy kútcsoport létesítésére. (A nagyobb mélység miatt a porozitás és az áteresztő-képesség esetében alacsonyabb érték várható, mint az említett termál-kutak esetében, a jelentős szerkezeti egységek közeli volta miatt viszont lehetséges azoknál magasabb érték is. Ugyancsak nagyobb vízhozam termelését teszi lehetővé a néhány kilométeren belüli visszasajtolás nyomásnövelő hatása is). A rezervoár porozitása a felső százméternyi szakaszon feltehetően magasabb, a Dunántúli Középhegységi modellezések, (megfigyelő-kutak idősorára kalibrált) tapasztalatai alapján 1-3%-ra becsülhető.

Érzékenység és terhelhetőség szempontjából kedvezőtlen az, hogy a területen valószínűsített vízadó képződmények egy része feltételezhetően részét képezi a „Budapest környéki termálkarszt” áramlási rendszerének. Amennyiben tehát a tervezett terület alatt a megnyitott rétegtartalom alacsony nyomása és oldott anyag tartalma, izotóp-összetétele és kora azt jelzi, hogy az része budapesti termálkarszt regionális konvektív áramlási rendszerének, akkor ott részletes hatásvizsgálattal (regionális áramlási, oldott anyag- és hő-transzport modellezéssel) kell igazolni azt, hogy a regionális konvekcióra a geotermikus energiatermelő-rendszernek nincs érdemi hatása. (A budapesti termálrendszer Gellérthegy környéki megcsapoló forrásaihoz tartozó termál-kutak jelenlegi termelése 3500 m^3/nap értékkel hasonló nagyságrendű termelés-visszasajtolás várható geotermikus hasznosítás esetén is).

Piacelemzés - geotermikus energia felhasználásának lehetőségei

A tervezett kút feltételezett hozama (50 l/sec) és hőmérséklete (122 °C) alapján közvetlen hőhasznosítási célokra használható fel leggazdaságosabban, amelyre a vizsgált terület és körzete jelentős hőpiaci igénnyel rendelkezik.

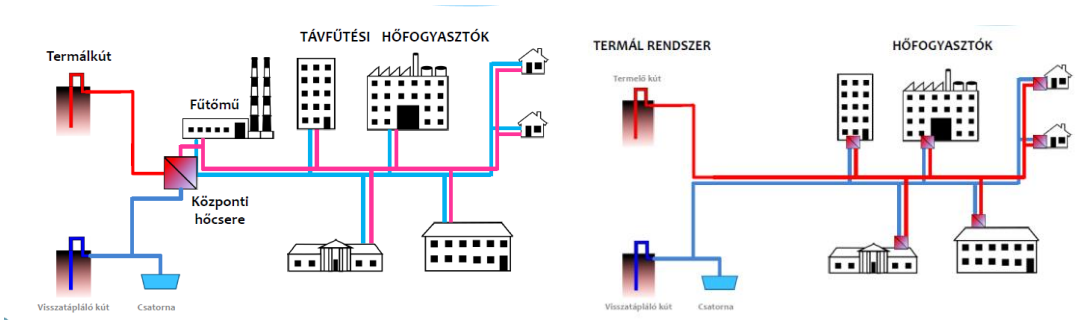
A vizsgált térség Budapest agglomerációjának gyorsan fejlődő DK-i részét foglalja magába az M0-s autópálya körgyűrű mentén, ahol a kilencvenes évek elejétől jelentek meg a nemzetgazdasági szinten is jelentős beruházások. Az autópályák közelsége miatt az agglomerációs városokba és azok közelébe települtek nagyobb üzemek (pl. a világ legnagyobb autógyárainak elektromos autóiba akkumulátor-alkatrészeket gyártó dél-koreai cég európai központját a közelmúltban Monorra helyezte), logisztikai központok (pl. Airport City logisztikai park – Vecsés, TESCO logisztikai központ – Gyál), ipari parkok, bevásárlóközpontok (pl. Auchan, Dechatlon - Maglód). Külön kiemelendő létesítmény a térségben a Liszt Ferenc Nemzetközi Repülőtér. Napjainkban a területen több száz vállalkozó és gazdasági társaság tevékenykedik az iparban, a kereskedelemben a szolgáltatások széles körét kínálva és jelentős hőpiaci igényt támasztva.

A tervezett geotermikus rendszer hőpiacának vonatkozásában az alábbi lehetőségeket célszerű megvizsgálni:

- geotermikus távfűtés
- termálvizes városfűtés
- „egyedi épületek”fűtése – kaszkád rendszerek (logisztikai központok, ipari parkok épületei, stb)

A geotermikus távfűtés és termálvizes városfűtés alapvető különbségeit a 42. ábra szemlélteti. Geotermikus távfűtés esetében a hőelosztást távhő szolgáltató végzi a 2005. évi XVIII. törvényben foglaltak értelmében. A távhő árának megállapítását az 1990. évi CXXXVII. törvény szabályozza. Mindkettő módosításaként a 2011. évi CXXVI. törvény rendelkezik a távhőszolgáltatás áráról. Eszerint a lakosságnak szolgáltatott hő ára szabályozott, legmagasabb árát a Magyar Energia Hivatal javaslatára az illetékes Miniszter határozza meg. Magyarországon 95 település rendelkezik kiépített távfűtő rendszerrel, de mindösszesen 8 településen váltja ki részben a geotermia a gáz-alapú fűtést. Ezek közül is 3 településen számottevő a geotermia részaránya a város fűtésében (Szentes - 97,4%, Csongrád - 90%, Hódmezővásárhely - 80,4%, a többi településen a geotermia hozzájárulása mindössze 10-30 %). Ebben a tekintetben jelentős fejlesztés volt a 2011-ben átadott Szentlőrinci rendszer, amely 100%-ban termálvíz alapú, a 2013-ban átadott Miskolc-Mályi rendszer, amely 60 MWh beépített kapacitásával Közép-Európa legnagyobb geotermikus távfűtő rendszere, illetve a 2015-16-ban kiépült Győri geotermikus alapú távfűtő rendszer (52 MWh).

A termálvizes városfűtés esetében – amely jelenleg Magyarországon 12 településen valósult meg – néhány középület (tipikusan önkormányzati épületek, városháza, könyvtár, iskola, stb.) fűtése történik termálvízzel, illetve az újonnan kiépült termálvíz csővezetékre néhány közeli lakóingatlan is csatlakozik. Ezek a termálvizes városfűtési rendszerek önálló hőközponttal rendelkeznek, de a korlátozott termálvíz kapacitás miatt nem képesek 100%-ban kielégíteni az adott épületek hőigényét, így azok hagyományos gáz-kazánjai is a csúcsigények idején “bevethetőek”. A rendszerek vízjogi engedélyek alapján létesültek (nincs távhőszolgáltató) és általában az önkormányzat működteti őket.



A **B**

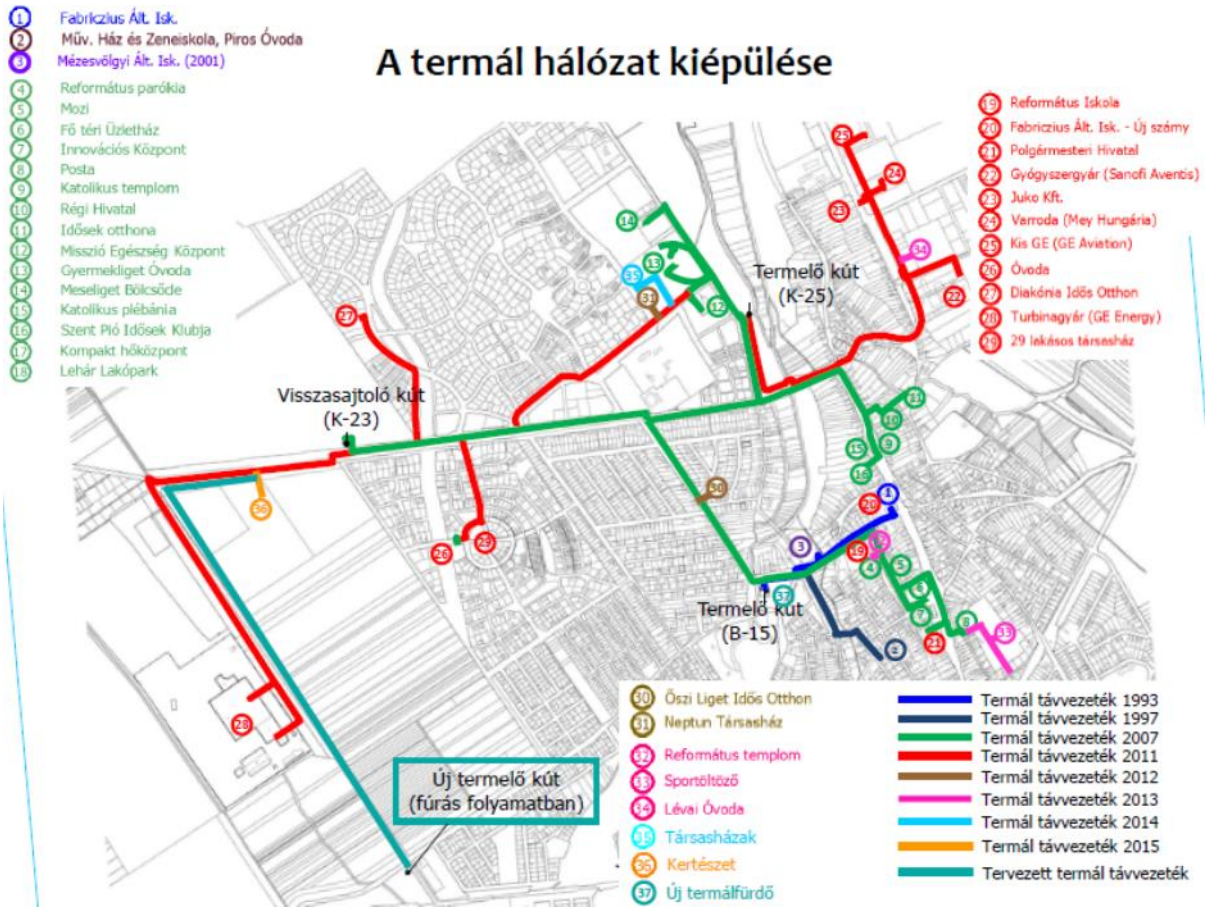
42. ábra Geotermikus távfűtés (A) és termálvizes városfűtés (B) elvi vázlata (SZITA 2015)

A vizsgált térségben található agglomerációs települések mérete, lakosság száma (7. táblázat) és település szerkezete nagyfokú hasonlóságot mutat: tipikusan a településen áthaladó főútvonalak (4, 400, 31) mentén levő központokban, illetve ezek közelében 1-2 emeletes zömében önkormányzati tulajdonban levő épületek (városháza, polgármesteri hivatal, óvoda, iskola, orvosi rendelő, művelődési központ, stb.) üzletek találhatóak. Ezt övezően, szabálytalan alaprajzú hálózatos utcaszerkezettel jellemezhető lakóövezet fekszik, ahol a házak túlnyomó többsége keretes családi ház. Kisebb sorházak a települések központjához közel, míg lakóparkok inkább a települések peremterületein találhatóak. A településeken távfűtő infrastruktúra nincs kiépülve, az épületek fűtésének döntő többsége vezetékes gázellátásra csatlakozó egyedi gázkazánnal megoldott. Mindezen adottságok (település mérete és szerkezete, lakossági hőpiac nagysága, távfűtési infrastrukúra (csővezeték) hiánya) a geotermikus távfűtés kialakítását nem teszik gazdaságossá.

7. táblázat A vizsgált terület településeinek főbb adatai

	Terület (km^2)	Népesség
Vecsés	36,18	20550
Gyál	24,93	22552
Ócsa	81,64	8953
Üllő	48,12	10134
Monor	61,86	21421
Gyömrő	26,51	15290
Maglód	22,37	11471

Ugyanakkor, mint arra több hazai jó példa is van (pl. a közeli Veresegyházon), ilyen esetekben egy újonnan kialakított termálvíz hálózatra kötött „termálvizes városfűtés” amelyben elsősorban középületek fűtése, a csökkenő hőigényű fogyasztók kaszkád rendszerű összekötése valósul meg, gazdaságos, és a település számára kedvező megoldást jelenthet. Az agglomeráció ÉK-i részén fekvő 28,56 km2 területű és 16892 lélekszámú Veresegyházon (tehát mind méretében, mint lakosság számában összevethető a vizsgált terület településeivel) a több lépcsőben kiépült és fokozatosan bővülő termálvizes városfűtési rendszer 3 termelő és 1 visszasajtoló kúttal (7,3 MWth beépített kapacitással és 16,31 GWhth/év termeléssel) többtucat épület, köztük lakóingatlanok fűtését látják el (43. ábra) 98%-ban kiváltva a gáz felhasználását. A rendszer 65 ºC-os termálvizet termel az aljzati repedezett triász rezervoárból ([43] SZITA 2015).



43. ábra A Veresegyházi termálvizes városfűtési rendszer ([43] SZITA 2015)

Hasonló típusú termálvizes városfűtési rendszer kialakítása legcélszerűbben Vecsésen valósítható meg, ahol a rendszerbe a termálvezetéken keresztül bekapcsolható lenne a Liszt Ferenc nemzetközi repülőtér is. Ennek – terminál épületek fűtése mellett – külön előnye lenne, hogy itt kaszkád hasznosításban az épületek fűtését követően a már lehűlt termálvíz hőenergiája is még hasznosítható lenne a kifutópályák jégmentesítésére, hóolvasztásra.

Végül, de nem utolsó sorban a legjelentősebb hőfelhasználást a térségben jelen levő és folyamatosan települő logisztikai központok, ipari parkok, bevásárló központok jelentik. Amennyiben a tervezett beruházás helyszíne Vecsés térsége lenne, akkor a rendszerbe legcélszerűbben az itt legnagyobb számba jelen levő fenti típusú fogyasztók kapcsolása lenne célszerű (pl. Market Central Ferihegy bevásárló központ, jelenleg 46 üzlettel, 44281 m2 bérbeadható területtel, 1550 db parkolóhellyel).

Összefoglalás

A geotermikus energia kutatásának és kitermelésének több kockázati eleme van, ezek közül is a legjelentősebb a földtani kockázat, amely a felszín alatti tér ismertségének bizonytalanságából adódik. A rövid-távú földtani kockázatot az jelenti, hogy a kutatófúrással feltárt geotermikus erőforrások paraméterei esetlegesen nem elegendőek a gazdaságos kitermeléshez. Ennek kockázat csökkentő megoldása a minél részletesebb kutatás, amelynek során a feltételezhető rezervoárról a lehető legteljesebb ismereteket szerezzük meg. Erre mutatott be példát a jelentés az archív földtani adatok újraértelmezésével és 3D szeizmikus adattömb kiértékelésével. A hosszú-távú földtani kockázatot az erőforrás kimerülése jelenti a termelés során. Ennek kockázat csökkentő megoldása a megfelelő rezervoár-menedzsmentre alapuló termelési stratégiák kialakítása (a természetes fluidum és hőutánpótlódás mértékét nem meghaladó fenntartható termelési szint betartása, a visszasajtolás, valamint a megfelelő monitoring hálózat kialakítása). Ebben fontos szerepe lehet a koncesszióhoz kapcsolódó érzékenységi-terhelhetőségi vizsgálatokban kialakított módszertannak is, amely egyfajta előzetes környezeti vizsgálattal megadja az elkerülendő, avagy számításba veendő kockázatok jó részét is.

A Magyar Földtani és Geofizikai Intézet (MFGI) munkatársai tanulmányt készítettek egy geotermikus energiahasznosításra potenciálisan alkalmas mintaterületre Vecsés környékén, amelynek célja annak bemutatása, hogy egy geológiai-geofizikai vizsgálatokon alapuló földtudományi modell alkalmazásával hogyan növelhető a termelő-visszasajtoló kútpárok optimális telepítésének valószínűsége, azaz hogyan csökkenthető a földtani kutatás kockázata.

A mintaterület kiválasztása után áttekintettük a rendelkezésre álló adatokat (térképek, fúrások, az értelmezés során felhasznált 2D és 3D szeizmikus adatok, mélyfúrás-geofizikai adatok). A vizsgált terület megismerése érdekében összegyűjtöttük a korábbi földtani és vízföldtani ismereteket. Összességében elmondható, hogy a főváros területe fúrásokkal jobban feltárt, de a pontos szerkezeti kép szeizmikus mérések hiányában nem ismert. A Budapesttől DK-re lévő területen a mélybeli szerkezetek jól vizsgálhatók, köszönhetően a modern 3D szeizmikus méréseknek, azonban a felépítő képződmények és hidraulikai viszonyaik a ritkább fúrásos feltártság miatt kevésbé ismertek.

A terület fő szerkezeti eleme a térséget DNy-ÉK irányban átszelő Balaton –Tóalmás törészóna, mely feltehetőleg egy korábbi (paleogén) feltolódási öv felújulásaként jött létre a kora-miocénben és főként balos oldalelmozdulásként működött. Az elmozdulási zóna mentén eltérő minőségű idősebb (prekainozoos) aljzatképződmények kerültek egymás mellé, a paleogén képződmények erősen deformálódtak. A szerkezeti vonaltól DK-re kompressziós szerkezetek dominálnak, míg tőle É-ra és ÉNy-ra a kinyíló medencék normálvető rendszerei jellemzőek inkább.

A prekainozoos medencealjzat a Budai-hegység területén felszínre bukkan. A Budai-hegység K-i peremvetője mentén a Pesti-síkság alá viszonylag meredeken zökken alá. Vecsésnél az aljzat eléri a -2500 mBf mélységet, míg a Közép-magyarországi nyírózónában -3000 mBf alá süllyed, míg tőle délre a Bugyi-jászberényi magas paleo-mezozoós rögvonulat húzódik, ahol ismét -500 – -1000 m magasságba emelkedik a medencealjzat. A medence aljzatát jórészt könnyen karsztosodó, triász korú karbonátos kőzetek építik fel a térségben. A

Balaton-Tóalmás vonaltól északra uralkodóan a Dachsteini Mészkő és Fődolomit nagy vastagságú platformkarbonátjai jelennek meg. Ezek az alaphegységi mezozoós korú karbonátos képződmények rezervoárként ott jöhetnek szóba, ahol hosszabb ideig felszíni hatásnak, mállásnak és karsztosodásnak voltak kitéve. Tárolóképességüket jelentős mértékben befolyásolja a tektonika nyomán létrejött repedezettség, mely a tárolt vizek minőségében és áramlásában is szerepet játszik.

A korábban említett jelentős szerkezeti mozgások miatt a paleogén képződmények gyakran területenként egymástól eltérő vastagságú és kifejlődésű rétegsorokkal jellemezhetőek. Szerencsés esetben az aljzatra települő eocén fedőképződmények egységes hidraulikai rendszert alkotnak az aljzat karbonátjaival. Az aljzati repedezett karbonátos tárolók vízadó képessége kiváló, míg az eocén tárolók általában csekély víztermelő kapacitással bírnak. Az eocénben az erősen repedezett szakaszok képeznek kivételt. A mintaterület feltételezhetően a Budapest környéki termálkarszt-rendszer részét képezi, mely részben a Budai-hegységben beszivárgó vizekből táplálkozó és a Gellért-hegyi forráscsoportok megcsapolásain távozó nyitott termálkarszt-rendszer, azonban a kérdés megítélése a kevés fúrásos adat miatt nem egyszerű. Erre példa a Népliget Nl-1 (B-88) kút vízösszetétele és anomális, gyenge hidraulikai kapcsolata a környező kutakkal.

A miocén medenceképződés időszakában lerakódott üledékek szintén eróziós diszkordanciával települnek a paleogén rétegekre; kifejlődésük rendkívül változatos, így vastagságuk is erősen változó, néhány 10 m-től 300 m-ig terjed. Az oligocén és miocén kőzetek javarészt vízzárók, helyenként alacsony vízvezető képességű részekkel. Az itt tárolt vizek sósak, sótartalmuk 17 000-36 000 mg/l között változik. Uralkodó sójuk a NaCl. Vízutánpótlásuk nincs, víztermelésre nem alkalmasak.

A Kárpát-medencében a miocén során zajló nagytektonikai változások következtében – melyek a vizsgálati terület fejlődésében kiemelten fontos szerepet kaptak – a litoszféra jelentősen kivékonyodott. Ez azt jelenti, hogy a normál kéregvastagságú (35-40 km) Európával szemben a Kárpát-medencében a földkéreg alatti, meleg hőáramlást biztosító felső köpeny közelebb került a felszínhez (24-28 km). Ennek megfelelően a hőáram a Kárpát-medencében (90-100 mW/m^2) majdnem duplája az európainak és különösen magas ez az érték az Alföld egyes részmedencéiben és a Kisalföldön. Hőmérsékleti adatokra lefordítva, míg világátlagban a föld felszínétől lefelé haladva 25°C-kal nő a hőmérséklet 1 km-ként a mélységgel, addig a pannon medencében ez elérheti az 50°C-t is. A Kárpát-medence részmedencéit több kilométeres vastagságban jó hőszigetelő tulajdonságú üledékek töltik ki. Az üledékek nagy rétegvíztartalma kedvező geotermális adottságainak másik fontos összetevője.

A szeizmikus értelmezést a vizsgált területen áthaladó 2D szeizmikus szelvények, illetve a Monor 3D szeizmikus tömb adatain végeztük el. A szeizmikus értelmezés alapvetően a fúrások rétegsorára és korbeosztására támaszkodik, amelyek fontos információt szolgáltatnak az észlelt szerkezetek és felületek (szerkezeti alapelemek) mélységbeli viszonyaira is. A terület fúrásos megkutatottsági szintje nem egyenletes. A tágabb területet több mint 27 ezer fúrás tárja fel az MFGI Geobank adatai szerint, ebből azonban mindössze kb. 1000 db haladja meg a 100 m-es mélységet, és mindössze 123 db a jelentősebb, 500 m-t meghaladó mélységű fúrás.

Az értelmezés során kijelöltük prekainozoós aljza felszínét – mint a lehetséges tárolókőzet határát – és a pannon képződmények fekü szintjét, illetve a területen előforduló főbb szerkezeti elemeket, vetőket – melyek jellemzően normál vetők és térben korrelálhatók egymással. A fő vetőzónától délre térrövidüléssel jellemezhető kompressziós szerkezetek gyakoribbak, mely a vízkitermelés szempontjából kedvezőtlen. Az értelmezésnél felhasználtuk a fúrások rétegsorát, és a mélyfúrás-geofizikai mérések eredményeit is.

A mintaterületen belül a DNy-ÉK-i irányban húzódó Balaton-Tóalmás törészóna északi oldalán a prekainozoos medencealjzat két helyen is kiemelt helyzetben található és fiatalabb üledékekkel fedve záródó szerkezetet alkot (24. ábra, 25. ábra). A Vecsés közelében húzódó kiemelt, valószínűleg triász korú, aljzati rög DK-i oldalát normál vetők határolják. A szerkezeti értelmezés alapján a tanulmány végső eredményeként a fúrások talppontját egy tektonikailag erősen igénybevett zónában, a vetősík alsó élénél jelöltük ki, az elérhető legmagasabb hőmérsékletű és jelentős hozamú termálvíz kiemelés érdekében. Egy kisebb kockázatú becslést alapul véve – 45 °C/km-es geotermikus gradienssel számolva –, kb. 122 °C-os talphőmérséklet becsülhető a tervezett fúrások ~2400 m-es talpmélységben. A normálvető nyitott, hasadékos, kavernás gyökérzónájából, a medencealjzat belsejéből feláramló termálvíz hőmérséklete kedvező esetben jelentősen meghaladhatja a talpponti kőzethőmérsékletet, így tovább javíthatja a hőtermelés gazdaságossági mutatóit. A rezervoár becsült vízadó képességének megítélését pozitívan befolyásolja az a tény, hogy jelenlegi ismereteink alapján minden földtani és hidrogeológiai feltétel adott volt a földtörténeti múltban ahhoz, hogy a karsztos folyamatok is jelentős módon növeljék a vízadó zónák porozitását és permeabilitását a mintaterületen.

Summary

The most significant risk in geothermal exploration is the geological uncertainty which comes from the insufficient knowledge of the subsurface. A short term risk is that the petrophysical and hydrogeological parameters of the geothermal resource revealed by exploration drills are not suitable enough for the economical production. Detailed geological and geophysical investigations can minimize the risk obtaining reliable information about the reservoir. An example for this is presented in the study by the reinterpretation of archive geological and 3D seismic data. The long term risk during the heat production is the exhaustion of the geothermal source. It can be reduced by an appropriate reservoir management (the production level should not be exceed the natural supply of the fluids and heat) utilizing sustainable reinjection and monitoring systems. Preliminary feasibility studies including assessments for the geothermal projects can also lower the risks giving a methodology to take them in account.

The subject of the study was to investigate a sample area potentially suitable for geothermal utilization near by the town of Vecsés. Our task was to demonstrate that a model obtained by detailed geological and geophysical investigations could improve the chance of installation of the optimal geothermal doublet (production and injection well), in other words how could be the risk of the exploration reduced.

After picking up the sample area we went through the available geological-geophysical data sets (maps, borehole data, 2D and 3D seismic data, well-logs). Preliminary hydrogeological information was also collected together to get an appropriate knowledge around the area of investigation.

The main structural element of the region is the SW-NE running Balaton–Tóalmás Fault Zone that was supposedly generated as a renewal of an earlier (Paleogene) thrust belt in the early Miocene and it was working as a sinistral strike-slip. Different kind of older (Pre-Cenozoic) basement formations came to side-by-side along the dislocation zone and the Paleogene formations were also significantly deformed. On the area located in the SE direction from the tectonic line, compressional structures are dominant; while in the N and NW directions from it, normal faults of extensional basins are typical.

The Pre-Cenozoic basement is cropped out on the area of Buda Mountains and it is suddenly deepening under the Pest Plain at the eastern edge of the mountains. The depth of the basement reaches the 2500 m below sea level at Vecsés, it is 3000 m at the Mid-Hungarian Shear Zone, and is coming up again to 500-1000 m below sea level on the south, where the Bugyi–Jászberény Paleozoic-Mesozoic Ridge is located. The basement consists of mainly easily dissolvable Triassic carbonates in the region. North from the Balaton–Tóalmás Fault Zone the carbonate platforms of the Dachstein Limestone and Fődolomit Formations with a significant thickness are showing up. Those Mesozoic carbonates of the basement are coming into question as reservoirs where they were exposed to weathering and karstic processes on the surface for a long period. The reservoir capacity depends on also the fracturing caused by tectonic effects playing a notable part in the quality and flow of the subsurface water.

In the region, due to the earlier mentioned significant tectonic movements, the Paleogene formations can be characterized with different thickness and evolution compared to each other. In a favorable case, the Eocene sequence covering the basement is forming a unified

hydraulic system together with the carbonates of the basement. The water extraction capacity of the fractured and cavernous carbonates in the basement of the sample area should be excellent, while the Eocene layers can be characterized usually with low capacity except of the highly fractured zones of them. Supposedly, the sample area belongs to the thermal-karst system known around Budapest city (kt. 1.3. Budapest thermal-karst) that is an open system recharging partly from the infiltrating water of the Buda Mountains and discharging by the springs of the Gellért Hill. However, deciding this question is not easy because of the lack of sufficient borehole information. A good example for the ambiguousness is the anomalously week hydraulic connection between the Népliget Nl-1 (B-88) well and the surrounding ones and also the dissimilar analytical composition of the water.

The sediments deposited during the Miocene basin formation are indicating an erosional discordance at the Paleogene surface; their evolution and thickness are very variable (from some 10 m to 300 m). The Oligocene and Miocene strata are consisted of mainly aquitard rocks, at some locations with low permeability intervals. Water stored in those parts of the layers are very salty (between 17 000-36 000 mg/l) and the dominant mineral component is NaCl. They have no water recharge and they are not suitable for production.

Due to the regional tectonic movements in the Carpathian Basin the lithosphere was significantly attenuated during the Miocene and those processes played also an important role in the evolution of the study area. The average thickness of the Earth's crust beneath Europe is about 35-40 km while it is only 24-28 km underneath the Carpathian Basin thus the upper mantle supplying the heat flow is closer to the surface. Accordingly, the heat flux in the Carpathian Basin (90-100 mW/m^2) is almost twice as high as the European average and it is especially high in the sub-basins of the Great Hungarian Plain and at the Little Hungarian Plain. In other words, the world average of the rise of the temperature moving down from the surface is 25 °C on every 1 km depth interval; however this parameter can reach even 50 °C in the Carpathian Basin. Its sub-basins are filled in with several kilometers of insulating sediments. The high water content of those sediments is another component of the favorable geothermal capabilities.

The seismic interpretation was performed utilizing the 2D sections crossing the study area and the Monor 3D volume available near by the town of Vecsés. It was carried out based on the lithology columns and age classification obtained from the boreholes providing relevant information for the revealed seismic structures and horizons, as well as their position in the depth domain. However, the level of the borehole exploration in the area is varying. According to the GeoBank of the Hungarian Geological and Geophysical Institute, more than 27 000 holes were drilled in the larger surroundings of the study area but only 1 000 boreholes exceeded the depth of 100 m and not more than 123 holes went below the depth of 500 m.

In the course of seismic interpretation, we mapped the top of Pre-Cenozoic basement as the cap of the possible reservoirs, the lower boundary of the Pannonian sequence, and highlighted the prominent structural elements that are mainly normal faults and could be correlated spatially. South from the main fault zone compressional structures characterized by spatial shortening are dominating that is unfavorable from a water exploitation point of view. Well logging data was also utilized for the interpretation.

In the sample area, north from the SW-NE running Balaton–Tóalmás Fault Zone, the Pre-Cenozoic basement is in uplifted positions in two locations and creates closed structures covered by younger sediments (Figures 24 and 25). The very likely Triassic age basement ridge located close to the town of Vecsés is bordered by normal faults at its southeastern edge. As a final result of the study, the ending points of the proposed wells were designated in a tectonically disturbed zone, at the lower edge of a fault plane for the possible highest water output and temperature. Based on a low risk estimation, calculating with 45 °C/km geothermal gradient, about 122 °C temperature is probable at the bottom of the holes (at around 2400 m). The above referred normal fault is an open fault producing cracks thus the temperature of the water streaming upwards from its cavernous root zone located deeply inside the basement could exceed the bottom temperatures of the holes enhancing the effectiveness of the heat production. The assessment for the water production capacity is favorable because (based on the current knowledge) in the study area all geological and hydrogeological conditions were given in the past to improve the porosity and permeability of the reservoirs by the karstic processes too.

Referenciák

[1] ALFÖLDI L., BÉLTEKEY L., BÖCKER T., HORVÁTH J., KESSLER H, KORIM K, ORAVECZ J., SZALONTAI G., (1968): Budapest hévizei. VITUKI kiadvány, Budapest, 365 p.

[2] ALFÖLDI L., KAPOLYI L., (2007): Bányászati Karsztvízszint-süllyesztés a Dunántúli-Középhegységben. Magyar Tudományos Akadémia, Földrajztudományi Kutatóintézet, Budapest, 138 p.

[3] BÁLDI T., NAGYMAROSY A., (1976): A Hárshegyi homokkő kovásodása és annak hidrotermális eredete. – Földtani Közlöny, 106, 257–275.

[4] BONCZ L., BALÁZS E-NÉ, BARTHA A., KÓSA L., MILÁNKOVICH A., NAGY GY-NÉ, SÉLLEI CS., VADÁSZ GY-NÉ, SZENTGYÖRGYI K-NÉ, TÓTH J., TÓTH L-NÉ, (2004): Zárójelentés a 103. Gödöllő kutatási területen végzett szénhidrogén-kutatási tevékenységről. +Határozat és módosítása. — Kézirat, MOL Rt. (MBFH Adattár T. 21172).

[5] BONCZ L., BALÁZS E-NÉ, LUX M., KLEMENIK R., B., KRUSOCZKI T. GY., PUSZTAI J., SZÁSZFAI J., TOMCSÁNYI T., MILÁNKOVICH A. et al. (2013): Zárójelentés a 138. Monor területen végzett szénhidrogén-kutatási tevékenységről. – Kézirat, MOL Rt., Szolnok. (MBFHT Adattár. T. 22781). p. 114.

[6] BÖCKER T., (1967): A budapesti hévízkutak összefüggése Vízügyi Közlemények IL/2., 365–389.

[7] BÖGLI, A. (1978): Karsthydrographie und physische Speläologie. – Springer-Verlag, Berlin, 292 p.

[8] CSEPREGI A., IZÁPY G., ÁGOTAI GY-NÉ, (2015): A Dunántúli-középhegység karsztos víztestjei. Felszín alatti vizek mennyiségi állapotának meghatározása, 6-4-5 háttéranyag a VGT-hez, Smaragd – GSH, Budapest. p.33. www.vizeink.hu

[9] CSONTOS L., VÖRÖS A., (2004): Mesozoic plate tectonic reconstruction of the Carpathian region — Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology 210, 1–56.

[10] DÖVÉNYI, P. HORVÁTH, F., DRAHOS, D., (2002): Geothermal thematic maps of Hungary. In: Hurter, S., Haenel, R. (eds), Atlas of Geothermal resources in Europe. Publ. No. 17811 of the European Comission.

[11] FODOR L., KÁZMÉR M., MAGYARI Á., FOGARASI A., (1992): Gravity-flow dominated sedimentation on the Buda paleoslope (Hungary). Record of Late Eocene continental escape of the Bakony Unit. – Geologische Rundschau 82, 695-716.

[12] FODOR L., MAGYARI Á., FOGARASI., PALOTÁS K., (1994): Tercier szerkezetfejlődés és késő paleogén üledékképződés a Budai-hegységben. A Budai-vonal új értelmezése. – Földtani Közlöny 124, 129-305.

[13] FODOR L., CSONTOS L., BADA G., GYÖRFI I. BENKOVICS L., (1999): Cenozoic tectonic evolution of the Pannonian basin system and neighbouring orogens: a new synthesis of paleostress data. In: Durand, B., Jolivet, L., Horváth, F., Séranne, M. (szerk.): The Mediterranean basins: Cenozoic extension within the Alpine orogen. — Geol. Soc. London, Spec. Publ. 156, 295–334.

[14] GYALOG L. (szerk.), (2013): Magyarország földtani térképe, 1:500 000. – MFGI kiadványa, Budapest.

[15] HAAS J, BUDAI T., CSONTOS L., FODOR L., KONRÁD GY., (2010): Magyarország prekainozoos földtani térképe, 1:500 000. – A Magyar Állami Földtani Intézet kiadványa, Budapest.

[16] HAAS J., BUDAI T. (szerk.,) CSONTOS L., FODOR L., KONRÁD GY., KOROKNAI B., (2014): Magyarország prekainozoos medencealjzatának földtana. Magyarázó „Magyarország prekainozoos földtani térképéhez" (1: 500 000) — Magyar Földtani és Geofizikai Intézet, Budapest, 71 p.

[17] HORVÁTH F., BADA G., WINDHOFFER G., CSONTOS L., DÖVÉNYI P., FODOR L., GRENERCZY GY., SÍKHEGYI F., SZAFIÁN P., SZÉKELY B., TÍMÁR G., TÓTH L., TÓTH T., (2005): A Pannon-medence jelenkori geodinamikájának atlasza: Euro-konform térképsorozat és magyarázó. — OTKA T034928 sz. projekt, zárójelentés. ELTE Geofizikai Tsz., Budapest, 38 p.

[18] JUHÁSZ GY., (1992): A pannóniai (s.l.) formációk térképezése az Alföldön: elterjedés, fácies és üledékes környezet. — Földtani Közlöny 122/2, 133-165.

[19] KILÉNYI É., SEFARA J., (1991): Pre-Tertiary Basement Contour Map of Carpathian Basin Beneath Austria, Czehoslovakia and Hungary. – Geophysical Transactions 36, 1–2.

[20] KISS J., GULYÁS Á., (2005): Magyarország gravitációs Bouguer-anomália térképe, 1:500 000. – ELGI kiadványa, Budapest.

[21] KISS J., GULYÁS Á., (2006): Magyarország mágneses Z-anomália térképe, 1:500 000. – ELGI kiadványa, Budapest.

[22] KISS K., BUJDOSÓ I., MILÁNKOVICH A., PÁPA A., SOÓS S., SZENTGYÖRGYI K.-NÉ, TÓTH Z., TÓTHNÉ MEDVEI ZS., VARGÁNÉ TÓTH I., TIRPÁK I. ET AL. (1999): Zárójelentés a 27. Paleogén medence DNy-i része területen végzett szénhidrogén-kutatási tevékenységről (Tura 8., Dány 1., 2., Monor. É 1., Mogyoród 1. sz. fúrások). — MOL Rt., Kézirat. (MBFHT Adattár. T.20132.)

[23] KOVÁCS A. CS., HEGEDŰS E., (2012): Szeizmikus mérések Vecsés és Budapest XVIII. kerület térségében. Kutatási jelentés, Budapest. p. 18.

[24] KOVÁCS J., MÜLLER P., (1980): A Budai hegyek hévizes barlangjainak fejlődéstörténete - Karszt és barlang, 1980/2, 93-98.

[25] KOVÁCS ZS., GYURICZA GY., BABINSZKI E., BARCZIKAYNÉ SZEILER R., BODOR E., GÁL N., GÁSPÁR E., GULYÁS Á., HEGYI R., HORVÁTH Z., JENCSEL H., JOBBIK A., KERCSMÁR ZS., KERÉKGYÁRTÓ T., KOVÁCS G., KUMMER I., LACZKÓNÉ ŐRI G., LAJTOS S., MAROS GY., MÜLLER T., NÉMETH A., PASZERA G., PIROS O., SÁRI K., SZENTPÉTERY I., SZŐCS T., TOLMÁCS D., TÓTH GY., UJHÁZINÉ KERÉK B., VERES I., VÉGH H., ZILAHI-SEBESS L., ZSÁMBOK I., (2014): A Monor szénhidrogén vizsgálati terület komplex érzékenységi és terhelhetőségi jelentés tervezet. Kézirat, MFGI – MBFH – NeKI, p. 258.

[26] KŐRÖSSY L., (2004): Az észak-magyarországi paleogén medence kőolaj- és földgázkutatásának földtani eredményei – Általános Földtani Szemle 28, 9-120.

[27] KUJBUS A., VISZKOK J., KUJBUS A.Z., (2012): Megvalósíthatósági tanulmány Üllő Város geotermikus energiafelhasználási lehetőségeire vonatkozóan. – Kézirat, GeoEx Kft., Budapest. p. 73.

[28] LEÉL-ŐSSY SZ. (1995): A budai Rózsadomb és környékének különleges barlangjai. – Földtani Közlöny 125/3–4, pp. 363–432.

[29] LORBERER Á., (1984): Budapest környékének geotermikus térképe, M=1:100000. VITUKI, Budapest.

[30] LORBERER Á., (1986): A Dunántúli-középhegység karsztvízföldtani és vízgazdálkodási helyzetfelmérése és döntéselőkészítő értékelése. Budapest, VITUKI, 130 p.

[31] LORBERER Á., (2002): Budapest hévizei mérnökgeológiai szemmel. In: Alagút- és mélyépítő szakmai napok. „A millenium után, Európával, jöv_nk környezetéért" konferencia kiadvány, Eger, május 27-28. pp. 71–78.

[32] LORBERER Á. F., LORBERER Á., (2011): HU_kt.1.3 „Budapesti termálkarszt víztest hidrogeológiai, vízgazdálkodási és geotermikus értékelése. Kézirat, Lorberterv Kft., Budapest, p.44.

[33] MADARASI A., NEMESI L., VARGA G., (2006): Kelet-Magyarország tellurikus térképe. Geophysical Transactions, 45/2 65–98.

[34] MÜLLER P. (1974): A melegforrás barlangok és gömbfülkék képződéséről. – Karszt és Barlang 1974/I, pp. 7–10.

[35] PALOTAI M., CSONTOS L., (2010): Strike-slip reactivation of a Paleogene to Miocene fold and thrust belt along the central part of the Mid-Hungarian Shear Zone. — Geologica Carpathica 61/6, 483–493.

[36] POYANMEHR Z, TÓTH GY., (2010): A budapesti kasztos hévizek potenciál- és nyomásviszonyainak értékelése – A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése, 63-69

[37] POYANMEHR Z. (2013): Felszín alatti vízáramlás modellezése Budapest tágabb területén – Földtani Közlöny 146/1, 61-70.

[38] PÜSPÖKI Z., (2006): A Tardonai-dombság miocén medencefejlődése az üledékes szekvenciák fácies- és rétegtani adatainak tükrében. — Acta GGM Debrecina Geology, Geomorphology, Physical Series 1, 61–67.

[39] RÁDLER B., (1985): Vertikális Szeizmikus Szelvényezés VSP. Magyar Geofizika 26/2, 41–42.

[40] ROYDEN H. L., HORVÁTH F. (szerk.), (1988): The Pannonian Basin. A study in basin evolution. — AAPG Memoir 45, 394 p.

[41] RUSZKICZAY-RÜDIGER ZS., FODOR L., HORVÁTH E., TELBISZ T., (2007): Folyóvízi, eolikus és neotektonikai hatások szerepe a Gödöllői-dombság felszínfejlődésében – DEM-alapú morfometriai vizsgálat — Földrajzi Közlemények 131, 55/4, 319–342.

[42] SÁRVÁRY I., (1972): A budapesti hévizek védőterületéről. Vízügyi Közlemények. 53/3 .

[43] SZITA G (2015): Geotermikus energiahasznosítás Magyarországon – a veresegyházi példa. Előadás: A geotermikus energia hasznosítása Németországban és Magyarországon, Trendek és Gyakorlati példák. Budapest, 2015, február 10.

[44] TARI G., BÁLDI T., BÁLDI-BEKE M., (1993): Paleogene retroarc flexural basin beneath the Neogene Pannonian Basin: a geodynamic model. — Tectonophysics 226, 433–455.

[45] TARI G., (1994): Alpine tectonics of the Pannonian basin — PhD thesis, Rice University, Houston, Texas, 501 p.

[46] TARI G., HORVÁTH F., (2010): A Dunántúli-középhegység helyzete és eoalpi fejlődéstörténete a Keleti-Alpok takarós rendszerében: egy másfél évtizedes tektonikai modell időszerűsége — Földtani Közlöny, 140/4, 483–510.

[47] TÓTH GY., NÁDOR A., (2011): Előzetes szakvélemény a Dobrovitz Kft által a Vecsés 01/7 hrsz. 5 hektár területre kezdeményezett geotermikus koncessziós kiírásra. – Kézirat, MÁFI, Budapest. p. 3.

[48] UHRIN A., (2011): A Pannon-tó só-, és vízháztartásának számítása. — Földtani Közlöny 141/4, 383–392.Tóth Gy

[49] VARGA F., (2005): Zárójelentés Monor 3D szeizmikus mérésről. – Kézirat GES Kft. Budapest, (MBFHT Adattár. T.21424.) p.10.

[50] VENDL, M., KISHÁZI, P. (1964): Összefüggések melegforrások és karsztvizek között aDunántúli-középhegységben megfigyelt viszonyok alapján. Magyar Tudományos Akadémia Műszaki Tud. Osztály közleményei.

[51] VGT, (2009): Magyarország vízgyűjtő-gazdálkodási terve. www.euvki.hu. 2009.december 22.

[52] VGT, (2015): Magyarország vízgyűjtő-gazdálkodási terve. www.vizeink.hu. 2015. december 22.

[53] ZILAHI-SEBESS L., GYURICZA GY., BARCZIKAYNÉ SZ. R., GÁL N., GULYÁS Á., HEGYI R., HORVÁTH Z., JENCSEL H., KERÉKGYÁRTÓ T., KOVÁCS G., KOVÁCS ZS., KUMMER I., LAJTOS S., LENDVAY P., MÜLLER T., PALOTÁS K., PASZERA GY., SZŐCS T., TAHY Á., TÓTH GY., TÓTHNÉ M. Á., ÚJHÁZINÉ K. B., ZSÁMBOK I., VERES I. (2012): Jászberény terület: Komplex érzékenységi és terhelhetőségi vizsgálati tanulmánya a Jászberény terület geotermikus koncessziós jelentéséhez – MBFH-MÁFI-ELGI-VKKI. p. 60-62.

[54] ZSIGMONDY, V., (1878): A városligeti artézi kút Budapesten. Földtani Közlöny IX, 128–131.