



MISKOLCI EGYETEM  
MIKOVINY SÁMUEL FÖLDTUDOMÁNYI DOKTORI  
ISKOLA  
A doktori iskola vezetője  
Prof. Dr. Dobróka Mihály egyetemi tanár



**Mihályi-Répcelak természetes szén-dioxid tároló  
mélyfúrás-geofizikai adatainak újraértelmezése a szén-dioxid  
föld alatti tárolás feltételrendszerének kiemelt figyelembevételével**

**DOKTORI (PhD) ÉRTEKEZÉS**

*Tudományos vezető:*  
*Dr. Bódi Tibor*  
*egyetemi docens, igazgató*

*Dr. Falus György*  
*tudományos főmunkatárs, főosztályvezető*

*Konzulens:*  
*Dr. Zilahi-Sebess László*  
*tudományos főmunkatárs*

*Kutató hely: Miskolci Egyetem*  
*Alkalmazott Földtudományi Kutatóintézet*

*Készítette:*  
*Szamosfalvi Ágnes*  
*okleveles műszaki*  
*földtudományi mérnök*

MISKOLC, 2014



## **Témavezetői ajánlás**

### **Szamosfalvi Ágnes: Mihályi-Répcelak természetes szén-dioxid tároló mélyfúrás geofizikai adatainak újraértelmezése a szén-dioxid föld alatti tárolás feltételrendszerének kiemelt figyelembevételével**

Összességében megállapítható, hogy a Szerző jelentős munkát végzett a Mihályi-Répcelak természetes szén-dioxid előfordulás vizsgálata során. Ellátogatott a vizsgált területre illetve a Linde Gáz Magyarország Zrt-hez. Felkutatta a Magyar Bányászati és Földtani Hivatal adattárában fellelhető fúrási kútkönyveket és kutatási jelentéseket. Mindezeket áttanulmányozva kiválogatta a vizsgálandó fúrásokat és mélyfúrás-geofizikai szelvényeket. Ezen szelvények képezték a sokrétű vizsgálatok alapját. A Szerző továbbá elsajátította a WellCAD, mélyfúrás-geofizikai szelvények feldolgozásához és értelmezéséhez fejlesztett szoftver használatát és azt magas szinten végzi.

A fentiek mellett megállapíthatom, hogy a Szerző komoly –mind hazai és külföldi- szakirodalmi olvasottsággal, ismerettel rendelkezik a témájában, melyet a terjedelmes irodalomjegyzék bizonyít.

A dolgozat egyik érdeme, hogy már meglévő, régi, gyakran hibás adatrendszerből egy egységes adatrendszert hoz létre, melynek hitelesítését is elvégzi. Így már az egységes adatrendszert felhasználva valós földtani következtetéseket tudott levonni. A dolgozat jól szerkesztett ábrái segítik az olvasót a megértésben. Az értekezéshez terjedelmes melléklet kapcsolódik. Összességében 18 táblázat és 77 ábra található benne, a dolgozatban lévő 68 ábrán felül.

Felépítését tekintve megállapítható, hogy a dolgozat szerkezete logikus, a tartalmi részek aránya megfelel a PhD szerkezeti elvárásainak. A dolgozat tartalma alapján alapos és szakszerű vizsgálatokat végzett a Szerző, melyből látszik, hogy kellően elmélyült ismeretekkel rendelkezik a témában, és azokat jól alkalmazza új eredmények eléréséhez.

A Szerző a fenti témában számos publikációt készített. Ezek között vezető hazai szakfolyóiratok, illetve egyéb folyóiratok valamint egy nemzetközileg ismert lapba bírálat alatt van egy cikke. Külföldi és hazai konferenciákra készült kivonatok főleg – az alapismereteken felül - a mélyfúrás-geofizikai szelvények összehitelesítése és formáció határ kijelölés témaköréből készültek. Összesen hány jelent meg ebből 6 publikációja jelent meg eddig a dolgozat témájában.

A fentieket figyelembe véve Szamosfalvi Ágneszt egy érett, sokoldalú kutatónak tartom, aki munkájával és a dolgozatával megfelel a PhD hallgatókra vonatkozó kritériumoknak.

Miskolc, 2014. szeptember 15

Dr. Bódi Tibor



## Összefoglalás

Dolgozatomban a Mihályi-Répcelak területén található természetes szén-dioxid előfordulás fúrásainak mélyfúrás-geofizikai szelvényeit vizsgáltam a szén-dioxid föld alatti tárolás szempontjából.

Ennek érdekében áttekintettem és felhasználtam az elmúlt évtized hazai és nemzetközi irodalmait a témában. A szén-dioxid előfordulás mélyfúrás-geofizikai szelvényeinek feldolgozása során módosítottam és pontosítottam a területről ismert földtani adatokat és új eredményekkel egészítettem ki ezeket az ismereteket.

A vizsgált területről 28 fúrás mélyfúrás-geofizikai értelmezését végeztem el. Egy régi, helyenként kaotikus adatrendszerből a hibajavítás és összehitelesítés után megtörtént az egyes fúrásokban a formáció határok kijelölése, majd ezt követően végeztem el az agyagosság és effektív porozitás és szivárgási tényező meghatározását.

Az értelmezést követően elkészítettem az alsó pannóniai összlet formációinak illetve két szén-dioxidos telep fedő-, fekü-, vastagság- és a származtatott paraméterek alapján agyagosság-, effektív porozitás- és permeabilitás térképeit. Répcelak területén a szén-dioxidos fúrásokra, a származtatott paraméterek segítségével cross-plotokat készítettem. Mindezekből nyert eredmények alapján fogalmaztam meg a megállapításaim és téziseim.

A mélyfúrás-geofizikai szelvények alapján elvégeztem formáció kijelölését. Az értelmezés során – cross-plotok és hisztogramok segítségével – kialakítottam egy módszert mellyel objektíven szétválasztható és ellenőrizhető a formáció határ kijelölés pontosság.

Megfigyeltem, hogy a területen az alsó pannóniai formációk jelen vannak, ellenben, feljebb már hiányos a rétegsor. Ennek oka lehet a kompresszió hatására bekövetkezett emelkedés okozta erózió, ami a medencefejlődés utolsó fázisában játszódott le. Ez a megállapítás ellentmond a régebbi elképzelésnek, mely szerint az alsó pannóniai formációk közül Mihályi –Répcelak területén csak az Algyői Formáció van jelen, melyet a prepontusi erózióval magyaráznak a Kisalföldön.

Az általam részletesen vizsgált két szén-dioxidos telep (Alsópannon-II, -III) tulajdonságai alapján megállapítható volt, hogy a terület története során valóban történt alsó pannóniai eróziós esemény, ami érintette az Endrődi Formációt azon belül is a felső (Alsópannon-III) telepet, de az nem volt olyan jelentős, mint azt korábban feltételezték.

Mélyfúrás-geofizikai szelvények felhasználásával, több módszerrel kimutattam illetve alátámasztottam, hogy Mihályi-Répcelak területén az Endrődi Formációt diszperz és strukturális agyagosság egyaránt jellemzi, melyet a területről vett magokból készült csiszolatok és pásztázó elektronmikroszkópos vizsgálatok is megerősítettek.

Végül megállapítottam, hogy a területen az alsó pannóniai képződmények a kompaktációs állapotukból megítélve a jelenleginél jóval nagyobb mélységben kellett, hogy tartózkodjanak.



## Summary

In this work I studied the well logs of Mihályi-Répcelak natural CO<sub>2</sub> reservoir with special respect to the subsurface storage of carbon-dioxide.

Therefore, I have reviewed the domestic and international literatures that were published in the subject in the past decades. The results derived from processing of well logs of the natural carbon dioxide reservoir modify and refine the known geological data from the area as well as adding new knowledge to the geological history of the region.

I have re-processed and re-interpreted the well logs of 28 boreholes from the study area. After trouble shooting and corrections of the available old, sometimes chaotic data system I have carried out the identification of formation boundaries. This was followed by the determination of clayiness, effective porosity and filtration coefficient in the studied strata.

After the interpretation of the well logs I developed the following geological maps of formations of the Lower Pannonian sequence and two carbon dioxide reservoirs: top of formation-, bottom of formation-, thickness and - based on the derived parameters- the clayiness-, effective porosity- and permeability maps. I generated cross-plots from the derived parameters of Répcelak wells that contain carbon dioxide. From all these results I formulated my conclusions and theses.

Based on the well logs I have indicated the formation boundaries. In its interpretation - with cross-plots and histograms - I developed a method to separate the formations objectively and verifiably.

I observed that a nearly complete sequence of the Lower Pannonian formations is present in the area, and that the overlying sequence is partly eroded. This might be related to the compression effect that generated erosion in the last stage of development of the basin. This result is in contradiction with the earlier statements, which conclude that the Lower Pannonian formations are only represented by the Algyó Formation at the Mihály -Répcelak field, which is explained by the Prepontusian erosion in the Little Hungarian Plain.

Based on the properties of the two thoroughly investigated carbon dioxide reservoirs (Alsó Pannon II.-III.) I concluded that there was a lower Pannonian erosional event in the history of the area that affected the Endrőd Formation within the top (Alsó Pannon III.) reservoir, but it was not as significant as previously thought.

Using well logs, I showed and confirmed by several methods (thin sections from boreholes and scanning electron microscopy) that structural and disperse clayiness are simultaneously present in the Endrőd Formation at the Mihályi-Répcelak area.

Finally, I established that the lower Pannonian formations had to be at much deeper depth than their current position, in the Little Hungarian Plain.



## Tartalom

Ábrajegyzék .....	II
Táblázat.....	IV
<b>1. Bevezetés (Az értekezés előzményei és célkitűzései).....</b>	<b>1</b>
<b>2. Természetes szén-dioxid előfordulások és -analógok illetve a hozzájuk kapcsolódó vagy a témával foglalkozó projektek és kutatások a világban és Magyarországon .....</b>	<b>5</b>
2.1. Természetes szén-dioxid előfordulásokkal és -analógokkal foglalkozó kutatási programok .....	5
2.2. Természetes szén-dioxid előfordulások, -analógok bemutatása .....	6
2.2.1. Európai természetes előfordulások, -analógok.....	7
2.2.2. Magyarországi természetes előfordulások, -analógok .....	9
2.2.3. Amerikai természetes analógok és -előfordulások.....	11
<b>3. Szűkebb kutatási terület földtani leírása és kutatástörténete .....</b>	<b>13</b>
3.1. Bevezető földtani rész: A Kisalföld .....	13
3.2. Mihályi-Répcelak természetes CO <sub>2</sub> tároló földtani leírása .....	15
3.3. Kutatástörténet .....	16
3.3.1. Metamorf képződmények.....	21
3.3.2. Neogén képződmények .....	22
3.3.3. Teleptartalom .....	24
3.3.4. CO <sub>2</sub> -telepek rétegtani helyzete.....	24
<b>4. A vizsgált szelvények és paraméterek fizikai háttere.....</b>	<b>26</b>
4.1. A vizsgált szelvények fizikai hátterének összefoglalása.....	27
4.1.1. Természetes potenciál szelvényezés .....	27
4.1.2. Ellenállás szelvényezés .....	28
4.2. Petrofizikai paraméterek meghatározása.....	29
4.2.1. Agyagosság .....	29
4.2.2. Vízellenállás számítása .....	32
4.2.3. Porozitás .....	33
4.2.4. Permeabilitás .....	36
<b>5. A vizsgált mélyfúrás-geofizikai szelvények feldolgozása, értelmezése .....</b>	<b>41</b>
5.1. Kiválasztott területeken a mélyfúrás-geofizikai szelvények javítása.....	42
5.2. Kiválasztott területeken a mélyfúrás-geofizikai szelvények összehitelesítése.....	43
5.3. Mélyfúrás-geofizikai szelvények feldolgozása és értelmezése.....	48

<b>6. Az Alsópannon II. és III. szén-dioxidos telep részletes ismertetése és vizsgálata.....</b>	<b>79</b>
6.1. Endrődi Formáció.....	82
6.2. Ap II. és Ap III. telepek lehatárolása .....	90
6.3. Répcelak: Alsópannon II. számú CO <sub>2</sub> -telep (Ap II.).....	92
6.4. Répcelak: Alsópannon III. számú CO <sub>2</sub> -telep (Ap III.).....	97
6.5 Fejlődéstörténeti következtetés .....	103
<b>7. A kapott eredmények kapcsolata a szén-dioxid föld alatti elhelyezésével .....</b>	<b>106</b>
7.1. Természetes tárolók részletesebb jellemezhetősége .....	106
7.2 Potenciális tárolók pórútfogatának effektív porozitásának meghatározása.....	106
7.3 Potenciális tárolók permeabilitásának előzetes meghatározása .....	107
<b>8. Összefoglalás, tézisek .....</b>	<b>108</b>
<b>9. Köszönetnyilvánítás .....</b>	<b>113</b>
<b>10. Felhasznált irodalom.....</b>	<b>114</b>
<b>Táblázatok.....</b>	<b>121</b>
<b>Mellékletek .....</b>	<b>133</b>

## Ábrajegyzék

1. ábra Korai földtani szelvény, amely a Dunántúli-középhegység fedetlen részének és a kisalföldi aljzatnak szénhidrogén-kutató fúrások segítségével megismert szerkezetét együtt ábrázolja. ....	14
2. ábra M-1 kút Répcelakon .....	17
3. ábra M-5/b kút Répcelakon .....	18
4. ábra A Kisalföld és a Rábavidék medencealjzat térképe .....	19
5. ábra Nyomás-hőmérséklet fázisdiagramon Mihályi –Répcelakon mért telep adatok .....	20
6. ábra Mihályi-Répcelak CO <sub>2</sub> gáz felhalmozódás keresztmetszet.....	24
7. ábra 4 Mihályi-Répcelak Sp mérés példaként az alapvonal eltolódásra .....	31
8. ábra A geofizikai módszerekkel mért porozítások összetevői .....	34
9. ábra Tipikus porozitás és permeabilitás cross-plot-ok .....	39
10. ábra A szemcseméret hatása/befolyása a porozitás és permeabilitás cross-plotra.....	39
11. ábra Mihályi (bal) és Répcelak (jobb) hőmérséklet korrigált ellenállás szelvényei 500 pontos szűrővel. A függőleges tengely a mélység [m].....	45
12. ábra Répcelaki fúrások ellenállás szelvényeiből készült hisztogramok (M-13, M-30, M-32 és M-40 szén-dioxidos, míg M-20 és MF-2 nem szén-dioxidos fúrás. A szürke szín az adott fúrás átlag ellenállását jelzi. ....	47
13. ábra A Mihályi háton vizsgált fúrások. Piros színnel az érintett két település látható. Az alaptérkép a Szolnoki formáció becsült tető térképe.....	49

14. ábra Mihályi terület 5 db jellemző fúrásán és azon belül is a látszólagos fajlagos ellenállás [ohmm] szelvényeken bemutatva a kútkönyv által megadott (zöld színnel jelölve) illetve az új értelmezése az alsó pannóniai határoknak.....	50
15. ábra Répcelak terület 6 db jellemző fúrásán és azon belül is az látszólagos fajlagos ellenállás [ohmm] szelvényeken bemutatva a kútkönyv által megadott (zöld színnel jelölve) illetve az új értelmezése az alsó pannóniai határoknak.....	50
16. ábra A régi, elfogadott modell és az új modell összehasonlítása sematikus ábrán keresztül .....	52
18. ábra Répcelaki és Alföldi fúrások hőmérséklet korrigált ellenállás szelvényei (R_Tcorr) illetve a Szolnoki Formáció határa adott fúrásokban .....	55
19. ábra A területen áthúzódó földtani szelvény .....	56
20. ábra a). Az M-6 fúrás egyszelvényes kiértékelésének fejléce és b). az M-6 fúrás kétszelvényes kiértékelésének fejléce .....	56
21. ábra a). Az M-6 fúrás egyszelvényes kiértékelésének fejléce és b). az M-6 fúrás kétszelvényes kiértékelésének fejléce .....	57
22. ábra a) M-14 fúrás egy szelvényes kiértékelése az Endrődi Formációra b) M-14 fúrás kétszelvényes kiértékelése az Endrődi Formációra.....	59
23. ábra a) M-19 fúrás egy szelvényes kiértékelése az Endrődi Formációra b) M-19 fúrás kétszelvényes kiértékelése az Endrődi Formációra.....	61
24. ábra a) M-24 fúrás egy szelvényes kiértékelése az Endrődi Formációra b) M-24 fúrás kétszelvényes kiértékelése az Endrődi Formációra.....	63
25. ábra M-6 fúrás agyagosság-szivárgási tényező értékei formációnkénti színezés .....	64
26. ábra M-14 fúrás agyagosság-szivárgási tényező értékei formációnkénti színezés .....	65
27. ábra M-19 fúrás agyagosság –szivárgási tényező értékei formációnkénti színezés.....	66
28. ábra M-24 fúrás agyagosság –szivárgási tényező értékei formációnkénti színezés.....	66
29. ábra M-6 fúrás s agyagosság-trend effektív porozitás értékei formációnkénti színezés....	67
30. ábra M-14 fúrás agyagosság-trend effektív porozitás értékei formációnkénti színezés ....	68
31. ábra M-19 fúrás agyagosság-trend effektív porozitás értékei formációnkénti színezés ....	69
32. ábra M-24 fúrás agyagosság-trend effektív porozitás értékei formációnkénti színezés ....	69
33. ábra A két kiértékelési módszer által számolt agyagosság összevetése.....	70
34. ábra Agyagosság és ellenállás agyagosság-szivárgási tényező cross-plot.....	71
35. ábra Agyagosságok- szivárgási tényező cross-plot egyben .....	71
36. ábra 4 répcelaki fúrás agyagosság-effektív porozitás cross-plotja.....	73
37. ábra Agyageloszlás típusai, fekete az agyag ásvány, többi homokszemcse (kvarc).....	74
38. ábra Thomas-Stieber agyagosság-effektív porozitás cross-plot.....	75
39. ábra M-40 fúrás sűrűség – neutron porozitás cross-plotja az Endrődi Formációra vonatkozóan .....	76
40. ábra M- 30 fúrásból származó magmintából készült csiszolata képe .....	77
41. ábra A magmintákból készült pásztázó elektronmikroszkóp képe, melyen mind a diszperz, mind a strukturális agyagosság látható és jelölve is lett.....	78
42. ábra Az M-30 fúrás Ap II. telepén mért és számított porozitás adatok.....	79
43. ábra Répcelak területére eső szén-dioxidos telepek területi elterjedése. ....	80
44. ábra Répcelak területén megtalálható szén-dioxidos fúrások hőmérséklet korrigált fajlagos ellenállás [ohmm] szelvényei, ezeken feltüntetve a szén-dioxidos rétegek. ....	81

45. ábra A pannóniai képződmények kialakulási modellje az ÉNY-i, és az ÉK-i feltöltődési irányokból.....	82
46. ábra Az Endrődi Formáció tető mélység térképe Répcelak .....	83
47. ábra Az Endrődi Formáció fekvő mélység térképe Répcelak területén .....	84
48. ábra Az Endrődi Formáció vastagság térképe Répcelak területén .....	85
49. ábra Endrődi Formáció permeabilitás [mD] térképe, A-B pontok a szerkesztett szelvény végpontjai .....	86
50. ábra Endrődi Formáció tető és permeabilitás térképén behúzott szelvény (A-B irányok) keresztmetszet .....	87
51. ábra Az egy (jobb) és kétszelvényes (bal) kiértékelés során számolt effektív porozitás adataiból készült eloszlás térképek (zöld színtől a narancssárgáig nő az effektív porozitás). Földtani szempontból a jobboldali két szelvényen alapuló képet tartom valószínűbbnek. ....	87
52. ábra Az Endrődi Formáció agyagosság eloszlás térképei .....	88
53. ábra Endrődi Formáció ellenállás agyagosság és agyagosság különbség térképe .....	89
54. ábra Répcelak területére eső alsó pannóniai II. és III. számú telepek elterjedése.....	90
55. ábra Répcelaki fúrások hőmérséklet korrigált ellenállásszelvényei, melyekben nyomon követhetők az Ap II. és Ap III. telepek (dél-észak szelvény).....	91
56. ábra Ap II. telep vastagság térképe és egy D-É irányú szelvénye.....	93
57. ábra Az Ap II. szén-dioxidos telep permeabilitás [mD] eloszlás térképe .....	94
58. ábra Az Ap II. telep effektív porozitás (bal) és trend effektív porozitás (jobb) eloszlás térkép.....	95
59. ábra Az Ap II. telep agyagosság eloszlás térképe .....	96
60. ábra Az Ap II. és Ap III. telepet elválasztó agyagos réteg permeabilitás [mD] és szivárgási tényező [m/s] eloszlás térképe.....	97
61. ábra Ap III. telep vastagság térképe és keresztjelvénye.....	98
62. ábra Az Ap III. telep permeabilitás [mD] eloszlás térképe .....	99
63. ábra Az Ap III. telep effektív porozitás (bal) és trend effektív porozitás (jobb) eloszlás térkép.....	100
64. ábra Az Ap III. telep agyagosságának eloszlás térképe .....	101
65. ábra Ellenállás agyagosság-effektív porozitás cross-plot-ok az Endrődi Formációra, az Ap II. telep kék míg a Ap III. telep zöld színnel jelölve .....	102
66. ábra Trend effektív porozitás-szivárgási tényező összefüggése a vizsgált rétegekben....	103
67. ábra Az Ap II. és Ap III. telep vastagság szelvénye a térképen látható metszetben .....	104
68. ábra Az Ap III. telep kialakulásának elvi ábrája .....	105

## Táblázat

1. táblázat Mihályi-Répcelak szén-dioxid telepek átlagos gázösszetétele (Mészáros et al. 1979).....	122
2. táblázat Medencealjzati CO <sub>2</sub> -telepek alapinformációinak összefoglalása .....	122
3. táblázat Miocén CO <sub>2</sub> -telepek alapinformációinak összefoglalása .....	122
4. táblázat Alsó pannóniai CO <sub>2</sub> -telepek alapinformációinak összefoglalása .....	123
5. táblázat Felső pannóniai CO <sub>2</sub> -telepek alapinformációinak összefoglalása .....	124



6. táblázat Felső pannóniai „nem éghető” kevertgáztelepek alapinformációinak összefoglalása .....	124
7. táblázat Néhány permeabilitás becslési módszer (Glover 2013 alapján) .....	125
8. táblázat A beszkenelt és digitalizált fúrások és a fúrásokhoz kapcsolódó szelvények..	126
9. táblázat Répcelaki fúrások és EOVS koordinátái és talpmélysége .....	127
10. táblázat Répcelaki fúrások és EOVS koordinátái és talpmélysége .....	127
11. táblázat Répcelaki fúrások teljes ellenállás szelvényéinek fúrásonkénti átlag értéke.....	128
12. táblázat Répcelaki fúrások formáció határai (vast= vastagság [m], talp=fekü mélység [m], tető= tető mélység [m]) .....	129
13. táblázat Mihályi fúrások formáció határai (vast= vastagság [m], talp=fekü mélység [m], tető= tető mélység [m]) .....	130
14. táblázat Endrődi Formáció mélységszakaszai és permeabilitás értékei .....	130
15. táblázat A Mihályi és Répcelak területeken számolt paraméterek átlag és vastagságra súlyozott átlag eredményei az Endrődi Formációra .....	131
16. táblázat Ap II. telep alapadatai (Ap= alsó-pannóniai, vast= vastagság, szt=szivárgási tényező, tep= trend effektív porozitás).....	131
17. táblázat Ap III. telep alapadatai (Ap= alsó-pannóniai, vast= vastagság, szt=szivárgási tényező, tep= trend effektív porozitás).....	132
18. táblázat Ap II. és Ap III. telep főbb paraméterei.....	132



## 1. Bevezetés (Az értekezés előzményei és célkitűzései)

Magyarországon és a világban az ipari tevékenység következtében kibocsátott szén-dioxid jelentős mennyisége nagymértékben hozzájárul a Föld gyorsütemű klimatikus változásához. A sarki jég olvadása, a melegedő tengervíz hő tágulása miatti tengerszint emelkedés, a nagy erejű ciklonok egyre szaporodó száma mind a kezdődő klímaváltozás jelei, amely jelenségek egyik legfőbb kiváltó okaként nevezik meg az üvegházhatású gázok, és ezen belül is a szén-dioxid kibocsátás növekedését. Ezen folyamatok lelassításához és megállításához szükséges a CO<sub>2</sub> légkörbe történő kibocsátásának mérséklése (IPCC 2007).

Világszinten a szén-dioxid-emisszió több mint 40 százaléka az energia termeléséhez kapcsolódik. A helyzet súlyosságát fokozza a globálisan folyamatosan növekvő energiaigény, amely előrejelzések szerint 2030-ig akár további 50 %-kal is emelkedhet. Az EU éghajlatváltozást kezelő intézkedései jelentősen növelnék a tagállamok energiabiztonságát. Az olaj- és gázbehozatal mértéke a tervezett intézkedések hatására 2030-ra körülbelül 20 %-kal csökkenne. A szén-dioxid emisszió csökkenésére több lehetőség adódik, ilyen például az energiafelhasználás hatékonyságának növelése, atomenergia, alternatív energiatermelés, valamint a szén-dioxid föld alatti elhelyezése. Kulcs szerepet kell, hogy kapjon az energiahatékonyság növelésével és a megújuló energiatermelés széleskörű elterjedésével egyidejűleg az *ipari eredetű szén-dioxid leválasztása és föld alatti elhelyezése* is, mivel kizárólag együttesen alkalmazva érhető el a kívánt hatás. Meg kell jegyezni, hogy jelenleg alkalmazható emisszió csökkentési eljárások közül, egyedül a szén-dioxid föld alatti elhelyezése képes igen rövid idő alatt, kibocsátás-csökkenést elérni úgy, hogy az energiatermelés szerkezetét ne kelljen drasztikusan átalakítani (Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia (NÉS) 2013).

Az európai szintű tárolási kapacitás felmérések azt mutatják, hogy jelentős mennyiségű szén-dioxid biztonságos tárolására nyílik lehetőség. Becslések alapján az mondható, hogy a szén-dioxid elhelyezési potenciál kihasználásával az európai kibocsátást akár 50%-kal is csökkenteni lehetne 2050-ig. A CCS – technológiát (Carbon Capture and Storage - szén-dioxid leválasztása és föld alatti elhelyezése) alkalmazó szén-, lignit-, vagy gáztüzelésű erőművek esetében, a CO<sub>2</sub>-kibocsátás mintegy 90%-kal mérsékelhető. A globálisan robbanásszerűen emelkedő energiaigénnyel a megújuló források, - jelentős (évi 1%-os) tényerésük ellenére - egyelőre nem képesek lépést. A CCS - technológiával, ugyanakkor több milliárd tonna ipari eredetű szén-dioxid leválasztása és hosszú távú

biztonságos elhelyezése valósítható meg. 2013. évben a fosszilis alapú tüzelőanyagok széndioxid kibocsátása világszinten meghaladta a 36 milliárd tonnát. A jelenleg uralkodó klímát veszélyeztető energiatermelés és a kibocsátás-mentes megújuló energiák vezető státuszának elérése között áthidaló szerepe lehet a CCS – technológiának (Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia (NÉS) 2013).

A szén-dioxid föld alatti elhelyezése – főként az Európai Unióban – egyre szélesebb körben elfogadott emisszió-csökkentési eljárás. Ezt jelzi az a tény is, hogy 2008. január 23-án az Európai Unió megfogalmazta a szén-dioxid-kibocsátás mérséklésével kapcsolatos terveit, azaz a „Klíma- és Energiacsomagot”. Ebben a tervezetben jelentős szerepet kap - többek között - a CCS-technológia támogatása is. 2009 áprilisában az Európai Tanács és az Európai Parlament is jóváhagyta a tervezetet és elfogadta a „Csomagot” alkotó Uniós direktívákat, amelyeket a Tagállamoknak – így Magyarországnak is –2011 júniusáig kötelező volt saját jogrendszerükbe integrálni (A jogharmonizáció hazánkban 2012 májusában valósult meg). Az elfogadástól számítva a CO<sub>2</sub> föld alatti tárolása elismert üvegházgáz-kibocsátáscsökkentési eljárás lett, és mint ilyen 2013-tól bekapcsolódott a kvótakereskedelmi rendszerbe (Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia (NÉS) 2013).

Magyarország potenciálisan a kimerült kőolaj- és földgáztározók, valamint mélyen fekvő sós vizet rétegek kihasználásával tudja megoldani szén-dioxid tárolási problémái zömét, továbbá jelentős perspektívái lehetnek a kimerült, illetve gazdaságosan nem kitermelhető mélyszinti szénbányák tárolóvá alakításának is. Ez utóbbi esetben a költségeket csökkentheti a felszabaduló és kitermelhető metán hasznosítása. Az ipari eredetű szén-dioxid elhelyezése tekintetében tehát elméletileg hosszú ideig komoly kapacitások állnak rendelkezésre hazánkban. Tekintettel a nemzetközi egyezményekben előírt és a trendek alapján várható szűkülő kibocsátási lehetőségekre – mindez komoly gazdasági potenciállá fejleszthető (Falus 2011).

A rezervoárokkal szemben, melyek potenciálisan alkalmasak szén-dioxid elhelyezésre a következő általános elvárások fogalmazhatók meg:

- megfelelően szigetelő záró-közetekkel rendelkezzenek,
- megfelelően nagy permeabilitásúak és porozitásúak legyenek,
- megfelelően nagy tároló térfogattal rendelkezzenek,
- lehetőleg alacsony hőmérséklet és magas nyomás jellemezze őket,
- valamint, hogy nyugodt hidrodinamikai körülmények uralkodjanak bennük.

Mindezek figyelembe vételével kijelenthető, hogy Magyarország egyes szénhidrogén tárolói alkalmasak lehetnek szén-dioxid tárolására. Az alkalmas tárolókba elméletileg besajtolható szén-dioxid mennyisége jelentős, konzervatív becslések alapján is többszörösen meghaladja a hazai ipari és erőművi kibocsátásokat (Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia (NÉS) 2013).

A szén-dioxid leválasztása és föld alatti elhelyezése (CCS) egy komplex technológia, ami a szén-dioxid leválasztásából, szállításából és földalatti elhelyezéséből áll. Ezen láncolat, talán a legtöbb kihívással szembe néző eleme a föld alatti elhelyezés, melynek problémáit meg kell oldani a biztonságos tárolás érdekében.

Dolgozatomban a szén-dioxid föld alatti elhelyezésének földtani kutatásához kapcsolódó rezervoár paramétereinek (porozitás, permeabilitás, tároló geometria) becslésével foglalkozom a vizsgálati területen, főleg régi mélyfúrás-geofizikai mérések alapján. A tároló paraméterek becslésében nagy bizonytalanság adódik abból, hogy nem ismerjük a föld alatt a szén-dioxid jelenlétében lejátszódó mechanizmusokat és azok hatásait. Egy potenciálisan alkalmas rezervoár számos földtani és biztonsági feltételnek kell, hogy megfeleljen, melyek meglétét geofizikai, mélyfúrás-geofizikai és geokémiai mérésekkel/adatok kiértékelésével lehet vizsgálni. A legegyszerűbb és egyben leginkább költséghatékony módszer, ha visszanyúlunk a korábbi mérésekhez, archív adatokhoz. Ezek közül is az egyik legtöbb és egyben egyik leghasznosabb információt a mélyfúrás-geofizikai szelvények nyújtják. Azonban ezen archív mélyfúrás-geofizikai szelvények akár az 1950-es évekből is származhatnak, mely minőségbeli és mérés típus- és számbeli korlátokat állít elénk. Komoly feladat ezekből a régi, gyakran rossz minőségű, kaotikus adatrendszerekből egy valós földtani képet adni a vizsgált területről, de mindez hibajavítással és területi összehitelesítéssel elérhető.

A szén-dioxid elhelyezés során lejátszódó folyamatok megértésében a természetes szén-dioxid előfordulások tanulmányozása nagy segítséget jelent. Dolgozatom tárgya a Mihályi-Répcelak természetes szén-dioxid előfordulás geofizikai-földtani modelljének jellemzése mélyfúrás-geofizikai mérésekkel és az azokból származtatható hidro(rezervoár)geológiai paraméterekkel. Mihályi-Répcelak területén évtizedek óta folyik szén-dioxid termelés, ami arra utal, hogy lehetséges egy szén-dioxidos rezervoár biztonságos művelése évtizedeken keresztül anélkül, hogy bármilyen nagyobb probléma felmerülne. Ez Magyarország legjelentősebb természetes szén-dioxid előfordulása, amelyet több szakaszban

is vizsgáltak, és az évek során ~46 fúrás mélyítették, melyek nagyrészeének újraértelmezésére lehetőségem nyílt a Linde Gáz Magyarország Zrt. jóvoltából.

A dolgozatomban a bevezetést követő fejezetben áttekintem a világban illetve Magyarországon megtalálható természetes szén-dioxid tárolókat illetve ezek esetében milyen vizsgálatokat végeztek el, annak érdekében, hogy teljes képet adjak a témában a világban zajló kutatásokról. A 3. fejezetben átfogó képet adok Magyarország legjelentősebb szén-dioxid előfordulásának – Mihályi-Répcelak – és annak tágabb környezetéről (Kisalföld) földtani-geofizikai szakirodalmak segítségével.

A 4. fejezetben röviden kitérek azon mélyfúrás-geofizikai szelvényezési módszerekre, melyeket vizsgálataim során használtam. Jellemzést adok az ezekből származtatott rezervoargeológiai paramétereikről, ezek számítási módszereiről illetve a területi értelmezést elősegítő utóhitelesítés módszertanáról. A dolgozatomhoz (5. fejezet) 28 db Mihályi-Répcelaki fúrás mélyfúrás-geofizikai szelvényei álltak rendelkezésre, melyek közül az ellenállás és a természetes potenciál mérés volt meg mindegyik fúrás esetében. Ezen, viszonylag régi szelvényeken először elvégeztem egy hibajavítási protokollt, majd ezt követően külön Mihályi és külön Répcelak esetében területi összehitelesítést végeztem. A területi összehitelesítés lényege, a fúrások közti szisztematikus eltérések kiszűrése, hogy egységes adatrendszert jöjjön létre annak érdekében, hogy a szelvények értelmezése után már a valódi földtani képet kapjam meg. A megmaradt hibajavított és összehitelesített mélyfúrás-geofizikai szelvények felhasználásával végeztem el az újra értelmezést „egyszelvényes” (ellenállás) illetve „kétszelvényes” (ellenállás-természetes potenciál) kiértékeléssel. A Répcelak területére eső szén-dioxidos fúrások eredményeinek felhasználásával különböző cross-plotokat (agyagosság- permeabilitás, agyagosság- trend effektív porozitás, agyagosság- effektív porozitás, ellenállás agyagosság- agyagosság) szerkesztettem, melyek elemzése több tézis megállapítására is lehetőséget adott.

Az újraértelmezés során meghatároztam az Algyői, Szolnoki és Endrődi formációk<sup>1</sup> határait és a származtatott rezervoár geológiai paraméterek felhasználásával elkészítettem mind Répcelak, mind Mihályi esetén a formációk fedő, fekvő, vastagság, agyagosság, effektív porozitás és permeabilitás eloszlás térképét. Répcelak esetén a legnagyobb és legjelentősebb szén-dioxidos telep (Ap II.) és a felette lévő Ap III. telep illetve a köztük elhelyezkedő agyagos réteg vizsgálata is részét képezte a dolgozatomnak (6. fejezet).

---

<sup>1</sup> A formációkat, mint paleofácieseket jelző szekvenciákat kezeltem.

Ezen feladatok elvégzése és eredményei képezték a téziseim és megállapításaim alapját, melyek segítségével egy mélyfúrás-geofizikai méréseken alapuló komplexebb földtani képet és hidrogeológiai paramétereloszlást állítottam elő egy természetes szén-dioxid előfordulásról. Mindez egy későbbi hidrodinamikai rezervoármódellezés bemenő adatrendszerül szolgálhat.

## **2. Természetes szén-dioxid előfordulások és -analógok illetve a hozzájuk kapcsolódó vagy a témával foglalkozó projektek és kutatások a világban és Magyarországon**

A természetes szén-dioxid analógok<sup>2</sup> és -előfordulások<sup>3</sup> megismerése rendkívül fontos a szén-dioxid tárolás szempontjából, mivel egy már szén-dioxidot tároló rezervoárról kapunk átfogó földtani-geofizikai képet. Éppen ezen célból több nemzetközi projekt és kutatás is megvalósult a természetes szén-dioxid analógok és -előfordulások megismerésére.

A következőkben egy rövid áttekintést adok ezekről annak érdekében, hogy átláthatóvá váljon, hogy hol, milyen természetes analógok és -előfordulások találhatóak és milyen vizsgálatokat, kutatásokat végeztek el ezek feltárása érdekében illetve milyen ismeretekkel rendelkeznek ezekről a területekről. A legtöbb esetben geokémiai oldalról vizsgálták a természetes szén-dioxid -analógokat, -előfordulásokat azonban mélyfúrás-geofizikai oldalról nem történtek értelmezések vagy legalább is nincs fellelhető információ ezekről a vizsgálatokról. Röviden bemutatom a magyarországi előfordulásokat is, köztük a Mihályi-Répcelak területet, melynek földtani adottságait és kutatástörténetét a 3. fejezetben részletesen kifejtem, mivel vizsgálataim tárgyát ez a terület képezte.

### **2.1. Természetes szén-dioxid előfordulásokkal és -analógokkal foglalkozó kutatási programok**

Az első és talán magyar szemszögből a legfontosabb projekt a **NASCENT** (2010-2013) (The Natural Analogues for the Storage of CO<sub>2</sub> in the Geological Environment), mely az brit geológiai szolgálat (BGS) irányításával valósult meg ipari partnerek, egyetemi és

---

<sup>2</sup> Olyan terület, ahol a természetes szén-dioxid a felszín felé migrál és ott szivárog.

<sup>3</sup> Olyan terület, ahol a természetes szén-dioxid nem szivárog, szerkezetileg vagy litológiaiilag csapdázódott.

európai nemzeti geológiai kutató intézetek bevonásával az Európai Unió társfinanszírozásában. A programban egy magyar résztvevő intézmény is volt, az akkori MÁFI (Magyar Állami Földtani Intézet), ma már MFGI (Magyar Földtani és Geofizikai Intézet). A projekt célja az európai természetes CO<sub>2</sub> tárolók értékelése volt. A vizsgálatra kiválasztott előfordulások közül némelyik természetes módon szivárog (természetes analóg), és ezek információval szolgálnak a szén-dioxid geológiai- és felszín-közeli környezetre valamint az emberre gyakorolt hatásairól (Stevens et al., 2001). A projekt részben olyan területeket vizsgált, amelyeket már korábban megkutattak. Egyes területeken az ipari termelésből, műveleti folyamatokból folyamatosan rendelkezésre álló adatok mellett új gáz- és vízmintavételekre is sor került. A vizsgálatok célja az volt, hogy megismerjék a CO<sub>2</sub> geológiai tárolás hosszú távú hatásait a rezervoárra, a fedőközetre egyúttal kirajzolódjanak a migrációs mechanizmusok és azok hatása a felszín alatti vizekre és a talajra (Stevens et al., 2001).

Egy másik projekt a **NACS** (The Natural Analogs for Geologic CO<sub>2</sub> Sequestration) volt, amelyet az Advanced Resources International, Inc. (ARI) vezetett. A projekt az Egyesült Államokbeli nagy természetes CO<sub>2</sub> mezőket vizsgálta. Fontos földtani és műszaki adatokat gyűjtöttek össze a McElmo Dome, St. Johns-Springerville és Jackson Dome CO<sub>2</sub> mezőkről. Maga a projekt elsősorban CO<sub>2</sub> migrációval, a tárolási idővel, illetve a CO<sub>2</sub> geokémiai és minerológiai hatásaival foglalkozott, de a projekt keretében a mezőket feltáró illetve termeltető műveletekkel valamint a biztonsággal kapcsolatban is végeztek kutatásokat (Stevens et al., 2001).

A **GEODISC** az Australian Petroleum Cooperative Research Centre-hez (APCRC) kapcsolódó projekt volt, amely a szén-dioxid geológiai tárolás technológiai, környezeti és gazdasági lehetőségeit kutatta Ausztráliában. 10 projektet foglal magában (Stevens et al., 2001).

## **2.2. Természetes szén-dioxid előfordulások, -analógok bemutatása**

A következőkben a legjelentősebb és legismertebb természetes előfordulásokat és -analógokat részleteztem röviden, melyek nagy többsége kapcsolódik a 2.1. alfejezetben bemutatott valamelyik természetes szén-dioxid előfordulást vagy analógot vizsgáló projekthez.



## 2.2.1. Európai természetes előfordulások, -analógok

### 2.2.1.1. Franciaország

A francia karbongázos elő-alpi tartomány (beleértve Perrier, Vichy és Badoit) sok CO<sub>2</sub>-ben gazdag ásványi forrás lelőhelye. A francia "Massif Central" Varisk- érintette a pireneusi és alpesi hegyképződés, mely vetőket, árkokat és vulkanizmust hozott létre a területen. A medencealjzat vagy kibúvik a felszínen, vagy homokkő formációk és karbonát képződmények fedik. A CO<sub>2</sub> feltehetően karbonátok termális metamorfózisából származik, ami vulkáni aktivitáshoz kapcsolható. A CO<sub>2</sub> a felszín felé migrál harmad- és negyedkori tektonikus vetőkön keresztül, de diffúz migrálás is van a területen. Vichy területén a CO<sub>2</sub> ipari termelése folyik annak ellenére, hogy a rétegek nem zártak és jó néhány CO<sub>2</sub> gazdag forrás is található (Stevens et al., 2001).

Az egyik legjelentősebb francia természetes szén-dioxid analóg a **Montmiral**. Számos szén-dioxid gazdag medence és előfordulás található az ÉK-i medence Ardèche paleoszegélyén (Pauwels et al. 2007). Az ÉK-i medencében 8 CO<sub>2</sub> felhalmozódást tártak fel, melyek köpeny vagy kéreg eredetűek. A rezervoárok alsó jura és triász mészkövek, dolomitok és homokkövek, melyek 2000-5000 méter mélységben helyezkednek el. Az ipari termelés a területen 1990 óta folyik (Stevens et al., 2001). Figyelembe véve a CO<sub>2</sub>-termelő kutak tektonikai környezetét és a kőzettani vizsgálatok eredményeit, a természetes rezervoárok és törésrendszerek szén-dioxiddal történő kitöltése valószínűleg a poszt-pireneusi fázisban történt (Pauwels et al. 2007).

### 2.2.1.2. Olaszország

A **Latéra** kaldera mintegy 100 km-re fekszik Rómától, közép Olaszországban. Mely egy aktív geotermális forrás, amit az 1970-es években fedeztek fel, alakja elliptikus (10km×8 km). Mind a kalderán belül, mind kívül több szén-dioxid kiáramlási zóna található (Beaubien et al. 2008). A befogadó kőzet 200 és 2000 méter között található, a felszín kifejlődését a kis mélységű depresszió, a meleg vizű források és a gáz kiáramlási zónák alakították (Stevens et al., 2001).

### 2.2.1.3. Görögország

A **Florina** CO<sub>2</sub> gáztároló Észak-Görögországban a macedón határhoz közel található. A mező miocén korú folyóvízi homokkőből áll, ami agyaggal váltakozik a rezervoárban, mindezt egy néhány 10 méteres az agyag illetve márga fedi (Holloway et al. 2005, Stevens et al., 2001). Kereskedelmi célú termelése, mint ipari gáz 1980-ban kezdődött (Stevens et al., 2001). A termelés az elmúlt évtizedben nőtt, átlagosan 20.000-30.000 tonna szén-dioxidot termelnek évente helyi felhasználásra. A CO<sub>2</sub> felhalmozódás közel a felszínhez található, mintegy 300-600 méter mélyen. Alacsony nyomás jellemzi illetve a CO<sub>2</sub> egy kis része beoldódott már a felszín alatti vizekbe (Vető et al., 2003).

### 2.2.1.4. Németország

A két jelentős németországi természetes szén-dioxid előfordulást vizsgáltak, az egyik **Vorderrhöhn**, ami Frankfurttól 120 km-re fekszik. A többnyire tiszta CO<sub>2</sub> egy töredezett rezervoárban a közép permis Zechstein evaporitban és a Top Rotliegend-i törmeléken üledékben csapdázódott. Ez egy nagy antiklinális szerkezet, az üledék effektív porozitása kicsi és a permeabilitása is igen alacsony. Anhidrit és kalcit ásványképződése a törésekben korlátozza a CO<sub>2</sub> több különálló rétegbe jutását. A fedő kőzetet a Zechstein só formák alkotják. A CO<sub>2</sub> eredete mind genetikailag, mind időben késő harmadkori vulkanizmushoz kapcsolódik. A mező ipari termelés alatt állt, de jelenleg szünetel a kihozatal (Stevens et al., 2001).

A másik a **Laacher-tó** természetes analóg, ami egy vulkanikus szerkezet a paleozoós Rajnai Masszívum területén. A területet évek óta vizsgálják tudományos intézmények és a helyi vízügyi hatóságok, mivel részben környezetvédelmi (védett) terület. A víz típus kemény és számos gázt bocsát ki, főleg szén-dioxidot, mely köpeny eredetű. Aeschbach-Hertig és társai (1996) szerint az éves CO<sub>2</sub> kibocsátás becsült értéke mintegy 5000 tonna.

Különösen a tó nyugati partja mentén található néhány gáznyílást, más néven mofettát<sup>4</sup> vizsgáltak a 2007-es felmérés idején. Ezzel szemben a tó vizének karakterizálását a 2008-ben végezték (Gal et al. 2011).

---

<sup>4</sup> Vulkáni utótevékenységhez kötődő, főleg szén-dioxidból álló gázfeltörés.

### 2.2.2. *Magyarországi természetes előfordulások, -analógok*

Magyarországon számos természetes szén-dioxid előfordulás illetve -analóg található, melyek közül kettő – *Mihályi-Répcelak* illetve *Mátraderecske* – részletesebben tanulmányozott. Az ország területén további nagyszámú szén-dioxid gáztelep-előfordulás (Alföldön Rákóczi falva, Szeghalom, Kismarja, Fegyvernek-Nagykörű és Kisújszállás), valamint természetes szén-dioxid gázszivárgás (pl. magas szén-dioxid tartalommal jellemezhető termálvizek) ismert. Vető és társai (2003) a korábbi irodalmi adatok alapján összefoglalták a Pannon-medence szén-dioxid gázelőfordulásainak geokémiai értékeléseit és hozzá kapcsolódó termálvizek szén-dioxid gázainak geokémiai és izotóp vizsgálatait.

A magyarországi szén-dioxid tartalmú gázok relatíve nehéz  $\delta^{13}\text{C}$  izotóp aránnyal jellemezhetők. Mivel a gáztelepek többsége a metamorf aljzat felett helyezkedik el, Kertai (1972) szerint a szén-dioxid keletkezése az idősebb karbonátos aljzati képződmények metamorfizálódásának az eredménye. A terciér -főként pliocén- időszak során a megemelkedett hőfluxus eredményeképpen a metamorf képződményeket jelentős hőhatás érte, ennek a folyamatnak a következménye, hogy a kőzetben tárolt szén-dioxid kiszabadult, illetve migrált és csapdázódott a fedőben lévő pannon képződményekbe. Koncz (1983) 79 természetes gázelőfordulás izotóp vizsgálatai alapján a  $\text{CO}_2$ -gazdag természetes gázelőfordulásokban a szén-dioxid eredetét az aljzatban lévő karbonátok metamorfizálódásának az eredményének tekintette, megerősítve ezzel Kertai (1972) elméletét.

A Pannon-medence területén számos természetes gázelőfordulás hélium tartalmának eredetét vizsgálták Sherwood és társai (1994, 1997). Az alföldi természetes gáz mezőket vizsgálva, az alföldi 'flis zóna' nyugati részén, Vető és társai (2003) leírták, hogy számos többszintes gáz előfordulás esetében a mélyebb rezervoár részeken túlnyomóan szén-dioxid található. Ezzel szemben a felsőbb szinteken csak szénhidrogén gázok és nitrogén gáz keveréke fordul elő csupán néhány százalék szén-dioxid tartalommal. Véleményük szerint egy  $\text{CO}_2$ - gazdag korai fluidum migrációja eredményezte a mélyebben levő szén-dioxid gazdag gáztesteket. Ennek szünetelése után a felsőbb rezervoárokat egy későbbi katagenetikus-metagenetikus eredetű szénhidrogén gáz-nitrogén gáz keverék alkotja. A szén-dioxid az aljzati karbonátok termális és regionális metamorfózisának eredményei.

Clayton és társai (1990) a Pannon-medence természetes gázelőfordulásait vizsgálva DK-Magyarországon rámutattak, hogy a magas szén-dioxid koncentráció szinte kizárólagosan az aljzati rezervoároknál figyelhető meg. Vizsgálataik alapján szintén az rajzolódott ki, hogy a

szén-dioxid nagyrészt a területen a karbonátos képződmények regionális metamorfózisából származtatható.

### 2.2.2.1. Mihályi-Répcelak

A Mihályi-Répcelak kutatási terület észak-nyugat Magyarországon fekszik, azon belül is a Kisalföldön. Már a korai geofizikai mérések is két nagy gravitációs maximumot mutattak a területen. A Mihályi hát 1000-1200 méterrel emelkedik ki a környezetéből. A szén-dioxidot főleg a pannóniai üledékek tárolják (főképpen homokkő, aleurolit, agyag) kb. 1400 méteres mélységben. A rezervoárok hidrosztatikus nyomásúak. A szén-dioxid tárolók (rezervoárok) az alsó és felső pannóniai rétegekben találhatóak meg (a kutatási jelentések szerint). Az alsó pannóniai üledékek fossziliákban szegények. A gáztároló rezervoárok: homokkövek, miocén mészkövek és metamorf palák illetve konglomerátumok.

A kutatási dokumentumok alapján (Mészáros et al., 1979) a felső pannóniai rétegek tárolják a szén-dioxid legnagyobb részét (ez ellentmondani látszik az eredményeimmel – lásd 5. fejezet). A rezervoárok átlagos vastagsága 5-10 méter. A fedő kőzet minden esetben pliocén agyag (Mészáros et al., 1979). A szén-dioxid gáztároló képződményben tíz tárolószint alakult ki. A legalsó szint a töredezett paleozoós fillit és metamorf pala összletben található. Két termelhető réteg helyezkedik el a fedő középső miocén meszes homok rétegekben, azonban a legjobb gáztárolót a felső miocén deltalejtő és front homokkő képződményei adják a medence hátság szárnyain. A regionális jelentőségű kvarter erózió ellenére a felszínen nem észlelhető gáz migráció nyoma. Koncz és Etler (1994) szerint a Mihályi előfordulás CO<sub>2</sub> gázának eredete – amint azt az előzőekben bemutattam – a karbonátok termális bomlásának eredménye. A CO<sub>2</sub> gáz mellett megjelenő metán a neogén üledékek termikus érése során keletkezhetett.

A kutatások 26 db CO<sub>2</sub> rezervoárt (Mihályi: 15 db, Répcelak: 11 db), 2 db nem éghető kevertgáz-telepet, míg Uraiújfalu mellett 10 db szénhidrogén-gáztelepet azonosítottak. Cornides és társai (1986) a nemesgáz összetételt tanulmányozva, a <sup>4</sup>He/<sup>20</sup>Ne illetve a Rn/Ra arányok alapján, a Mihályi-Répcelak területen a CO<sub>2</sub> gázt nagyrészt köpeny eredetűnek tekintik.

#### *2.2.2.2. Magyarországi természetes CO<sub>2</sub> gáztelepek*

Magyarországon, a DK- Alföldön illetve a Kisalföldön, a Zala és Dráva -medence területén a 80-as évek közepéig felkutatott szénhidrogén lelőhelyek alapadatairól Kőrössy (1989, 1990, 2005) készített összefoglalást. A jelentősebb szén-dioxid telepek közé tartozik az Alföldön Rákóczi-falva, Szeghalom, Kismarja, Fegyvernek-Nagykörű és Kisújszállás. A Békés-medence természetes gáz és olaj előfordulásai a medence peremi kiemelt helyzetben lévő aljzat és a fedő terciér rezervoárokban található. Néhány rezervoár van a medencében, amely meghatározóan vagy kizárólagosan CO<sub>2</sub> gázt tartalmaz pl. Battonya, Berettyószentmárton, Biharkeresztes, Biharugra, Csanádapáca, Doboz, Furta, Füzesgyarmat, Kevermes, Körösladány, Köröstarcsa, Martfű, Mezőtúr, Orosháza, Pusztaföldvár, Sarkadkeresztúr, Szarvas, Szeghalom, Tótkomlós, Végegyháza. A Békés-medencében, néhány kivételtől eltekintve, a nagyobb mennyiségű szén-dioxid felhalmozódás a töredezett aljzati rezervoárokhoz köthető. A medencében a gázelőfordulások és a magas rezervoár pórus nyomások egybeesése alapján valószínűsíthető, hogy a gáz keletkezése egyike a túlnyomást előidéző legfőbb mechanizmusoknak (Clayton és társai 1990).

#### *2.2.3. Amerikai természetes analógok és -előfordulások*

A következőkben a legjelentősebb amerikai természetes analógok és előfordulásokat mutatom be irodalmi adatokra, cikkekre támaszkodva.

##### *2.2.3.1. McElmo Dome*

Coloradóban található a jelenleg legjobban dokumentált természetes előfordulás, csak úgy, mint a világ legnagyobb kereskedelemben forgalmazott CO<sub>2</sub> kínálata. Maga a McElmo Dome egy nagy antiklinális, ahol a szén-dioxid a karbon korú (Mississippi) Leadville Formációban csapdázódott (Stevens et al., 2006). Ez a formáció egy dolomitos karbonát réteg (mészkö), ami átlagosan 100 méter vastag és 1800-2600 méter mélységben helyezkedik el. A fő szerkezet 815 km<sup>2</sup> kiterjedésű és 1984-ben fedezték fel, amikor is a tárolt szén-dioxid mennyisége 1,6 milliárd tonna volt (Stevens et al., 2001). 1984 óta folyik a termelés és egy

808 km hosszú csővezetéken szállítják a szén-dioxidot a texasi Permian Basinbe egy EOR<sup>5</sup> projekthez. A területről -többek között- több mint 50 fúrás mélyfúrás-geofizikai szelvényei, szeizmikus adatok, mag és fluidum adatok, rezervoár szimulációs tanulmányok és egyéb információk állnak rendelkezésre (Stevens et al., 2001). A csapdázódást szerkezeti zárás, permeabilitási gátak, víz/CO<sub>2</sub> kontaktus biztosítja illetve egy 400 méter vastag só fedőkőzet (Stevens et al., 2006). A karbon izotóp adatok alapján a szén-dioxid szervesen eredetű, a Leadville mészkő termikus bomlásából származik (Cappa and Rice, 1995). Egy 400 m vastag halit réteg helyezkedik el a Leadville CO<sub>2</sub> rezervoár felett, ami kiváló záró kőzet több millió éve (Stevens et al., 2006). A kitermelt CO<sub>2</sub>/víz elegyet elszállítják, majd leválasztják a vizet és visszajuttatják a Leadville Formációba. A McElmo 15 éves művelése során nem észleltek még szivárgást (Stevens et al., 2001).

#### 2.2.3.2. *St. Johns-Springerville*

1994-ben fedezték fel ezt a természetes előfordulást, melynek területe mintegy 1800 km<sup>2</sup> és a Holbrook-medence DK-i szélén helyezkedik el, Arizona és Új-Mexikói határán. A rezervoár egy széles szimmetrikus antiklinálisból áll a Springerville vulkáni mező északkeleti csúcsán. A Springerville vulkáni mező kiterjedése közel 3000 km<sup>2</sup>. Ez az egyike a sok, késő pliocén és holocén, főként bazaltos vulkáni mezőknek, melyet a Colorado-fennsík szegélyez (Gilfillan et al. 2011). A természetes előfordulás jóval sekélyebben helyezkedik el, mint a McElmo Dome. A kutak mélysége relatív sekély, 200-700 méter így a szén-dioxid szabadgáz formájában tárolódik egy törmelékes homokkő rezervoárban. A tároló formáció a permi Supai Formáció, ami elsősorban finomszemcsés (nem tengeri) aleurolit anhidrittel és dolomittal. A fedő kőzet egy többszörösen impermeabilis anhidrit (Stevens et al., 2001). Magmás vagy vulkáni eredetű kőzetet nem fűrtak meg a kutatás során (Rauzi, 1999). A gáz mennyisége itt kb. 830 millió tonna, a szén-dioxid eredete ismeretlen (Stevens et al., 2001). A mező a becslések alapján 445 milliárd m<sup>3</sup> CO<sub>2</sub>-ot tárol (Gilfillan et al. 2011).

---

<sup>5</sup> Enhanced oil recovery: „Növelt hatékonyságú kőolaj művelési eljárás”: olyan végső többletolaj kizoztali eljárás, amely megnöveli az elsődleges és másodlagos művelési eljárásokkal kitermelhető olajmennyiséget. A réteg-energia megnövelése termikus, gázos, kémiai vagy egyéb módon (pl. elektromágneses) történik.

### 3. Szűkebb kutatási terület földtani leírása és kutatástörténete

A nemzetközi és hazai természetes analógok és -előfordulások megismerése után a következőkben részletesen bemutatom a legjelentősebb magyarországi szén-dioxid előfordulást magába foglaló földtani egység, a Kisalföld geológiai felépítését, majd irodalmi adatokra támaszkodva ismertetem magának a Mihályi-Répcelak szén-dioxid előfordulásnak a földtani környezetét- és felépítését, mivel doktori munkám alapjául ez a terület szolgált.

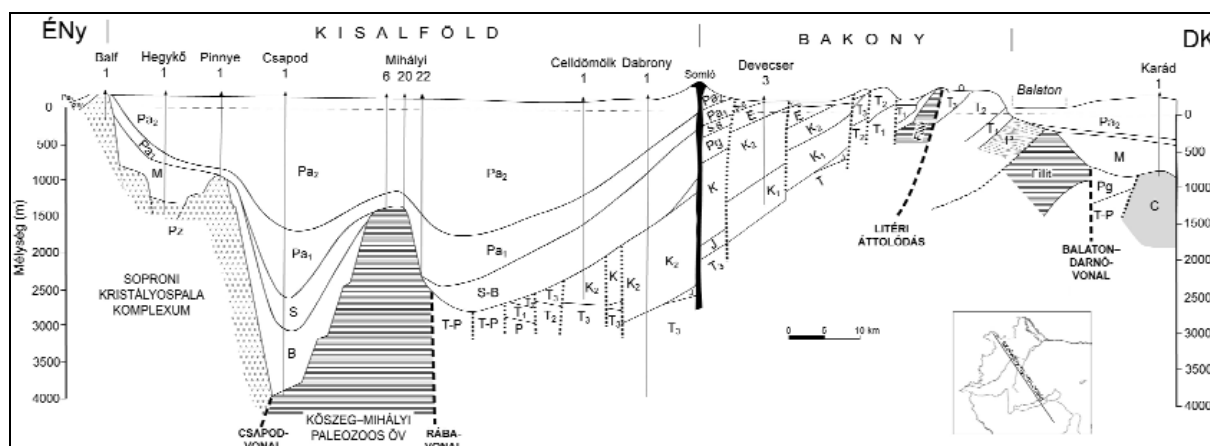
#### 3.1. Bevezető földtani rész: A Kisalföld

A kréta középső és kései szakaszán jelentős kompressziós folyamatok zajlottak le az Alphy-Tethysben. Ekkor kezdődött meg a Keleti-Alpok takarós rendszerének a kialakulása (pl.: Tari 2010). A Keleti-Alpokhoz sorolható szerkezeti egységek Magyarország területén, a felszínen a nyugati országhatár mentén, a neogén képződmények alatt a Rába-vonalig terjedően jelennek meg (Fülöp et al. 1987, Fülöp 1990). A Kisalföld Magyarország északnyugati részén elhelyezkedő, uralkodóan neogén üledékekkel feltöltött medence, melynek természetes határai nyugaton a Kőszeg-Soproni hegység, délen és keleten a Dunántúli Középhegység, míg északon Szlovákia felé nyitott (Balázs, 1971). A Kisalföld aljzatában alacsony metamorf fokú üledékes kőzetekből álló komplexum következik a közepes metamorf fokú kőzetekből álló Alsó-Ausztróalpi-takaró fölött (Budai et al. 2005). Ezek az úgynevezett Rábamenti Metamorfítok (Fülöp 1990), amelyek a Felső-Ausztróalpi takaróhoz tartoznak. A Kisalföld aljzatának legfontosabb nyersanyaga a szén-dioxid (Répcelak) és a termálvíz (Budai et al. 2005).

A Kisalföld regionális kutatása 1982-ben kezdődött meg. A Rábamenti Metamorfítok a Kisalföld aljzatdomborzatán kirajzolódó Mihályi-hát szénhidrogén-kutatása során váltak ismertté. Az anchimetamorf grazi paleozoikummal rokon kifejlődésű, tengeri üledékes eredetű (homok, agyag, márga) sorozat az ordovícium és a szilur során rakódott le (Mihályi Fillit, Nemeskoltai Homokkő), egyes szintjeiben semleges-bázisos vulkanit-betelepülésekkel (Sótonyi Metavulkanit). A rétegsor legfiatalabb tagja a sekélytengeri devon korú dolomit (Büki Dolomit). Az aljzat rétegsortát a variszkuszi orogenezis, majd az alpi takarómozgások során érte metamorf hatás (Budai et al. 2005).

Kőrössy László (1987) által összefoglalt földtani adatok igazolták Scheffer (1958) geofizikai mérésekre alapozott elképzeléseit, miszerint a medencealjzat két nagy szerkezeti

egysége az ún. Rába-vonal mentén érintkezik egymással, az ÉNy-i rész kristályos, a DK-i kisebb kiterjedésű rész pedig a közép-dunántúli mezozoikummal alkot egységet (Balázs 1971). Körössy (1981) vázolta fel először azt a kiterjesztett szerkezeti szelvényt, amely a szénhidrogén-kutató fúrások eredményei alapján a Bakony északnyugati fedett szárnyát és a Kisalföld aljzatát is ábrázolta. A 1. ábra szerint a Bakony délkeleti szárnya a Balaton–Darnó-vonalig tart és egy monoklinális szerkezetet alkot ÉNy-felé dőlő rétegekkel és a Litéri-átolódással (Tari 2010). Ezzel szemben a hegység északnyugati szárnyát és a Kisalföld aljzatát meredek vetők darabolják fel. Ilyen a Rába-vonálnak nevezett határvető is, amely a Kőszeg–Mihályi vonulat epimetamorf paláit választja el a dunántúli-középhegységi paleozoos–mezozoos kőzetektől (Körössy 1958, 1965).



1. ábra Korai földtani szelvény, amely a Dunántúli-középhegység fedetlen részének és a kisalföldi aljzatnak szénhidrogén-kutató fúrások segítségével megismert szerkezetét együtt ábrázolja (Körössy 1981).

A szeizmikus szelvények teljesen más képet adnak az alpi takaróegységekkel korrelálható kisalföldi medencealjzat szerkezetéről. Már az értelmezések korai szakaszában látták, hogy laposszögű és hosszan követhető csúszási felületek ismerhetők fel, amelyek a pennini és ausztróalpi takarókat választják el (Horváth 1993). Lényeges hozzájárulást adtak a terület takarós értelmezéséhez az ELGI (jelenleg MFGI) alapkutatásai keretében született mélyszeizmikus szelvények és magnetotellurikus szondázások (Ádám et al. 1984, Pápa et al. 1990), valamint a szénhidrogén-ipari kutatások. A nagyon nagy mennyiségű adatot felhasználó nagyszintézis mindezt további bizonyítékokkal egészítette ki és egységes keretbe foglalta. Az egybehangzó értelmezések ellenére nem volt egyetértés a nagyszerkezet kérdésében (Tari 2010).



### 3.2. Mihályi-Répcelak természetes CO<sub>2</sub> tároló földtani leírása

Clayton és társai (1990) a Pannon-medence természetes gázelőfordulásait vizsgálva DK-Magyarországon rámutattak, hogy a magas szén-dioxid koncentráció szinte kizárólagosan az aljzati rezervoároknál figyelhető meg. Vizsgálataik alapján a szén-dioxid nagyrészt a területen a karbonátos képződmények regionális metamorfózisából származtatható. Koncz és Etler (1994) szerint is a Mihályi előfordulás szén-dioxid gázának eredete a karbonátok termális bomlásának eredménye. A szén-dioxid gáz mellett megjelenő szénhidrogén – uralkodóan metán – a neogén üledékek termikus érése során keletkezhetett.

Mihályi térségében 1933-ban kezdődött meg a geofizikai kutatás a Geofizikai Intézet közreműködésével. Az első mérések Eötvös-ingával történtek. A mérések folyamán egy nagy gravitációs maximumvonulat rajzolódott ki, amelyen három kiemelkedés különült el Mihályi, Répcelak és Mosonszentjános környékén (Kőrössy L., 1958). A Mihályi gerinc 1000-1200 méterrel kiemelkedik környezetéből (Mészáros et al. 1979). A geofizikai mérések szerint Mihályi és Répcelak községek között összefüggő, északi-részen É-D-i, majd Mihályi községtől délebbre-DNy-ira forduló csapású hátság rajzolódik ki. Nyugat felé törésvonalakkal határolva meredeken lejt a Csapodi-árok felé, illetve ugyanígy meredeken lejt kelet felé, ahol a Rábavonal törésszere határolja (Kőrössy 1987). A terület aljzatát felépítő ópaleozoós képződmények változatos kifejlődésűek, az egykori üledékes kőzetjellegnek megféléen. A legfontosabb kőzettípusok a következők: homokkőpala, aleurolitpala, szericites kvarcit, kvarcitpala, szericitpala, szericitfillit, kloritpala, mészpala, dolomitpala, dolomitfillit, dolomit és metagabbro (Balázs 1971). A területen a miocén képződmények igen vékonyak, mintegy 7-99 méter vastagságban jelentkeztek a rétegsorban (Kőrössy 1958).

A Mihályi Fillit Formáció a Felső Kelet-alpi-egység legelterjedtebb képződménye a területen. Általános tendenciának tekinthető, hogy a rétegsorban fölfelé nő a karbonát tartalom és csökken a tufa eredetű kőzettest-közbetelepülések vastagsága és gyakorisága. A Mihályi Fillit metamorfózisának kora korai középső-kréta (Árkai et al. 1989). Előzetesen elmondható, hogy a becslések alapján a szerkezet kb. 25 millió tonna szén-dioxidot tárol a pannóniai korú üledékes rétegekben nagyjából 1400 méter mélységben. A gáztároló rezervoárok vastagsága 5-10 méter, melyek fedője agyagmárga.

A Mihályi-Répcelaki hátról jelenleg elfogadott fejlődéstörténet alapján a hát az alsó pannóniai üledékek kifejlődése előtt emelkedett ki, éppen ezért vékonyodtak el és lettek olyan vékony kifejlődésűek. Kőrössy (1958) is csak egy vékony alsó pannóniai összletet írt le.

Véleménye szerint az Mihályi fúrások felépítése a következő: 90-100 m vastag holocén, pleisztocén és levantei<sup>6</sup> agyag, homok, kavics, bazalt-tufás betelepülésekkel, 1200 m vastag felső pannóniai agyag, agyagmárga, homok, lignitcsíkos rétegek, 300-600 m vastag alsó pannóniai agyagmárga, márga, néhány homokkő betelepüléssel és végül 60-100 m vastag tortóniai mészkő, kovás márga, homokkő, konglomerátum, amely alatt fillitet, kvarcfillitet, gneiszt és csillámpalát értek a fúrások.

Az alsó pannóniai réteg igen kis vastagságát a prepontusi erózióval magyarázzák a Kisalföldön, tehát ennek hatására hiányzik az alsó pannóniai összlet alsó része. A mihályi magasrögvonulat kiemelkedő területén csak a harmadik alsó pannóniai fejlődéstörténeti szakasz idején képződött szint van meg. Ez a szint 150-200 m vastag agyagmárga, alárendelten néhány homokos betelepüléssel (Kőrössy 1965).

### 3.3. Kutatástörténet

A gravitációs maximumon 1935-ben szeizmikus méréseket végeztek, majd 1936-ban földmágneses méréseket. Még 1935-ben lemélyítették az első fúrást, majd 32 évvel később a legutolsót. Az első M-1. jelű kutat 1935-ben a Mihályi részmaximumra telepítették (2. ábra). Ez az első a Kisalföld medencealjzatát feltáró mélyfúrás (Mészáros et al. 1979).

---

<sup>6</sup> Az új nevezéktan szerint a levantei megjelölést nem használják, helyette nagy valószínűséggel Nagyalföldi esetleg Zagyvai formáció megjelölést lehetne használni, ám ez nem lenne korrekt mivel nem állnak rendelkezésre azok az információk, amely alapján ezt az átnevezést pusztán karotázis alapján meg lehetne tenni.



2. ábra M-1 kút Répcelakon

A fúrás 1602 méterben medencealjzati fillitet ért pliocén üledéksor alatt, melyből nagymennyiségű CO<sub>2</sub>-termelés kezdődött meg. A későbbiekben itt lefúrt M-2 (1937), M-3. (1941) fúrások már meddőnek bizonyultak.

A következőkben a Mihályitól É-ÉK-re Mosonszentjános közelében folytattak fúrási tevékenységet (M-4., 1944-ben) melynek célja az volt, hogy felderítsék az északi részmaximumot, de a lemélyített fúrások meddőnek bizonyultak. Végezetül a Répcelaki részmaximumot 1944-45 között igyekeztek felderíteni. Az M-5. fúrás elszerecsétlenedése után, a mellette lefúrt M-5/b már sikeresnek bizonyult (3. ábra). Meg kell jegyezni, hogy mindettől függetlenül erről a fúrásról csak kevés információ érhető el.



3. ábra M-5/b kút Répcelakon

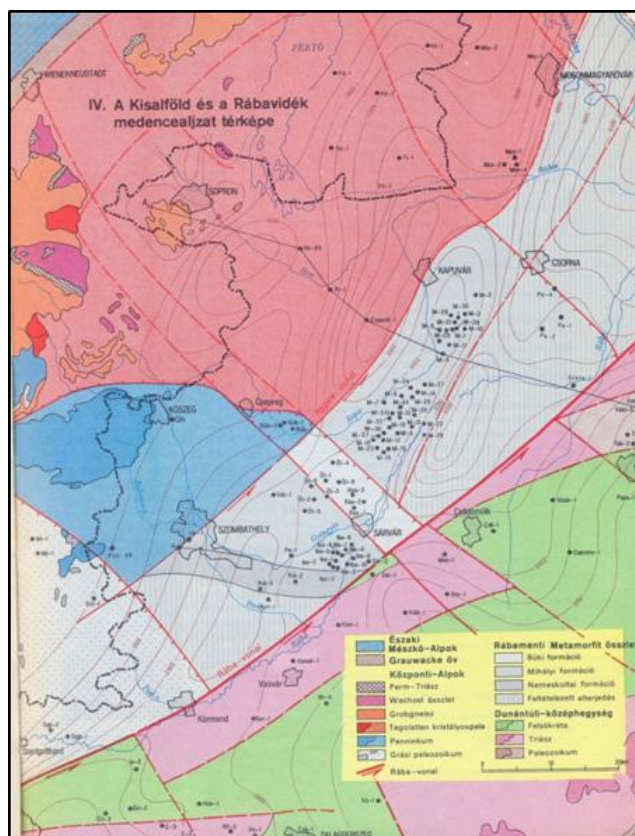
A fúrás a neogén üledéksor aljzatát, a metamorf összlet tetejét 1460 méterben érte el. 1410-44 méter között 2 db alsó pannóniai homokkőréteget fúrtak át, melyekből nagymennyiségű CO<sub>2</sub>-termelés folyt. Ezek után megkezdték a Mihályi- és Répcelaki CO<sub>2</sub>-telepek iparszerű termeltetését, a gáz felhalmozását és hasznosítását, illetve 1962-ig szüneteltették a fúrásos kutatást Mihályi kutatási területen (Mészáros et al. 1979).

Egyházi Tibor (Linde Gáz Magyarország Zrt.) szóbeli közlése alapján az első fúrásokból termelt szén-dioxid hasznosítása az első időkben nehézkes volt, nem volt egyértelmű, hogy milyen célra lehet majd a szén-dioxidot felhasználni / értékesíteni. A későbbiekben, pontosabban a 2. világháború idején világossá vált, hogy mint szárazjég, az élelmiszerek hűtésére kitűnően tudják hasznosítani.

A második kutatási periódusban Répcelakon és környékén folytattak intenzív fúrási tevékenységet, 1962-t követő három évben mintegy 20 db kutak fúrtak le, melyek közül 10 bizonyult produktívnak (M-6-12-13-14-19-24-26, MF-1-2-3). A gáztároló képződmények ezen a területen a metamorf pala, miocén mészkő, homokkő, alsó és felső pannóniainak minősített homokkő. Új eredményként értékelték az uraiújfalui kiemelkedésre telepített 12. számú fúrásnál észlelteket, a várakozásnak megfelelően a környéken itt érték el legmagasabban a neogén üledék aljzatát; az alsó pannóniai homokkőrétegekben CO<sub>2</sub>-gázt,

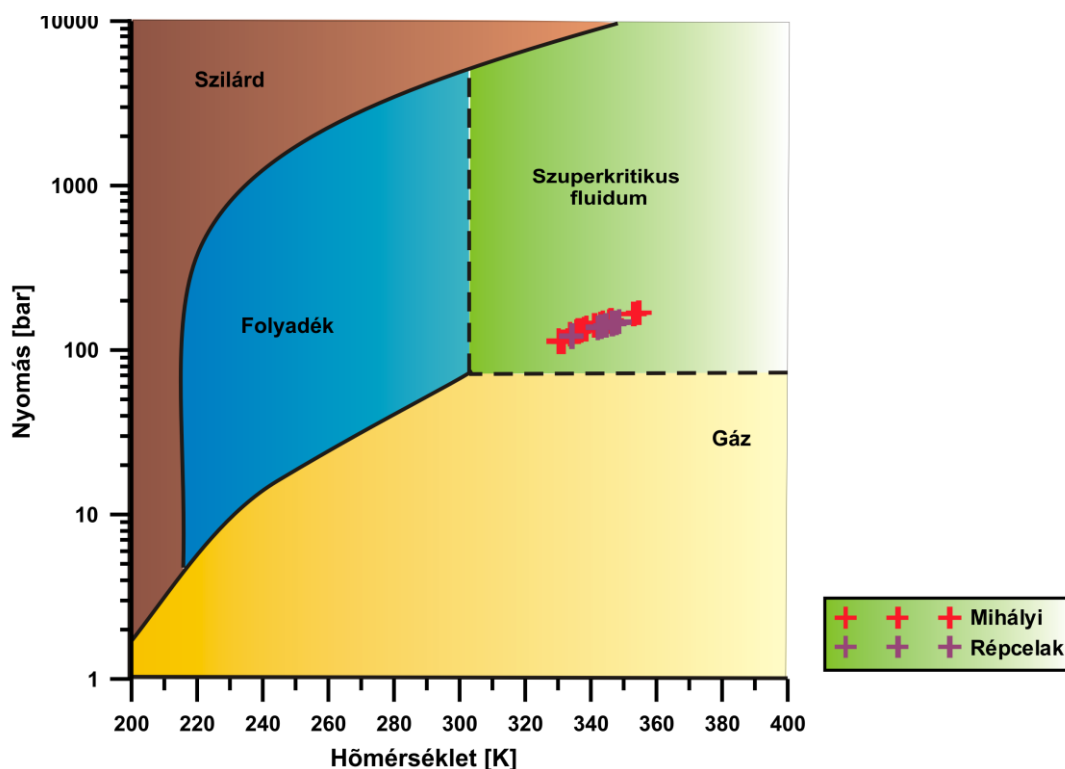
1015-1050 méter között (az általuk felső pannóniai összletként számon tartott réteg egy szakaszán) jól éghető szénhidrogént tartalmazó földgázt találtak (60-70 tf% szénhidrogént tartalmazó gáz). Sikerrel járt a Répcelak környéki – vélhetően felső pannóniai – rétegek kutatása is, itt nem éghető kevertgázt, illetve szén-dioxid gázt találtak (Mészáros et al. 1979).

Mihályi esetén a második kutatási fázisban 8 db fúrást mélyítettek melyek közül 4 db bizonyult produktívnak (M-9-21-25-29). Új felfedezés volt, hogy az általuk felső pannóniainak tartott összlet is produktív, ezek a rétegek tartalmazzák a Mihályi terület szén-dioxid vagyonának legnagyobb hányadát, míg Répcelak területén az alsó pannóniai összlet tárolja a szén-dioxid vagyont. Tároló-képződményei a következők: metamorf pala, alsó pannóniai konglomerátum, homokkő illetve a felső pannóniai homokkő. Ekkor egy pár éves szünet következett a mélyfúrás munkálatokban, mely egészen 1972-ig tartott, amikor is az uraiújfalui lehatárolására két újabb fúrást mélyítettek, melyek meddőknek bizonyultak. A szén-dioxid telepek továbbkutatására Mihályiban, Répcelakon 4-4 új fúrást mélyítettek. Ez idő alatt Mihályiban egy, Répcelakon két felderítő fúrást is mélyítettek.



4. ábra A Kisalföld és a Rábavidék medencealjazat térképe (Császár 2005)

A Mihályi-Répcelak területén végül 46 fúrást mélyítettek le (4. ábra), 26 CO<sub>2</sub>-telepet (Mihályi: 15, Répcelak:11) és 2 nem éghető kevertgáztelepet tártak fel, míg Uraiújfalu mellett 10 db szénhidrogén-gáztelepet azonosítottak (13. ábra). A CO<sub>2</sub> termelő kutak száma 19 (M-1-5/b-6-9-12-13-14-19-21-24-25-26-29-30-32-33-35-37-38); nem éghető kevert gáztermelésre két kút lett kiképezve (M-13, MF-1), míg éghető gáztermelés 5 kútban történt (M-12-19, MF-2-3-6) (Mészáros et al. 1979). A kutatást végző szakemberek megfogalmazása szerint: „minden olyan földgáztárolót, melyből 90 tf%, illetve ezt a határértéket 2-3 tf%-ig megközelítő CO<sub>2</sub> tartalmú gáztermelést kaptak CO<sub>2</sub> –telepként értelmeztek.”



5. ábra Nyomás-hőmérséklet fázisdiagramon Mihályi –Répcelakon mért telep adatok (Falus 2011)

Nem éghető telepeknél ez a térfogatarány: 65-75 tf% CO<sub>2</sub>. A produktív kutak minősítése a rétegvizsgálati eredmények és a gázösszetétel alapján történt. A szén-dioxid a telepeken szuperkritikus állapotban van jelen (5. ábra).

Az egyes fúrásokról különböző mennyiségű és minőségű mélyfúrás-geofizikai adat áll a rendelkezésünkre. 1-2 fúrásról semmilyen vagy csak igen minimális információ/adat lelhető fel. A legtöbb fúrás esetén rendelkezésre áll az ellenállás- természetes potenciál- és a lyukbőség szelvény. A 70-es években lefúrt illetve kiképzett fúrásokban porozitás követő szelvényeket is mértek már így azok is hozzáférhetőek. Ezen újabb fúrások megfelelő



magmintákkal is rendelkeznek, míg a 30-as 40-es évek magmintái sérültek vagy azonosításuk nehézkes. A kutak műszaki állapota a jelentések szerint megfelel a biztonsági előírásoknak. A fúrások közül 37 esetén elérték és feltárták a neogén üledéksor aljzatát, egy fúrás a pliocén bázisképződésben 5 db az alsó pannóniai összlet tetején állt meg.

A Mihályi CO<sub>2</sub> előfordulás összes készlete  $10,766 \times 10^6 \text{ m}^3$  2000. januári adatok alapján. Az éves termelés kb.  $58,000 \text{ m}^3$ . A területen 1933 óta folyik a szén-dioxid kutatás és 1990-es évek óta - jelenleg is – a Linde Gáz Magyarország Zrt. termeli. Az éves termelés kb. 100 kt/év (az utóbbi 20 évben) (Mészáros et al., 1979). A termelés a területről egyszerre 4 kútból történik és 1-1 kút esetén egyszerre csak 1 szén-dioxid telepből történik szén-dioxid kihozatal (Egyházi Tibor szóbeli közlése alapján). Mindösszesen 46 fúrás/kút lemélyítését illetve kialakítását végezték el Mihályi-Répcelak területen, de nincs információnk az összes lemélyített kútról.

### ***3.3.1. Metamorf képződmények***

A neogén üledéksor alatt mindenütt paleozoós képződmények találhatók. A kőzetfácies változó, uralkodó elterjedésben az anchi- és epimetamorf palák fordulnak elő, csak helyenként található dolomit. A Mihályi részmaximumon a legmagasabban 1573,5 méterben érték el az aljzati sorozat tetejét. A szerkezet tetőzónáján a neogén fekvő átlagos mélysége 1650-1700 méter körül van. A kőzetfácies több fúrásban fillit, mészfilit, kvarcfillit; 1-1 fúrásban előfordul szideritpala, mészpala, szericites kvarc, átalakult vulkanit illetve kloritpala, dolomit, kloritfillit, szericit-pala, kvarcit (Mészáros et al. 1979).

Répcelak-Uraiújfalu területen az aljzat teteje legmagasabban 1353 méterben található, peremeken mindez úgy 500 méterrel mélyebben helyezkedik el. A tetőzóna átlagmélysége 1450-1500 méter körül van, de például az M-28 fúrásban 2910 méterben található. Metamorf kőzetfáciesek közül a fillitek/szericit-, kvarcit-, mészfilit; illetve a szericitpala, kloritpala, mészpala jellemzi, de előfordul agyagpala, homokkőpala és kvarcit is. A répcelaki területen a metamorf összletben helyenként idős mészkő-dolomit csíkok találhatók (Mészáros et al. 1979). A Mihályi 4. sz. mélyfúrás tárta fel az aljzat legerősebben metamorfizált kőzetét, amely kitűnően palás, gránátos, kvarclencsékkel tagolt csillámpala. A kőzet uralkodó ásványai a változó méretű, víztiszta muszkovit és az unduláló kioltású kvarc (Balázs 1971).

A Kisalföld fúrásai általában csak 30-40 méternyit tártak fel a metamorf aljzathól, de összefoglalásként elmondható, hogy a Mihályi-Répcelak területen a feltárt aljzati képződmények epizónás metamorfítok és az átlag vastagságuk mintegy 40-50 méter.

### **3.3.2. Neogén képződmények**

A pliocén formáció képviseli a neogén üledékek döntő részét. A miocén rétegsor vastagsága 0-122 méter között változik, egyes fúrásokban hiányzik a pliocénnál idősebb neogén üledék. A miocén sorozat tipikus szárazföldi, partközeli keletkezést jelez. A tarkaagyag kimaradása, illetve a foraminiferák és egyéb ősmaradványok megjelenése viszont jelzi a sósvízes környezetet. A partközeli, sekélytengeri meszes-karbonátos, törmelékes összlet gazdag ősmaradványos-társaságot tartalmaz. A fauna jellege közép és felső tortoniai illetve alsó szarmata üledékképződést bizonyít.

A pliocén üledék 1353-2387 méter mélységtartományban található, lepusztult paleozoós metamorf és miocén összlet felszínére települve. A részmaximumok tetőrészén észlelt pliocén átlag vastagsága 1450-1650 m. A teljes pliocén sorozatból 200-800 m-es vastagságú üledéktömeg az alsó pannóniai üledékképződés során keletkezett (Mészáros et al. 1979). Ennek felső tagozata a kutatási területen mindenütt megtalálható, vastagsága 180-300 méter. Fáciése uralkodóan és váltakozóan homokos agyagmárga, aleurolit, alsó szakaszán néhány agyagos, finomszemcsés homokkőrétegekkel. Répcelak-Uraiújfalu környékén ezekben a homokkő rétegekben nagymennyiségű CO<sub>2</sub>- gázfelhalmozódás található. A pliocén bázisán a Mihályi részmaximum területén több kútban 2-50 méter vastagságban konglomerátum, homokkő, édesvízi mészkő, mészhomokkő rétegeket harántoltak. Ezek az előrenyomuló pliocén tenger transzgressziós üledékei (Mészáros et al. 1979).

Az alsó pannóniai formáció üledékei ősmaradványokban szegények. Erre mintegy 1150-1450 méter vastagságban uralkodóan pszammitos üledékekből álló felső pannóniai és pleisztocén-holocén képződmények települnek a kutatási dokumentumok alapján. A felső-alsó pannóniai üledékes sorozat határa nem éles. Ebben a rétegtani szintben a részmaximumok legmagasabb részén agyagmárga, a peremeken homokkő és agyagmárga, illetve aleurolit rétegek keletkeztek. A felső pannóniai összletre teljes egészében agyagos homokkő és homokos agyagmárga-aleurolit sűrű váltakozása jellemző. Az üledéksort záró -pleisztocén-



holocén képződmények átlag 100 méter vastagságban keletkeztek. A pliocén bazaltvulkánosság nyomait a Mihályi fúrásokban is megtalálták (Mészáros et al. 1979).

A felső pannóniai összlet Mihályiban CO<sub>2</sub>-telepeket, Répcelakon „nem éghető” kevertgáztelepeket, Uraiújfaluban szénhidrogén-gáztelepeket tartalmaz. Ipari értékű földgáz-felhalmozódást metamorf, miocén és pliocén képződményekben találtak.

Mihályi-Répcelak területén összesen 26 szén-dioxid telepet és 2 kevertgáztelepet tártak fel és követtek nyomon:

- CO<sub>2</sub> telepek:
  - Mihályi: medencealjzat teteje + alsó pannóniai konglomerátum 1, alsó pannóniai homokkőrétegek 3 (Ap. I, Ap. II [ezen belül A, B]), a felső pannóniai homokkőrétegek 11 (Fp-I-II-III-IV-V-VI-VIIb-VIIa-VIII-IX-X.) telep,
  - Répcelak: medencealjzat teteje 1 db, miocén képződmények 2 (A, B), felső pannóniai homokkőrétegek 1 db (Fp. I. számú telep M-26-os fúrásban).
- Kevert-gáztelepek: Répcelak: felső pannóniai homokkőrétegekben 2 telep.

A Mihályi nagyszerkezet alaphegység-magvú szerkezet. A medencealjzat tetején, illetve az alsó-pannóniai konglomerátumban kialakult felhalmozódás a halmaztelep-típusba, a miocén tárolók sztratigráfiailag-kőzettanilag árnyékolt rétegtelep típusba, a pliocén telepek boltozatos-, illetve kőzettanilag árnyékolt (litológiai csapda) boltozatos rétegtelep típusba sorolhatók. A záró fedőréteg minden telepnél pliocén agyagmárga. A szén-dioxid gáz és a szénhidrogén keletkezése az elméletek szerint: a szénhidrogén egyértelműen szerves származású. A CO<sub>2</sub>-keletkezésében a vélemények megoszlanak, a kiindulási anyag lehet szerves és szervetlen. A szén-dioxid gáz szervetlen keletkezését egyes kutatók a metamorfózis folyamatával hozzák kapcsolatba. A telepek elrendeződése Répcelak környékén nyugatról történő szén-dioxid migrációt jelez, a szerkezet keleti szárnyán kiékelődő homokkőrétegek meddők. A területen érvényesül a fajsúly szerinti differenciáció, felfelé növekszik a szénhidrogén és az N<sub>2</sub> mennyisége (Mészáros et al. 1979).

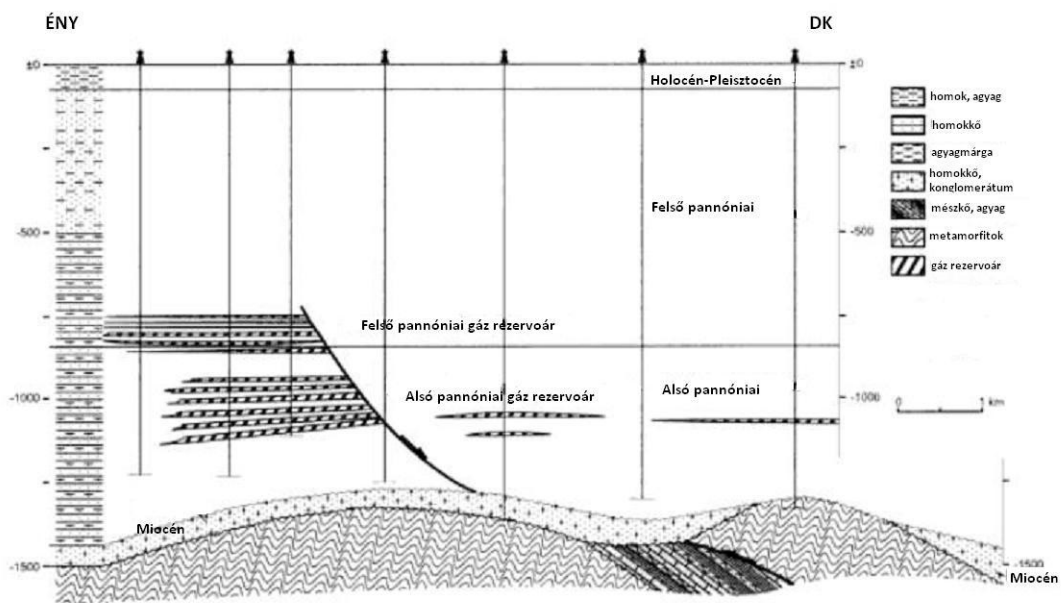
A telepek lehatárolásáról, termodinamikai jellemzőiről, működési rendszeréről valamint vízutánpótlásáról elmondható, hogy ezen adatok rendelkezésre állása telepenként változó. Mihályi-Répcelaki területen megismert telepek nyomása hidrosztatikus. A készletek fő tömegét a pliocén korú rétegek tárolják. A telepek működési rendszere változó víz utánpótlással rendelkező kimerüléssel (Mészáros et al. 1979).

### 3.3.3. Teleptartalom

A vizsgált területen a fúrások kivizsgálása és kútjavítása során 85 db gázmintavételezést és gázelemzést végeztek. A CO<sub>2</sub>-telepek átlagos gázösszetétele az 1. táblázat OGIL-értékelés szerint látható. Az aljzatról, a miocén rétegekből és az alsó pannóniai összlet alsó szakaszából származó vizek kloridosak. Felfelé a hidrokarbonát mennyisége nő, a vizek hidrokarbonátos-kloridos jellegűvé válnak Palmer szerint minden víz I. osztályba sorolható (Mészáros et al. 1979).

### 3.3.4. CO<sub>2</sub>-telepek rétegtani helyzete

A metamorf magas rögvonulat tetején, medencealjzati helyzetben, mindkét gravitációs részmaximumon ipari értékű CO<sub>2</sub>-felhalmozódás ismert (6. ábra).



6. ábra Mihályi-Répcelak CO<sub>2</sub> gáz felhalmozódás keresztmetszet (Pearce et al. 2004)

A telepekről az alap adatok elérhetőek, például: porozitás, permeabilitás, nyomás, hőmérséklet adatok. A telepek korbesorolása az eredeti kutatási eredményeket tükrözi, azonban ezek revíziója jelenleg folyamatban van (pl: Király et al., 2013).

#### 4.3.4.1. Medencealjzati CO<sub>2</sub>-telepek

A metamorf magas rögvonulat tetején ipari értékű szén-dioxid felhalmozódás helyezkedik el (2. táblázat az I. mellékletben) mindkét részmaximum esetében. A Mihályi szén-dioxid telep a szerkezet központi részen helyezkedik el. A harántolt fúrások közül az M-1 fúrásból 25 évig termelték a szén-dioxidot. Az M-1 fúrás ezen telepe a Mihályi Fillit Formációban található. A formáció üledékes eredetű kőzetfajtáinak metamorf ásványegyüttesét a következő ásványok alkotják: kvarc, sziderit, albit, mikroklin, klorit, paragonit, karbonátásványok, pirit, hematit, rutil, grafit. A kőzetszöveti jellegek és az autochton grafit jelenléte egyértelműen kisfokú regionális metamorfózisra utalnak (Mészáros et al. 1979). A telep nagy kiterjedésű víztesttel rendelkezik, de a tárolókőzet heterogenitása miatt az utánáramlás intenzitása változó. A Répcelak CO<sub>2</sub>-telep a szerkezet északi részén található (Mészáros et al. 1979).

#### 3.3.4.2. Miocén CO<sub>2</sub>-telepek

Répcelaktól délre a miocén összlet tetőrészéből két kútból kaptak ipari értékű gáztermelést. Gázfelhalmozódás két önálló telepre osztható („Miocén A telep”; „Miocén B telep”). A telep néhány alapadata, mint például a harántolt fúrások, teleptípus a 3. táblázatban megtalálhatók. Az A-telep esetén a miocén képződmények az M-13 fúrástól északra a medencealjzathoz simulva kiemelkednek, nyugati irányban a határ bizonytalan. A B-telepnél a miocén rétegek a M-12 fúrás felé az aljzatnak támaszkodva kiemelkednek, az MF-4, M-16 felé pedig impermeábilissá válnak. A gáztestet délre a kiemelkedési övezet, a felvett impermeábilis zóna, észak felé pedig a fázishatár övezi (Mészáros et al. 1979).

#### 3.3.4.3. Alsó pannóniai CO<sub>2</sub>-telepek

Mihályi környékén: 3, Répcelak közelében 7 CO<sub>2</sub>-telep fejlődött ki a homokkőrétegekben. A 4. táblázatban az alsó-pannóniai telepek tárolótípusát, teleptípusát, vízáramlás és utánpótlás típusát illetve a harántoló fúrásokat tüntettem fel.

#### 3.3.4.4. *Felső pannóniai CO<sub>2</sub>-telepek*

A Mihályi részmaximumon 11 db, a répcelaki területen 1 db CO<sub>2</sub>-telep van (5. táblázat). Mihályi területrészen felső pannóniai összletében mintegy 200-250 m-es vastagságban a kutatási terület legnagyobb gázfelhalmozódása alakult ki (Mészáros et al. 1979).

#### 3.3.4.5. *Felső pannóniai „nem éghető” kevertgáztelepek*

A Répcelak közeli fúrások a felső pannóniai összlet alsó szakaszán 1140-1215 méter között ipari értékű, nem éghető kevertgázt tartalmazó telepeket tártak fel (6. táblázat). Két telepet különítettek el (Mészáros et al. 1979).

### **4. A vizsgált szelvények és paraméterek fizikai háttere**

A vizsgált természetes szén-dioxid előfordulás földtani felépítésének megismerése és az elvégzett földtani és geofizikai mérések dokumentációjának áttekintése alapján átfogó képet kaptam arról, hogy milyen típusú és minőségű mélyfúrás-geofizikai szelvények állnak rendelkezésre, illetve használhatók fel a dolgozatomhoz. A fellelhető szelvényeket régen (40-50 éve) mérték és nincs információ arról sem, hogy milyen volt a műszerek kalibrációja, illetve a mérések sok esetben rossz minőségűek is voltak. Mivel, az ismert problémák ellenére, csak ilyen korú és minőségű szelvények álltak rendelkezésre a területről, az elsődleges feladat az volt, hogy az adatok korrekciójával és egy adatkezelési folyamat után valós földtani modellt tudjak felépíteni.

Ezek alapján meghatároztam, hogy mely paraméterek számítására/beclsésére van mód. A következő fejezetben áttekintést adok az általam használt szelvényezési módszerek alapjairól, illetve bemutatom az egyes, számított paraméterek származtatásának fizikai hátterét. Mindezek mellett szemléltetem az irodalomban használt számítási módszereket és – amennyiben az irodalmiakhoz képest eltérő, módosított megközelítéseket használtam, az általam alkalmazott számítási/beclsési módokat külön is ismertetem.

#### 4.1. A vizsgált szelvények fizikai háttérének összefoglalása

A geofizikai és geológiai ismeretek folyamatos bővülése szükségessé teszi a korábbi mélyfúrás-geofizikai szelvényezési anyagok újrafeldolgozását, -értelmezését. Az új szoftverek segítségével értékes petrofizikai paraméterek nyerhetők ki (többek között a szén-dioxid föld alatti tárolásához), illetve a rétegek közötti korreláció is lehetségese vált.

Az általam vizsgált fúrásokról sok esetben csak természetes potenciál szelvény és ellenállás szelvény állt a rendelkezésre. Ezt a két szelvényt vettem alapul és hajtottam végre az úgynevezett *kétszelvényes* és *egyszelvényes* kiértékelést. A kétszelvényes kiértékelésnél az ellenállás és természetes potenciál szelvény segítségével becsültem néhány alapvető petrofizikai paramétert, míg az egyszelvényes kiértékelés alapját az ellenállás szelvény adta. A következő alfejezetekben ezt a két szelvényezési módszert mutatom be részletesebben.

##### 4.1.1. Természetes potenciál szelvényezés

Litológiai szelvényezés, amely során, egy a felszínen és egy a szondán elhelyezett elektróda között fellépő feszültség különbséget mérjük mV-ban (a mélység függvényében) (Csókás 1993). A fúróiszap és a permeábilis és az impermeábilis rétegek kölcsönhatása miatt elektrokémiai és elektrokinetika potenciálok hatására köráramok jönnek létre, melyek az iszaposzlopban is mérhetők. A fúrólyukban mért feszültségváltozás a legnagyobb áramsűrűség változást mutató helyen a legnagyobb, azaz az SP (természetes potenciál) szelvény inflexió pontjai megfeleltethetők a réteghatároknak (Pethő et al., 2009).

Az természetes potenciált két kölcsönhatás hozza létre (Ferenczy et al., 1993):

- az iszapfiltrátum kölcsönhatása a képződmények (agyag, homok) szilárd részeivel,
- az iszapfiltrátum kölcsönhatása a rétegvízzel.

Az SP görbe alakja a fúrólyukban lévő mozgó elektróda és a felszínen elhelyezett fix elektróda közötti potenciál változását tükrözi (Ferenczy et al., 1993). A mért SP értéket befolyásolja az  $\frac{R_{mf}}{R_w}$  arány, azaz az iszapfiltrátum ellenállás ( $R_{mf}$ ) és a formációvíz ellenállás ( $R_w$ ) hányadosa, rétegvastagság, réteg fajlagos ellenállása ( $R_t$ ), az ágyazó réteg fajlagos ellenállása, lyukátmérő, elárasztás ( $R_{x0}$ ,  $d_i$ ), agyagtartalom, szénhidrogén-tartalom. A módszer csak konduktív fúróiszapban használható és bélésű nélkül. Az SP kitérést a porozitás közvetlenül nem befolyásolja (Ferenczy et al., 1993).

Ha SP áramok nem folynának a fűrőiszapban, akkor az agyag és az impermeábilis réteg határán az ún. statikus SP (SSP, 1. egyenlet) lenne mérhető (Ferenczy et al., 1993). Az SSP a maximális (elméleti) SP eltérés vastag, szennyezetlen, porózus és permeábilis rétegben. Értéke függ az iszapfiltrátum ellenállás ( $R_{mf}$ ) és a formációvíz ellenállás ( $R_w$ ) értékektől (Csókás 1993):

$$SSP = -K \cdot \lg \frac{R_{mf}}{R_w} \quad (\text{mV}) \quad (1)$$

$$K = 60 + 0,133 T_f \quad (\text{Serra 1984}) \quad (2)$$

ahol,  $T_f$ =a formáció hőmérséklete (F),

$R_{mf}$ = iszap ellenállás (ohm),

$R_w$ = formáció víz ellenállás (ohm).

#### **4.1.2. Ellenállás szelvényezés**

A kőzetek fajlagos ellenállása az egyik kőzetfizikai állandó, amelyből ásványi összetételre, pórusfolyadék tartalomra, porozitásra és kőzetszövetre lehet következtetni. Az ellenállás változásból a réteghatárok is kijelölhetők. A kőzet fajlagos ellenállása függ a porozitástól, a fluidum fajlagos ellenállásától és mennyiségétől (szaturáció), sótartalomtól, kőzettípustól, pórusgeometriától illetve szemcsemérettől (Csókás 1993).

Az egyes harántolt rétegek valódi fajlagos ellenállásának meghatározása céljából többféle szondahosszal kell szelvényezést végezni. Az egyes szondahosszak kiválasztása a rétegvastagságtól és fajlagos ellenállásuktól, a lyukátmérőtől és a megoldandó feladat természetétől függ (Csókás 1993). Nagy ellenállású póruskitöltő fluidumok esetében a felületi vezetés egy-két nagyságrenddel nagyobb, mint a térfogati vezetés, vagyis az elektromos vezetőképesség döntő hányadát a felületen adszorpciósan kötött iondús tapadóvizek adják (Zilahi-Sebess 2005).

## 4.2. Petrofizikai paraméterek meghatározása

A mélyfúrás-geofizikai mérések segítségével, a mért értékek fizikai összefüggéseinek ismeretében számos földtani szempontból informatív, származtatott paramétert lehet becsülni. Ennek segítségével a harántolt kőzetek - többek között - petrofizikai tulajdonságaira vonatkozóan is nagy felbontású információkat kapunk, amelyek például pontosabb készletbecslésre használhatók.

A Mihályi-Répcelak terület mélyfúrás-geofizikai szelvényeinek (ellenállás és természetes potenciál) vizsgálata során a következő származtatott paramétereket meghatároztam meg:

- agyagosság,
- vízellenállás,
- porozitás (elektromos porozitás, effektív porozitás),
- permeabilitás.

### 4.2.1. Agyagosság

A mélyfúrás-geofizikában kiemelt jelentősége van az agyagosság meghatározásának, mert az agyagosság növekedésével a tároló tulajdonságai jelentős mértékben leromolhatnak. Az agyagos kőzetekben mérhető geofizikai paraméterek erősen eltérnek az agyagmentes kőzetekben mért értékektől. Az agyagosságra még a mélyfúrás-geofizikai értelmezésben is többféle definíciót lehet találni, elsősorban azonban olyan anyagot jelent, amelynek a kristályrácsában kötött hidroxid (OH) miatt neutron-porozitástöbblete van és a belsejében/felületén nagy mennyiségű adszorpciósan kötött vizet tartalmaz a többi anyaghoz viszonyítva (Zilahi-Sebess 2009).

#### *Agyagosság meghatározása*

Homok-agyag rétegsorban, ha az agyagok kémiai összetétele és ebből következően a kationcsere kapacitása állandó, a hozzájuk tartozó SP (természetes potenciál) is közelítőleg állandó, akkor a fúróiszap és az agyag kation tartalmától függően az SP-görbe minimum- vagy maximumértékénél az agyagvonal meghúzható. Egy másik vonallal köthető össze a nagyvastagságú, víztelített homokrétegek természetes potenciálja is, ha a rétegvizük

összetétele azonos és agyagmentesek. Ez a homokvonal. A két vonal távolsága az SSP (1. egyenlet), mely a rétegvíz fajlagos ellenállásának kiszámításához felhasználható. Az így meghatározott alapvonalak közt az alapvonalaktól való távolságok aránya jelenti a homok-agyag arányt. A számításoknál így a következő képletet használtam:

$$V_{sh} = \frac{SP_{mért} - SP_{min}}{SSP} \quad (3)$$

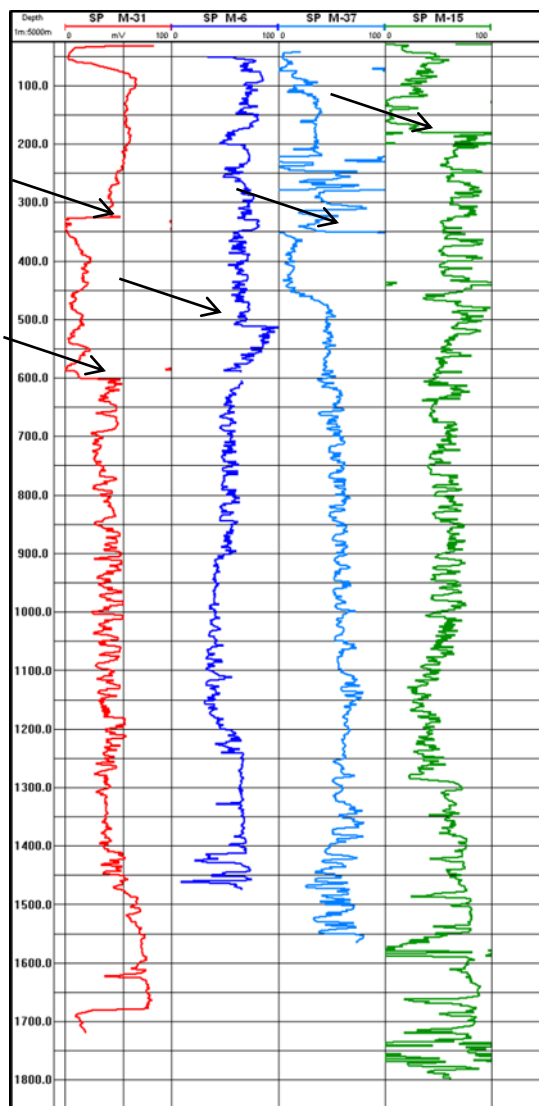
ahol,  $V_{sh}$  = agyagosság,

SSP = statikus SP.

Ez a Bock (1984) által is publikált agyagos-homokos formációra kialakított képlet, ahol az agyagosságot az SP szelvény felhasználásával számítjuk. Az egyenletben azt feltételezik, hogy az SP eltérés az agyag alapvonal és az SP érték között egyenesen arányos az agyagossággal egy szénhidrogénmentes zónában. Becsülhető még az agyagosság a természetes gamma és ellenállás szelvényekből is.

Gyakran előfordul az SP méréseknél, hogy indokolatlanul nagymértékű az alapvonal eltolódás (7. ábra), éppen ezért az SP és ellenállás szelvényeken alapuló szelvénykiértékelést és számításokat általában maximum egy-egy formációra végezzük el külön-külön. Ennek oka, hogy a teljes szelvényen a helyes agyag és homok alapvonalat csak ritkán lehet kijelölni.





7. ábra 4 Mihályi-Répcelak Sp mérés példaként az alapvonal eltolódásra

Az ellenállásmérésen alapuló egyszelvényes kiértékelésnél már a teljes ellenállás szelvényen határozzuk meg a homok- és agyagvonalat, amely a mélység szerint a mindenkori rétegtartalomnak megfelelően változhat. Ebben az esetben az ellenállás szelvényt logaritmikus skálán ábrázoljuk. A kijelölést az összes fúrás standardizált ellenállás szelvényén egyszerre végezzük el, azaz az összes fúrás esetén egy agyag-homok vonal kerül megállapításra. Ez segíti az összehitelesítést illetve a különböző mélységből származó ellenállásmérések helyes ellenállás-összeillesztését.

Természetesen az agyagosság-homokosság számítása az egyszelvényen alapuló értelmezésnél megváltozik. Homokosság (eh) becslése egyszelvényes kiértékelés esetében a következőképpen történik (Zilahi-Sebess 2009):

$$eh = \frac{\log(R) - av}{hv - av} \quad (4)$$

ahol, av=agyagvonal

hv=homokvonal

R= fajlagos ellenállás (ohmm)

Ebből az agyagosság (esh) számítása a következő képlettel történik (Zilahi-Sebess 2009):

$$esh = \frac{1 - eh + |1 - eh|}{2} \quad (5)$$

Az agyag-homokvonal megállapításához és az agyagosság számítások a mért ellenállás szelvényt használjuk. Ennek indoklása: ha a teljes szelvényhosszon történik az alapvonal kijelölés, a módszerrel már kiküszöböljük a hőmérséklet okozta, nem földtani információt adó változást. A sósság helyről helyre való változás azonban továbbra is jelentkezik, mert azt magának az alapvonalnak a mélység szerinti változása tükrözi. (Ha nem lenne sósságból eredő változás, akkor az elektromos ellenállás mélységi trend is csak a tömörödés hatását tükrözné vissza.)

#### 4.2.2. Vízellenállás számítása

Munkám során a vízellenállás meghatározása a WellCad szoftver segítségével történt. A számításhoz Zilahi-Sebess László által módosított Western Atlas képletét használtam fel (Western Atlas 1985) ahol, a SP/SSP szelvény felhasználásával került sor a becslésre. Bár a szakirodalomban több módszer is használatos a vízellenállás megállapítására azonban régi fúrások esetén nem vagy csak nagyon ritkán állnak rendelkezésre porozitáskövető szelvények.

Az  $R_w$  értékét az SSP (Statikus SP= a maximális (elméleti) SP eltérés) értékéből, vastag, szennyezetlen, azaz szénhidrogénmentes, porózus és permeábilis rétegben (függ az  $R_{mf}$  és  $R_w$  értékektől) a következő képlettel lehet számítani:

$$R_w(SSP) = 10^{\frac{SSP + \log R_{mf} \cdot (60 + 0,133 \cdot T)}{60 + 0,133 \cdot T}} \quad (6)$$

ahol,  $R_w$  = formációvíz fajlagos ellenállása (ohmm),

SSP = statikus természetes potenciál (mV),

T = hőmérséklet ( $^{\circ}\text{C}$ ),

$R_{mf}$  = iszapfiltrátum fajlagos ellenállása.

A képlet egy vegyértékű ionok (főleg NaCl) vizes oldatára érvényes. Csak híg oldatokra mérsékelt ionkoncentrációkig használható. Két vegyértékű ionokra ez a formula nem érvényes. Csak tiszta homokok melletti márgákra érvényes.

#### 4.2.3. Porozitás

A kőzetek porozitása alapértelmezésben, a szilárd kőzetmátrixban (kőzetvázban) jelenlevő hézagoknak az adott térfogatra vonatkozó százalékos arányát jelenti, amit más néven *totál porozitásnak* vagy abszolút porozitásnak is neveznek.

$$\Phi_t = \frac{V_p}{V_t} = 1 - \frac{V_{ma}}{V_t} \quad (7)$$

ahol,  $V_p$  = pórus térfogat ( $\text{m}^3$ ),

$V_t$  = teljes kőzettérfogat ( $\text{m}^3$ ),

$V_{ma}$  = kőzetmátrix térfogat ( $\text{m}^3$ ).

A pórustérfogatnak az a része, amely nincs összeköttetésben a többi pórusal a *zárványporozitás*. A pórustérfogatnak az a része, amelyben fluidum (folyadék vagy gáz) mozgás lehetséges az *effektív porozitás*.

A hézagtérfogatnak az a része, amely a kőzet belső felületén kötött tapadó vízzel van kitöltve az *szubkapilláris porozitás*. Az agyag adszorpciósan kötött víztartalma szintén nem része az effektív porozitásnak, ezért az agyagtartalom csökkenti azt.

$$\Phi_e = \Phi_t \cdot (1 - V_{sh}) \quad (8)$$

ahol,  $\Phi_e$  = effektív porozitás (-),

$\Phi_t$  = totál porozitás (-),

$V_{sh}$  = agyagosság (-).

A különböző mélyfúrás-geofizikai módszerek különböző elméleti alapokon határozzák meg a porozitást, mivel különböző módon érzékenyek arra. Az elektromos vezetőképesség az egymással összeköttetésben álló pórusrészekre érzékeny, ezért az agyag, különösen laza üledékekben, jóval kisebb ellenállású, mint a durvább szemcséjű homokok, míg a neutronporozitás olyan, a szilárd kőzetvázban kémiaiilag kötött hidrogéntartalmat is porozitásnak mutat, ami semmilyen szempont szerint sem része a totális porozitásnak. Ezért agyagosság jelenlétében a porozitást csak több módszer együttes alkalmazásával, számítás útján lehet meghatározni (Zilahi-Sebess 2009).

### *A porozitás komponensek*

A porozitást póruskitöltő folyadék viszonylagos mozgékonyasága szerint három komponensre (8. ábra) bontjuk: szabadon mozgó fluidummal kitöltött vagy effektív porozitás, adszorpciósan kötött víz, szubkapilláris víz, amely a lazább szerkezetű agyagokhoz tartozó, a szorosan vett adszorpciósan kötött vízen felül jelenlevő tapadóvíz (Zilahi-Sebess 2009).



8. ábra A geofizikai módszerekkel mért porozítások összetevői (Zilahi-Sebess 2009 alapján)

### *Effektív porozitás számítása*

Az effektív porozitás számítására több szakirodalmi példa található, mint például Kane 2003-ban megjelent publikációjában, ahol a következőképp számította a porozitás értékét a különböző ellenállás értékekből (Kane 2003):

$$\Phi = \sqrt{\frac{R_{mf}}{R_{x0}}} \cdot \left( \frac{R_t \cdot R_{mf}}{R_w \cdot R_{x0}} \right)^{1.25} \quad (9)$$

Esetemben szintén Zilahi-Sebess László képletét használtam az effektív porozitás becslésére, ami kétszelvényes kiértékelésnél a következő:

$$\Phi_e = EFI - 0,14 \cdot V_{Sh} - 0,35 \cdot V_{Sh}^2 \quad (10)$$

ahol,  $\Phi_e$  = effektív porozitás (-),

EFI = elektromos porozitás (-),

$V_{Sh}$  = agyagosság (-).

A képletben kétféle módon is szerepel az agyagosság, a ~14% (0,14) látszólagos porozitás az adszorpciós rétegből adódik, amelynek vastagsága alapvetően csak a hőmérséklettől és a szabadvíz ionkoncentrációja és a Gouy-Chapman réteg ionkoncentrációja közti kontraszttól függ. A 35% (0,35) - agyagfajtától függően - a szubkapilláris porozitás, amely az agyag kompaktációs állapotától függ. Számításaimnál azért használtam ezt a képletet, mert ez különbséget tesz a redukálható és kismértékben mozgatható kötött víz és a ténylegesen nem redukálható kötött víz között.

A képletben lévő elektromos porozitás számítás a következő:

$$EFI = \left( \frac{R_w(SSP)}{R_0} \right)^{1/m} \quad (11)$$

ahol,  $R_w$  = formációvíz fajlagos ellenállása (ohmm),

$R_0$  = formáció fajlagos ellenállás (ohmm).

$m$  = cementációs faktor

Az elektromos porozitás számításnál a kitevőt 0,5-nek vettem, ami az  $m$  cementációs faktor reciproka. Így végig egy 2-es cementációs faktorról számoltam, ami a konszolidált tároló kőzetekre jellemző érték. Azonban ennek az értéke a fúrás mentén változik, sőt még az agyagokra és homokkövekre sem állandó, mert függ a konszolidáltságtól is. Ennek értelmében a képlettel kapott eredmények tovább javíthatók, ha megalkotunk egy függvényt, ami a cementációs faktort meghatározza a mélység függvényében. Másik lehetőség, hogy más-más cementációs faktort használunk agyagok, márgák és homok, homokkövek esetén. Ez a módszer elsősorban homokok, homokkövek effektív porozitásának számítására érzékeny.

Egyszelvényes kiértékelésnél a trend effektív porozitás ( $tep$ ) becsléséhez szintén Zilahi-Sebess László képletét használtam fel, mely a szemcsék geometriájából adódott:

$$tep = (0.11 \cdot e^{-1 \cdot (0.0008 \cdot DEPTH)^4} + 0.26 \cdot e^{-1 \cdot (0.00051 \cdot DEPTH)^4}) \cdot eh \quad (12)$$

ahol, DEPTH= mélység (m)

eh= elektromos homokosság (-).

A képletben az első tag fejezi ki a mélységbeli tömörödési trendet, azaz a szemcseátrendeződést tömörödés közben. A második tag a diagenezisből eredő kompaktációs trend, ami a bekérgeződés hatására jön létre. A szemcseközi porozitás a mélységgel, a nyomással általában a kompaktáció és cementáció hatására csökken, és leszámítva a felső 50 métert nem haladja meg 35 %-ot. Azonos gömbökből felépülő modell porozitása, négyzetes rácsban 47,6%, tetraéderez elrendeződésben (legszorosabb illeszkedéssel) pedig 26%. Ennek középértéke 37%, ami a felső kéreg átlagsűrűségével  $2.67 \text{g/cm}^3$  –rel azonosnak vett mátrixsűrűség esetén  $2.05 \text{g/cm}^3$  térfogatsűrűséget jelent.

#### 4.2.4. Permeabilitás

A permeabilitás fizikai alapját a Navier-Stokes egyenlet adja, ami nagyon komplex, rutinszerű alkalmazásához rengeteg adatra lenne szükség. A komplexitás egyszerűsítése érdekében, éppen ezért, a folyadék áramlását laminárisnak veszik. Ezen feltételezés hatására jelentősen leegyszerűsíthetők az összefüggések. Abban az esetben, ha több nem elegyedő folyadék fázis van jelen a relatív permeabilitással számolunk (Glover 2013). A modell szerint a fluidum egy hengeres csövön folyik keresztül, ami Poiseuille egyenletével fejezhető ki. Ez már a Navier-Stokes egyenlet egy egyszerűsített alakja. Ekkor már egy egyszerű geometria, lamináris áramlás és összenyomhatatlan folyadék jellemzi az egyenletet.

A Poiseuille egyenletből a hozamot kifejezve:

$$Q = \frac{\pi \cdot r^4 \cdot \Delta P}{8 \cdot \mu \cdot L} \quad (13)$$

ahol, Q= térfogat sebesség ( $\text{cm}^3/\text{s}$  vagy  $\text{m}^3/\text{s}$ )

r= a cső sugara (cm vagy m),

$\Delta P$  = áramlásért felelős nyomáskülönbség ( $\text{N/m}^2$ ),

$\mu$  = folyadék dinamikus viszkozitás (poise vagy Pa·S),

$L$  = a cső hossza (cm vagy m).

Darcy kísérletei alapján felállított egy formulát, melyet máig használnak az olaj iparban. Ez a formula a legtöbb kőzet típusra érvényes. A Darcy képlet a következőképpen írható fel:

$$Q = k \cdot \frac{A}{\mu \cdot L} \cdot \Delta P \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad (\text{egy fázis esetén}) \quad (14)$$

ahol,  $A$  = áramlási keresztmetszet ( $\text{m}^2$ ),

$L$  = áramlási hossz (m),

$\mu$  = folyadék viszkozitása ( $\text{Ns}/\text{m}^2 = \text{Pa} \cdot \text{s}$ ),

$\Delta P$  = áramlásért felelős nyomáskülönbség ( $\text{N}/\text{m}^2$ ),

$k$  = permeabilitás ( $\text{m}^2$ ).

### *Permeabilitás fogalma*

A permeabilitás a kőzetek folyadék vezetőképessége. Definíció szerint 1 Darcy permeabilitása van a kőzetnek egyfázisú, 1 centipoise viszkozitású, a teljes rendelkezésre álló pórusteret kitöltő folyadék áramlás esetén, ha a folyadék 1 cm/sec sebességgel áramlik át a kőzet 1  $\text{cm}^2$  keresztmetszetű felületén, 1 atm/cm hidraulikus gradiens mellett (vagy  $10^5$  Pa/cm). Más szóval 1 Darcy permeabilitás mellett 1 szekundum alatt  $1\text{cm}^2$  felületen  $1\text{cm}^3$  térfogatú folyadék áramlik át, vagyis az 1 D permeabilitás esetén  $10^{-2}$  m/s az áramlás sebessége (szivárgási sebesség) 1 mD esetén pedig  $10^{-5}$  m/s áramlási sebességgel (szivárgási sebesség) számolhatunk. Ez számértékben nem azonos a szivárgási tényezővel, annál a hidraulikus gradiens/hézag-tényező szorzóval nagyobb (Zilahi-Sebess 2009).

Az alábbiakban a Timur-formula gyakran alkalmazott empirikus összefüggése látható, ahol a képletben figyelembe vesszük a ki nem szorítható/redukálhatatlan víztelítettséget is:

$$k = 0.136 \cdot \frac{\phi^{4.4}}{S_{w,irr}^2} \quad (\text{mD} = 10^{-15} \text{m}^2) \quad (15)$$

Abszolút permeabilitásról beszélünk, ha a kőzet egy folyadékot/fluidumot tartalmaz, ekkor a permeabilitás maximális. Ha két vagy több fluidum már jelen van a kőzetben, akkor a fluidumok permeabilitása függ az egyes fluidumok telítettségétől. A fluidumok adott

telítettséghez tartozó permeabilitása az effektív permeabilitás. Mindkét effektív permeabilitás mindig kisebb lesz, mint a kőzet abszolút permeabilitása, és ez igaz az összegükre is (Glover 2013).

A permeabilitás:

- függ a porozitástól,
- függ az áramlási utak kapcsolatától a kőzetben,
- függ éppen ezért a kőzet pórussterének geometriájától.

Ha minden egyéb faktor konstans, akkor a következő állítások igazak:

- Minél nagyobb a porozitás érték annál nagyobb a permeabilitás.
- Minél kisebbek a szemcsék, annál kisebb a pórus és pórus torok és annál kisebb permeabilitás.
- Minél kisebb szemcseméret, annál nagyobb a felület ahol folyhat a fluidum, ami nagyobb súrlódáshoz vezet a fluidum és a kőzet között és így kisebb a permeabilitás.

A zárókőzetek permeabilitása általában 1 nanodarcy, nD és 1 microdarcy,  $\mu$ D között változik gránitok, agyagok esetén - melyek fedik vagy felosztják a rezervoárt -; extrém jó rezervoár esetén a permeabilitás akár néhány darcy is lehet.

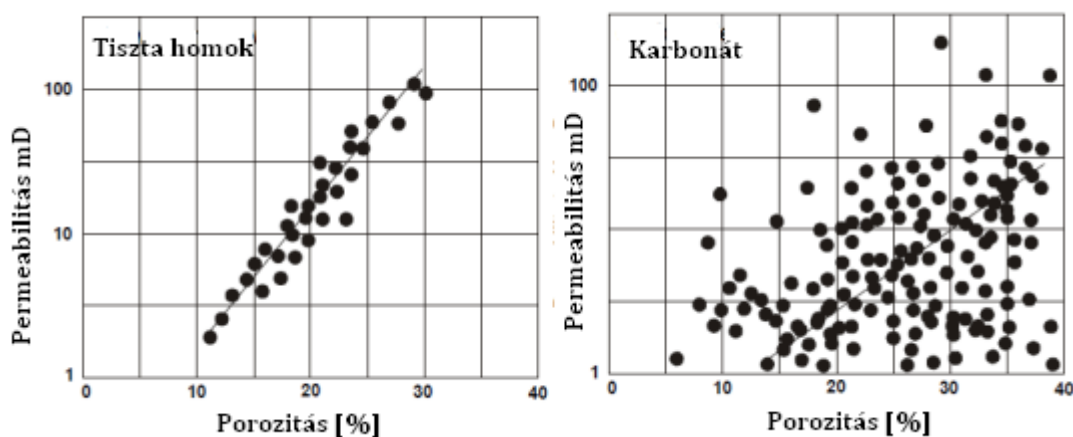
Szénhidrogén kutatás területén a jó tárolók permeabilitása nagyobb, mint 100 mD, de 1 mD felett még lehetőség van a folyékony szénhidrogének kitermelésére is, ez alatt általában 0.01 mD-ig már csak gáz termelhető, ilyenkor azonban már csak rétegkezelési eljárások alkalmazásával (pl. „tight gas reservoir”) lehet gazdaságosan termelhető szénhidrogén hozamot elérni. A permeabilitás térbeli eloszlása meghatározza a felszín alatti folyadékáramlást illetve a szénhidrogén migrációt. Lecsökkenése önmagában is szénhidrogéncsapdák kialakulásához is vezethet (Balázs 2013).

A litosztatikai nyomás emelkedésével – a kompakció miatt – általában csökken a permeabilitás. A repedezettség megjelenése fokozza, míg a cementáció előrehaladás és az agyagtartalom csökkenti az áteresztőképességét. A hőmérséklet növekedése szintén hat a permeabilitásra, mivel szerepe lehet a mikrorepedések kialakulásában, illetve a cementációt befolyásoló oldódási-kiválási folyamatokban (Balázs 2013).



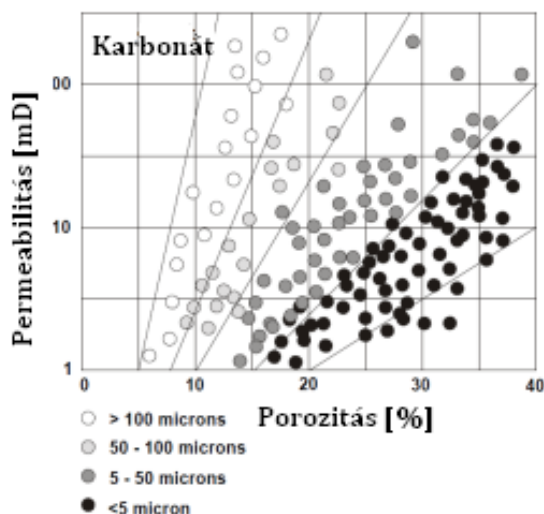
*Porozitás és permeabilitás kapcsolata*

A számított permeabilitás értékek ellenőrzésére a legnyilvánvalóbb eszköz a porozitás, mivel minél nagyobb a porozitás, elméletileg annál többféle úton áramolhat a folyadék. A valós eredményhez azonban fontos, hogy lehetőség szerint minden esetben meghatározott litológiára vagy rezervoár zónára készítsük el a cross-plot-ot (Glover 2013).



9. ábra Tipikus porozitás és permeabilitás cross-plot-ok (Glover 2013)

A fenti 9. ábrán jól látható, hogy a homokkő esetén nagyon jól kontrollálható a permeabilitás a porozitással, míg a karbonát esetén több „felhő” is kialakul, azaz több befolyásoló tényező van a porozitás mellett (9. ábra). A 10. ábra mutatja, hogy a szemcseméret is hatással van a permeabilitásra (Glover 2013).



10. ábra A szemcseméret hatása/befolyása a porozitás és permeabilitás cross-plotra (Glover 2013)

### *Permeabilitás számítási módszerek*

A permeabilitás becslésére számos megközelítés érhető el (7. táblázat), jelenleg ezek közül is a Kozeny-Carman és a Timur összefüggés a legismertebb és legelterjedtebb. A Kozeny-Carman egyenlet porózus kőzetre vonatkozó több módosítása is ismert (Xu et al., 2008).

A kőzetek tulajdonságai közül a permeabilitás meghatározása igen nehézkes. Balan és társai 1995 szerint nem lehet univerzális összefüggést találni a kőzetek egyéb paraméterei és a permeabilitás között. Az általuk készített tanulmányban a különböző számítási módszerekkel határozták meg a permeabilitást heterogén olajos formációk szelvény adatait felhasználva (Balan et al., 1995). Első lépésként a porozitást határozták meg az ellenállás szelvényekből, majd a formáció faktor számítása következett. Mivel a permeabilitás nagyon érzékeny a cementációs faktorra ( $m$ ), erre megpróbáltak találni egy konzisztens értéket, majd ezt követően megállapították a víztelítettséget. Így már meghatározható volt a permeabilitás a porozitás és víztelítettség függvényében. Az eredmények azt mutatták, hogy az összefüggések alkalmazása tekintetében a Coates & Dumanoir (1981) tűnik a legjobbnak (Balan et al., 1995).

Részben hasonló tanulmányt készített Nigériában Aigbedion (2007), melyben mélyfúrás-geofizikai szelvényekből számította a vízellenállást, a porozitást és a víztelítettséget, majd 4 különböző módszerrel (Timur 1968, Coates & Dumanior 1981, Tixier 1949, Aigbedion 2004) határozta meg a permeabilitást, többek között a saját összefüggésével is. Eredményeit összevetette egymással illetve egy közeli terület fúrási magjából meghatározott permeabilitás adatokkal. Az eredmények alapján Tixier, Coates&Dumanior és Aigbedion modellek hasonló eredményt adnak.

A nemzetközi példák mellett van példa a permeabilitás magyar meghatározására is, mely a Csókás-formula, amely a következőképpen írható fel (Csókás 1986):

$$k(m^2) = C \cdot \frac{\Phi^3 \cdot \left( \lg \frac{R_0}{R_w} \right)^2}{(1 - \Phi)^2 \cdot \left( \Phi \cdot \frac{R_0}{R_w} \right)^{1.2}} \quad (16)$$

ahol,  $k$  = permeabilitás,

$R_0$  = ellenállás (ohm),

$R_w$  = vízellenállás (ohm),

$\Phi$  = porozitás (-),

C = koefficiens, ami egyenlő  $4,227 \cdot 10^{-9}$ .

Ezt a megközelítés leginkább víztartalmú rétegek vizsgálatára (szén rétegekkel) alkalmas.

*Az ellenállás szelvény alapján számolt trend effektív porozitásból történő permeabilitás meghatározása*

A következő képlettel történik (Zilahi-Sebess 2008) a szivárgási tényező számítása, mely ezek után átszámítható permeabilitássá (*I D permeabilitású közeg szivárgási tényezője:  $10^{-3} \text{ cm/s} = 10^{-5} \text{ m/s}$* ):

$$K(m/s) = \frac{0,136 \cdot 10^{-5} \cdot tep^{4,4}}{(1 - eh) \cdot 0,14)^2} \quad (17)$$

Az összefüggés a Timur-egyenlet ( $k = \frac{0,136 \cdot \Phi^{4,4}}{S_{wi}^2}$ ) egy továbbfejlesztett változata. A módszer hátránya, hogy mivel egy szelvényen alapuló eljárás során becsüljük a szivárgási tényezőt és abból a permeabilitást, nincs referencia és így rossz mérés esetén hibás eredményt kapunk. Azonban mivel egy területről több fúrás is vizsgálunk az ellenállás szelvények összehitelesítése illetve az agyag-homok vonal meghatározás során, a hibás mérések, esetleges hibás összeillesztések általában „kiküszöbölhetők”. Az 17. összefüggés aljzati tároló esetén már nem használható, mivel az már másodlagos porozitást is tartalmaz, így a tömörödési trenden alapuló eredményeknél valójában jóval nagyobb porozitással is rendelkezhetnek.

## 5. A vizsgált mélyfúrás-geofizikai szelvények feldolgozása, értelmezése

A 4.2. fejezetben leírt paraméterek gyakorlati hasznosítására Mihályi-Répcelak területen került sor, amelyhez kapcsolódóan 30 mélyfúrás részletes mélyfúrás-geofizikai vizsgálatát végeztem el. Ennél ugyan több fúrás mélyítettek -összesen 46-ot a területen -, de csak ezen fúrásokról található információ a Magyar Bányászati és Földtani Hivatal adattárában, ahonnan a fúrások dokumentációját megkaptam. Mivel a dokumentációkhoz kapcsolódó mélyfúrás-geofizikai szelvények papír alapúak voltak, a szelvények szkennelés

elvégzése volt az első lépés. A .jpg képállományba szkennelt mélyfúrás-geofizikai szelvényeket LogCard6 szoftver segítségével LAS formátumba digitalizáltuk. A WellCAD szoftver segítségével az előállított LAS adatállományok egyszerűen beolvashatók voltak majd .wcl formátumba tárolhatóvá váltak. Ezt követően meg lehetett kezdeni a WellCAD szoftver segítségével a mélyfúrás-geofizikai szelvények hibakeresését-javítását és korrekcióit (8. táblázat) (Szamosfalvi 2013.).

Mivel a fúrások mélyítése a 40-es és 70-es években történt, főképp a régebbi fúrások esetén sokszor csak a természetes potenciál és az ellenállás szelvényezés történt meg, az újabb fúrásokban már végeztek természetes gamma és neutron-gamma szelvényezést is. Sűrűség szelvényezésre a kútkönyvek szerint, csak két fúrás esetén került sor (M-39, M-40). A fúrások közül a M-39 és M-41 fúrás feldolgozása és értelmezése nem történt meg, mivel az M-39 fúrásnál a szelvények középső mélység szakasza hiányzik, a M-41 fúrásban pedig megítélésem szerint hibás volt a természetes potenciál mérése.

### **5.1. Kiválasztott területeken a mélyfúrás-geofizikai szelvények javítása**

A digitalizált anyagoknál az ellenállás és természetes potenciál szelvények a legtöbb esetben több darabban mélység szakaszonként álltak rendelkezésre. Ennek oka, hogy a csövezések alkalmával mindig új szelvényezés kezdődött, illetve sok esetben több különböző, de azonos fizikai paramétert mérő szondával mérték (vagy a dokumentációban csak ezek maradtak meg) az egyes szakaszokat. Éppen ezért az első feladat az volt, hogy kiszűrjem az esetleg hibás méréseket, vagy a mérések lokális csak korlátozott mélységintervallumot érintő hibáit (Szamosfalvi 2013). Ezután illesztettem össze a megfelelő, azaz ugyanazon típusú szondával mért korrigált, szelvényeket (ha szükséges volt), mivel ezek a szelvények különböző mélység intervallumokból származtak.

A mérések hibáinak többféle forrása lehet, ilyenek például:

- műszerhibából fakadó pontatlan mérések,
- észlelő által elkövetett hibák (pl. túl- vagy alul-kompenzálás, valódi mérések helyett származtatott értékek használata),
- korrekciós hibák,
- illesztési hibák,
- mélység hibák,

- egyéb.

Azon fúrásoknál ahol a különböző szelvények között földtani szempontból indokolhatatlan mélységbeli réteg „elcsúszás” látszik ott a WellCAD szoftver Match Deeper panelével a különböző mérésgörbéken lévő azonos réteghez tartozó jelalakokat/anomáliákat össze lehetett „hozni”, korrigálva a mélységbeli eltéréseket. Ezekben az esetekben nem tíz méteres elcsúszásokról beszélek, hanem kisebb, maximum 1 méteres eltérésekre gondolok, amiket a pontosabb számítások érdekében fontos korrigálni, hogy helyes —pl. porozitás — értéket kapjunk az adott rétegre.

A hibajavítást követően, de még az összehitelesítést megelőzően, el kellett végezni az ellenállás görbék hőmérsékleti korrekcióját a kétszelvényes (SP, ellenállás) kiértékeléshez, amelynek hatására az ellenállás görbén látható változékonyság hőmérsékletfüggése kiküszöbölhető. A hőmérsékleti korrekcióhoz az alábbi összefüggést használtam, egy nemzetközileg elfogadott standard eljárást követve (Western Atlas 1985):

$$R_{t\text{korrr}} = \frac{R_t(T+21,3)}{32,3} \quad (18)$$

ahol,  $R_t$ = mért fajlagos ellenállás (ohmm),

$T$ = hőmérséklet ( $^{\circ}\text{C}$ ).

A hibajavításokat és korrekciókat követően, külön-külön területenként elvégeztem a Mihályi-terület és Répcelak terület görbéinek összehitelesítését.

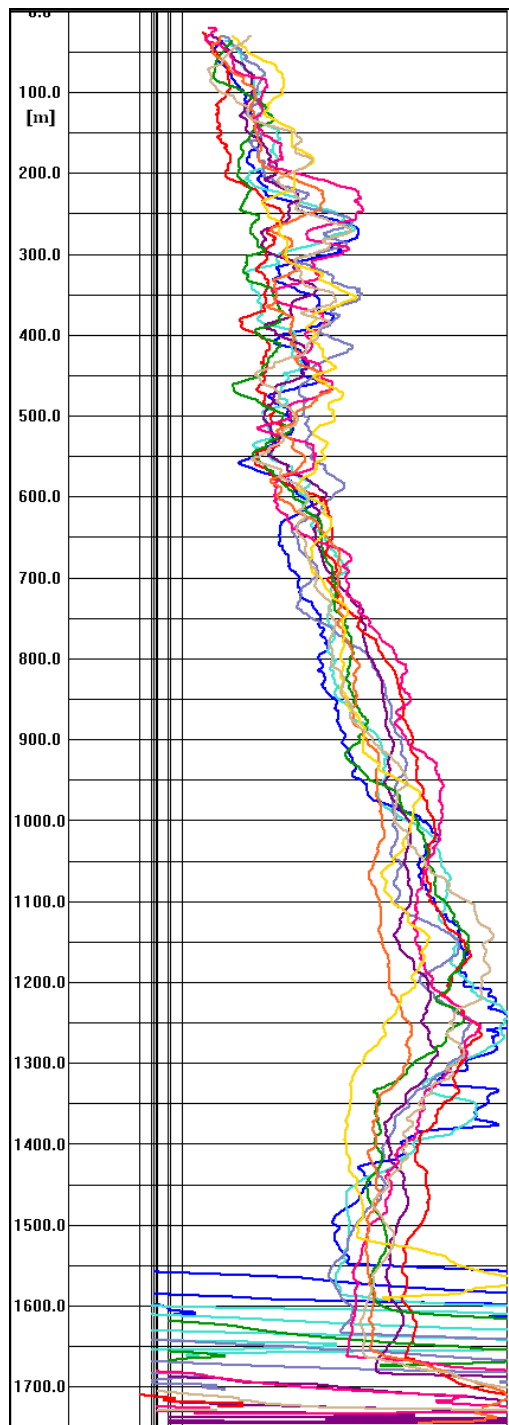
## 5.2. Kiválasztott területeken a mélyfúrás-geofizikai szelvények összehitelesítése

Egy adott területen, ahol az egyes fúrások hasonló kőzetkifejlődéseket harántolnak, lehetőség van az egyedi fúrásokban elvégzett mérések utólagos „összehangolására”, ha nem túl nagyok a fúrások közti távolságok. Erre azért van szükség, mert ha nincs sztenderdizált, külső hitelesítés a mérőeszközök esetében, a mérések és a mérőeszközök műszaki paraméterei, a műszer működése valamint maga az észlelő jelentős mértékben befolyásolhatja a mérés eredményét, így az egyedi mérésekben kapott értékek önmagukban nehezen nyernek földtani értelmet. A különböző típusú, de azonos fizikai paramétert mérő szondák esetében a látszólagos értékek különbözőek, de (pl. ellenállás) a földtani közeg biztosítja nekünk a valódi paraméterek kellően hosszú mélységzakaszra vett átlagának állandóságát. Ezért lehetőségünk van arra, hogy a különböző típusú különböző iszapellenállás mellett felvett elektromos ellenállásokat nemcsak az átlagérték, hanem a mérés görbe dinamikája szerint is

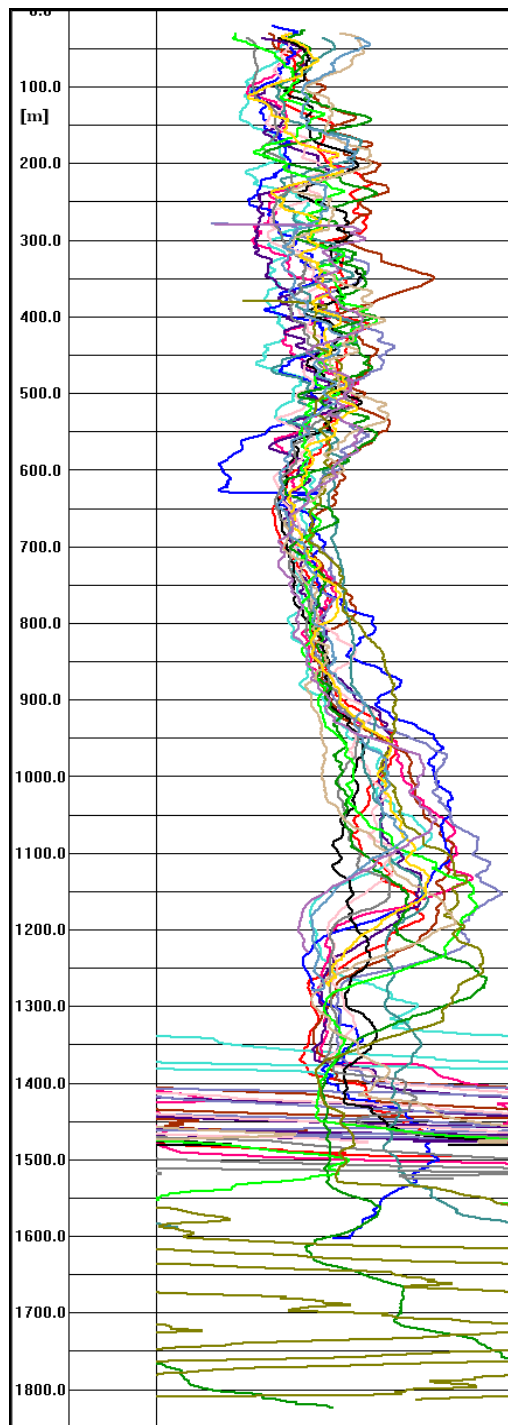
összekalibráljuk. A mérésekben megjelenő területi változások illetve a különböző feltételek mellett külön mért mérészakaszok közti változásokhoz csak az összehitelesítés után rendelkezhetők valódi földtani változások illetve csak így lehet a maradék hibás mérést kiszűrni.

Mihályi és Répcelak esetén, mint már fentebb említettem, az összehitelesítés külön-külön, területenként történt. Mihályi esetén 10 fúrás, míg Répcelak esetén 18 fúrás összehitelesítésére került sor (11. ábra és 9. táblázat -10. táblázat). A 11. ábra szemlélteti azt, hogy az ellenállás szelvények összehitelesíthetők, a további hibák kizárása érdekében. Amennyiben egymáshoz képest eltoljuk az ellenállás szelvényeket (esetleg természetes potenciál) és egy közös sávba rendezzük, akkor az azonos módszerrel mért szelvényeknek közel fedniük kell egymást. Ennek oka, hogy a kis távolságon belül elhelyezkedő kutak mélyfúrás-geofizikai szelvényei nagyon hasonló, közel azonos lefutásúak. Mindez arra vezethető vissza, hogy azonosak voltak a települési viszonyok, a fúrások egy területről származnak és az egyes fúrások által harántolt összletek ugyanabban a földtani időben keletkeztek, emiatt a tömörödési folyamat és a diagenezis is hasonlóan ment végbe, így kellően vastag összletek esetében a statisztikus átlag várhatóan azonos kell, hogy legyen.

Látszólagos fajlagos ellenállás [ohmm]



Látszólagos fajlagos ellenállás [ohmm]



11. ábra Mihályi (bal) és Répcelak (jobb) hőmérséklet korigált ellenállás szelvényei 500 pontos szűrővel. A függőleges tengely a mélység [m]. (Szamosfalvi 2012)

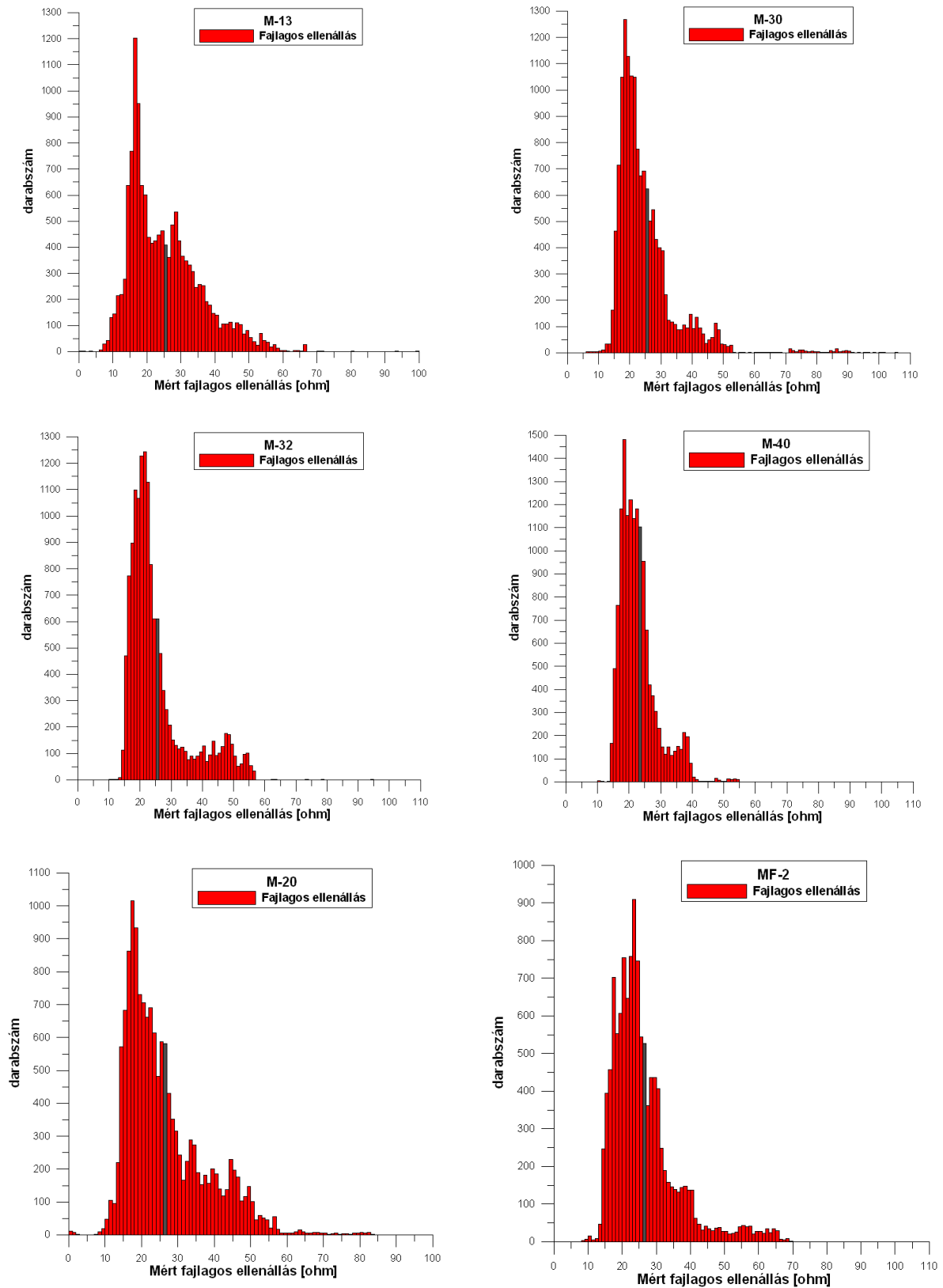
Más – korábban vizsgált– területen előfordult, hogy egy fúrás ellenállás szelvénye a többitől eltérő volt, ott a fúrások korrelációja után kiderült, hogy egyes rétegek, amelyek a referencia fúrás esetében jelen voltak a vizsgált fúrásból hiányoznak, ebből arra

következtetem, hogy ezek a rétegek erodálódtak. Ez a szelvény mélység szakaszokra darabolásával és a szakaszok külön-külön korreláltatásával bebizonyítható, így megállapítható, hogy honnan és milyen vastag rész erodálódott.

Az összehitelesítést segíti, és a hibajavítás ellenőrzésére is jól alkalmazható az egyszelvényes kiértékelésnél, az ellenállás szelvényen meghatározott agyag és homokvonal. Előfordulhat ugyanis, hogy hibajavításnál, nem megfelelő összeillesztés esetében egy dekádbeli (pl.: ellenállás szelvény darabok között 10 ohmm különbség van) elcsúszás jelentkezik a két szelvény részlet között. Ebben az esetben bár az ellenállás szelvény lefutása jó az adott szelvény jelentősen kilóg vagy az agyagvonalon vagy a homokvonalon kívülre. A fúrások ellenőrzése és újra összeillesztése után, már pontosabb az összehitelesítés, így az eredmények is megbízhatóbbak.

Az összehitelesítés jóságának ellenőrzésére Répcelak esetén elvégeztem a fajlagos ellenállás szelvényeken egy statisztikai összehitelesítést is. A 18 db répcelaki fúrás fajlagos ellenállás értékeiből hisztogramokat szerkesztettem (VI. melléklet) és kiszámítottam az átlag fajlagos ellenállás értéket. A számításból az M-27. nevű nem szén-dioxidos fúrást kihagytam, mivel nem teljes a fajlagos ellenállás szelvénye (hiányzik a felső több mint 400 méteres szakasz).





12. ábra Répcelaki fúrások ellenállás szelvényeiből készült hisztogramok (M-13, M-30, M-32 és M-40 szén-dioxidos, míg M-20 és MF-2 nem szén-dioxidos fúrás. A szürke szín az adott fúrás átlag ellenállását jelzi.

A fúrásokban számított átlag ellenállás értékeket a dolgozat végén a 11. táblázatban mutatom be.

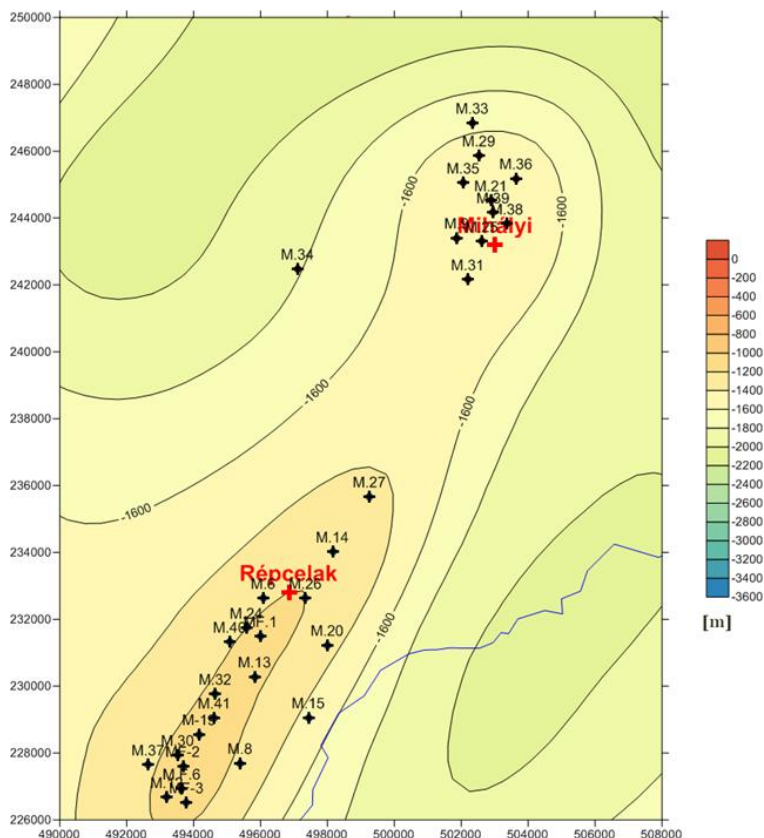
A statisztikai összehitelesítésnél az M-14, M-26 és M-37 fúrások átlag ellenállás értékeit 20%-kal korigálni kellett, így az átlag fajlagos ellenállás 25,4 ohmm. A maximális átlag fajlagos ellenállás érték 27,6 ohmm az M-8-as fúrásban. A korrekció után a fajlagos ellenállás átlagok szórására 1,17 ohmm-t kaptam a teljes vizsgálati területet nézve míg, csak a répcelaki szén-dioxidos fúrásokat tekintve a szórás értéke csupán 0,93 ohmm. A hisztogramok (12. ábra) és a fajlagos ellenállás átlag értékek szórása is azt mutatja, hogy a szelvények így már helyes értéket mutatnak, illetve jók a mérések, azaz a köztük levő eltérések valóban az eltérő fizikai paramétereket tükrözik.

### **5.3. Mélyfúrás-geofizikai szelvények feldolgozása és értelmezése**

Mihályi-Répcelak természetes szén-dioxid előfordulás fúrásai közül nem mindegyik fúrás szelvényei álltak rendelkezésre, illetve több fúrásból bár szelvény előkerült, de véleményem szerint hibás volt a mérés (pl. M-41 fúrás) vagy éppen hiányos volt az ellenállás vagy a természetes potenciál szelvény (pl. M-39 fúrás). Végül 28 szelvényel rendelkező fúrás mélyfúrás-geofizikai szelvényének egyszelvényes (ellenállás) és kétszelvényes (ellenállás, természetes potenciál) feldolgozását, értelmezését (10 Mihályi és 18 Répcelaki fúrás) végeztem el. A 28 fúrásra vonatkozó eredmények az I. mellékletben találhatóak, ahol nem a teljes szelvények kerülnek bemutatásra, hanem főképp a Szolnoki és Endrődi Formációra vonatkozóak mélységszakaszok találhatóak meg, mivel elsősorban ezzel a két formációval foglalkozom a dolgozatomban.

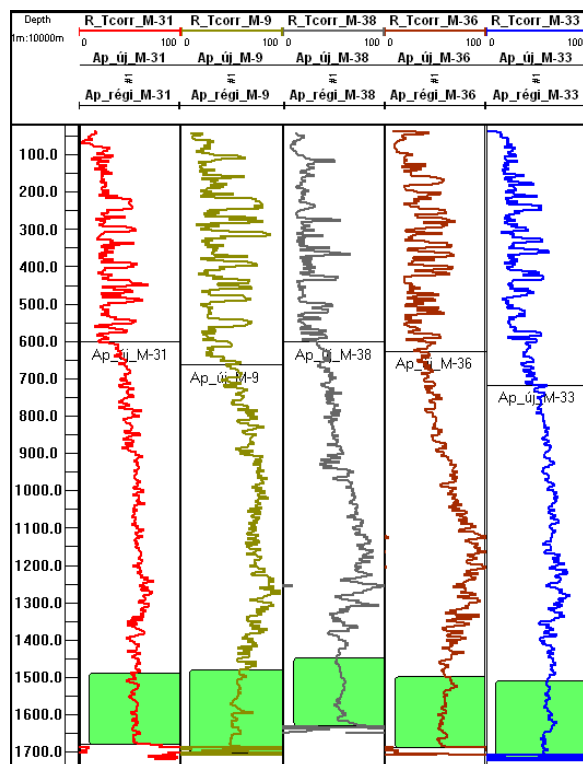
A 3.1. fejezetben már megismerhettük az irodalomban elfogadott álláspontot a Szolnoki Formáció kialakulásáról és jelenlétéről a Kisalföldön. Az eredeti elképzelésnek ellentmondani látszanak az új eredményeim a Mihályi-Répcelak területről. A következőkben a vizsgálataim alapján kapott eredményeket és azokból levont feltételezéseket foglaltam össze.

A területről 30 fúrást illetve azok mélyfúrás-geofizikai szelvényeit vizsgáltam, külön a Mihályi (12) és külön a Répcelak (18) részterületet (13. ábra).

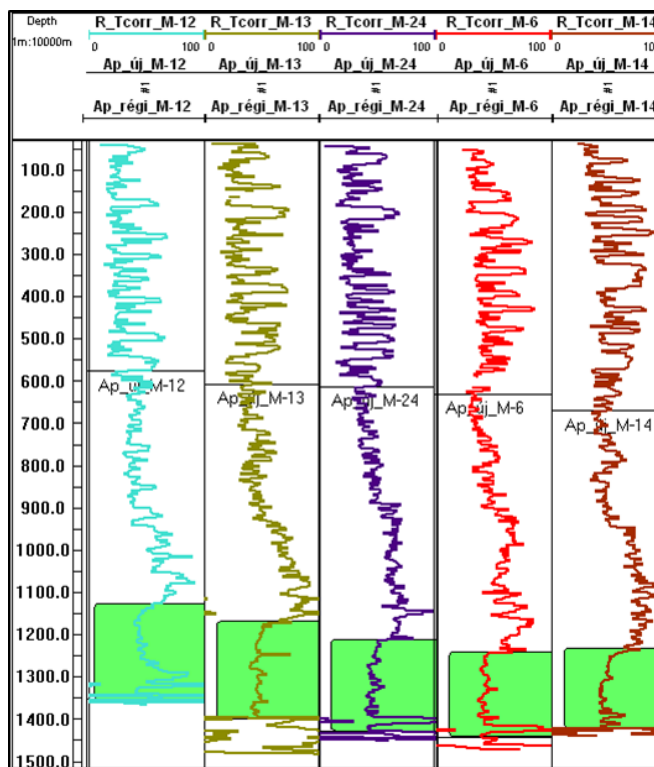


13. ábra A Mihályi háton vizsgált fúrások. Piros színnel az érintett két település látható. Az alaptérkép a Szolnoki formáció becsült tető térképe (Zilahi-Sebess 2013)

Munkám először a szelvények hibajavításával, illetve korrekciójával kezdtem, majd elvégeztem azok összehitelesítését, azaz egy skálára való kalibrálását, hogy a fizikai paraméterek különbsége különböző fúrások között valóban földtani információt jelentsen. Az összehitelesítést követően az ellenállás szelvényeken kezdtem el kijelölni a kútkönyvek alapján az alsó pannóniai rétegeket (14. ábra és 15. ábra zöld színnel jelezve). Mivel a nagyalföldi területeken a szén-dioxid tárolás szempontjából a Szolnoki Formáció a leginkább perspektivikus ennek kijelölését is céloomul tűztem ki, de ennél a lépésnél észleltem, hogy az általam görbe alakok alapján kijelölt Szolnoki Formáció tető mélységek jóval kisebbek, mint ahogy az alsó pannóniai üledékek települési mélysége elhelyezkedik a kutatási dokumentumok alapján. Ennek fényében elvégeztem az alsó pannóniai rétegek új-kijelölését.



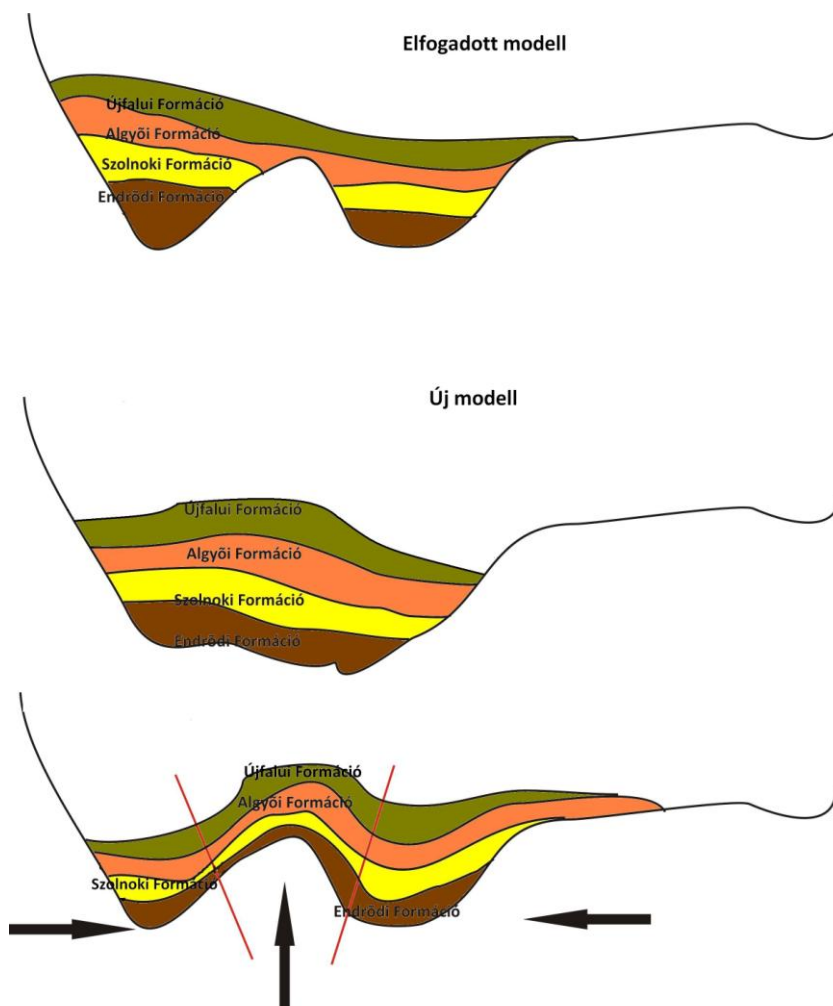
14. ábra Mihályi terület 5 db jellemző fúrásán és azon belül is a látszólagos fajlagos ellenállás [ohmm] szelvényeken bemutatva a kútkönyv által megadott (zöld színnel jelölve) illetve az új értelmezése az alsó pannóniai határoknak. (Szamosfalvi 2013)



15. ábra Répcelak terület 5 db jellemző fúrásán és azon belül is az látszólagos fajlagos ellenállás [ohmm] szelvényeken bemutatva a kútkönyv által megadott (zöld színnel jelölve) illetve az új értelmezése az alsó pannóniai határoknak. (Szamosfalvi 2013)

Az ábrákon a jó átláthatóság érdekében 5 fúrást jelenítettem meg mind a két rész-kutatási területről. A 12. táblázat -13. táblázatban összefoglaltam a Mihályi és a Répcelaki fúrásokban meghatározott Algyői, Szolnoki és Endrődi Formációk tető és talp mélység illetve vastagság értékeit. A 14. ábra és 15. ábrakon jól látható, hogy több 100 méterrel nagyobb vastagságok adódtak jelen dolgozat értelmezése alapján. Illetve a régi értelmezés és az új értelmezésnél az alsó pannóniai rétegek aljának kijelölése terén gyakorlatilag megegyezik és az eltérés az alsó pannóniai rétegek tetejének megállapításában van. Az eredmények azt mutatják, hogy a régi papír alapú értelmezés során csak a mélyvizi márga fáciest képviselő Endrődi Formációt jelölték ki ezen a területen, mint az alsó pannóniai képződmények csoportját.

Egy másik fontos megfigyelni való a 14. ábra 15. ábra, hogy a látszólagos fajlagos elektromos ellenállás, természetes potenciál és természetes gamma mélyfúrás-geofizikai szelvények alapján elvégzett formáció kijelölés során megfigyeltem, hogy a területen az alsó pannóniai formációk (Endrődi, Szolnoki és Algyői Formáció) felett már csak a felső pannóniai Újfalui Formáció lehet megfigyelni, felette már hiányos a rétegsor és a Zagyvai és Nagyalföldi Formáció nem figyelhető meg. Ennek oka a kompresszió hatására bekövetkezett emelkedés okozta erózió, ami a medencefejlődés utolsó fázisában játszódott le (16. ábra).

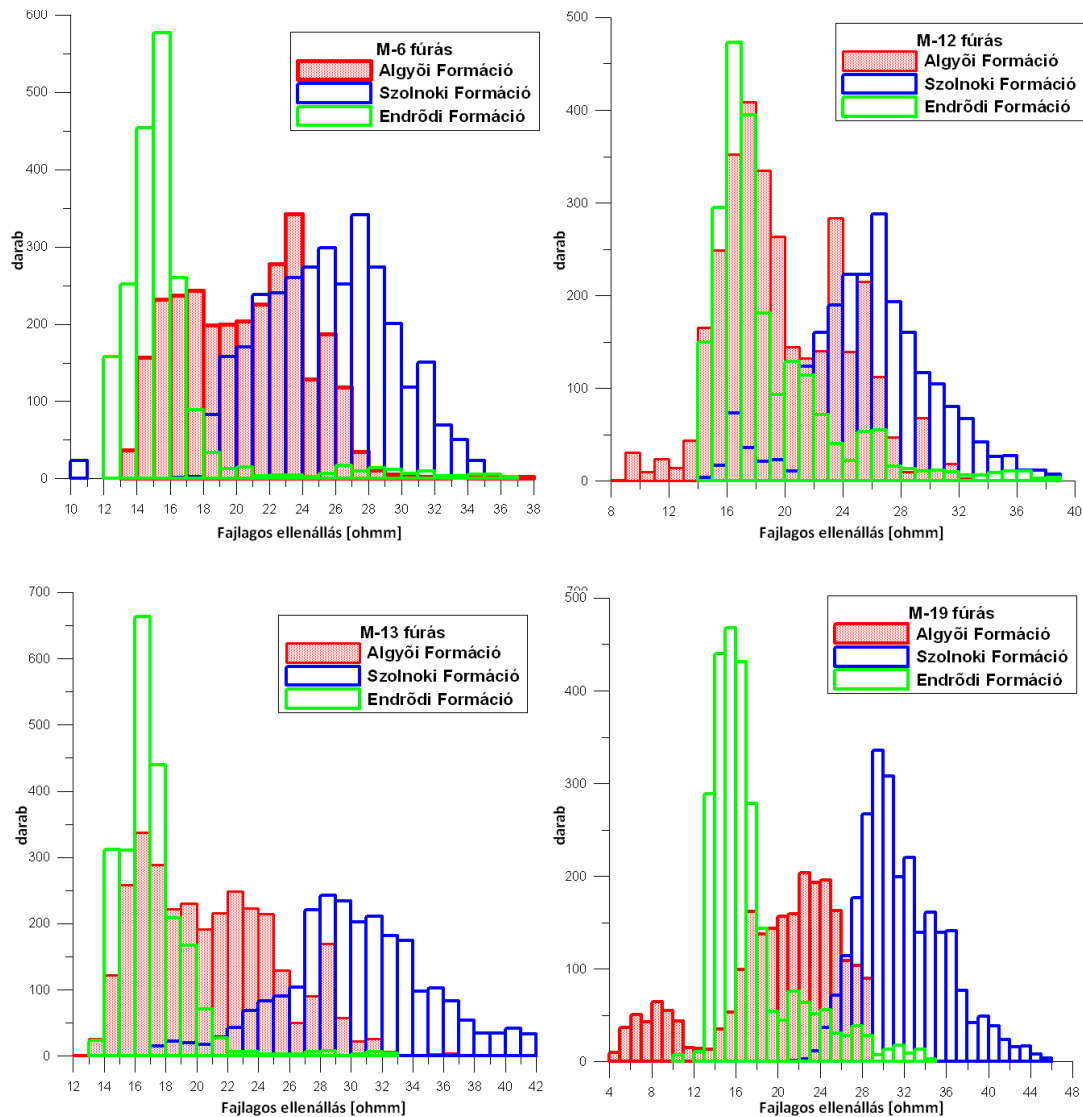


16. ábra A régi, elfogadott modell és az új modell összehasonlítása sematikus ábrán keresztül

További fontos eltérés, hogy az eddigi ismeretekkel ellentétben – mármint, hogy a területen nincs vagy csak nagyon kis vastagságban jelenik meg a Szolnoki Formáció – a tanulmányozott területeken eredményeim alapján jelentős vastagságú Szolnoki Formáció található. Jelen vizsgálat alapján, Répcelakon a formáció, átlagosan 250 méter, míg Mihályi területen 350 méter vastagságú. A formáció kijelölésénél figyelembe vettem azt, hogy a Szolnoki Formációra jellemző, hogy felfelé finomodó homokkő rétegekből áll. Már korábbi munkáim során is megfigyelhető volt (ez igaz az Algyői és Endrődi Formációra is, hogy a Szolnoki egy sajátos „köteg jelalakkal” rendelkezik a szelvényeken, ami itt is megfigyelhető), hogy egy megnövekedett ellenállással jelentkezik illetve sok, - elsősorban nyugat-magyarországi - fúrásoknál a kétosztatúság is látszik (Juhász 1998).

Egy statisztikai ellenőrzést is elvégeztem, hogy igazoljam az általam meghatározott formáció határok helyénvalóságát. Hisztogramokat készítettem (VII. melléklet) a hőmérséklet

korrigált ellenállás adatokat figyelembe véve az egyes formációkból (17. ábra). Feltételeztem, hogy az azonos formációk egységes képet mutatnak a fúrásokban, azaz egyes formációk ellenállás eloszlása más-más lesz. Piros színnel jelöltem az Algyői Formációt, zölddel a Szolnoki Formációt, míg kék színt az Endrődi Formáció kapott a hisztogramokon.



17. ábra Répcelak területén található fúrások ellenállás hisztogramja formációkra bontva

A hisztogramokon megfigyelhető, hogy az Algyői Formáció két móduszú, azaz két csúccsal rendelkezik, míg legnagyobb ellenállásoknál a Szolnoki Formáció található, mely Gauss-eloszlást mutat. A leginkább stabilnak az Endrődi Formáció tűnik, mely ezzel együtt a legkisebb ellenállás értékekkel rendelkezik és lognormális eloszlást mutat. Az egyes fúrásokból kapott formációra vonatkozó hisztogramok eloszlása alapján elmondható, hogy az egyes formációk azonos képet mutatnak a fúrásokban és a különböző formációk más eloszlást

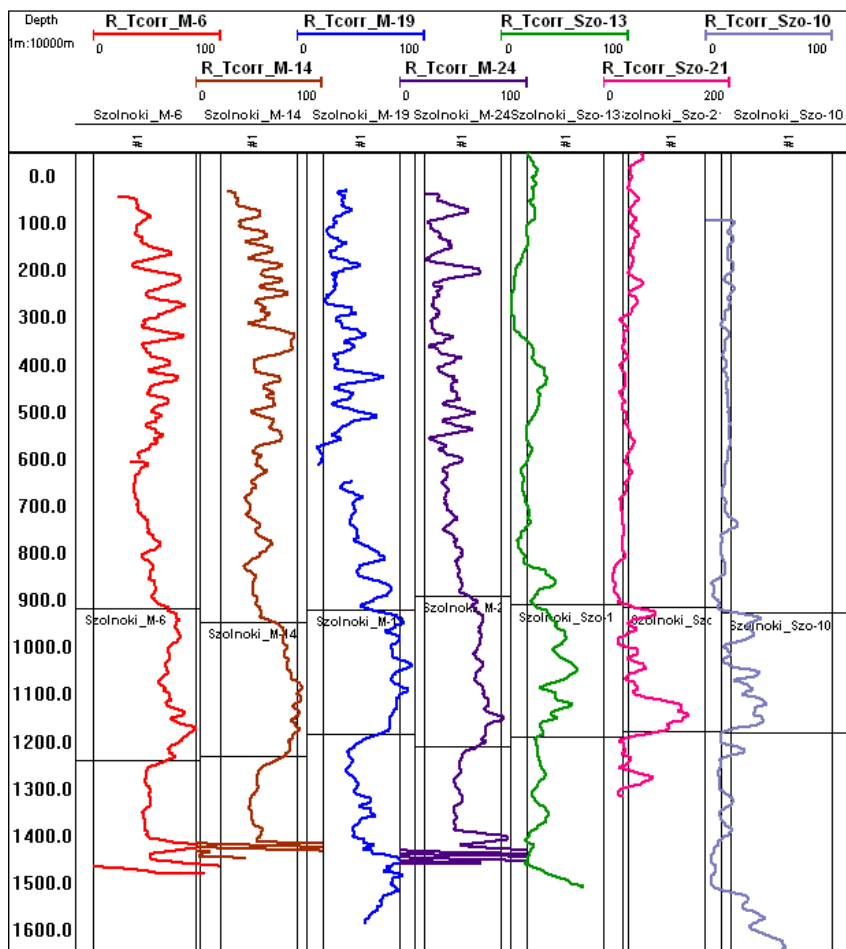
mutatnak. A hisztogramok tehát azt támasztják alá, hogy az általam meghatározott formáció határok helyesek.

A 17. ábra azt mutatja, hogy a formációk nem csak a karotázsgörbék lefutásában, hanem a fizikai paraméterek hisztogramjában (fajlagos ellenállás) is különböznek egymástól.

További ellenőrzésképpen megvizsgáltam a területről rendelkezésre álló sűrűség szelvényeket. A sűrűség szelvényekből a Szolnoki Formációra meghatározott porozitás adatok megegyeztek az alföldi fúrásokban korábban megállapított adatokkal, ami ~10-12 % porozitást jelent. Azonban az Alföld területén a Szolnoki Formáció jelenleg jóval nagyobb mélységben települt, mint Mihályi-Répcelak területén. Az ország területéről származó számos fúrás vizsgálatának segítségével - (Mészáros 2001) meg lett határozva egy országos, porozításra vonatkozó totál porozitás trend. Ennek figyelembevételével megállapítható volt, hogy az általam a Mihályi-Répcelak területén Szolnoki Formációnak nevezett köteg korábban mintegy 600 méterrel nagyobb mélységben tartózkodott.

Újabb vizsgálatként, annak érdeklében, hogy még egy módszerrel ellenőrizzem elképzelésem helyességét, azaz, hogy a területen jelen van a Szolnoki Formáció. 4 db Répcelaki fúrás ellenállás görbéje mellé raktam 3 db Alföldi (Szolnok környéki fúrás) ellenállás szelvényét, melyeket 600 méterrel feljebb toltam (18. ábra). A szelvényeken simító szűrősképpen 200 pontos futó átlagolást alkalmaztam (ami pontról pontra 20 méteres átlagok képzését jelenti), hogy jobban látszódjon a nyomon követendő formáció.

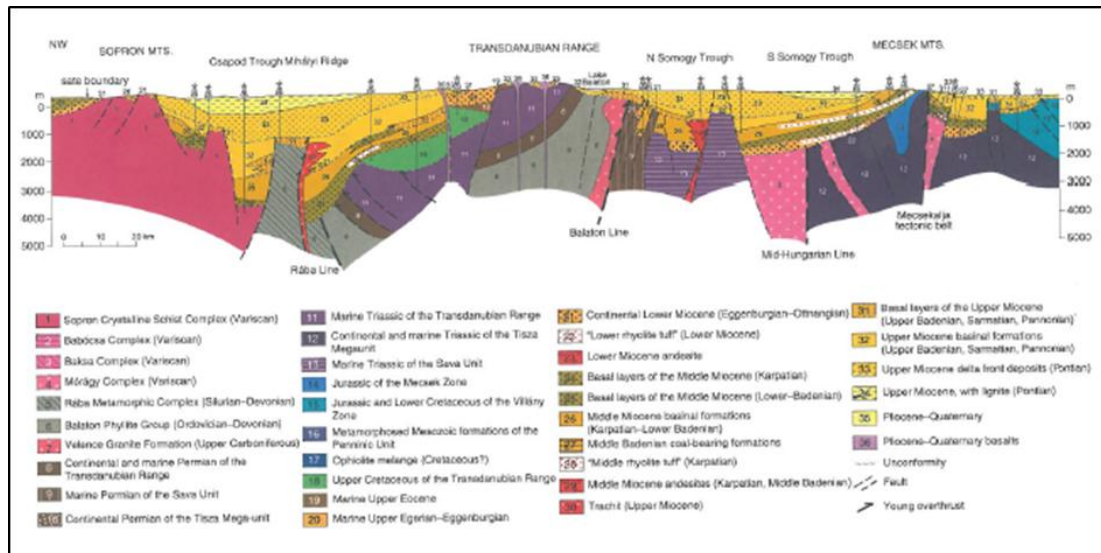




18. ábra Répcelaki és Alföldi fúrások hőmérséklet korigált ellenállás szelvényei (R\_Tcorr) illetve a Szolnoki Formáció határa adott fúrásokban (M= Répcelaki fúrás, Szo= Szolnoki fúrás)

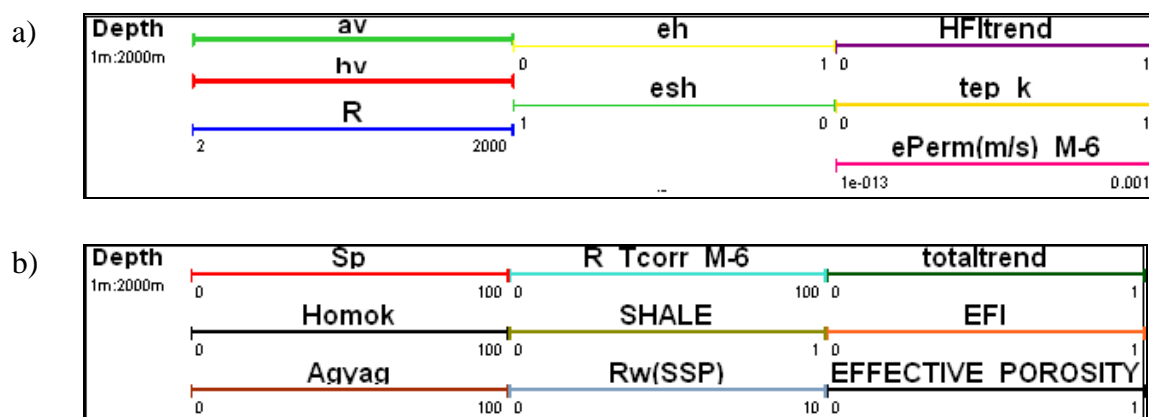
A 18. ábra ellenállás szelvényen jól nyomon követhető a Szolnoki Formáció mintázata mind a Répcelaki mind a 600 méterrel feljebb tolt Alföldi méréseken. A 600 méterrel kisebb mélységre helyezés is alátámasztja, hogy Répcelak területén eredetileg a Szolnoki Formáció mintegy 600 méterrel mélyebben helyezkedhetett el és a terület kiemelkedése a Szolnoki Formáció kialakulása után történt meg. Mindezek alapján kijelenthető, hogy a fúrások azonos települési és öskörnyezeti viszonyokat mutatnak.

Eredményekből levonható az a következtetés, hogy a Mihályi-hát kiemelkedése a Szolnoki Formáció kialakulása után történt ellentmondva a korábbi feltételezéseknek (19. ábra, Haas 2001, Körössy 1981). További kutatások szükségesek, hogy felülvizsgáljuk az eredményeket, azaz össze kell vetni az eredményeimet a területen végzett öslénytani és sztratigráfiai kutatásokkal is.



19. ábra A területen áthúzódó földtani szelvény (Haas et al. 2001)

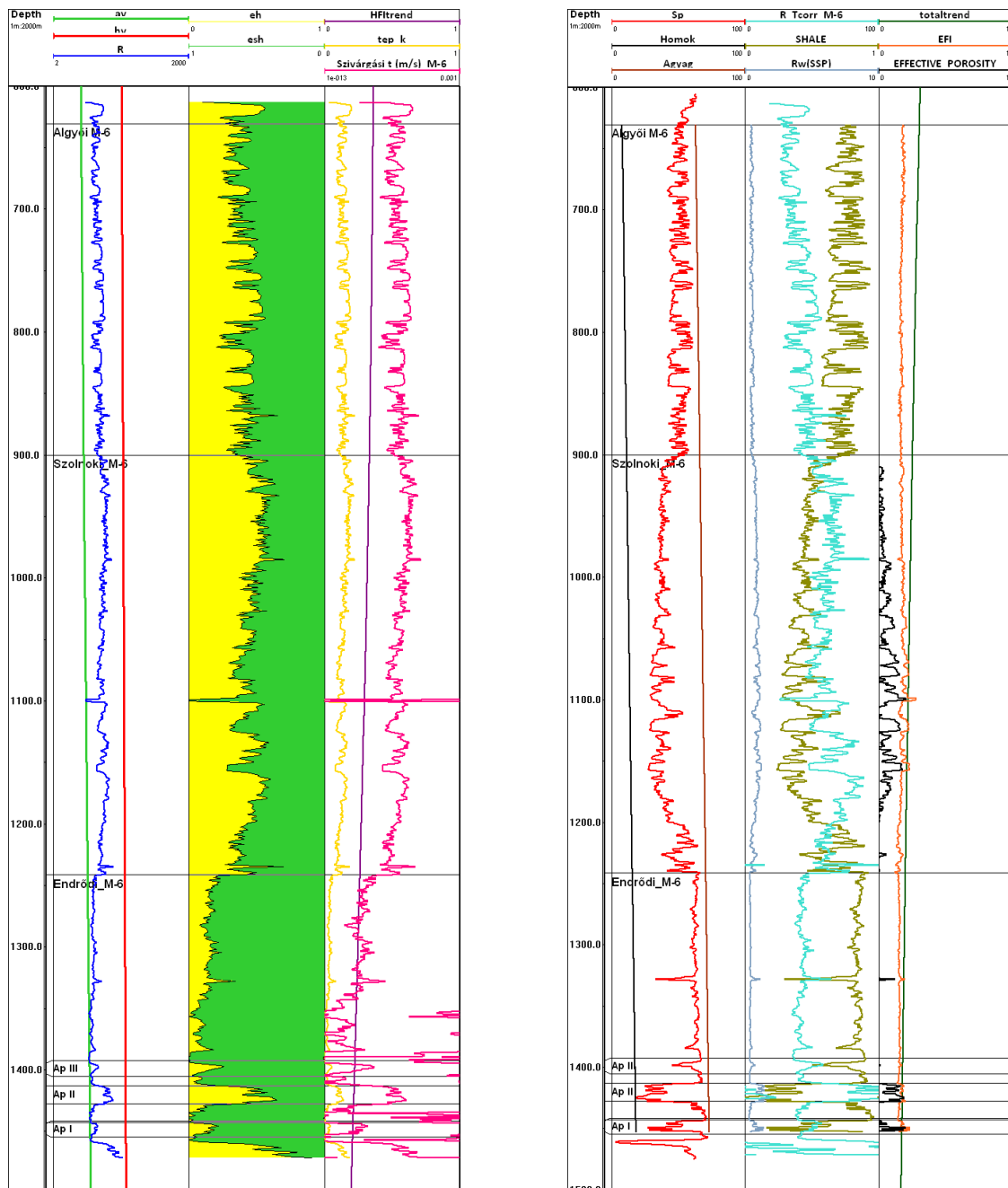
A formációhatárok kijelölése és a földtani megállapítások megtétele után elvégeztem a fúrások értelmezését is. A következőkben a 28 db értelmezett fúrásból négy fúrás (M-6; M-14; M-19; M-24) mélyfúrás-geofizikai feldolgozásának és értelmezésének eredményei láthatók. Mind a négy fúrás Répcelak területén található szén-dioxid termelő kút. A 21. ábra-24. ábra bemutatott szelvénytáblák az Endrődi Formáció. Ezen fúrásokat a későbbiek részletesen tárgyalom, mivel a két részletes vizsgálatra kiválasztott szén-dioxidos telepet harántolja.



20. ábra a). Az M-6 fúrás egyszelvényes kiértékelésének fejléce és b). az M-6 fúrás kétszelvényes kiértékelésének fejléce

(av=agyagvonal; hv=homokvonal; R=ellenállás szelvény [ohmm]; eh= ellenállás homokosság; esh= ellenállás agyagosság; HFI TREND=homok porozitás trend; tep\_k=trend effektív porozitás; ePerm=szivárgási tényező [m/s]; Sp=természetes potenciál szelvény [mV]; Agvag=agyagvonal; Homok=homokvonal; R\_Tcorr=hőmérséklet korrigált ellenállás szelvény [ohmm]; SHALE=agyagosság; Rw(SSP)=SSP szelvényből számított vízellenállás szelvény [ohmm]; EFI=elektromos ellenállás [ohmm]; EFFECTIVE\_POROSITY=effektív porozitás)

A 20. ábra az M-6 fúrásból kapott eredményeket bemutató szelvények fejlécei láthatók, amely megegyezik az összes többi fúrás eredményeit bemutató ábrák fejlécével. A fejléc kinagyításának szükségességét az adta, hogy a WellCAD szoftverből nem lehetett úgy exportálni az ábrákat, hogy jól látható legyen az összes paraméter, illetve skála.



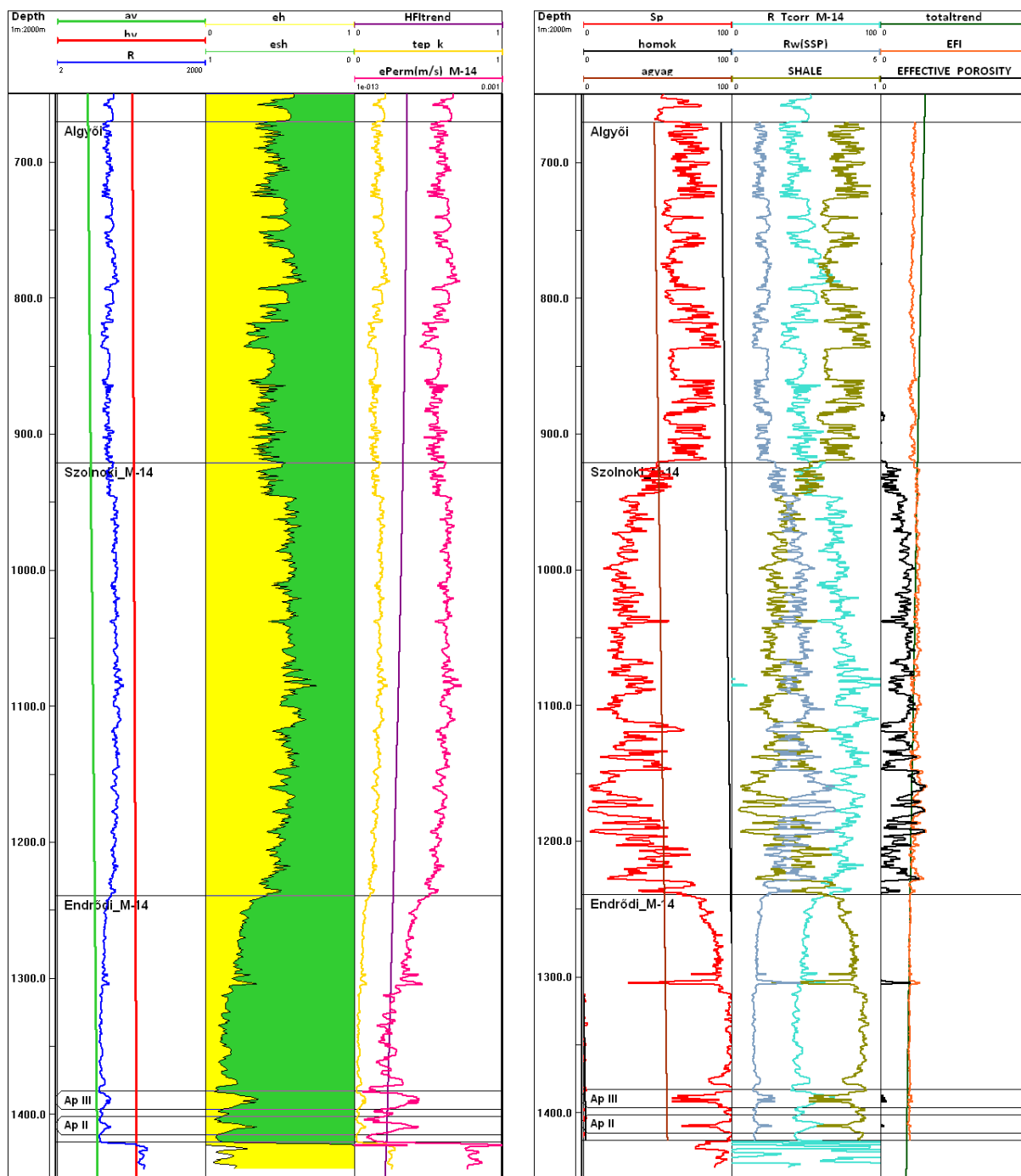
21. ábra a). Az M-6 fúrás egyszelvényes kiértékelésének fejléce és b). az M-6 fúrás kétszelvényes kiértékelésének fejléce

((av=agyagvonal; hv=homokvonal; R= fajlagos ellenállás szelvény [ohmm]; eh= ellenállás homokosság; esh= ellenállás agyagosság; HFI TREND=homok porozitás trend; tep\_k=trend effektív porozitás; ePerm=szivárgási tényező [m/s]; Sp=természetes potenciál szelvény [mV]; Agyag=agyagvonal; Homok=homokvonal; R\_Tcorr=hőmérséklet korrigált fajlagos ellenállás szelvény [ohmm]; SHALE=agyagosság; Rw(SSP)=SSP szelvényből számított fajlagos vízellenállás szelvény [ohmm]; EFI=elektromos ellenállás [ohmm]; EFFECTIVE\_POROSITY=effektív porozitás)

Az ábrákon a 4.2. fejezetben leírt módon számítottam az egyes paramétereket, egy illetve kétszelvényes kiértékelés során. A szelvény szakaszok javítása és összeillesztése, szükség esetén mélység egyeztetése és az összehitelesítése után mind a két módszer esetén meghatároztam a homok- és agyagvonalat. Egyszelvényes kiértékelésnél a teljes ellenállás szelvényhosszon (av, hv), kétszelvényes kiértékelésnél csak az adott formációra, ebben az esetben Endrődi Formációra vonatkozóan a természetes potenciál szelvényen (Agyag, Homok). Ebben az esetben ajánlatos egy adott formációra számolni, mert a természetes potenciál (SP) mérések gyakran hibásak így csak egy-egy szakasz használható hiszen, mint azt a 7. ábra segítségével már bemutattam gyakori az alapvonal eltolódás. A bemutatott fúrások esetében lehetséges volt több formáción keresztül egy homok-agyag vonalat megállapítani, de ez ritka és a Mihályi-Répcelak fúrások többségén nem is lehetséges.

Az ellenállás szelvényt sötétkék színnel jelöltem (R) az egyszelvényes kiértékelésnél. A kétszelvényes kiértékelés esetében már a felszíni átlag hőmérsékletre korrigált ellenállás segítségével számítottam a paramétereket. Az első esetben azért nem volt szükség a hőmérsékletre korrigált ellenállás szelvényeket használni mivel a homok- és agyagvonal kijelölése a teljes szelvényhosszra már magában foglalja a hőmérséklet korrekciót.

Az agyagosság számítását a 4.2.1. fejezetben bemutatott módon (3. és 4. összefüggés) végeztem el. Értékét mindkét esetben nagymértékben befolyásolja, hogy mennyire pontosan lett megállapítva az agyag-homokvonal, mivel ebből számítjuk az agyagosság értékét és ennek hibáját továbbvihetjük a további paraméterek számításába. A két módszer közt az eltérés a súlyozott átlagot tekintve ~4% a répcelaki terület szén-dioxidos fúrásainak alsó pannóniai rétegeit tekintve. Ez a két módszer jó korrelációját bizonyítja.



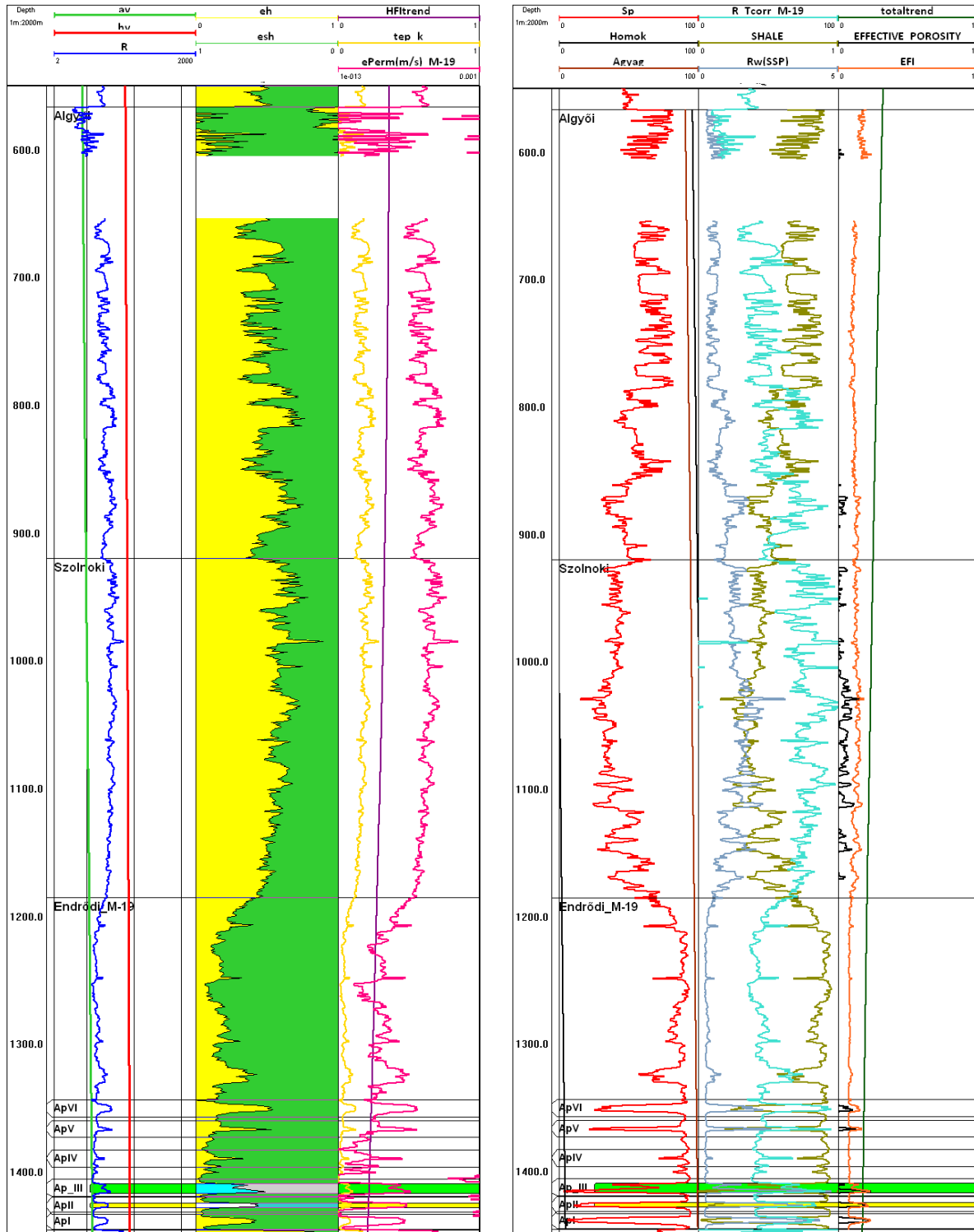
22. ábra a) M-14 fúrás egy szelvényes kiértékelése az Endrődi Formációra b) M-14 fúrás kétszelvényes kiértékelése az Endrődi Formációra

(av=agyagvonal; hv=homokvonal; R= fajlagos ellenállás szelvény [ohmm]; eh= ellenállás homokosság; esh= ellenállás agyagosság; HFI TREND=homok porozitás trend; tep\_k=trend effektív porozitás; ePerm=szivárgási tényező [m/s]; Sp=természetes potenciál szelvény [mV]; Agyag=agyagvonal; Homok=homokvonal; R\_Tcorr=hőmérséklet korrigált fajlagos ellenállás szelvény [ohmm]; SHALE=agyagosság; Rw(SSP)=SSP szelvényből számított fajlagos vízellenállás szelvény [ohmm]; EFI=elektromos ellenállás [ohmm]; EFFECTIVE\_POROSITY=effektív porozitás)

Az egyszelvényes kiértékelésnél a következő lépés a trend effektív porozitás becslése volt, ehhez közvetlenül kapcsolódik a HFI Trend elnevezésű szelvény (homok porozitás

trend), amely megadja az maximális effektív porozitás értéket a mélység függvényében, figyelembe véve a kompaktiót is. Ezt az összefüggést Zilahi-Sebess László dolgozta ki, amely az üledékes kőzetek mélységi tömörödési trendjeinek vizsgálatán alapul. (Mészáros, Zilahi 2001). A módszer korlátja, hogy HFI TREND-del korlátozza a maximális eredményül kapható effektív porozitás értéket homokövekre és nem veszi figyelembe, hogy az effektív porozitás migrációval kapcsolatos kioldódás miatt megnő, ha réteg pórusaiban szénhidrogént/szén-dioxidot tárol. Utolsó lépésként következett a szivárgási tényező számítása az 5.2.4. alfejezetben leírt módon (17.). Így azonosíthatók voltak az egyes nagy áteresztőképességű homokrétegek, melyek szén-dioxidot tárolhatnak és megadható lett ezek permeabilitása, porozitása, agyagossága.

Ez a módszer a trend effektív porozitás számításnál az agyag/márga rétegekre is ad 1-2 százalékos értéket, így az egyes formációkra számolt formáció vastagságra súlyozott átlag effektív porozitás értékek kisebbek lesznek, mint a kétszelvényes effektív porozitás értékek. A módszer medencealjzati tárolóknál történő számításnál, már nem használható mivel akkor a mélységben a trend effektív porozításra ~0%-ot ad, így minden esetben impermeábilis rétegnek megfelelően kicsi áteresztőképességet kapnánk, ami nem valós például egy repedezett aljzati tároló esetén sem. Medencealjzatban a szivárgási tényező képleténél más kiegészítő használata szükséges.



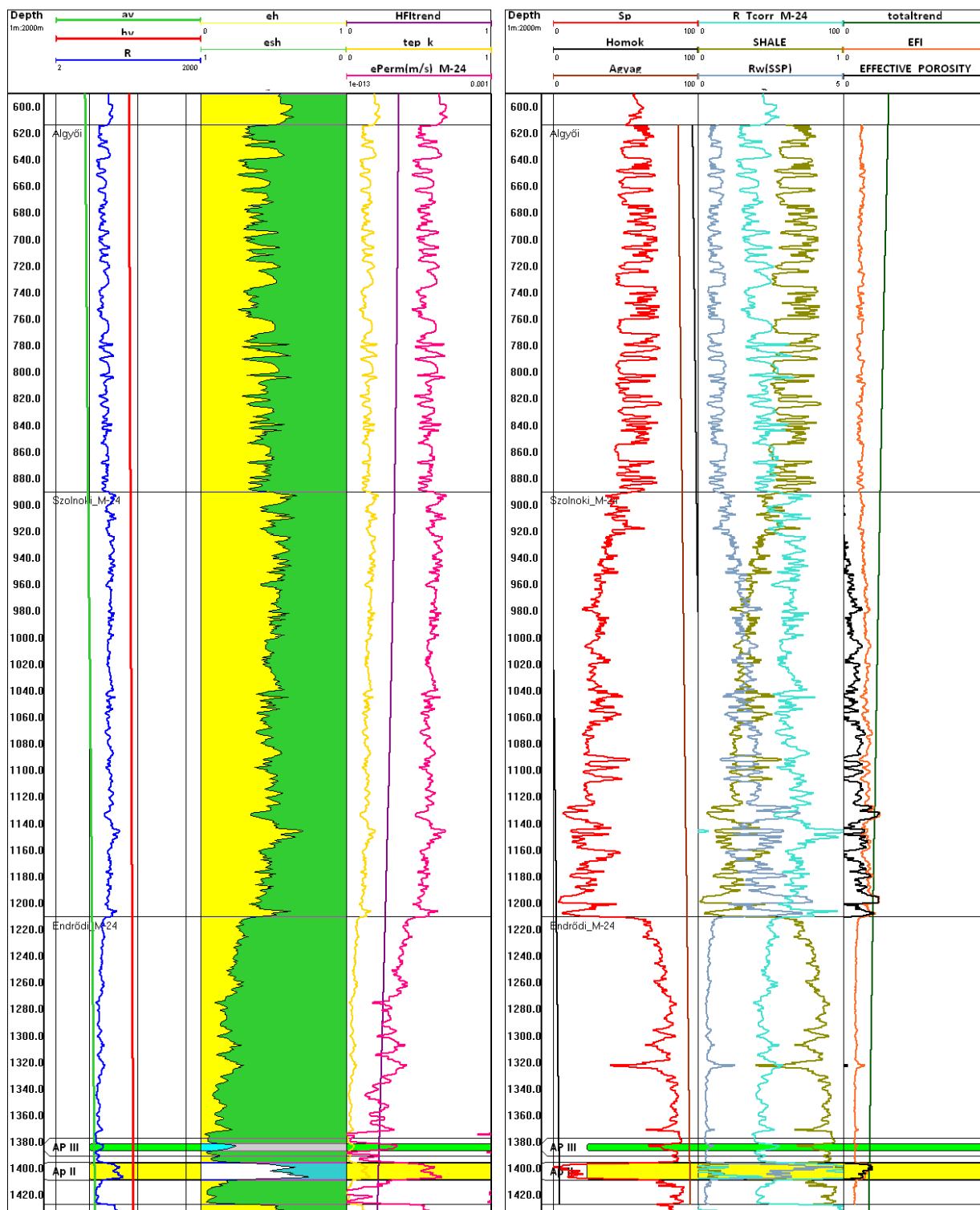
23. ábra a) M-19 fúrás egy szelvényes kiértékelése az Endrődi Formációra b) M-19 fúrás kétszelvényes kiértékelése az Endrődi Formációra

(av=agyagvonal; hv=homokvonal; R= fajlagos ellenállás szelvény [ohmm]; eh= ellenállás homokosság; esh= ellenállás agyagosság; HFI TREND=homok porozitás trend; tep\_k=trend effektív porozitás; ePerm=szivárgási tényező [m/s]; Sp=természetes potenciál szelvény [mV]; Agyar=agyagvonal; Homok=homokvonal; R\_Tcorr=hőmérséklet korrigált fajlagos ellenállás szelvény [ohmm]; SHALE=agyagosság; Rw(SSP)=SSP szelvényből számított fajlagos vízellenállás szelvény [ohmm]; EFI=elektromos ellenállás [ohmm]; EFFECTIVE\_POROSITY=effektív porozitás)

A másik módszer esetén (kétszelvényes kiértékelés) az agyagosság számítása után a SSP (statikus SP) szelvény meghatározása következett, mivel az SSP segítségével volt becsülhető a vízellenállás (6. egyenlet), mely értékét az SSP értékén felül még befolyásolja az iszapfiltrátum ellenállása ( $R_{mf}$ ) is. Ezt követően került meghatározásra az elektromos porozitás (EFI) is, ami tulajdonképpen már egyfajta totál porozitás agyagmentes kőzetekben. Itt az összefüggés korlátja, hogy nem változik a cementációs faktor a mélységgel. Az EFI ismeretében már meghatározható az effektív porozitás az alacsony agyagtartalommal rendelkező homokokra, homokkövekre. A területen az Endrődi Formáció homokkő betelepülései többnyire szén-dioxid tárolók. Mihályi területére eső szén-dioxidos fúrásoknál több esetben is az Endrődi Formáción kívül a Szolnoki Formációra is elkészült a kétszelvényes feldolgozás, mivel itt több szén-dioxid telep is elhelyezkedik.

A 28 fúrás egy és kétszelvényes feldolgozása során kapott eredmény szelvények számszerű adatai akár 10 centiméteres intervallumonként exportálhatóak. A hibás adatok kiszűrés után lehetővé vált a formációkat - telepek mélységközére leválogatni az adatokat és egy átlag értéket megadni, melyekből a formációkra és telepekre vonatkozó eloszlás térképek elkészültek.





24. ábra a) M-24 fúrás egy szelvényes kiértékelése az Endrődi Formációra b) M-24 fúrás kétszelvényes kiértékelése az Endrődi Formációra

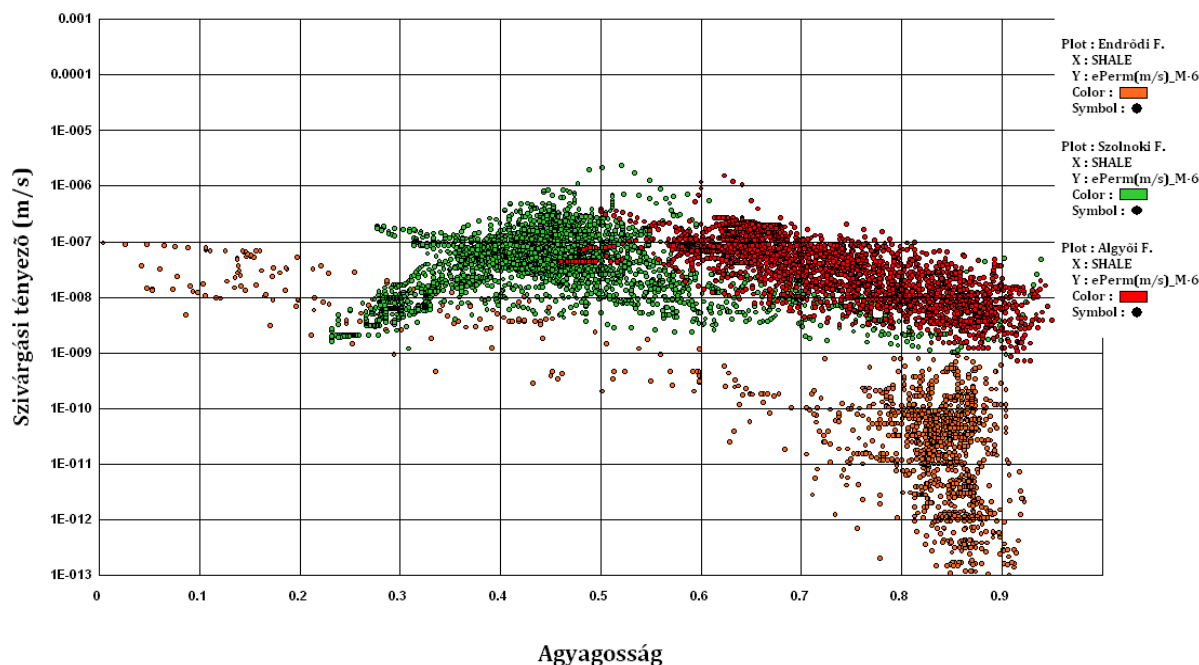
(av=agyagvonal; hv=homokvonal; R= fajlagos ellenállás szelvény [ohmm]; eh= ellenállás homokosság; esh= ellenállás agyagosság; HFI TREND=homok porozitás trend; tep\_k=trend effektív porozitás; ePerm=szivárgási tényező [m/s]; Sp=természetes potenciál szelvény [mV]; Agyag=agyagvonal; Homok=homokvonal; R\_Tcorr=hőmérséklet korrigált fajlagos ellenállás szelvény [ohmm]; SHALE=agyagosság; Rv(SSP)=SSP szelvényből számított fajlagos vízellenállás szelvény [ohmm]; EFI=elektromos ellenállás [ohmm]; EFFECTIVE\_POROSITY=effektív porozitás)

A WellCad program lehetővé teszi cross-plotok készítését a szelvényekből különböző mélységrészekre. Mivel korábban kijelöltem az egyes formáció határokat és két szén-dioxidos telep is nyomon követhető volt, adta magát, hogy ezekből az adatokból cross-plotokat hozzak létre. Az eredmény szelvényekből a formációkat/telepeket különböző színnel jelölve készítettem el a cross-plotokat, abból a célból, hogy megvizsgáljam milyen földtani megállapítások vonhatók le az egyes paraméterpárok által generált pontfelhők elhelyezkedéséből.

Répcelak területére eső 11 db szén-dioxidos fúrásra elkészítettem 4-4 féle cross-plotot az eredményül kapott szelvényekből, itt az első két cross-plot típus az alsó-pannóniai üledékekre vonatkozik, míg az utolsó kettő csak az Endródi Formációra:

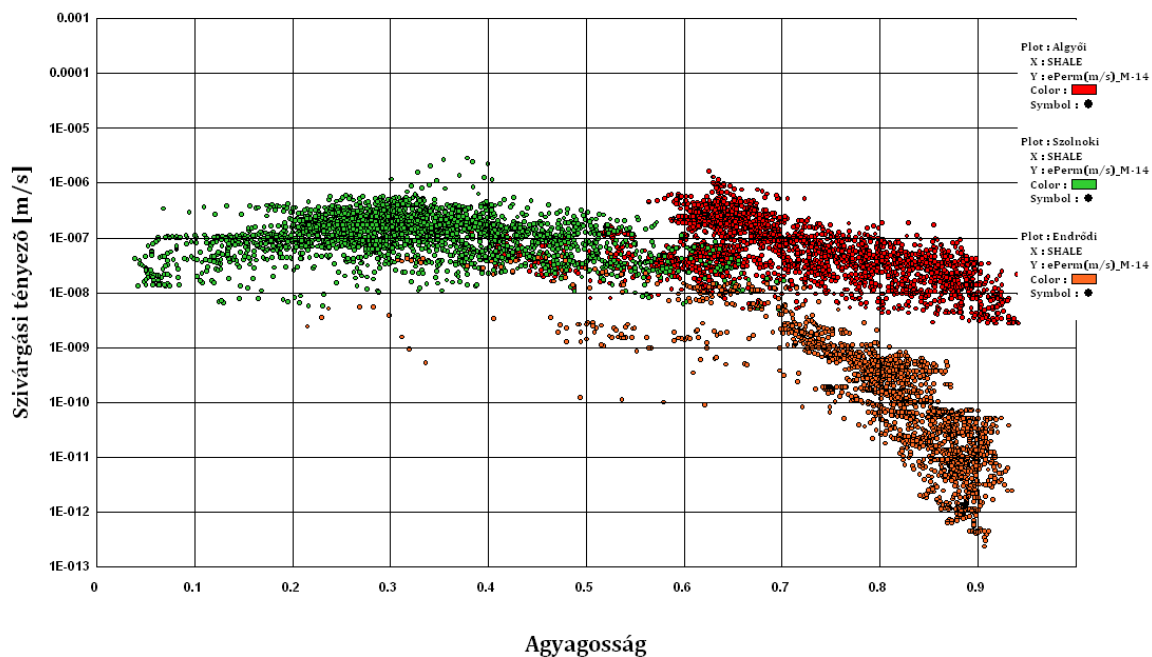
- agyagosság-szivárgási tényező
- agyagosság-effektív porozitás
- ellenállás agyagosság-agyagosság (Endródi Formáció)
- agyagosság-trend effektív porozitás (Endródi Formáció)

A már fenti ábrákon is látható M-6, M-14, M-19, M-24 fúrások cross-plotjai kerülnek bemutatásra, a többi melléklet formájában megtalálható a dolgozat végén (II.melléklet).



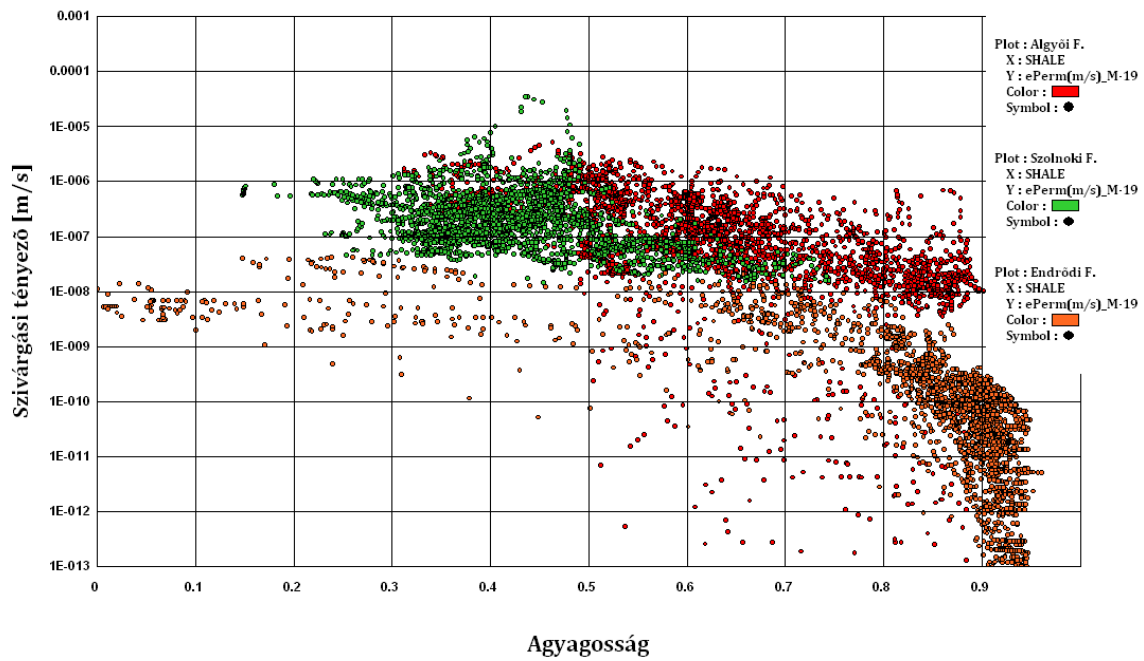
25. ábra M-6 fúrás agyagosság-szivárgási tényező értékei formációnkénti színezés (perm= szivárgási tényező; Shale= agyagosság)

Először az agyagosság - szivárgási tényező között fennálló összefüggés látható (25. ábra- 28. ábra), itt a szivárgási tényezőt logaritmikus skálán ábrázoltam. Az agyagosság értéke ebben az esetben csak a természetes potenciál függvénye, míg a szivárgási tényező értéke az ellenállás szelvényen alapszik, így elmondható, hogy a két származtatott paraméter egymástól független módon lett meghatározva.



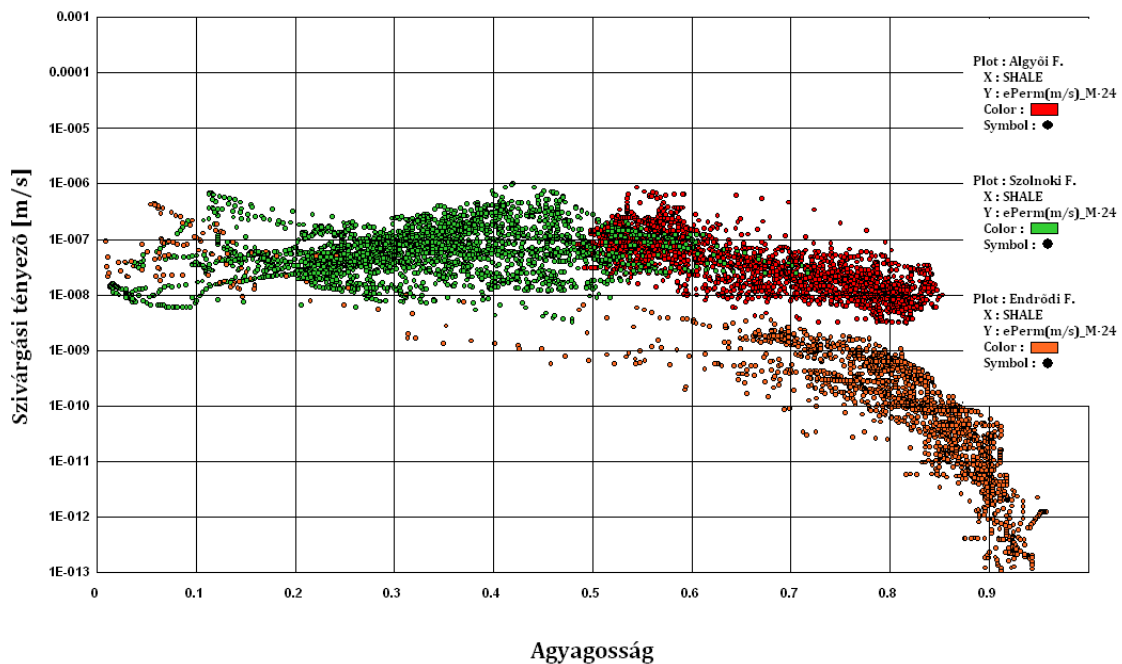
26. ábra M-14 fúrás agyagosság-szivárgási tényező értékei formációnkénti színezés (perm= szivárgási tényező; Shale= agyagosság)

Az elvártnak megfelelően az agyagosság növekedésével a formációkban csökken a szivárgási tényező értéke, de formációnként más mértékben. Az Endrődi Formáció esetében már kis agyagosság növekedésével nagymértékben lecsökken a szivárgási tényező értéke, így a permeabilitás is. A cross-plottok alapján a Szolnoki Formáció döntően struktúrális agyagosságú kell legyen mivel a szivárgási tényező nem vagy csak nagyon kis mértékben függ az agyagosságtól.



27. ábra M-19 fúrás agyagosság –szivárgási tényező értékei formációnkénti színezés (perm= szivárgási tényező; Shale= agyagosság)

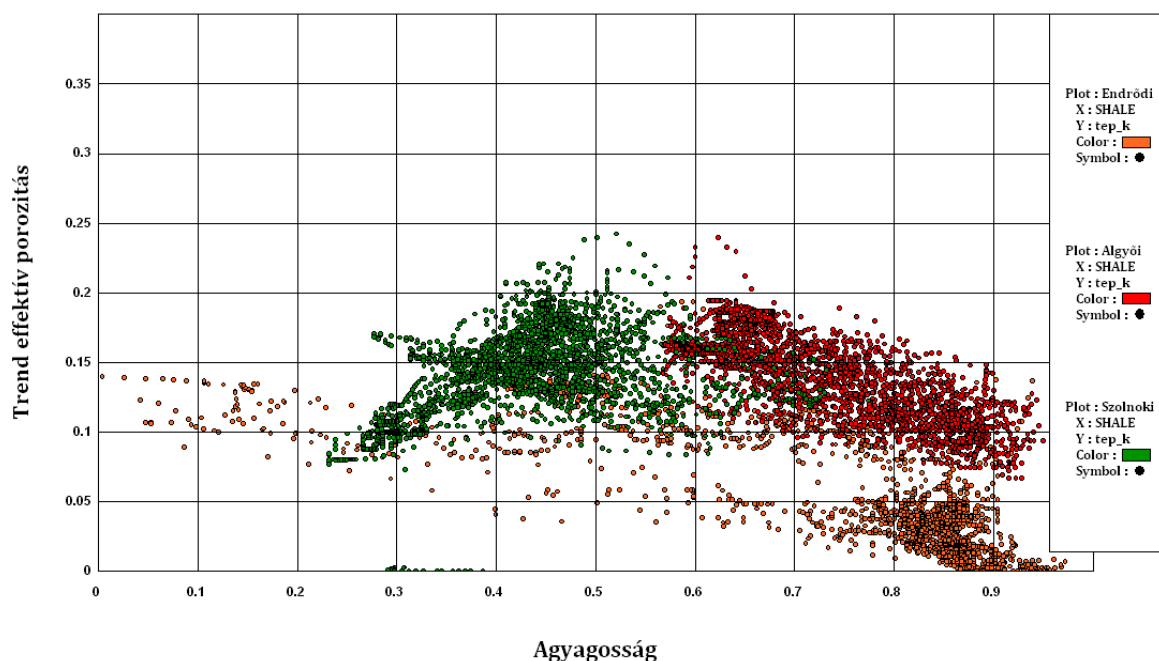
A különböző formációkra vonatkozó mélységközöket különböző színekkel jelölve jól látható, hogy itt (25. ábra-28. ábra) is és az agyagosság- trend effektív porozitás cross-plotokon is viszonylag jól elkülöníthetők a különböző formációk (28. ábra -32. ábra).



28. ábra M-24 fúrás agyagosság –szivárgási tényező értékei formációnkénti színezés (perm= szivárgási tényező; Shale= agyagosság)

A formációk elkülönülése a cross-ploton egyben annak is a bizonyítéka, hogy az ellenállás és az SP mint bemenő görbék közti összefüggés a formációra jellemző és az összefüggések közti különbség nagyobb, mint ami a mérések hibájából adódik.

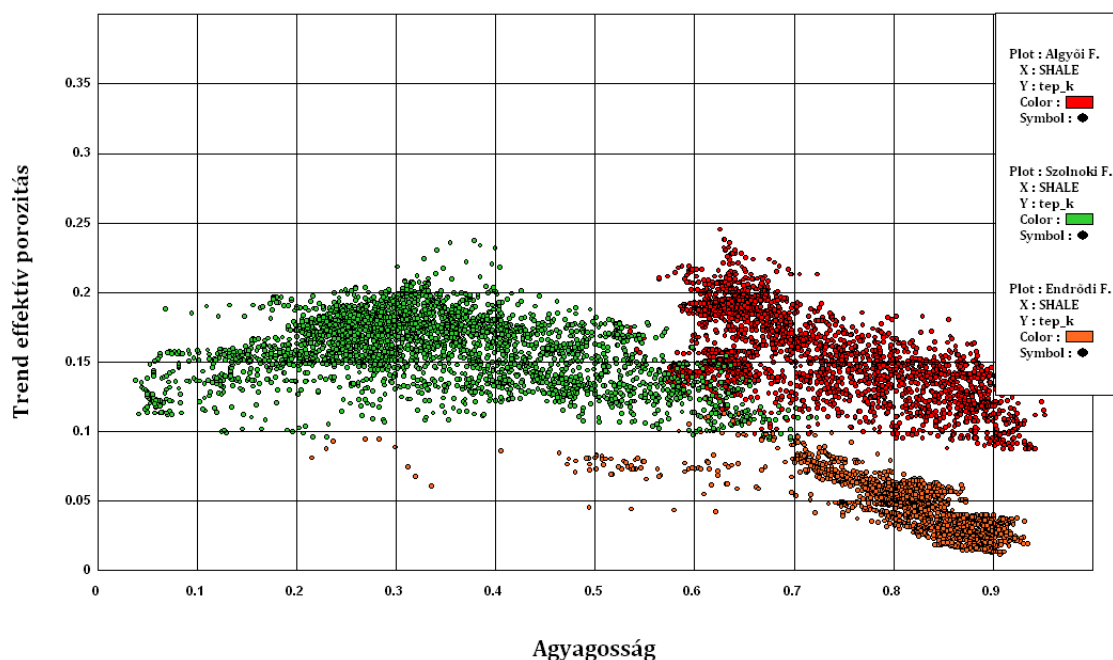
Az egyes formációk egy-egy változó szélességű és vastagságú sávot alkotnak a cross-plotokon. Leolvasható, hogy az Endrődi Formáció rendelkezik az egyes fúrásokon belül a legnagyobb agyagossággal, a legkisebb effektív porozitással illetve a legkisebb szivárgási tényezővel. Az Endrődi Formáció esetében a szivárgási tényező értéke az agyagosság függvényében a logaritnikusnál nagyobb mértékben csökken, aminek az oka, hogy az egyébként is erősen kompaktált képződmény tortuozitása<sup>7</sup> fokozottabban érzékeny külön-külön is az agyagosság és a kompaktációbeli változásokra, ami elsősorban az SP változásaiban tükröződik.



29. ábra M-6 fúrás s agyagosság-trend effektív porozitás értékei formációnkénti színezés (tep = trend effektív porozitás, esh=ellenállás agyagosság)

A trend effektív porozitás –agyagosság cross-plot minden esetben az Algyői, Szolnoki és Endrődi Formációra készült el és a színezése az előző cross-plotokéval megegyező.

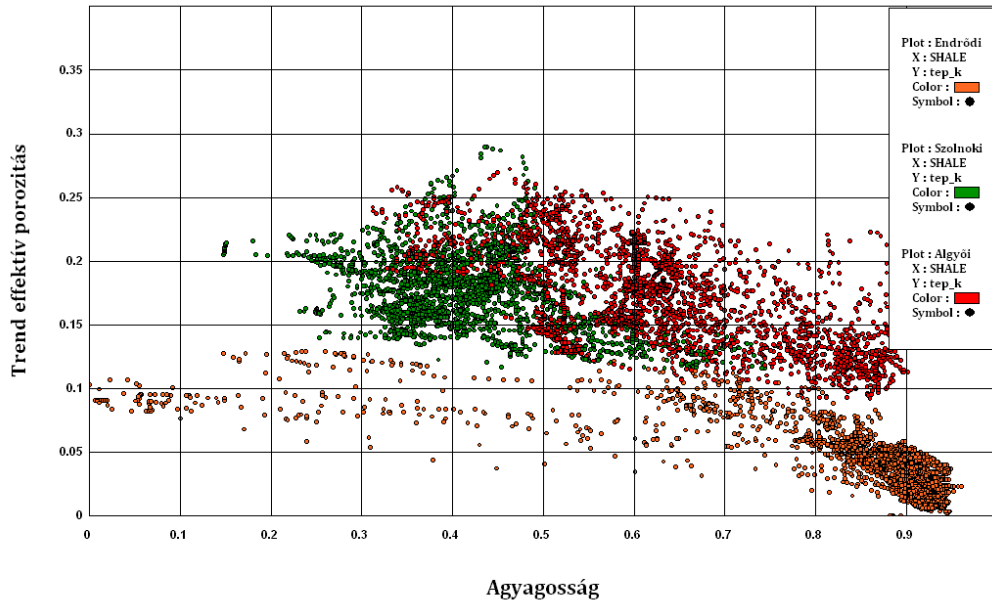
<sup>7</sup> A kőzet összefüggő pórusaiban két pont közötti út tekervényességének számszerű mértéke.



30. ábra M-14 fúrás agyagosság-trend effektív porozitás értékei formációnkénti színezés (tep = trend effektív porozitás, shale=agyagosság)

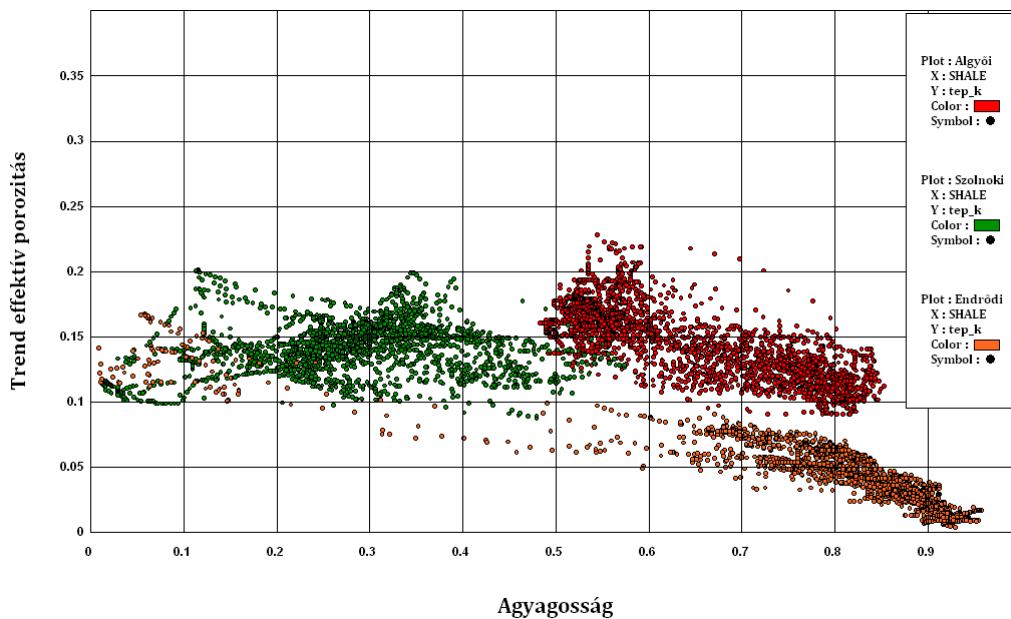
A pontszerű értékek az egyes fúrásokban azonos felhőt alkotnak az egyes formációkra, így tulajdonképpen a cross-plottal ellenőrizni lehet, hogy vajon jól illetve egységesen határoztuk-e meg az egyes formációk helyzetét, vastagságát.

Az Algyői és Endrődi Formáció agyagossága nagyobb, mint Szolnoki Formációjé. Az Algyői Formáció mivel agyagosabb kifejlődésű, de kisebb mélységben helyezkedik el, mint a másik két formáció, így kevésbé kompaktálódott, ezért a trend effektív porozitás és szivárgási tényező szempontjából hasonló intervallumban mozognak az értékei, mint a Szolnoki Formáció esetén. Az Endrődi Formáció rendelkezik a legkisebb trend effektív porozitás és szivárgási tényező értékkel.



31. ábra M-19 fúrás agyagosság-trend effektív porozitás értékei formációnkénti színezés (tep = trend effektív porozitás, shale=agyagosság)

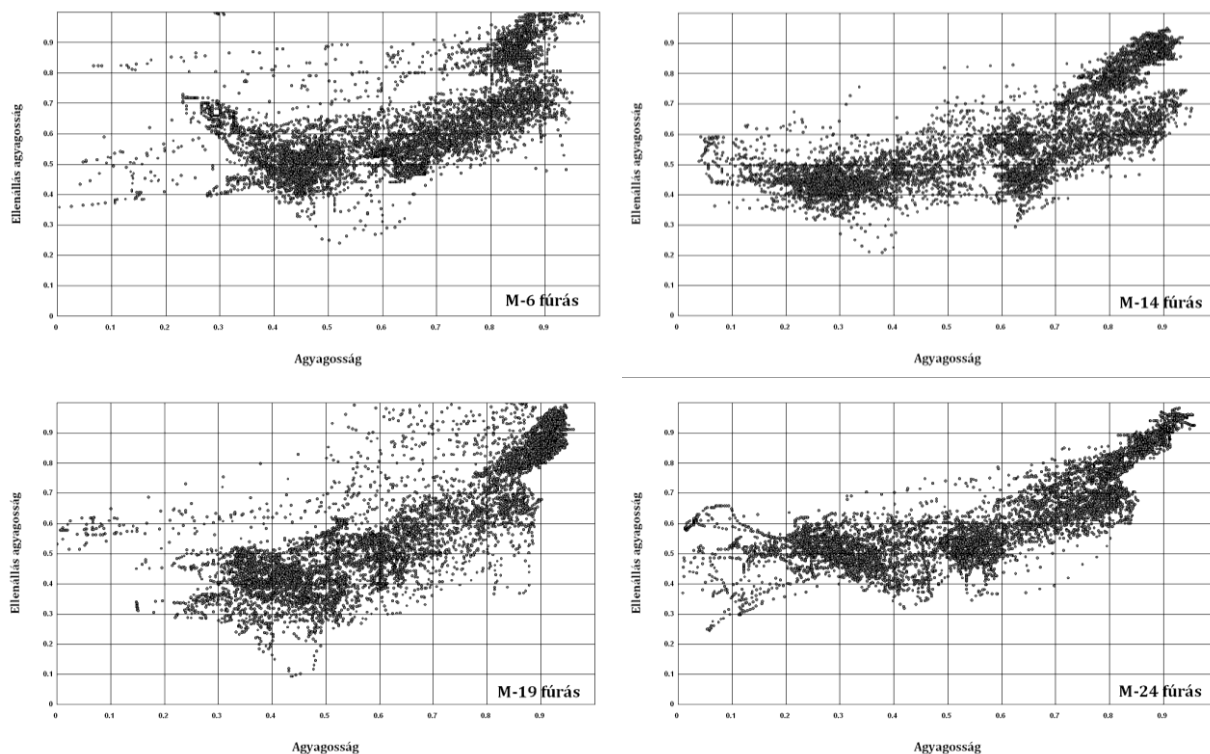
A cross-plotok alapján az agyagosság az Endródi Formációban 45-95% között mozog és a pontok besűrűsödése alapján jellemzően 80%, amely megegyezik a fúrásokból megállapított vastagságra súlyozott átlag agyagosság értékével. A Szolnoki Formáció minden típusú cross-ploton egy jól elkülöníthető szűk sávban helyezkedik el, a formációban jelentkező agyagosabb rétegek miatt ~50% agyagossággal rendelkezik, de összességében egy homogénebb formáció ezen a területen (pl. 29. ábra-32. ábra), mint az Endródi Formáció.



32. ábra M-24 fúrás agyagosság-trend effektív porozitás értékei formációnkénti színezés (tep = trend effektív porozitás, shale=agyagosság)



Az egy és két szelvényes értelmezés során kapott agyagosság cross-plotok bemutatása következik (33. ábra), ami csak az Endrődi Formációra vonatkozik, mivel ezen formáción végeztem el a kétszelvényes kiértékelést minden esetben.

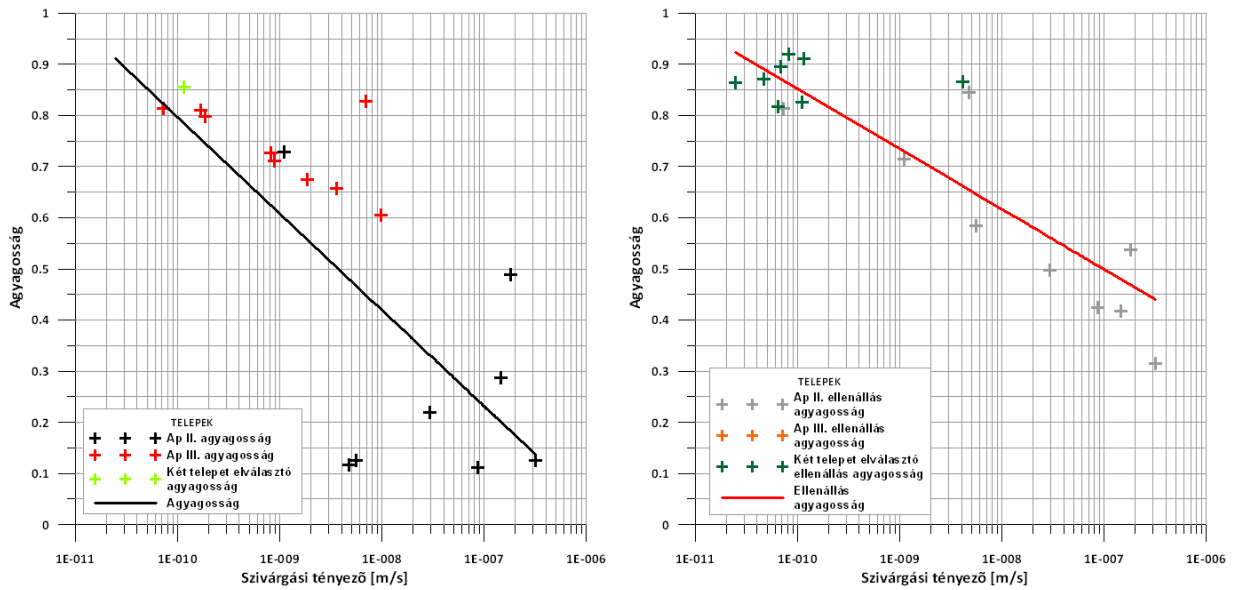


33. ábra A két kiértékelési módszer által számolt agyagosság összevetése (vízszintesen a kétszelvényes (shale), függőlegesen az egyszelvényes kiértékelés (esh))

A 33. ábra azt mutatja, hogy agyag rétegek esetén a két módszer jól korrelál egymással, míg ahogy csökken, az agyagosság mértéke a két módszer közötti korreláció lecsökken, sőt a homokkővek esetén kifejezetten rossz. Ez részben magyarázható azzal, hogy míg az egyik esetben a teljes fúráshosszra, addig a másik esetben csak az adott formációra határozzuk meg az agyag-homokvonalat. Illetve egyik esetben az ellenállás, másik esetben az SP szelvényen jelöltük ki azokat.

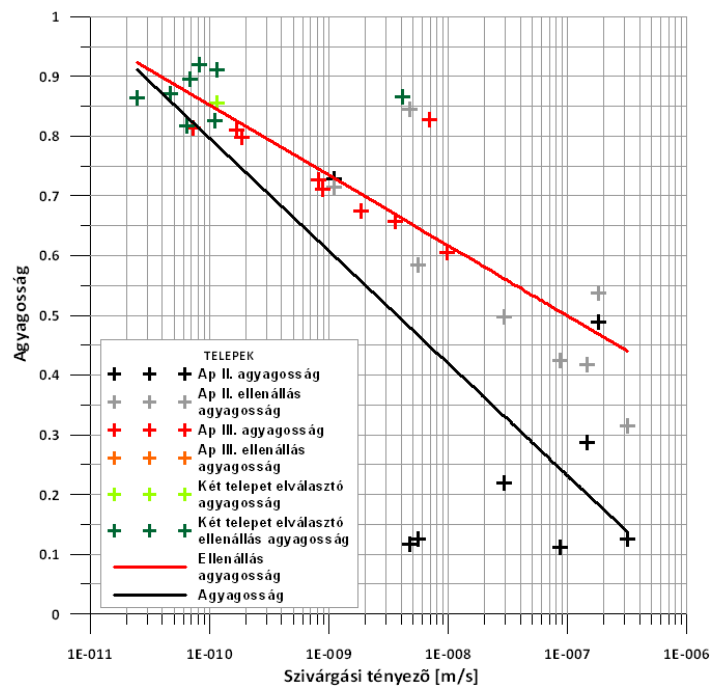
Részben pedig azzal magyarázható, hogy a homok esetében kisebb agyagosságoknál a szemcseméret is erősen hatással van a vezetőképességre tekintet nélkül arra, hogy agyagosság közrejátszik-e a vezetőképesség változásban vagy csak szemcseméret, azaz fajlagos felületváltozás okozta azt. A nagy agyagosságoknál a vezetőképesség és az agyagosság közt azért erősebb a kapcsolat, mert a fajlagos felület változása egyértelműen írható az agyagosság számlájára.





34. ábra Agyagosság és ellenállás agyagosság-szivárgási tényező cross-plot

A következő (34. ábra és 35. ábra) ábrák az egyes fúrásokban kapott átlag agyagosság és szivárgási tényező értékekből készült agyagosság– szivárgási tényező cross-plotok melyek szintén a két agyagosság meghatározási módszer összehasonlítását teszik lehetővé.

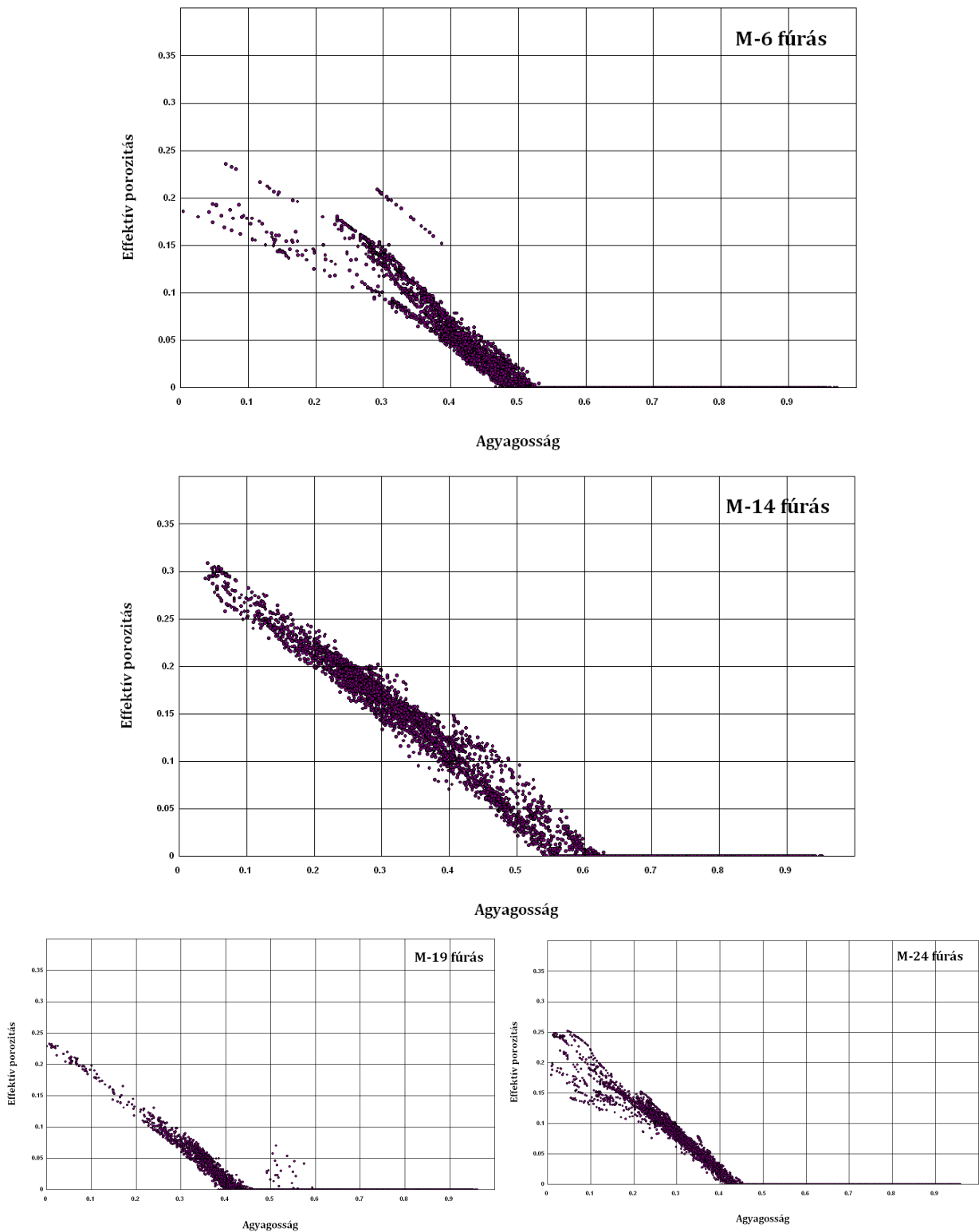


35. ábra Agyagosságok- szivárgási tényező cross-plot egyben

Bár a kétszelvényes kiértékeléssel számított agyagosság– szivárgási tényező cross-plot esetén nagyobb a szórás a két ábra alapján ugyanaz mondható el, mint korábban az egyes fúrásoknál az Endrődi Formációra számított két féle agyagosságot mutató cross-plotoknál. Azaz a két és egyszelvényes agyagosság becslés magas agyagtartalommal rendelkező rétegek esetén jól korrelál (a két nagy CO<sub>2</sub>-telepet elválasztó réteg), de ahogy csökken, az agyagosság (szén-dioxid telepek) úgy csökken a két módszer közti korreláció.

Agyagosság-effektív porozitás cross-plotoknál, mind az effektív porozitás, mind az agyagosság adatok a kétszelvényes kiértékelésből kapott adatok eredménye. Ennek ellenére a két paraméter függetlennek mondható egymástól, mivel az agyagosság meghatározásához csak a természetes potenciál szelvény szükséges, míg az effektív porozitás értékét ennél a számítási módszernél a természetes potenciál és az ellenállás szelvény együttesen határozza meg, így ezen paraméterekből kapott cross-plotok alkalmasak vizsgálatokra, elemzésekre.

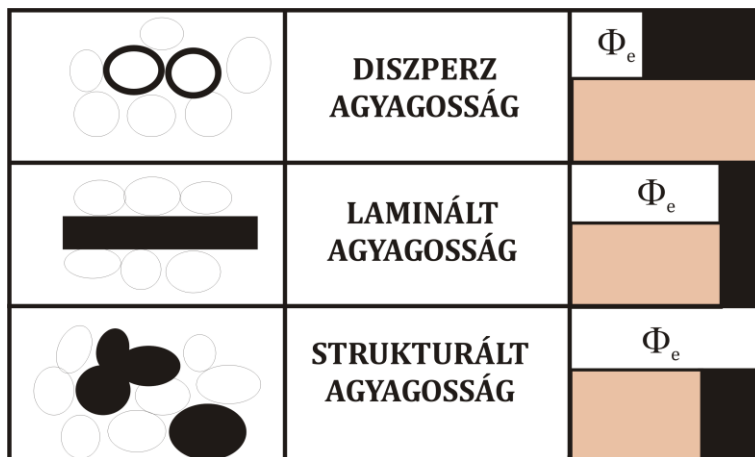
Mint már a 4.2.3. alfejezetben említettem ez a módszer elsősorban a homokkövekre érzékeny. A 36. ábra is azt mutatja, hogy 40-55%-nál nagyobb agyagosságra már 0% effektív porozitást ad. Ez a 15%-os sáv egy meghatározási hibasáv, ami a fúrásonkénti agyag- és homokvonal meghatározással magyarázható. 55% agyagosság alatt az agyagosság csökkenésével lineárisan nő az effektív porozitás. Ez arra enged következtetni, hogy az itt található agyagosság diszperz (Salazar 2005).



36. ábra 4 répcelaki fúrás agyagosság-effektív porozitás cross-plotja

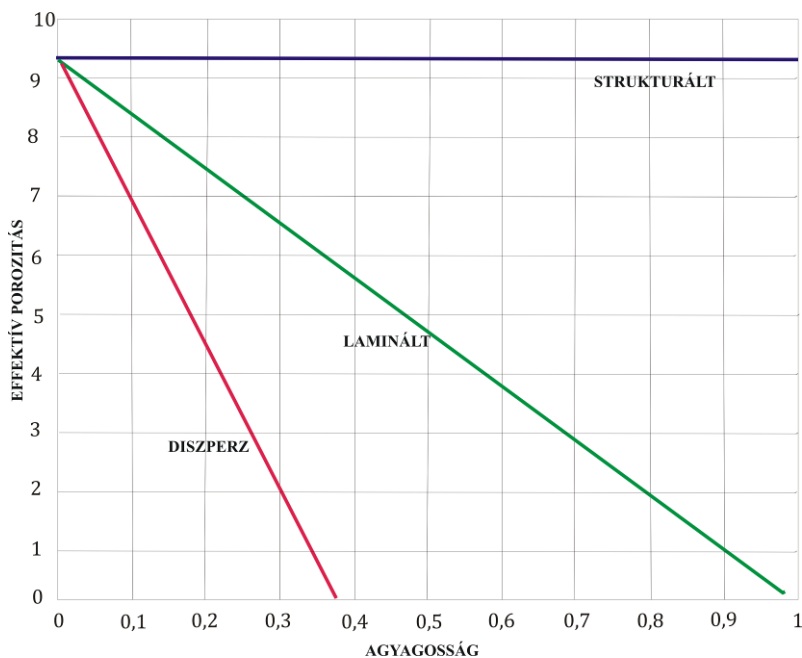
A 37. ábra a különböző agyagosság (agyageloszlás) típusai láthatók, az ábrát Fertl 1982-es cikke alapján készítettem el. Az ábra azt mutatja, hogy laminált agyagosság esetén a

homok szemcsék között vékony agyag rétegek találhatóak, míg strukturált agyagosság esetén az agyag része a kőzetmátrixnak. Diszperz agyagosság jelenlétekor az agyag a nyitott pórusokban helyezkedik el a kőzetmátrix szemcséi között. A laminált és strukturált agyagosság részét képezi a kőzet szerkezetének és úgy tekintjük, hogy ugyanannyi a porozitása, mint szomszédos (közeli) agyag rétegeknek, mivel ugyanannak a túlnyomásnak voltak kitéve. Ezzel ellentétben a diszperz agyagosság csak a fluidum nyomásnak van kitéve és ezért nagyobb a porozitása és víztartalma.



37. ábra Agyageloszlás típusai, fekete az agyag ásvány, többi homokszemcse (kvarc) (Fertl 1982 után)

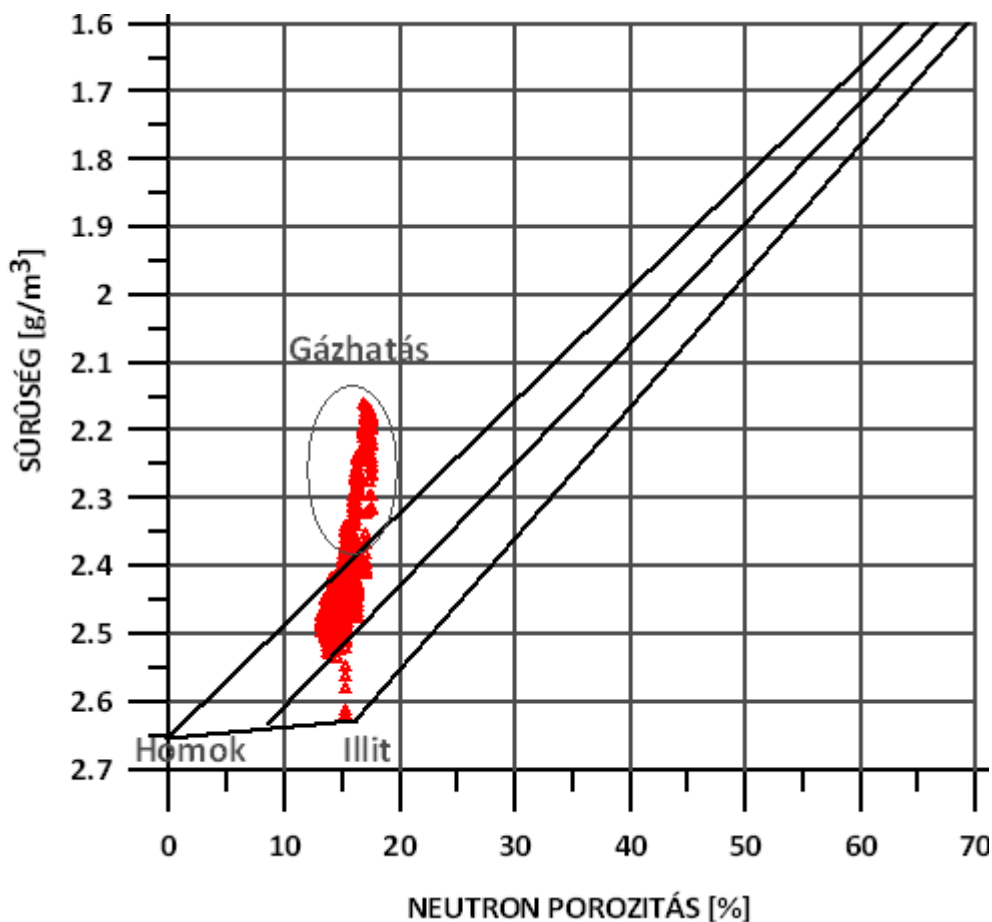
Mivel a fenti cross-plot módszer (36. ábra) nem egy egzakt módszer, más vizsgálatokkal is bizonyítani célszerű a feltételezést, miszerint az Endródi Formációra diszperz agyagosság jellemző. A szakirodalomban ismert a Thomas-Stieber féle cross-plot (38. ábra), melyet összevetve a 36. ábra alátámasztja, hogy Répcelakon az Endródi Formációt diszperz agyagosság jellemzi. A 38. ábra az effektív porozitás értékei nem mérhetőek, mivel annak értéke területfüggő. Az irodalmi példákban is a Thomas-Stieber cross-plotban szereplő effektív porozitás értékek változó tartományban mozognak (Salazar 2005).



38. ábra Thomas-Stieber agyagosság-effektív porozitás cross-plot (Thomas-Stieber 1975 alapján)

A diszperz agyagosság kimutatható sűrűség-neutron porozitás mérésekből készített cross-plotokon is. Mivel a fúrások/szelvényezések régen készültek, csak a kutatási szakasz végén mélyített fúrások esetében történt sűrűség és neutron porozitás szelvényezés, ezen belül is Répcelak terület esetén csak az M-40 fúrásnál. A 39. ábra látható az M-40-es fúrás Endródi Formáció szakaszára elkészített sűrűség-neutron porozitás cross-plot, néhány sarokponttal. A bekarikázott rész mutatja, hogy az ábrázolt mélységszakaszban található gázos rétegek, azaz itt látható a gázhatás.

A száraz kötött vízmentes agyag (illit) pont mutatja a 100%-os agyagosságot az ábrán ( $\Phi_N=16\%$ ,  $\rho_m=2,63 \text{ g/m}^3$ ). A 0% agyagosságot, azaz az átlag homokpontot a  $2,65 \text{ g/cm}^3$  és 0 % szemlélteti. Homokpont esetén nem a tiszta kvarc pont lett megadva, mivel a homok nem tiszta kvarc és így egy 20%-os színes elegyrész tartalom feltételezésével éltem.



39. ábra M-40 fúrás sűrűség – neutron porozitás cross-plotja az Endródi Formációra vonatkozóan

A cross-plot alapján (39. ábra) kiszámítható az agyagosság mértéke, amely 45% körül alakult, ami szintén a diszperz agyagosságot támasztja alá.

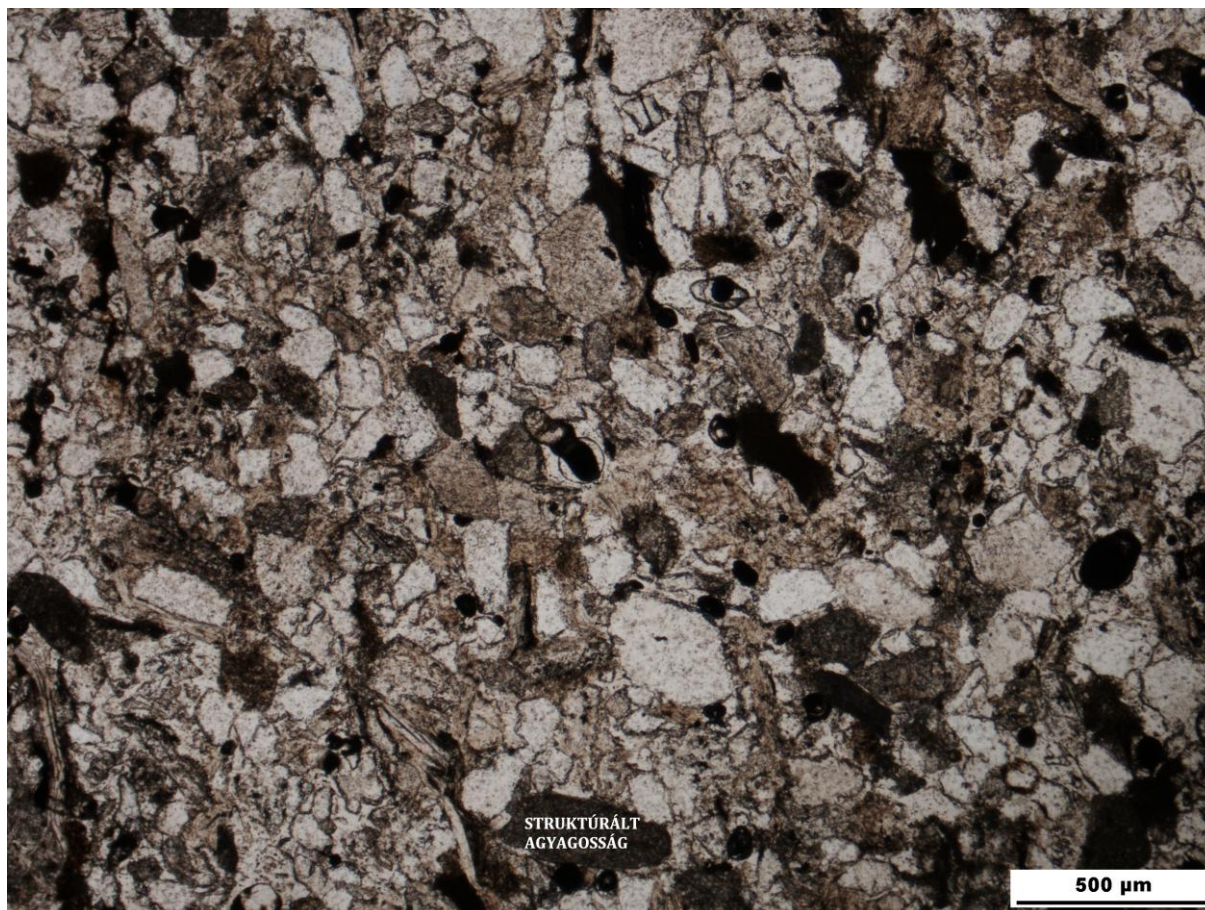
Az adott mélységben feltételezhető legtömörebb térkitöltést jelentő tetraéderez szemcse elrendeződés mellett 26% porozitást tölthetne ki csak a diszperz agyag, ezért 45%-os agyagtartalom csak úgy lehetséges, ha az eredeti mátrixot képező szemcsék egy része, azaz a fennmaradó 19% is agyag. Így valószínűsíthető, hogy a diszperz agyagosság mellett strukturális agyagosság is jellemzi a formációt és benne a homok-közbetelepüléseket is, ami a kis szemcsemérettel magyarázható. A 39. ábra segítségével megállapítható, hogy az agyag mintegy 7% redukálható (kihevíthető) vizet tartalmaz illetve ~10% totál porozitással rendelkezik a formáció. A képződmény ~1400 méter mélyen helyezkedik el, de a 10% totál porozitás mintegy 2000 mélységre jellemző, ami szintén arra utal, hogy ez a terület kiemelkedett az idők során és régebben többszáz méterrel mélyebben helyezkedett el.

A répcelaki M-30 fúrásból álltak rendelkezésre magminták mind a szén-dioxidot tároló homokkövekből, mind pedig a tárolókat lefedő/záró aleuritokból történt mintavétel. A



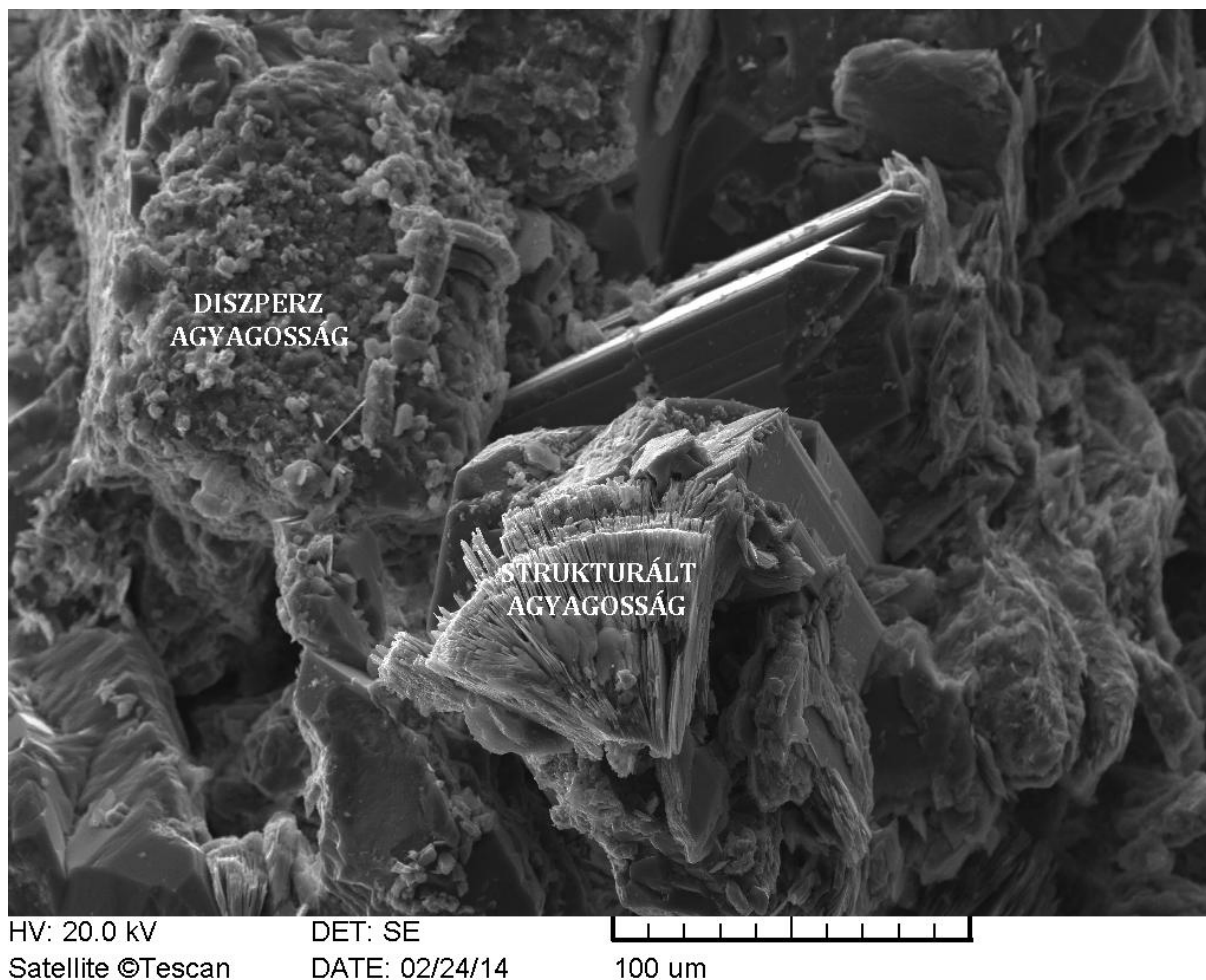
tároló homokkövek jellemzően finom/középszemcsés finoman rétegzett kőzetek „lisztes” bevonattal rendelkeznek és gyakran elszenesedett növényi maradványok is megjelennek. Az aleuritok agyagos tapintásúak és szintén általában finom rétegezettséget mutatnak. Egyes esetekben azonban tömeges megjelenésűek. A kőzetmikroszkópiai vizsgálatok és azok előkészítése a Magyar Földtani és Geofizikai Intézet és az Eötvös Loránd Tudományegyetem Litoszféra Fluidum Kutatólaboratóriummal való együttműködés keretében valósultak meg egy állami projekt keretében.

Az M-30. fúrás mintáiból készült csiszolatok vizsgálatai is azt mutatták, hogy az itt jellemző agyagosság diszperz, mellette strukturált agyagosság is megtalálható (40. ábra). Ezen a csiszolat képen még csak a strukturált agyagosság látható jól.



40. ábra M- 30 fúrásból származó magmintából készült csiszolata képe

A 41. ábra már a pásztázó elektromikroszkóp által készített kép látható, melyen jól megmutatkozik mind a diszperz, mind a strukturális agyagosság jelenléte az Endrődi Formációban.



41. ábra A magmintákból készült pásztázó elektronmikroszkóp képe, melyen mind a diszperz, mind a strukturális agyagosság látható és jelölve is lett

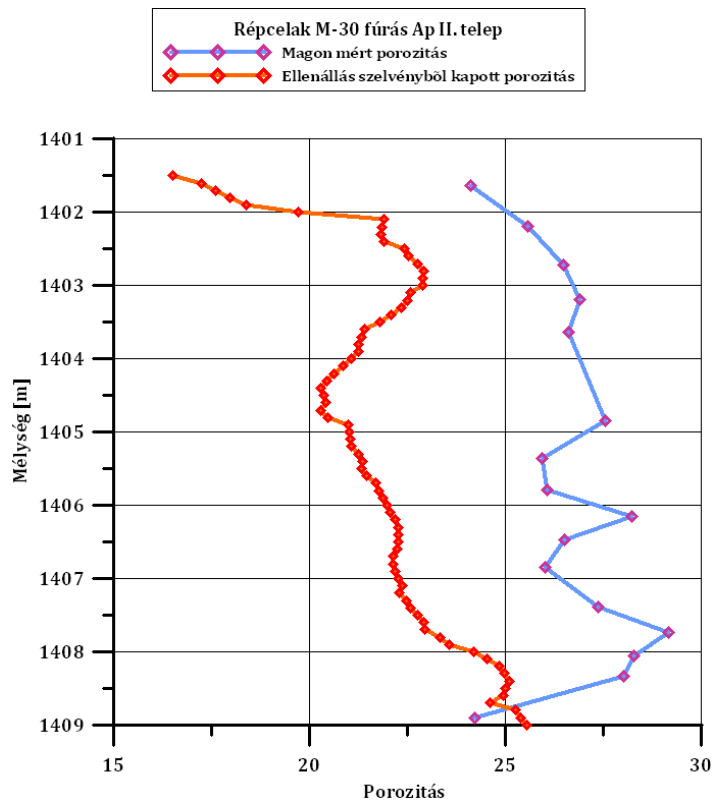
Az M-30 fúrás Ap II. telepének mélységéből rendelkezésre állt magon mért porozitás értékek (Mészáros et al. 1979). Így lehetővé vált összehasonlítani a mért és számított adatokat ebben a fúrásban (42. ábra).

A számított és mért adatok közötti eltérés részben a repedések megnyílásával magyarázható, mivel magon mért porozitás érték homokkő esetén mindig nagyobb lesz, mint a számított érték azaz in situ állapothoz képest a mag megváltozik a magvétel során bekövetkező nyomáscsökkenésből adódó mechanikai feszültségmentesedés során. Befolyásolhatja az eredményt az is, hogy a mag esetén, egy pontszerű mintán mérjük az értékeket, ami nem feltétlenül reprezentatív és esetenként nehezen összevethető a mélyfúrás-geofizikai módszerrel mért néhány deciméterre jellemző átlagértékkel.

A magon mért adatokból készült szelvény jóval kevesebb pontból áll, így nagyobb változékonyságot mutat. A „szelvények” lefutása mindezek ellenére nagyon hasonló, a



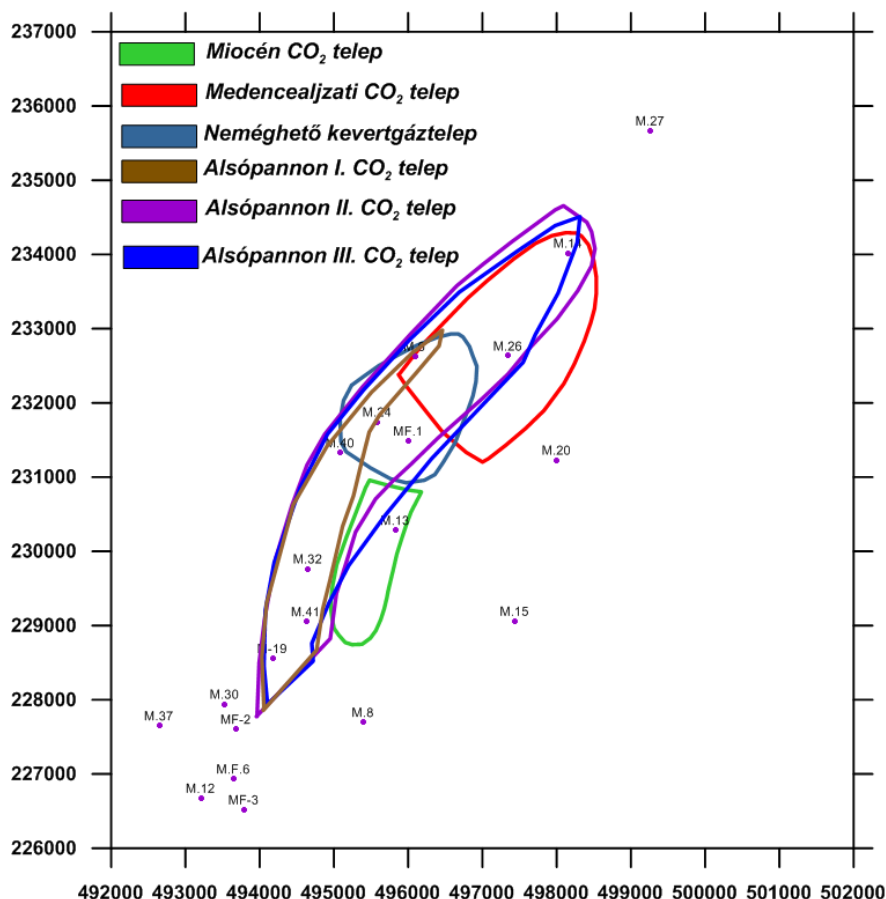
különbség a mért és számított adatok között azt bizonyítja, hogy a két módszer jól korrelál egymással.



42. ábra Az M-30 fúrás Ap II. telepén mért és számított porozitás adatok

## 6. Az Alsópannon II. és III. szén-dioxidos telep részletes ismertetése és vizsgálata

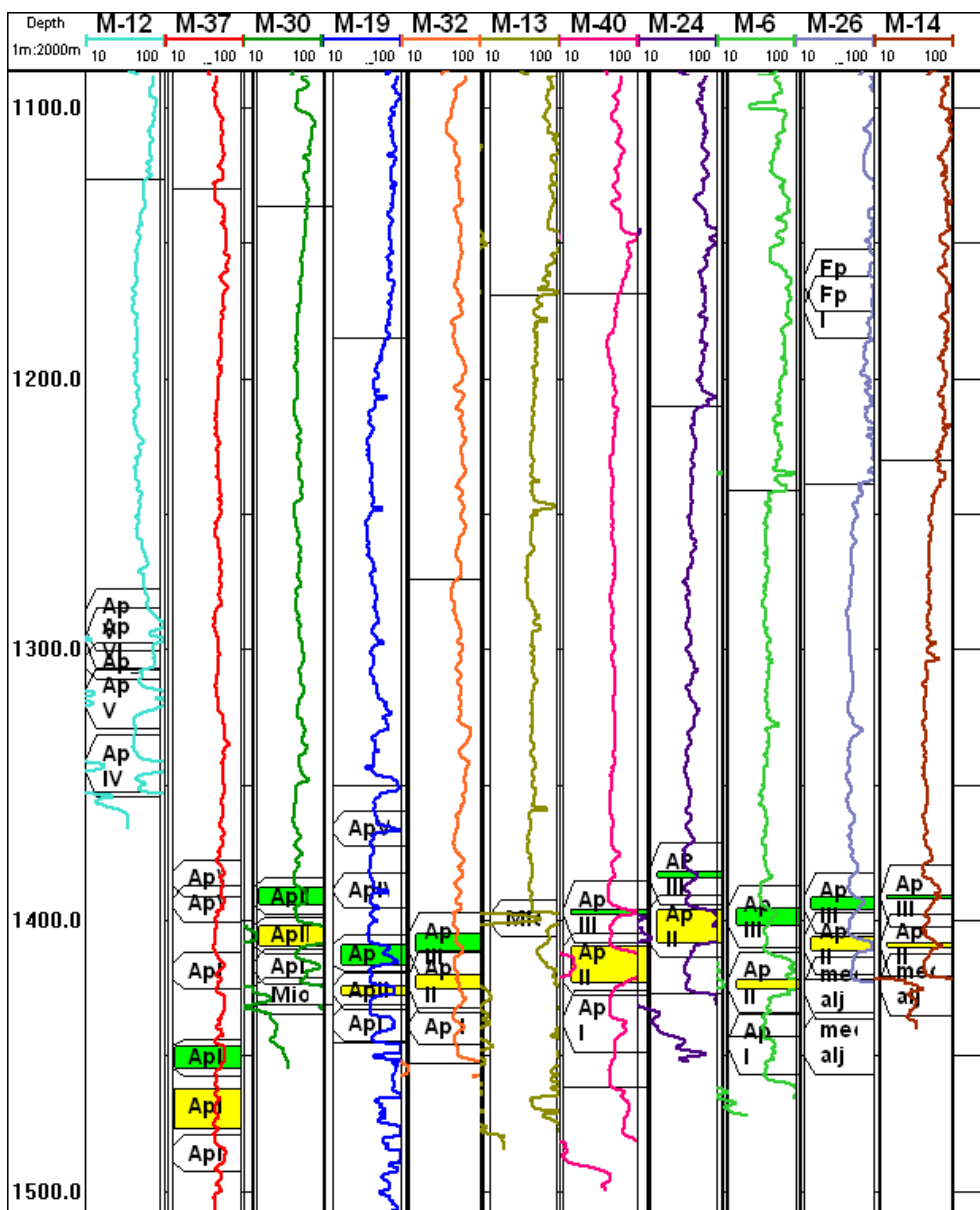
Az előző fejezetben elsősorban az Endrődi Formációval foglalkoztam, azonban ebben a fejezetben már két szén-dioxidos telep vizsgálatát is bemutatom, melyek közül az egyik a legjelentősebb és egyben legnagyobb szén-dioxidos telep (azaz az Alsópannon II. telep, röviden Ap II.) a vizsgált területen, míg a másik a felette elhelyezkedő telep (azaz az Alsópannon III. telep, röviden Ap. III.).



43. ábra Répcelak területére eső szén-dioxidos telepek területi elterjedése (Mészáros et al. 1979 alapján).

A Répcelak területén található szén-dioxidos telepek többsége az Endrődi formáció (43. ábra) homokköves rétegeiben fejlődött ki (Ap I., II., III., IV., V., VI., VII.), kivétel 4 CO<sub>2</sub>-os telep (a medencealjzati CO<sub>2</sub>-es telep, a Miocén telep és a Fp I., II.). A 43. ábra terület összefoglaló jelentésének (Mészáros et al. 1979) térképei alapján készült, a Mihályi szén-dioxidos telepek elterjedés-térképe a III. mellékletben található. A papír alapú térképeket először szkenneltem, majd felkoordinátáztam, ezután digitalizáltam a körvonalakat és ábrázoltam a Surfer 11 szoftverrel.

Ez a 4 telep (a medencealjzati CO<sub>2</sub>-es telep, a Miocén telep és a Fp I., II.) jellemzően csak 1-2 fúrásban található meg. (43. ábra). Részletes vizsgálatokra az Ap II. és Ap III. telepet választottam ki, mivel ez a 2 telep a szén-dioxidos fúrások többségében megtalálható, illetve Répcelak területén ez a 2 telep a legjelentősebb, legnagyobb kiterjedésű.



44. ábra Répcelak területén megtalálható szén-dioxidos fúrások hőmérséklet korigált fajlagos ellenállás [ohmm] szelvényei, ezeken feltüntetve a szén-dioxidos rétegek (Sárga színnel az AP II. telep, míg zöld színnel az AP III. telepet jelöltem.

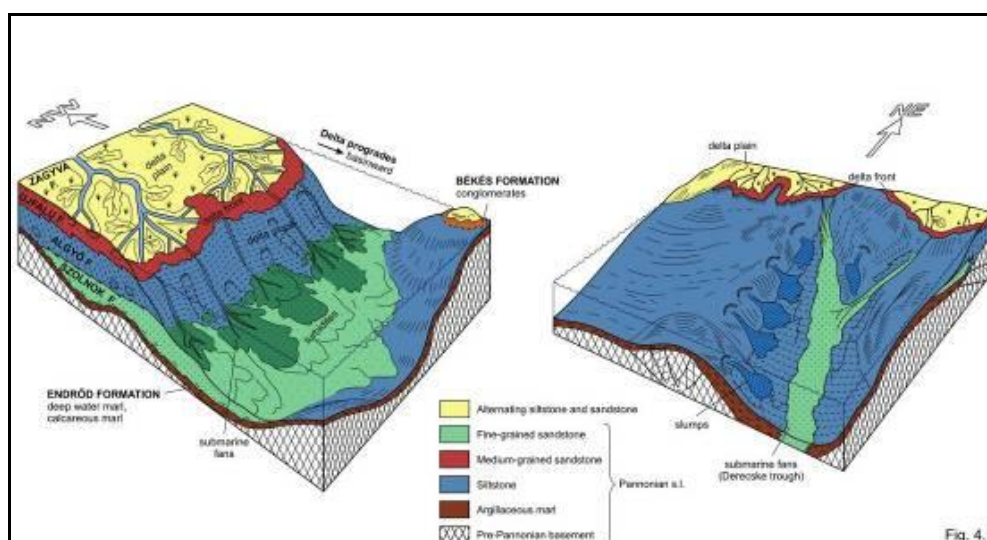
A Fp I. illetve Fp II. elnevezésű telepek bár a jelentések alapján felső pannóniai korúak a mélyfúrási szelvények alapján az általam alsó pannóniai Szolnoki Formációnak minősített rétegösszletben jelennek meg (44. ábra). A 44. ábrahoz hasonlóan Mihályi területén megtalálható szén-dioxidos fúrások hőmérséklet korigált ellenállás szelvényeit is ábrázoltam, feltüntetve rajtuk a szén-dioxidos réteget (IV. melléklet)

## 6.1. Endródi Formáció

Mivel a dolgozatban részletesen tárgyalandó két telep az Endródi Formációban helyezkedik el, átfogóbb ismertetése elengedhetetlen.

Az Endródi Formáció rétegsorát főként a Pannon-tó belső részein lerakódott agyagmárga, márga, mészmárga képződményei indítják. Rendkívül változatos vízmélység-viszonyok között (15-800 m) képződött nyíltvízi (hemipelágikus) képződmény, melynek vastagsága átlagosan 100-200 méter, de 700 métert is elérhet a legmélyebb zónákban (Juhász 1998). Feküjét az alaphegységi kiemelkedések fölött a Békési Formáció (korábbi neve a Dunántúlon: "Mihályi Konglomerátum F."), máshol prepannon képződmények alkotják (45. ábra). Fedője a Szolnoki illetve az Algyői Formáció (Juhász 1992).

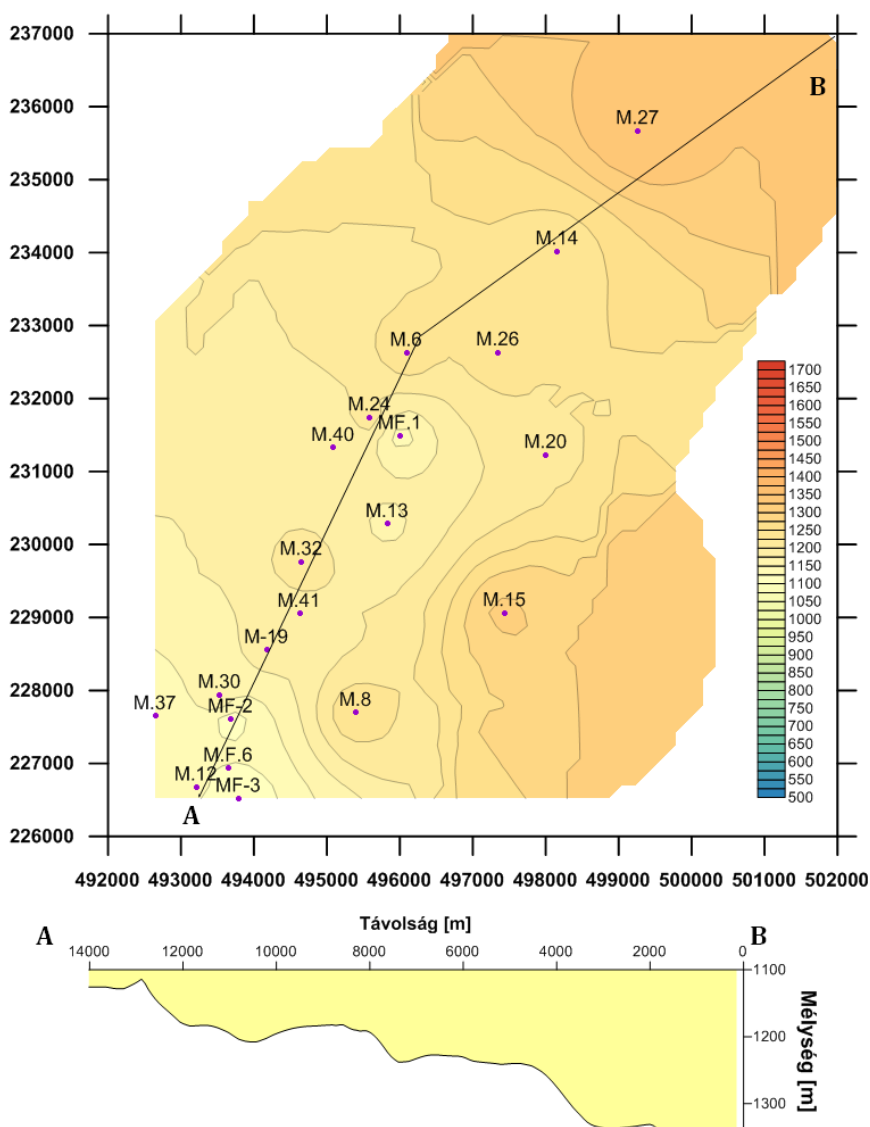
A Békési Formáció fedőjét minden esetben az Endródi Formáció pelites üledéksorai alkotják, de leggyakrabban a Tótkomlói Tagozat mészmárga képződményei települnek rá. Kisebb relatív vízszintingadozások következtében, amikor a partvonal ezek hatására oda-vissza mozgott, a mészmárga bele is fogazódik a kavicsos homokkőbe. Végül a szigetek minden esetben víz alá kerültek, és nyíltvízi üledékképződés indult meg a területen, vastag mészmárga, márga, majd agyagmárga rétegsorokat lerakva (Juhász 1998).



45. ábra A pannóniai képződmények kialakulási modellje az ÉNY-i, és az ÉK-i feltöltődési irányokból (Juhász 1992)

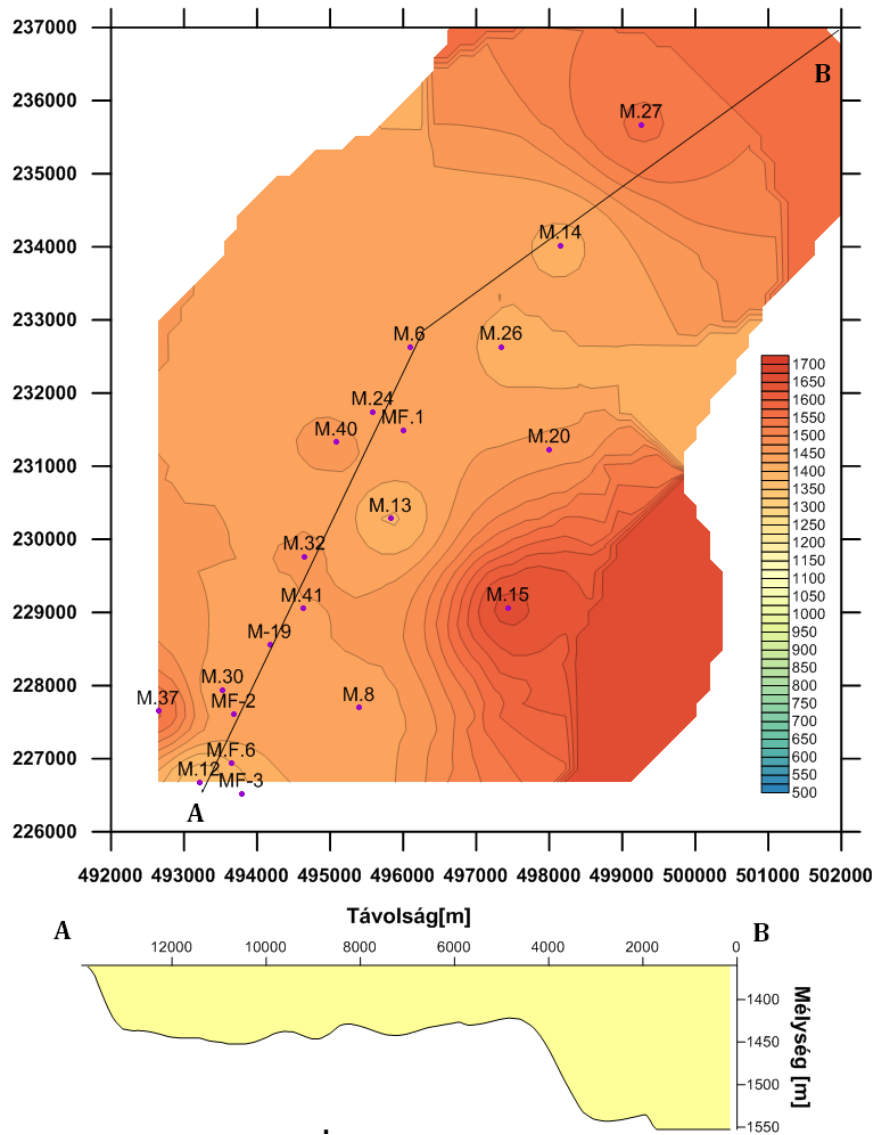
A mélyfúrás-geofizikai szelvényezések újraértelmezése és feldolgozása eredményeképp elkészült a Répcelak területére eső formációk fedő, fekü és vastagság térképe. Mivel a vizsgálati területen a termelt szén-dioxid tárolása szempontjából az Endródi Formáció a legfontosabb, ezért itt csak ez kerül bemutatásra (46. ábra -48. ábra). A Szolnoki és Algyői

Formációknak a fedő, fekü, vastagság térképe a V. mellékletben található, csakúgy, mint a Mihályi területre vonatkozó eloszlás térképek.



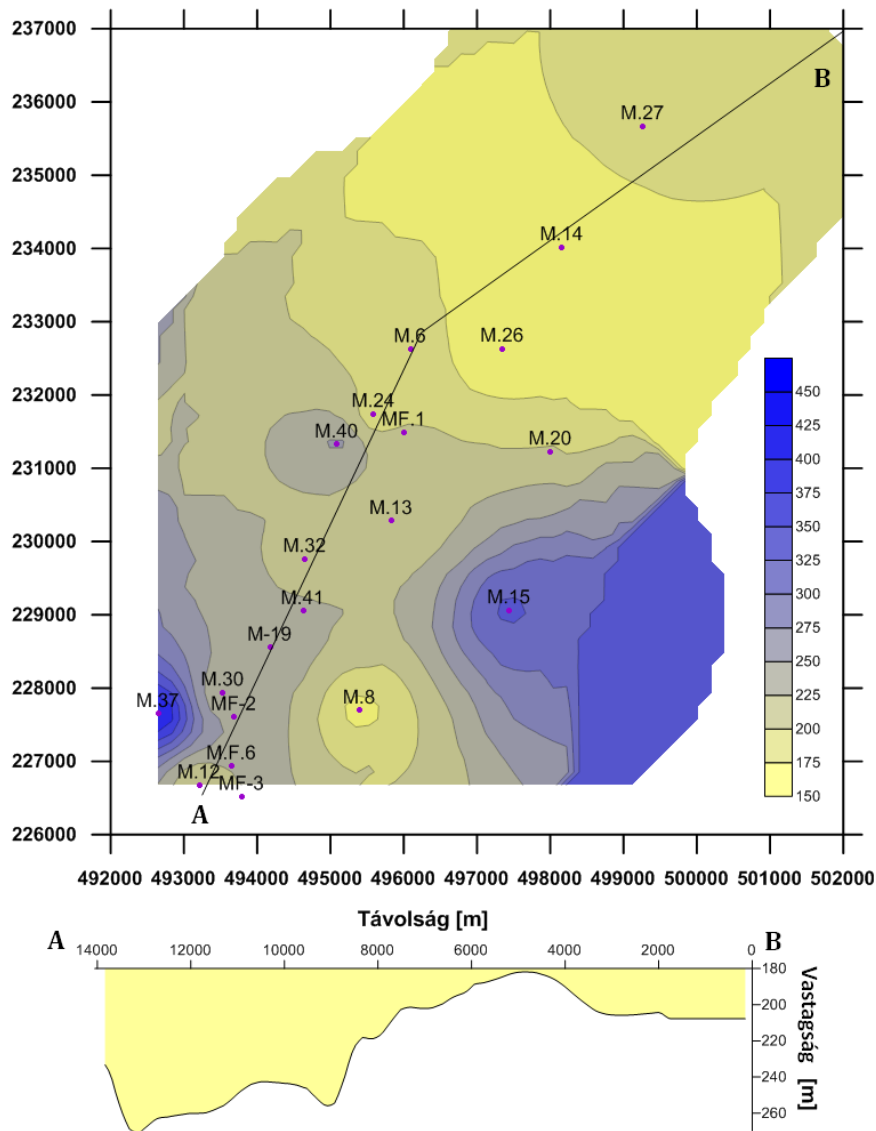
46. ábra Az Endrődi Formáció tető mélység térképe Répcelak (kék színtől a pirosig nő a mélység)

Az Endrődi Formáció fedő és fekü térképén (46. ábra és 47. ábra) egyaránt jól megfigyelhető a Mihályi-hát gerince és a keleti szárny nyomvonala (ÉK-DNy-i csapás). A terület északi részén (M-14 és M-27 fúrás között) megfigyelhető egy mélyebb zóna, itt ékelődnek ki a szén-dioxidot tartalmazó homokköves rétegek. Az M-15 fúrástól DK-re is egy mélyebb zóna látszik, ami szintén egy határt jelöl.



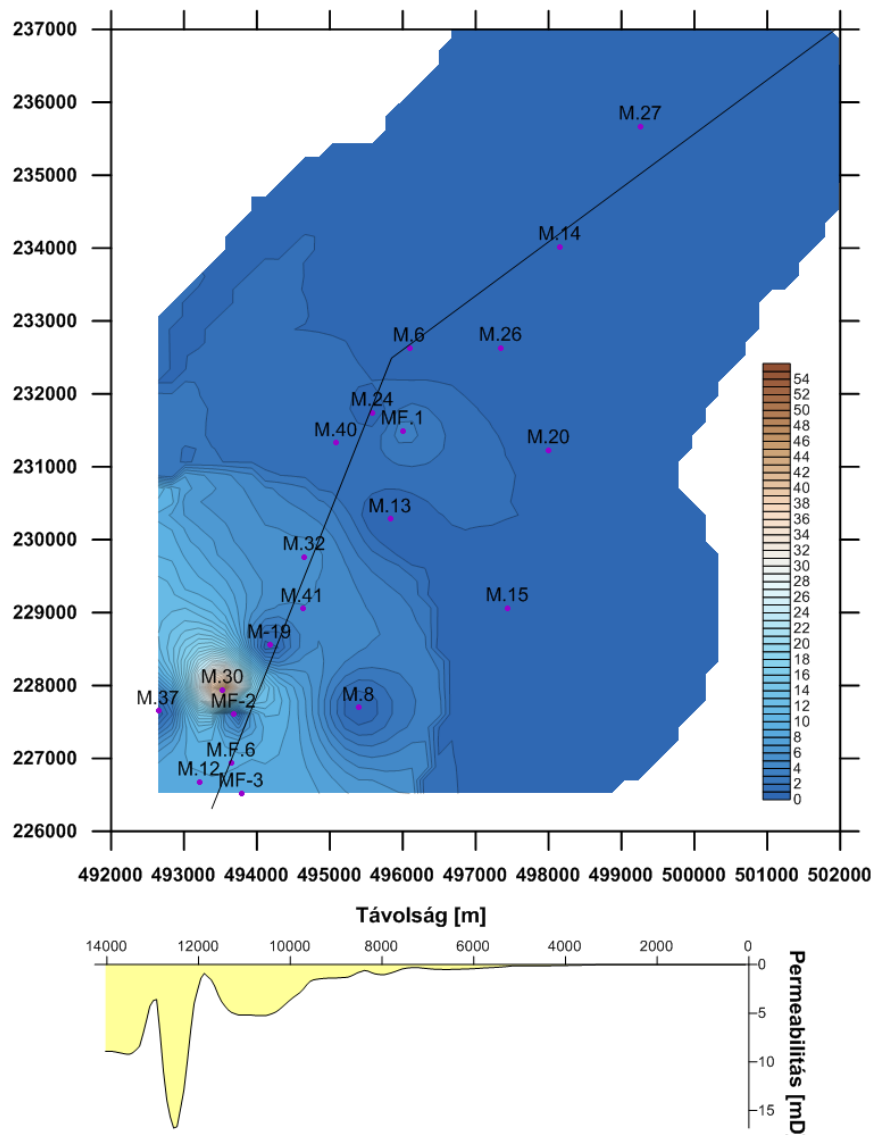
47. ábra Az Endrődi Formáció fekvő mélység térképe Répcelak területén (kék színtől a pirosig nő a mélység)

A formáció vastagságát (48. ábra) tekintve Répcelak északi területén átlagosan 200 méter vastagságú, míg a középső terület felé közeledve egyre nagyobb vastagságú zóna következik. Ez a formációvastagodás a gázos zónát elérve következik be. Átlagosan az egész formáció mintegy 250 méter vastagságú.



48. ábra Az Endrődi Formáció vastagság térképe Répcelak területén (sárga színtől a kékig nő a vastagság)

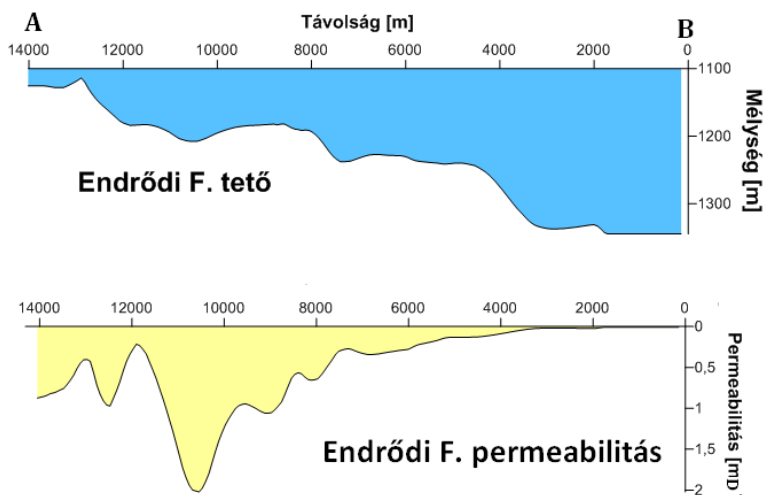
A 49. ábrán az Endrődi Formáció permeabilitás térképe látható, a déli területet leszámítva egy egységes homogén permeabilitású formáció képét mutatja, ám a déli területen megnövekszik a permeabilitás, majd az M-37 fúrás irányába újra lecsökken. Az M-37 fúrásról ismert, hogy a rétegek már elkezdtek elagyagosodni.



49. ábra Endrődi Formáció permeabilitás [mD] térképe, A-B pontok a szerkesztett szelvény végpontjai (l.d. 48. ábra)

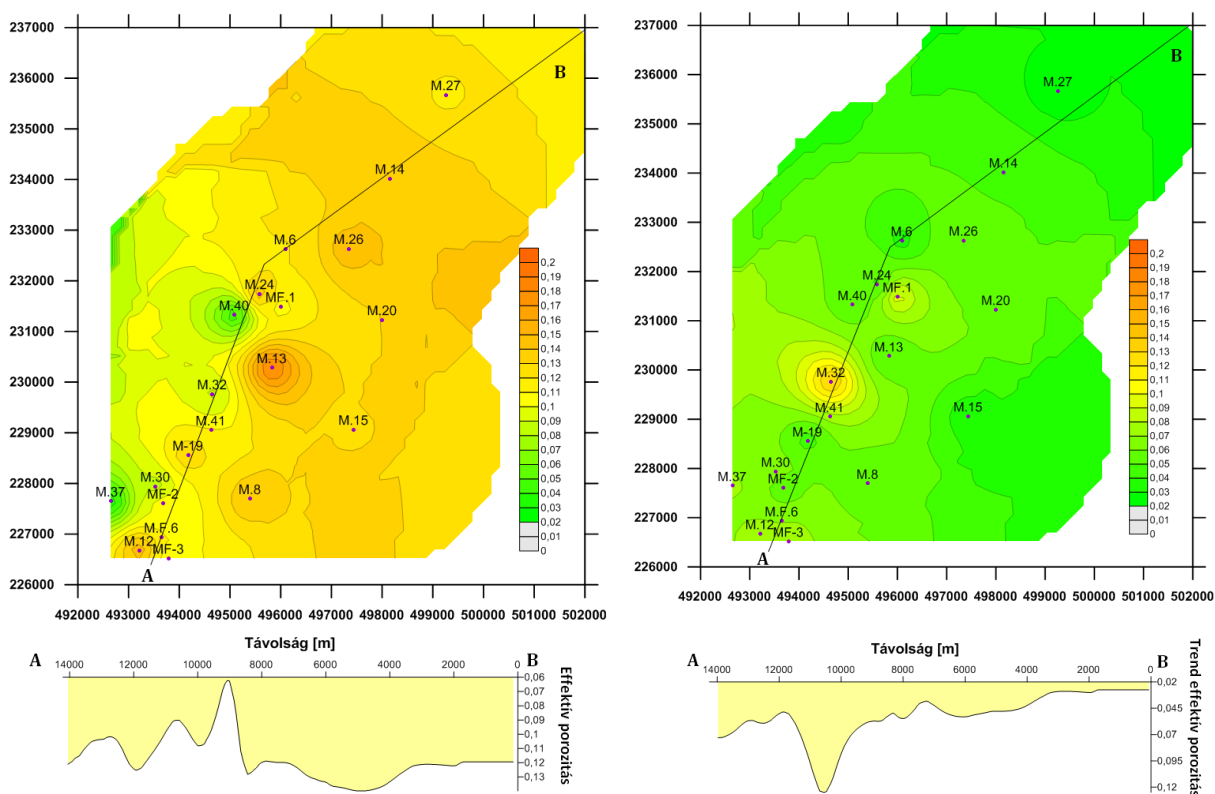
Megfigyelhető, hogy a Mihályi-hát gerincvonalaiban, kisebb a tető (46. ábra) mélysége és nagyobb a permeabilitás (49. ábra). A nagyobb permeabilitású zónák kirajzolják, hogy merre helyezkedik el a szén-dioxidos telepek többsége. Ezen felül délen is látszódik a szén-dioxid illetve kevertgáz telepeket (MF-2, MF-3 fúrás) egymástól elválasztó kis permeabilitású zóna, ami egyben az Ap II. és Ap III. telepek déli határát is kiadja.





50. ábra Endrődi Formáció tető és permeabilitás térképén behúzott szelvény (A-B irányok) keresztmetszet (l.d. 48. ábra)

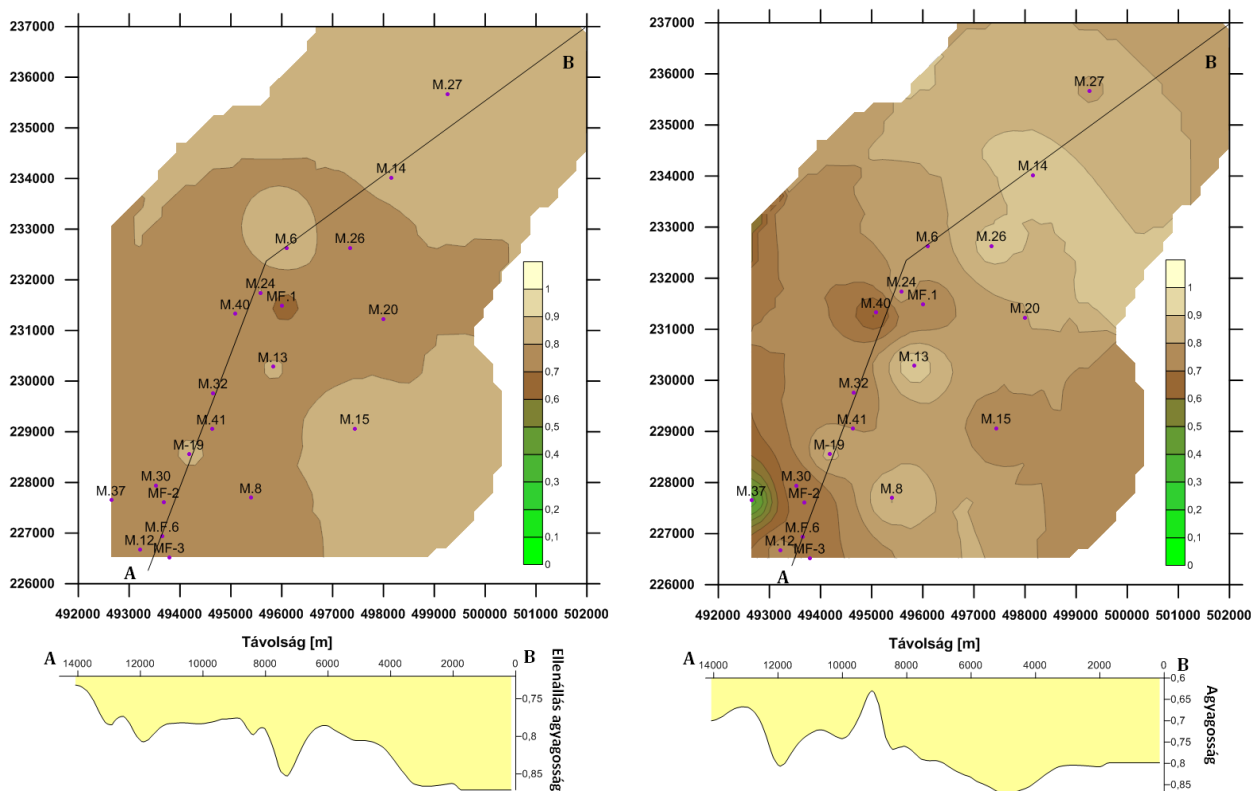
Az 50. ábrán a fent említett két térképen (Endrődi Formáció tető, permeabilitás térkép) egy-egy azonos szelvény keresztmetszet (A-B irányok) látható, mely azt mutatja, hogy a mélységgel fordítottan változik a permeabilitás nagysága.



51. ábra Az egy (jobb) és kétszelvényes (bal) kiértékelés során számolt effektív porozitás adataiból készült eloszlás térképek (zöld színtől a narancssárgáig nő az effektív porozitás). Földtani szempontból a jobboldali két szelvényen alapuló képet tartom valószínűbbnek.

Mindkét módszerrel számított effektív porozitás térképen szembevetendő a nagyobb porozitású rész a vizsgált terület közepén, mely szintén egybeesik a telepek helyzetével (51. ábra). Az effektív porozitás értékek jóval nagyobbak az első térképen, ahol a kétszelvényes kiértékeléssel kapott eredmények láthatók, mint az egyszelvényes kiértékelés eredmény térképén, ennek oka, hogy a kétszelvényes kiértékelés (51. ábra jobb oldali kép) illetve számítási mód a homok rétegekre érzékeny, így csak a homokos rétegeknél kapható eredmény, míg a trend effektív porozitásnál a kevésbé homokos rétegeknél is számol effektív porozitás értékeket a módszer.

A trend effektív porozitás térkép szelvényén jól megfigyelhető, hogyan nő az effektív porozitás érték a szelvény mentén a déli irányba haladva. Az effektív porozitás szelvényen már jóval inhomogénebb a kép, az érték nagyobb változékonyságot mutat, ennek oka, hogy a terület déli részén a homok-agyag arány változékonysága nagyobb, illetve itt több homokréteg jelenik meg a formációban.

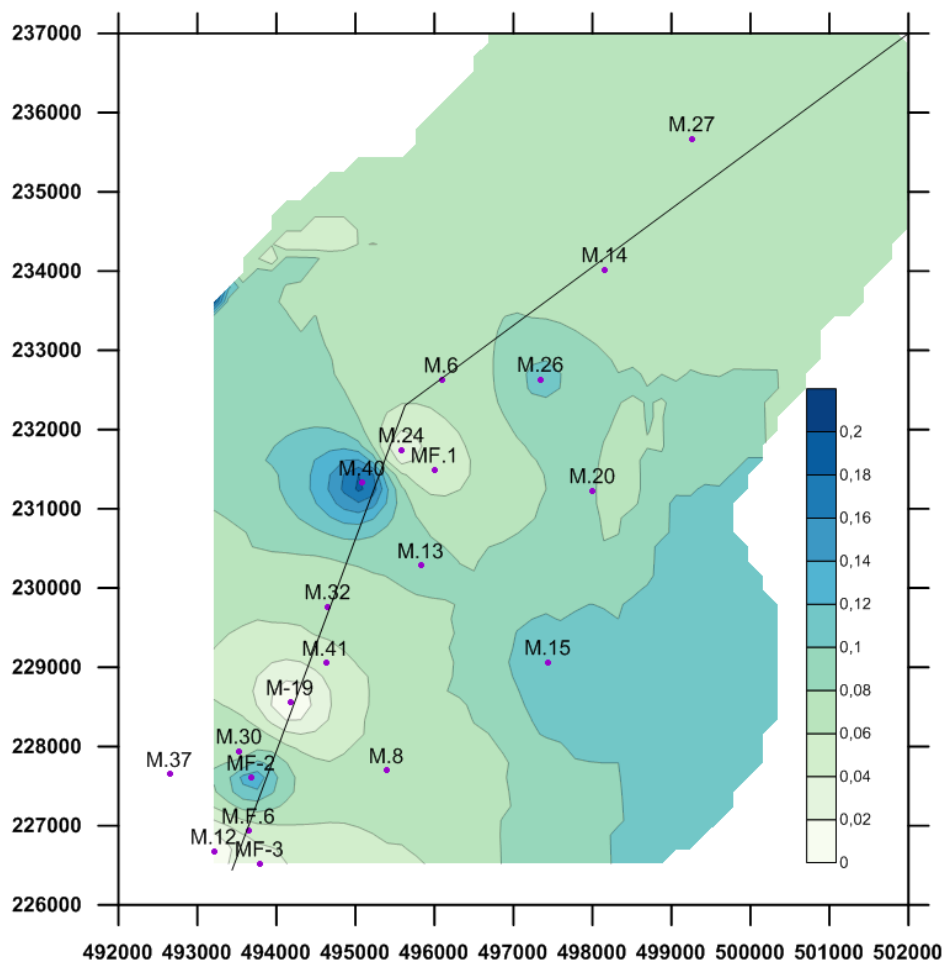


52. ábra Az Endrődi Formáció agyagosság eloszlás térképei (ellenállás agyagosság (bal), agyagosság (jobb))

Az egy és kétszelvényes geofizikai szelvény kiértékelés során kapott agyagosság térképek is alátámasztják a fent említett megállapításokat (52. ábra) és jól elkülönül az egyébként agyagos, márgás Endrődi Formációban egy kevésbé agyagos terület, melyben több

homokos réteg is megtalálható, amelyekben kialakultak a répcelaki alsó pannóniai szén-dioxidos telepek.

Az 53. ábrán az egyszelvényes és kétszelvényes kiértékelésből kapott agyagosság térképek különbsége látszik. A két módszer eredményei közötti különbség átlagosan ~7%. A kis adatsűrűségű területeken kaptam nagyobb különbségeket, ami vélhetően főként a pontok közötti interpolációból (illetve annak bizonytalanságából) adódott a térkép készítés folyamán.

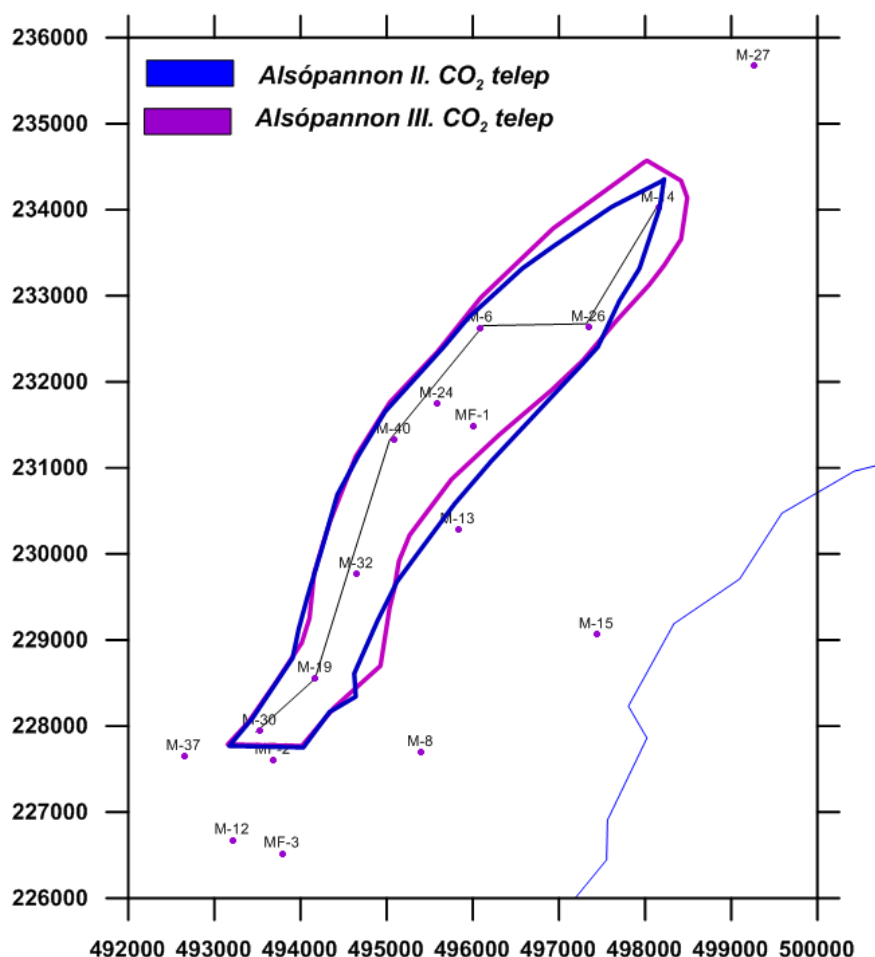


53. ábra Endrődi Formáció ellenállás agyagosság és agyagosság különbség térképe

A 15. táblázatban foglaltam össze az Endrődi Formáció átlagos a mélyfúrás-geofizikai szelvényeiből származtatott alapadatait. Répcelak esetében a vastagságra súlyozott átlagok szerint átlagosan az effektív porozitása a homokos rétegeknek 12%, összességében a formáció agyagossága 75-80% és 6% trend effektív porozitással rendelkezik, míg a permeabilitása ~0,61 mD.

## 6.2. Ap II. és Ap III. telepek lehatárolása

A telepek területének és térfogatának meghatározásához a számításaim során Mihályi-Répcelak területéről készült földtani összefoglaló jelentésben (Mészáros et al. 1979) található térképet vettem alapul, melyeket a szkennelés után a Surfer11 program segítségével felkoordináltam majd a körvonalak bedigitalizálása után térképi formába megjelenítettem (54. ábra). Nem állnak rendelkezésre információk arról, hogy eredetileg mi alapján határolták le a telepeket. A korábbi lehatárolásokat valamelyest módosítottam a terület déli részén (54. ábra). A területre eső CO<sub>2</sub>-os fúrások mélyfúrás-geofizikai szelvényein nyomon követhetőek a vizsgált telepek.



54. ábra Répcelak területére eső alsó pannóniai II. és III. számú telepek elterjedése. (Mészáros 1979 módosítva)

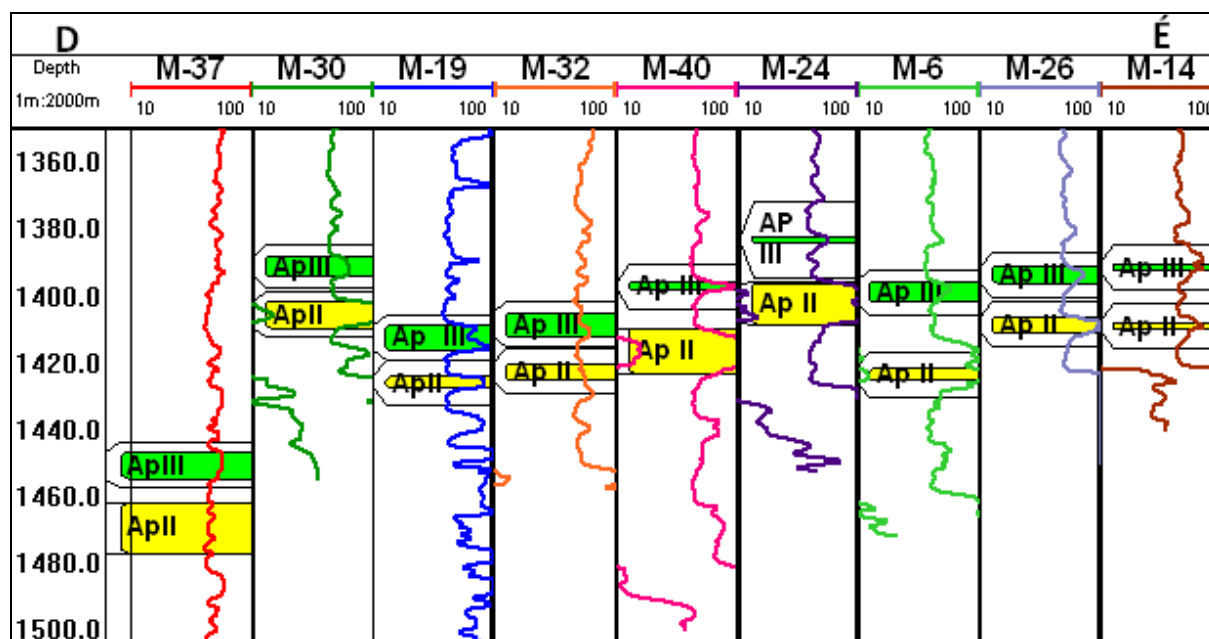
A lehatárolásnál a vizsgált két szén-dioxidos telepre esik az MF-1 fúrás, mely az M-40 és M-24-es szén-dioxid termelő kút közelében található. Az MF-1 fúrás egy 1250 méteres talpmélységű kevertgáz termelő kút, ahol a kevertgáz telepek ~1100-1200 méter mélységben

vannak. Mivel a fúrás 1250 méteren befejeződött és az Ap II. illetve III. telepek mélyebben helyezkednek el, ezért nem tudjuk, hogy harántolná-e a fúrás a telepeket.

A kútdokumentáció alapján az M-30 fúrásban fellelhető a világosszürke homokkőből álló Ap II. és Ap III. telep, melyeket egy szürke homokos agyagmárga réteg választ el egymástól. Az Ap III. telep erősen agyagos kifejlődésű ebben a fúrásban.

Az M-37 fúrásban szintén nyomon követhető a fent említett 2 szén-dioxidos réteg azonban a rétegvizsgálatok alapján ezekben szén-dioxidot nem találtak viszont a fúrást az Ap II. telep megfigyelőkútjának képezték ki.

Mind az Ap II. mind az Ap III. telep esetében a telepek déli határát valamelyest déli irányba kitoltam, mivel a M-30 fúrás kútkönyve szerint mindkét réteg ipari mennyiségű szén-dioxidot tartalmaz a rétegvizsgálatok alapján (55. ábra). Ezen felül semmilyen utalás nincs arra, hogy a területen az M-19 és M-30 fúrás között lenne bármilyen a tárolót elnyíró tektonika. Megvizsgálva az ellenállásszelvényeket is, változás csak az M-30 és M-37 között történik, ahol is a telepek mélyebben helyezkednek el és szén-dioxidot már nem tartalmaznak.



55. ábra Répcelaki fúrások hőmérséklet korrigált ellenállásszelvényei, melyekben nyomon követhetők az Ap II. és Ap III. telepek (dél-észak szelvény)

A területre eső fúrások mélyfúrás-geofizikai szelvényei újraértelmezése során az Endrődi Formációra elkészített különböző paraméter eloszlás térképek, mint például permeabilitás térkép (49. ábra) is jól mutatja a terület északi illetve keleti lehatárolódását. A

térkép déli részén jól látszódik egy kisebb permeabilitású terület, ami az Ap II. és Ap III. szén-dioxidos telepek déli határát jelzi.

Az eloszlás térképek is a Surfer 11 program segítségével készültek „Inverse Distance to a Power” módszerrel, mivel itt a távolság hatványával csökken a súly. Különböző keresési távolságot vettem a pontok között a formációk és telepek esetén. A formációknál egy 3 km sugarú kör a keresés tartománya, míg a telepek esetén ugyanez 2 km volt, a hatványkitevőt mindkét esetben 2-nek vettem.

### 6.3. Répcelak: Alsópannon II. számú CO<sub>2</sub>-telep (Ap II.)

A Mihályi-Répcelak kutatási terület legjelentősebb gázvagyonnal rendelkező, legismertebb gáztelepe, melyet a M-5/b, M-6, M-14, M-18, M-19, M-23, M-24, M-26, M-30, M-32, M-34, M-37 harántolt (gázfázisban: M-5/b, M -6, M -14, M -19, M -24, M -26, M -30, M -32 1250-1300 méterben). A Mihályi-Répcelak szerkezet tengelye felé kiékelődik a telep. A produktív kutak közül erre a telepre van kiképezve a M-6, M-24 és M-32 sz. fúrás. A tárolóközet világosszürke, közepes keménységű, helyenként gyengén rétegzett, vékony aleurit rétegekkel tagolt, karbonátos kötőanyagú, finomszemcsés homokkő. A telep típusa litológiaiag lehatárolású rétegtelep, a telepet minden szabad gázfázisba eső kútban megnyitották (Mészáros et al. 1979).

A gázösszetétel a következőképpen alakul: metán 2,53tf%, etán illetve a többi szénhidrogén 0,28tf%, szén-dioxid 95,16tf%, nitrogén 2,03tf%. A víztest ismerete nem kielégítő (Mészáros et al. 1979).

A kezdeti földtani gázvagyon 1 438 510 000 Nm<sup>3</sup>-re becsülték. A számított térfogat, és porozitás adatokból becsült kezdeti földtani vagyon az én számításaim alapján picivel több ~1 633 766 530 Nm<sup>3</sup>, amely 13.5% eltérést jelent. A tároló szén-dioxid térfogatot Pápay József 2007-ben megjelent képletét felhasználva becsültem.

$$\Delta V = B_{gi} \cdot G \quad (19)$$

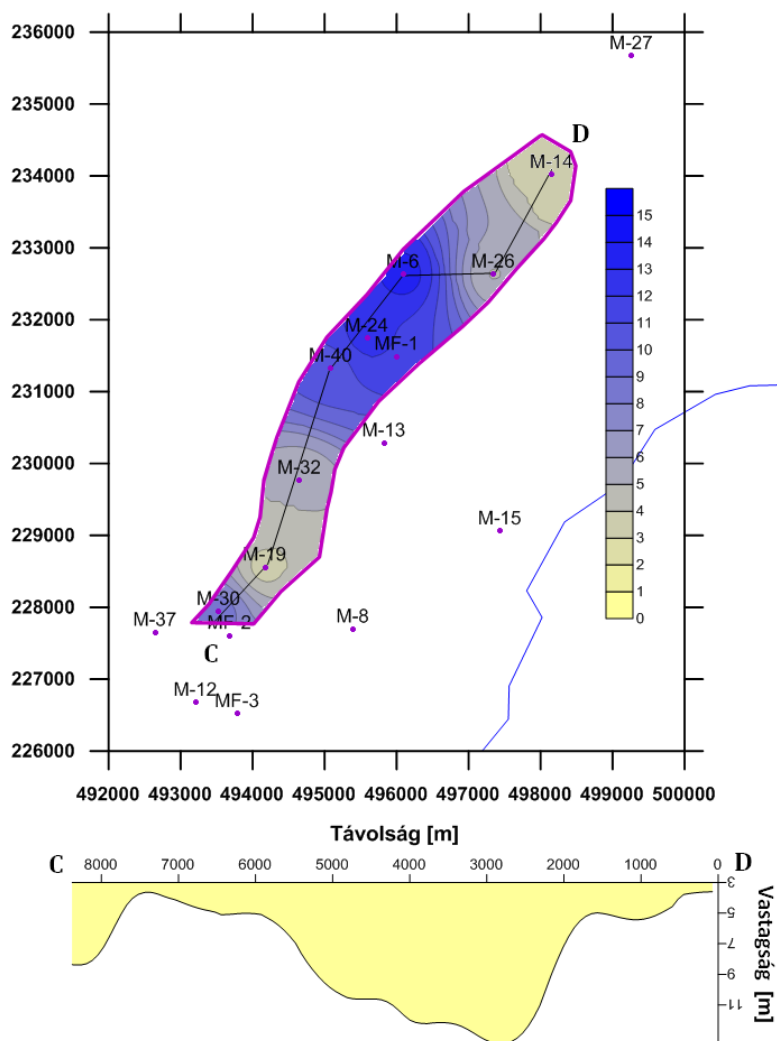
ahol, G=Földtani gázvagyon (m<sup>3</sup>)

$\Delta V$ = tárolásra rendelkezésre álló térfogat (m<sup>3</sup>)

$B_{gi}$ =földgáz teleptérfogati tényező (-)

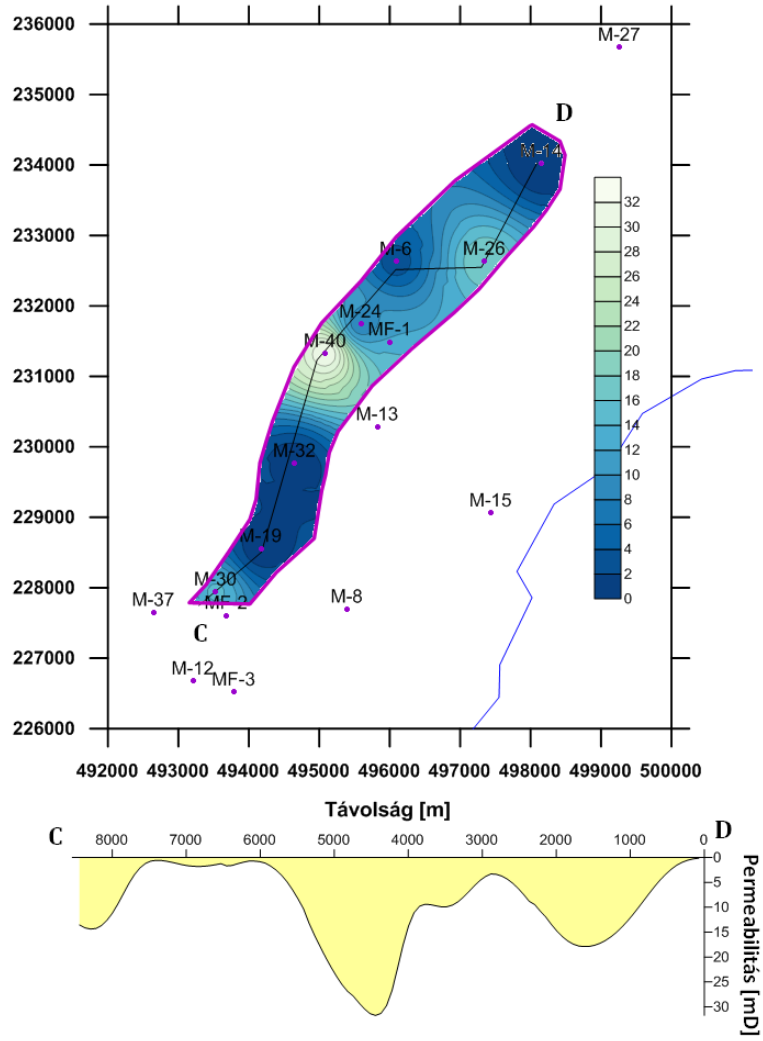
A fenti képlettel (19) kapott értéket meg kellett szorozni a telep körülmények közötti (nyomás, hőmérséklet) szén-dioxid sűrűség értékével, melyet Span és Wagner 1996-os

publikációja alapján határoztam meg. Így megkaptam a telep körülmények között tárolt szén-dioxid mennyiségét, ami 4,87 millió tonna. Ismerve, hogy a szén-dioxid sűrűsége normál körülmények között  $1,98 \text{ kg/m}^3$  számítható volt a kezdeti földtani szén-dioxid vagyon.



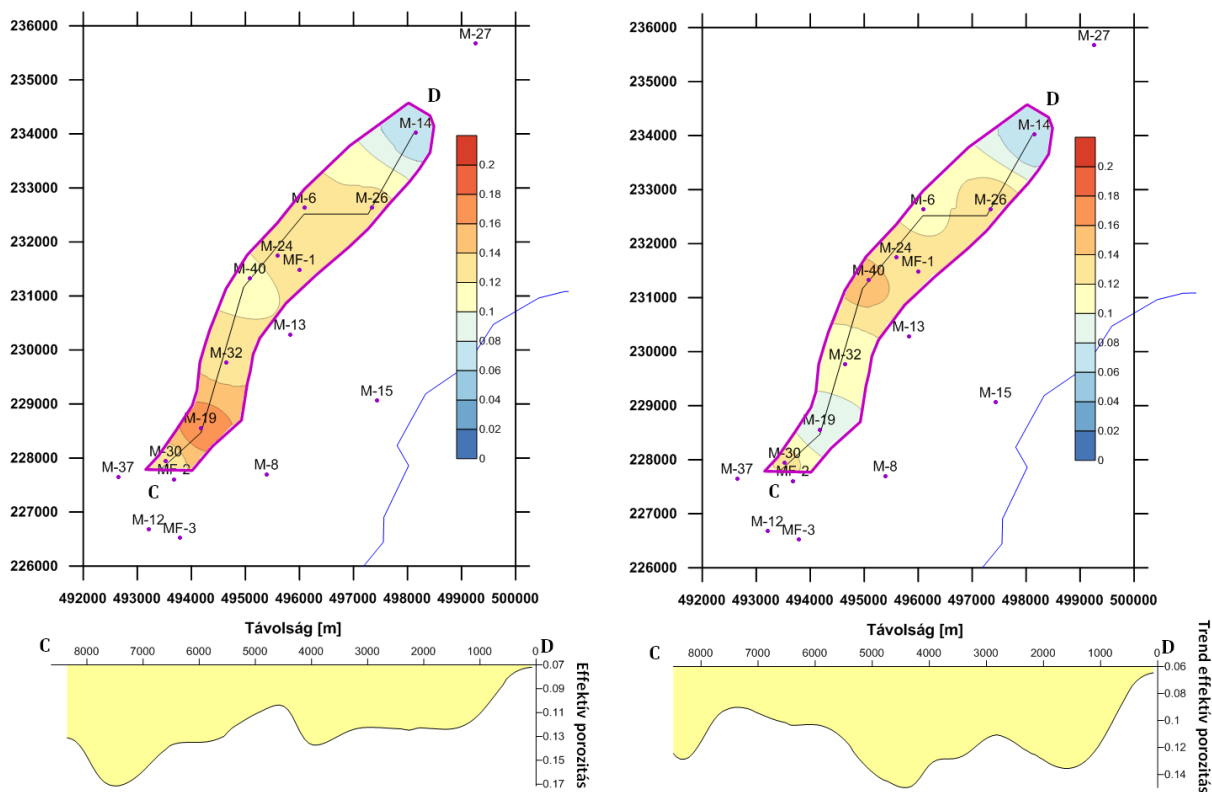
56. ábra Ap II. telep vastagság térképe és egy D-É irányú szelvénye (C-D nyomvonalon)

A 16. táblázatban látható szén-dioxidos fúrásokból álltak rendelkezésünkre mélyfúrás-geofizikai szelvények melyeken, nyomon követhető volt az Ap II. telep, illetve a táblázatban olvashatók a telep alapadatai fúrásonként (EOV koordináták, tető- és talp mélyég, vastagság illetve permeabilitás). A szelvények adatain végzett számítások alapján a telep 1400-1430 méter mélyen található, az effektív porozitása  $\sim 12\%$  míg az átlag permeabilitás  $8,55 \text{ mD}$  és a szivárgási tényező ( $8,55 \text{E-}07 \text{ m/s}$ ) (57. ábra és 58. ábra). Az átlag effektív porozitás és permeabilitás értékeknél a megadott értékek a telep vastagságot figyelembe véve súlyozott átlagok. A telep átlagos vastagsága 7 méter, mint ahogy az 56. ábra is látható, a telep vastagság északi és déli irányba csökken.



57. ábra Az Ap II. szén-dioxidos telep permeabilitás [mD] eloszlás térképe (C-D nyomvonalon)

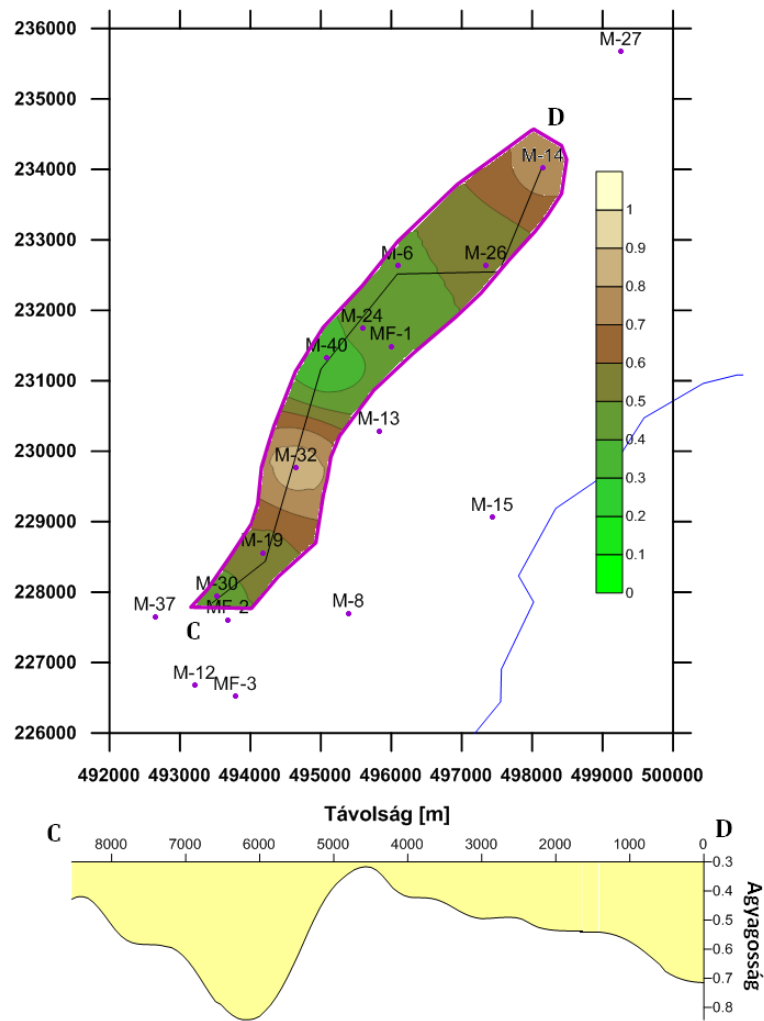




58. ábra Az Ap II. telep effektív porozitás (bal) és trend effektív porozitás (jobb) eloszlás térkép (C-D nyomvonalon)

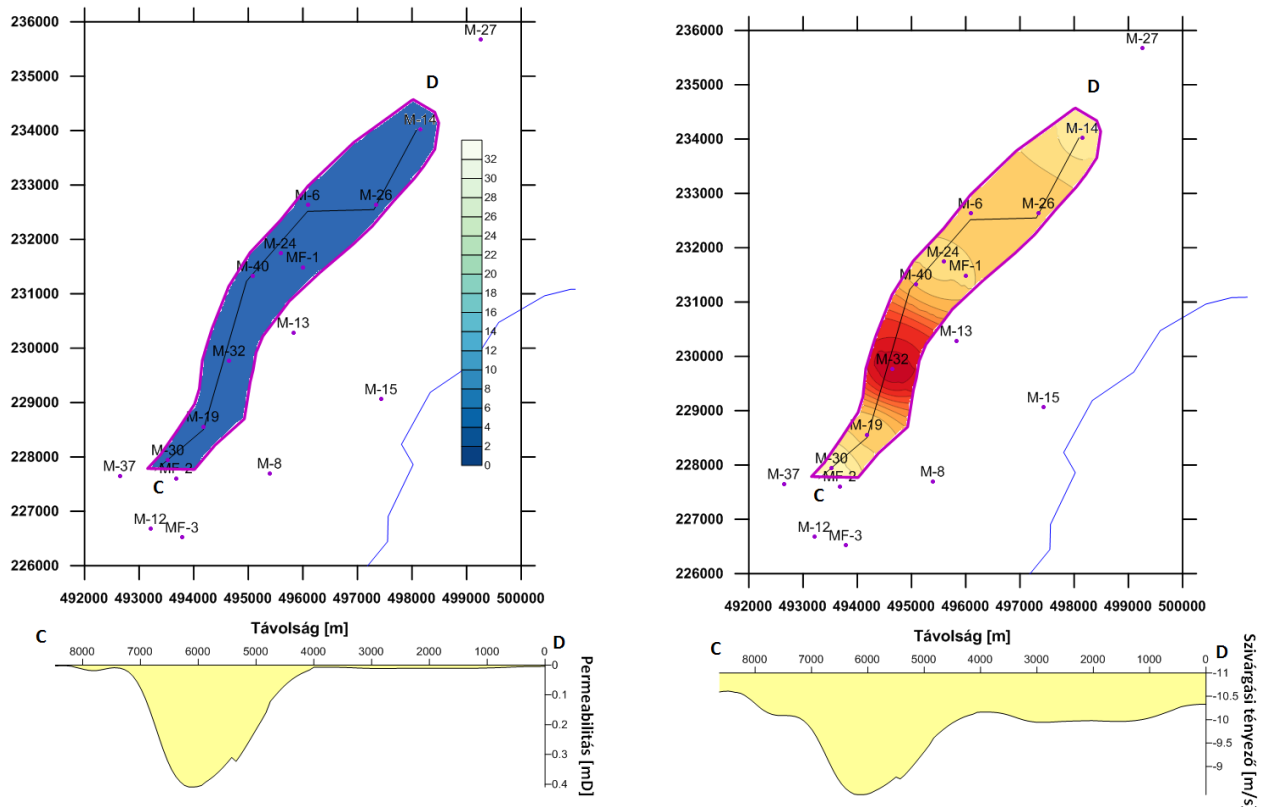
Az agyagosság aránya a telepben ~40%, ami megegyezik a Szolnoki Formációra kapott átlag agyagosság értékkel. A telep kisebb agyagossággal (azaz homokosabb kifejlődésű), nagyobb porozitással és permeabilitással rendelkezik, mint a közvetlenül felette elhelyezkedő Ap III. számú telep.

A telep agyagosság (59. ábra) és permeabilitás (57. ábra) térképének azonos szelvényei a vártnak megfelelően ellentétes kitérésű rajzolatot mutatnak. Azaz a telep közepén, ahol a legnagyobb a permeabilitás, ott a legkisebb az agyagosság.



59. ábra Az Ap II. telep agyagosság eloszlás térképe (C-D nyomvonalon)

Az Ap II. és Ap III. telepet elválasztó réteg átlagosan ~16,5 méter vastagú, kis permeabilitású (0,06 mD). A gyakorlatilag impermeábilis réteg agyagossága 85-90%-os. Ez a réteg jó záró tulajdonságokkal rendelkezik. A permeabilitás és így a szivárgási tényező eloszlása, amint a 60. ábra is jól látszódik, közel homogén.

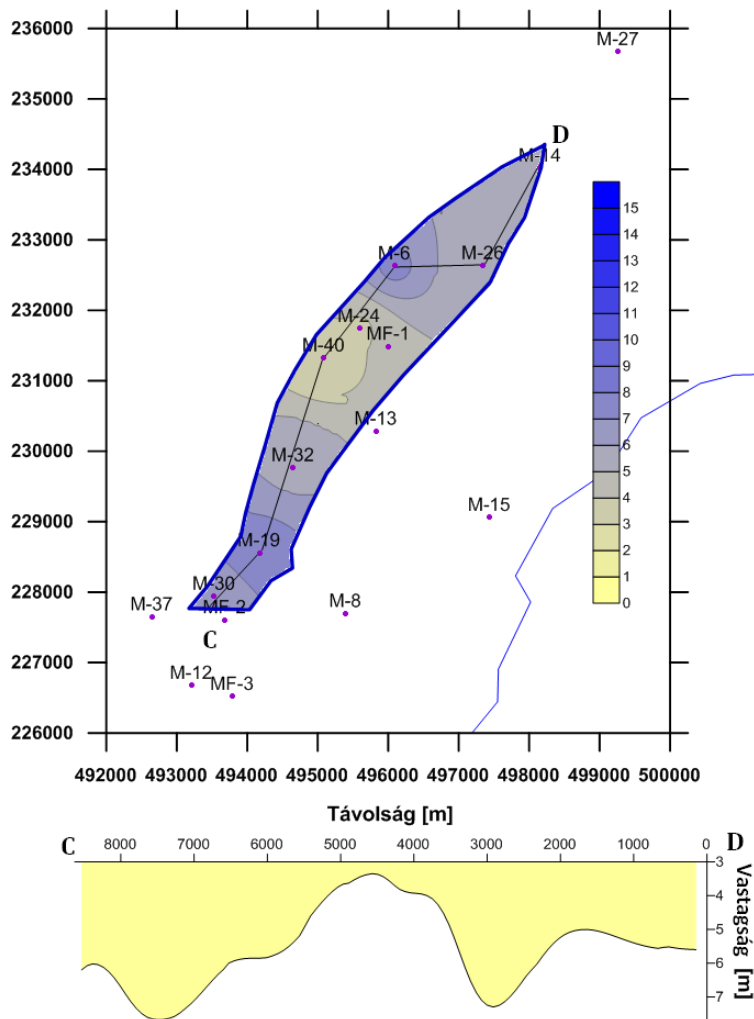


60. ábra Az Ap II. és Ap III. telepet elválasztó agyagos réteg permeabilitás [mD] és szivárgási tényező [m/s] eloszlás térképe (C-D nyomvonalon)

#### 6.4. Répcelak: Alsópannon III. számú CO<sub>2</sub>-telep (Ap III.)

Az Alsópannon II. számú teleppel megközelítőleg azonos területi elterjedésű szén-dioxidos telep. A réteg kifejlődése rezervoargeológiai szempontból sokkal rosszabb, mint az Ap II. számú telepé, a terület összefoglaló jelentése alapján (Mészáros et al. 1979) a teljes vastagság 6 méternél kisebb, átlagosan mintegy 2 méter körül lehet. A telepet a M-5/b, M-6, M-7, M-14, M-18, M-19, M-23, M-24, M-26, M-27, M-30, M-32, M-34, M-37 (gázfázisban: M-5/b, M-6, M-14, M-19, M-24, M-26, M-30, M-32 fúrások harántolták 1230-1270 méterben.

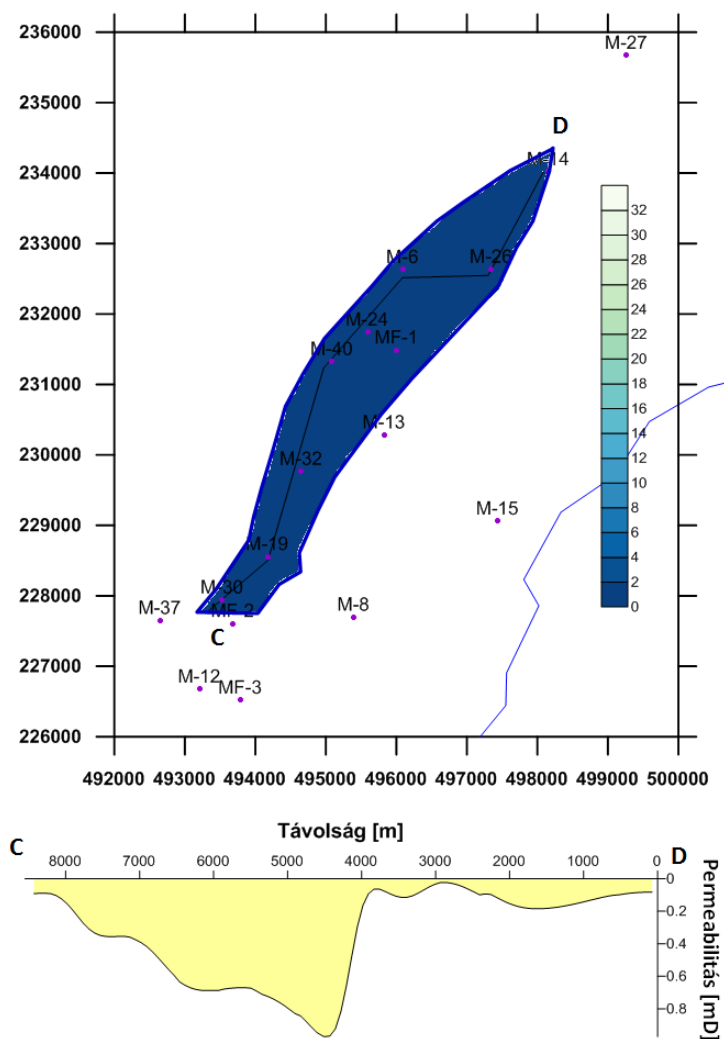
A tárolókőzet világosszürke, közepes keménységű, aleuritcsíkos, agyagos finomszemcsés homokkő. A teleptípus litológiailag lehatárolt rétegtelep. A víztest aktivitása alacsony, csak korlátozott vízutánpótlást tapasztaltak. A gázösszetétel: metán 4,94 tf%, etán illetve a többi szénhidrogén 1tf%, CO<sub>2</sub> 91,17%, nitrogén 2,89. A kezdeti földtani gázvagyon 363 271 000 Nm<sup>3</sup> volt a becslések alapján (Mészáros et al. 1979).



61. ábra Ap III. telep vastagság térképe és keresztszelvénye (C-D) nyomvonalon)

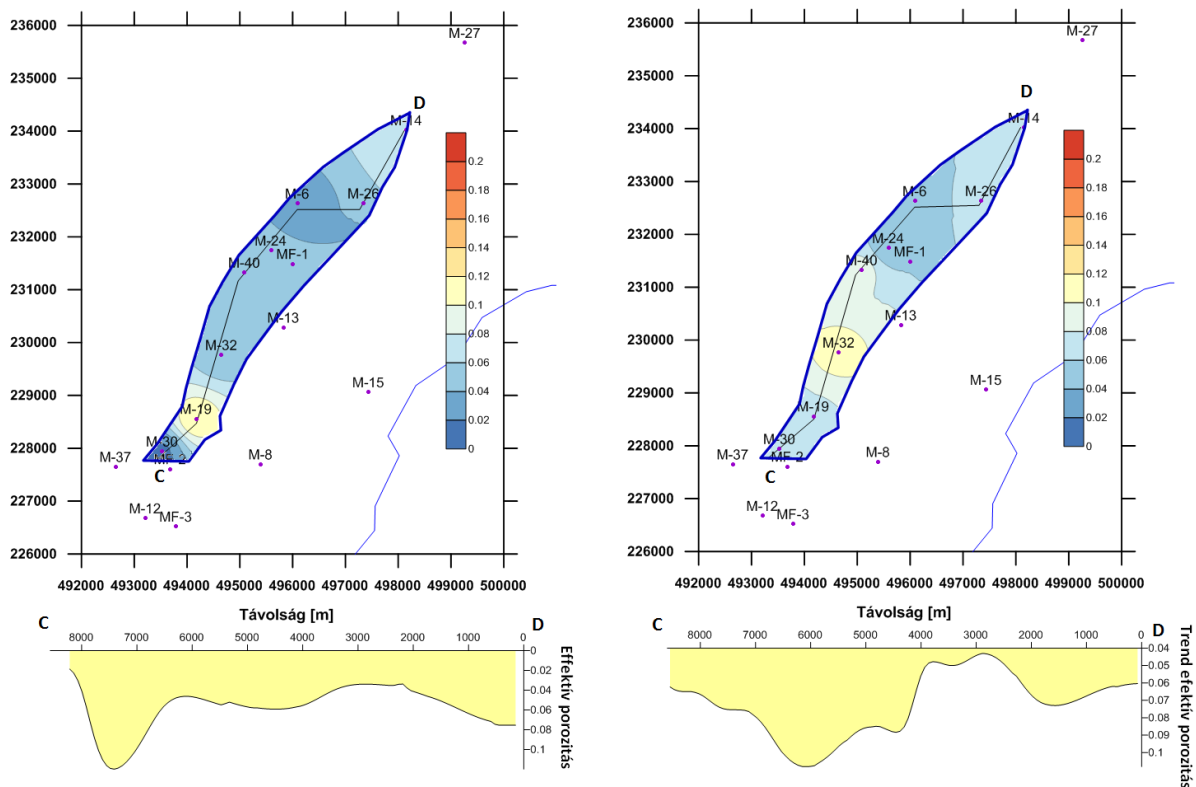
A 17. táblázatban látható szén-dioxidos fúrásokból rendelkezésre álltak mélyfúrás-geofizikai szelvények melyeken, nyomon követhető volt az Ap III. telep illetve az Ap II.-vel azonos alapparaméterek (pl. mélység, vastagság).

A szelvények adatain végzett számítások alapján a telep 1380-1460 méter mélyen található, az átlag vastagsága 5 méter (61. ábra), az effektív porozitása ~7% (63. ábra) míg az átlag permeabilitás ~0,3 mD (62. ábra). Az agyagosság alakulása ebben a telepben átlagosan 60-70% -os (64. ábra).



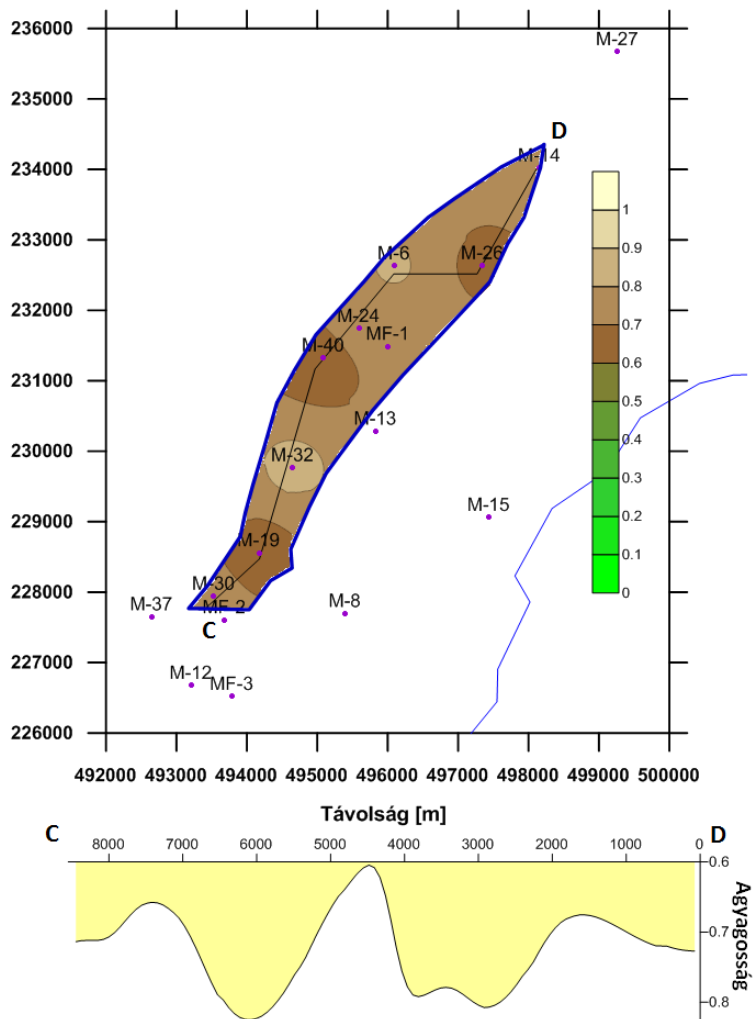
62. ábra Az Ap III. telep permeabilitás [mD] eloszlás térképe (C-D nyomvonalon)

A permeabilitása az Ap III. telepnek alacsonyabb, mint a közvetlenül alatta elhelyezkedő Ap II. telepnek, ami azt mutatja, hogy rosszabb tároló tulajdonságokkal rendelkezik.

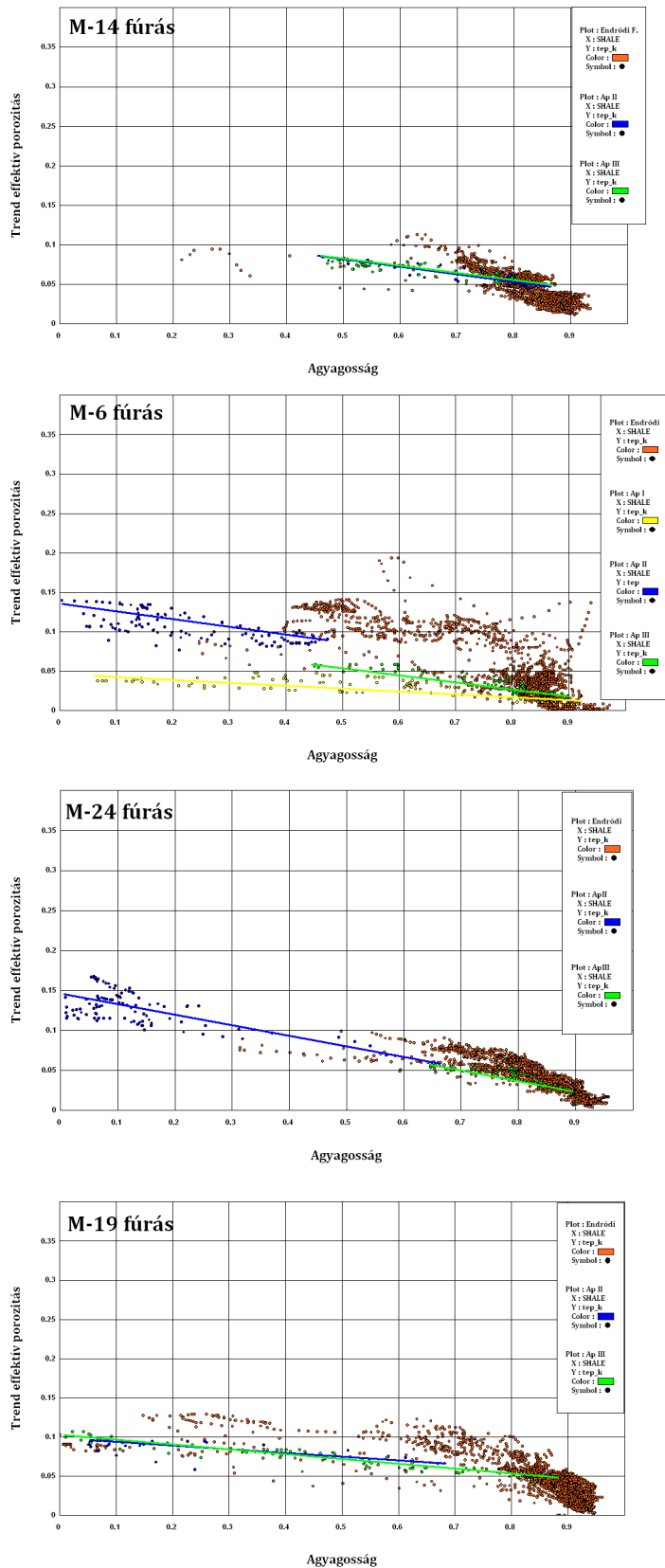


63. ábra Az Ap III. telep effektív porozitás (bal) és trend effektív porozitás (jobb) eloszlás térkép (C-D nyomvonalon)

A permeabilitás és vastagság mellett a telep effektív porozitása is kisebb, mint az Ap II. telepé (58. ábra), de eloszlása hasonló képet mutat, kivéve M-40-es fúrásban.



64. ábra Az Ap III. telep agyagosságának eloszlás térképe (C-D nyomvonalon)

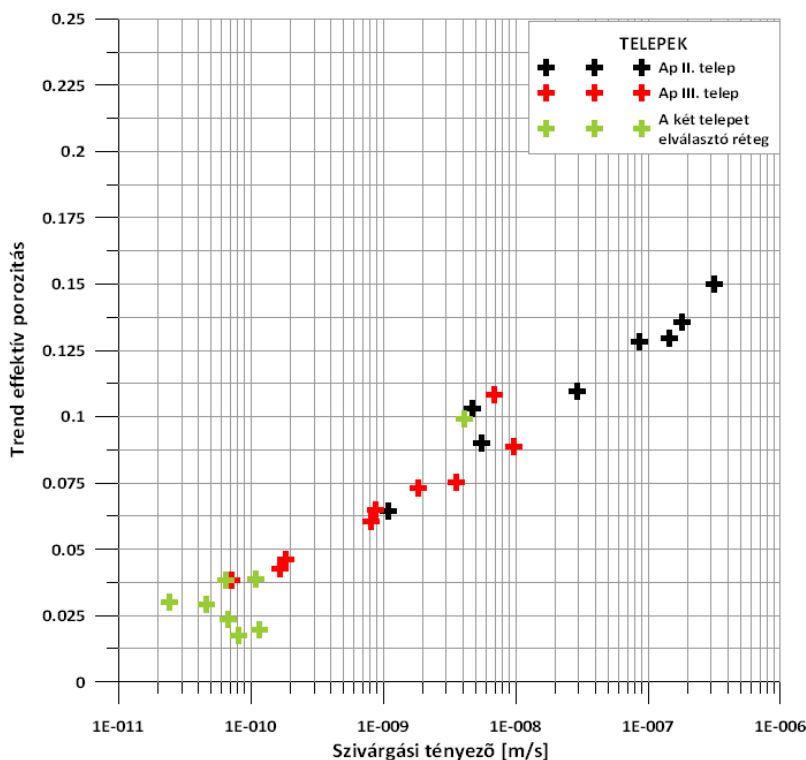


65. ábra Ellenállás agyagosság-effektív porozitás cross-plot-ok az Endrődi Formációra, az Ap II. telep kék míg a Ap III. telep zöld színnel jelölve

A vizsgált területen az elektromos agyagosság és trend effektív porozitás cross-plotok olyan változata is elkészült, ahol csak az Endrődi Formáció mélységközében ábrázoltam az Ap II. és Ap III. telepeket (65. ábra). Kék színnel jeleztem az Ap II. telepet, míg az Ap III. telepet zölddel (sárga színnel az Ap I. telepet). A kiválasztott 4 fúrás, gyakorlatilag egy észak-déli szelvény (M-14, M-6, M-24, M-19) mentén helyezkedik el. A telepek északi kiemelkedéshez közeli M-14 fúrás, míg az M-19 a déli. Az M-6 és M-24-es fúrás a telepek közepén helyezkednek el a háton. Az agyagosság-trend effektív porozitás cross-plotok segítségével is kijelölhető, mely részekon található szén-dioxidos telep. A cross-plotok alapján megállapítható továbbá hogy, mely fúrások helyezkednek el ott ahol nagy vastagságú és homokban gazdagabb a tárolókőzetünk (M-6, M-24 fúrás 0-50% agyagosság közötti pontfelhő). Azaz az agyagosság- trend effektív porozitás cross-plotok a telep kifejlődésre adnak információt.



A két telep fő ismert paramétereit a 18. táblázatban foglaltam össze, melyek többek között a pórustérfogat, az effektív porozitás, a CO<sub>2</sub> sűrűség, melyek egy része tömbadatokból ismert (hőmérséklet), a többség a számításaim alapján kapott érték. A CO<sub>2</sub> sűrűségét Span és Wagner 1996-os publikációja alapján határoztam meg.



66. ábra Trend effektív porozitás-szivárgási tényező összefüggése a vizsgált rétegekben

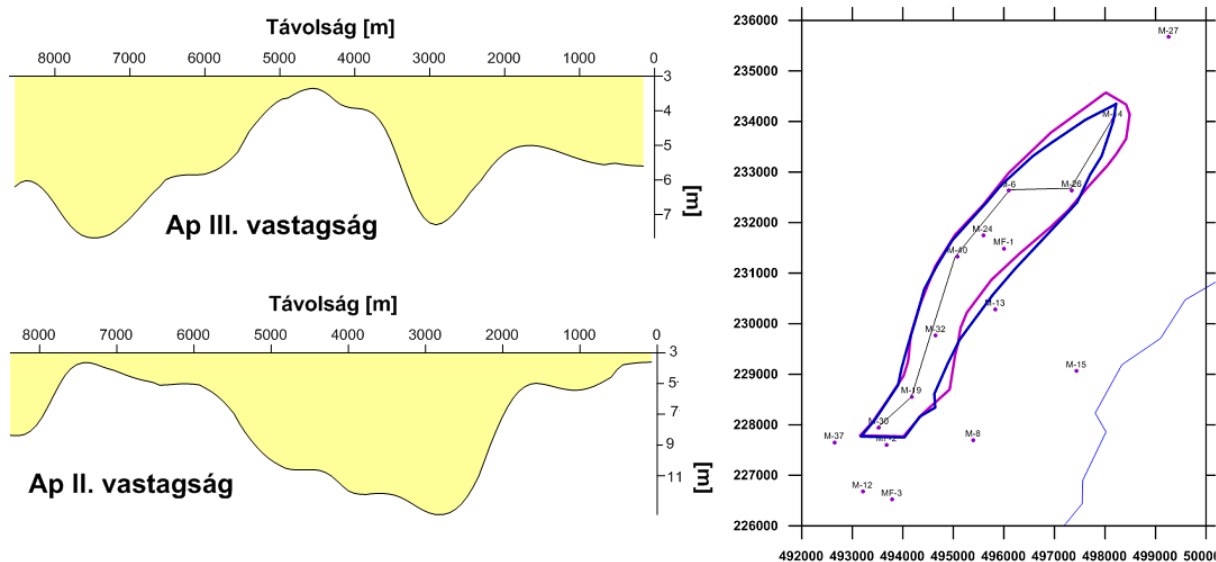
A trend effektív porozitás-szivárgási tényező összefüggést ábrázoltam a 66. ábrán, ahol az egyes pontok az egyes fúrásokból származó átlag trend effektív porozitás és szivárgási tényező értékek. Az ábráról leolvasható, hogy az Ap II. egy jobb tároló paraméterekkel rendelkező telep az Ap III. telephez képest. A köztes réteg paraméterei pedig egy jó fedő tulajdonságokkal rendelkező impermeábilis réteget jeleznek.

## 6.5 Fejlődéstörténeti következtetés

A Mihályi-Répcelak Ap II. és Ap III. telepben ellentétes vastagság viszonyok alakultak ki, ahogy azt az 56. ábra és 61. ábrakon felrajzolt szelvényeken látszik (67. ábra). Míg az Ap II. telep a szélek felé elvékonyodik addig az Ap III. telep egy „lefejezett” telep

képét tükrözi. Ez egy eróziós felületet jelezhet, ami felett általában egy masszív agyag réteg alakul ki.

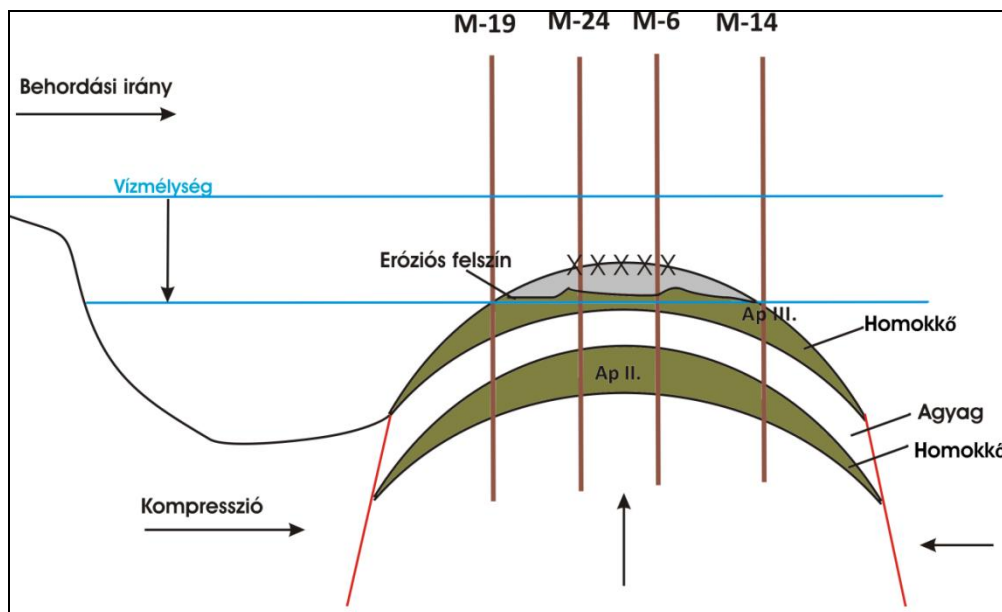
Ehhez a földtani megállapításhoz csak úgy lehetett eljutni, hogy a geofizikai mérések az utóhitelesítés révén alkalmassá váltak a területi értelmezésre. Az eredmények ennek köszönhetően egymáshoz képest összehasonlíthatóak következetes rendszert alkotnak.



67. ábra Az Ap II. és Ap III. telep vastagság szelvénye a térképen látható metszetben

A vizsgált két telep az Endrődi Formáció részét képező homokkövekben alakult ki. Az Endrődi Formáció túlnyomó részt parttávoli vagy mélyvizi finomszemcsés agyagot jelent. A homok megjelenése ilyen környezetben azt jelzi, hogy a part nem lehetett túl távol és ezért a vízszint csökkenéskor az előrenyomuló partvonalról lezúduló – az egyébként Szolnoki Formációnak megfelelő fáciesű – zagyarak időlegesen elérhették a területet. Ez akkor is előfordulhatott, ha a területen a süllyedés nagyságánál nagyobb volt a beszállítódás mértéke.

Ez a medencefejlődés kezdeti fázisában volt, de a későbbiekben, amikor az Endrődi Formáció felett levő formációk képződtek akkor mélyvizi márga többet nem rakódott le ezen a helyen. A medencefejlődés kompressziós fázisában az újabb erózió már a felső pannóniai rétegeket érintette csak (a ~600 m emelkedésnek megfelelően).



68. ábra Az Ap III. telep kialakulásának elvi ábrája

Az eróziós felszín kialakulásának magyarázata az lehet, hogy vízszint csökkenéskor vagy a területet érintő kompresszió hatására történő kiemelkedés (68. ábra) következtében az Ap III.-t képviselő homokkő réteg szárazra került. Ezt követően a homokréteg teteje leeroszódott, majd az egység újra lesüllyedt a tektonikai erők hatására, esetleg a vízszint növekedhetett meg. Ekkor alakultak ki az Endrődi Formáció további – agyagban gazdag – márga rétegei. Vagyis, amikor a süllyedés mértéke nagyobb volt, mint a beszállítódás mértéke. Az Endrődi Formációra települt a turbidites homokkövekből álló Szolnoki Formáció, amikor a beszállítódás mértékének fokozódása miatt a zagyarak már tartósan elérhették a területet. Az Endrődi Formáció tehát nem feltétlenül mélyvízi, hanem parttávolsági fácieset jelent. Ilyen homokkő betelepülések a Nagyalföldön is találhatóak az Endrődi Formációban (Juhász 1992). Kompaktságát az adja, hogy a későbbiekben még a jelenleginél is nagyobb mélységeket járt meg. Az egész terület később –már a Szolnoki Formáció kialakulása után- újra kiemelkedett és jelenleg is emelkedik az általános kompresszió miatt, ami érinti az egész Dunántúlt (Horváth 1993). Hasonló folyamatok zajlottak le a Budai hegységben az oligocén idején (Tari 1992).

## 7. A kapott eredmények kapcsolata a szén-dioxid föld alatti elhelyezésével

### 7.1. Természetes tárolók részletesebb jellemezhetősége

A Mihályi-Répcelak természetes szén-dioxid előfordulás mélyfúrás-geofizikai szelvényein végzett vizsgálatok eredményeként pontosítottuk az egyes, a CO<sub>2</sub> tárolás szempontjából lényeges formációk (természetes tárolás, valamint Magyarország más területén jövőbeli, esetleges ipari eredetű szén-dioxid tárolás szempontjából) határainak pozícióit a formáció vastagság értékeit, a formációk egyes jellemző paramétereit (agyagosság, effektív porozitás és permeabilitás) és azok eloszlástérképét. Ugyanezen paraméterek és eloszlás térképek elkészültek két jellemző szén-dioxidos telepre, köztük a legjelentősebb telepre is (Ap II. telep).

### 7.2 Potenciális tárolók pórustérfogatának effektív porozitásának meghatározása

Ahhoz, hogy egy ipari eredetű szén-dioxid elhelyezésére kiszemelt földtani objektum tároló potenciálját megkapjuk több földtani/rezervoárgeológiai paraméter pontos ismerete is szükséges. Magának a besajtolható szén-dioxid mennyiségének meghatározására legtöbbször egyszerű összefüggést ajánlanak. A módszer szerint a tárolási kapacitás a pórustérfogatóból  $V_p$  és a víztelítettségéből  $S_w$  meghatározható a következő formulával (Bódi 2014):

$$G_{iCO_2} = \frac{V_p - (1 - S_w)}{B_{gCO_2}} \quad (20)$$

ahol,  $G_{iCO_2}$  = normál állapotban a formáció szén-dioxid tároló kapacitása, Nm<sup>3</sup>;

$V_p$  = a formáció pórustérfogata, m<sup>3</sup>;

$S_w$  = a rezervoár víztelítettsége, -;

$B_{gCO_2}$  = teleptérfogati tényező, - (m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>).

A teleptérfogati tényező megadja, hogy mekkora normál körülmények között 1 m<sup>3</sup> gáz térfogata a rezervoár nyomásán (p) és hőmérsékletén (T). Normál állapotban lévő gázzal beszélünk, ha a  $p_{sc}$  = 1.01325 bar (14.7 psi) nyomás és a hőmérséklet  $T_{sc}$  = 15 °C (60 °F) (Bódi 2014).

A kutatómunkám során alkalmazott eljárás segítségével pontosabb pórustérfogatot tudunk meghatározni, mert ez az eljárás figyelembe veszi a területről származó mélyfúrás-geofizikai adatokat is. Továbbá, az effektív porozitás meghatározásával pontosabb képet

kapunk az összeköttetésben lévő, folyadékok áramlására lehetőséget biztosító, tehát a beszajtolás szempontjából jelentős pórustérfogatról. A közettérfogat és az effektív porozitás szorzata megadja a pórustérfogat ( $V_p$ ) nagyságát, amely a szén-dioxid tárolási potenciál becslésének alap paramétere.

### 7.3 Potenciális tárolók permeabilitásának előzetes meghatározása

Egy szén-dioxid beszajtolási projekt esetében rendkívül fontos az egy kúton beszajtolható szén-dioxid mennyiségének meghatározása, ami a Bódi (2014) összefüggésével határozható meg:

$$q_{gCO_2} = \frac{\pi \cdot k_{gCO_2} \cdot h \cdot T_{sc} \cdot (P_{wf}^2 \cdot P_r^2)}{T_r \cdot p_{sc} \cdot \mu_{CO_2} \cdot Z_{CO_2} \cdot \left( \ln \frac{r_e}{r_w} - 0,75 + s + D \cdot q_{gCO_2} \right)} \quad (21)$$

ahol,  $q_{gCO_2}$  = a beszajtolható CO<sub>2</sub> mennyisége normál körülmények között, m<sup>3</sup>/s;

$k_{gCO_2}$  = a rezervoár kőzet permeabilitása a CO<sub>2</sub> gázra tekintetbe véve, m<sup>2</sup>;

$h$  = effektív vastagsága a rétegnek, m;

$T_{sc}$  = normál állapoton a hőmérséklet, (288 K), K;

$T_r$  = rezervoár hőmérséklete, K;

$p_r$  = átlagos rezervoár nyomás, Pa,

$p_{sc}$  = standard légköri nyomás, (101325 Pa), Pa;

$p_{wf}$  = kútfej nyomás az injektáláskor, Pa;

$r_e$  = a beszajtoló kút termelési zónájának cső sugara, m,

$r_w$  = a beszajtoló kút sugara, m;

$\mu_{gCO_2}$  = CO<sub>2</sub> viszkozitás, Pas;

$Z_{CO_2}$  = CO<sub>2</sub> gáz deviációs faktor (Z-faktor) az átlagos beszajtolási nyomáson,-;

$s$  = a fúróluk zóna permeabilitás különbségéből származó mechanikai skin faktor, -,

$D$  = a kút körüli nagy áramlási sebességből származó turbulencia faktor, s/m<sup>3</sup>.

A '21' egyenletet használatához a geometriai paramétereken kívül ismernünk kell a szén-dioxid adott rétegre adott körülmények közötti mobilitását ( $kg_{CO_2}/\mu_{gCO_2}$ ) ami a szén-dioxid gáz rezervoár körülmények közötti permeabilitásának a szén-dioxid viszkozitásának  $\mu_{gCO_2}$  hányadosa, (Bódi 2014).

Mint az a képletben is látható fontos szerepet játszik az egy kúton besajtolható szén-dioxid pontos mennyiségének meghatározásánál az effektív permeabilitás pontos ismerete, így az általam kapott pontosabb permeabilitás értékek felhasználásával javítható az egy kúton besajtolható szén-dioxid mennyiség becslésének megbízhatósága.

## 8. Összefoglalás, tézisek

A dolgozatomban 28 Mihályi-Répcelaki fúrás egy (ellenállás)- és kétszelvényes (ellenállás, természetes potenciál) mélyfúrás-geofizikai értelmezését végeztem el, Répcelak területéről 18 fúrás, míg Mihályiból 10 fúrás származott. Egy régi, helyenként kaotikus adatrendszerből a hibajavítás és összehitelesítés után megtörtént az egyes fúrásokban a formáció határok kijelölése, majd ezt követően az agyagosság és effektív porozitás meghatározását végeztem a két módszerrel illetve a szivárgási tényező számítását egyszelvényes kiértékeléssel.

Az értelmezést követően elkészültek az alsó pannóniai összlet formációinak fedő-, fekvő-, vastagság és a származtatott paraméterek alapján agyagosság, effektív porozitás és permeabilitás térképei mindkét területre. Répcelak területén a szén-dioxidos fúrásokra (11 db a 18-ból), a származtatott paraméterek segítségével elkészült fúrásonként 4 különböző cross-plot, amelyek alapján a következő megállapítások tehetők:

A különböző formációkra vonatkozó mélységközöket különböző színekkel jelölve felfedezhető volt, hogy az agyagosság- trend effektív porozitás és agyagosság- permeabilitás cross-plotokon is jól elkülöníthetők a különböző formációk, mivel az egyes formációk egy-egy változó szélességű és vastagságú sávot alkotnak. Tehát egyszerű, már meglévő szelvényekből származtatott adatokból elkészített cross-plotok segítségével objektíven szétválaszthatók az egyes formációk és ezzel többek között ellenőrizhető a formációhatár kijelölésének helyessége is. A formációk azonban nem csak a karotázsgörbék lefutásában, hanem a fizikai paraméterek hisztogramjában (fajlagos ellenállás, 17. ábra) illetve a mért illetve származtatott fizikai paraméterek egy más közti kapcsolatában (cross-plotok, 29. ábra-32. ábra) különböznek egymástól.(1. tézis).

A mélyfúrás-geofizikai (látszólagos fajlagos elektromos ellenállás, természetes potenciál és természetes gamma) szelvények alapján elvégzett formáció kijelölés elsősorban az alsó pannóniai képződményeket érintette. A formáció határ kijelölés során megfigyeltem, hogy a területen az alsó pannóniai formációk (Endródi, Szolnoki és Algyői Formáció) felett még a felső pannóniai Újfalui Formáció megtalálható, de felette már hiányos a rétegsor és a Zagyvai

és Nagyalföldi Formáció nem található meg. Ennek oka a kompresszió hatására bekövetkezett emelkedés okozta erózió, ami a medencefejlődés utolsó fázisában játszódott le (16. ábra). Ez a megállapítás ellentmond a régebbi elképzelésnek, mely szerint az alsó pannóniai formációk közül Mihályi –Répcelak területén csak a felső rész van meg, azaz csak az Algyői Formáció. (2. tézis).

Az elkészített agyagosság-effektív porozitás cross-plotok (36. ábra) azt mutatták, hogy 40-55% a maximális agyagosság értéke a szén-dioxid telepeket tartalmazó Endrődi Formációban. 55% agyagosság alatt az agyagosság csökkenésével lineárisan nő az effektív porozitás. Ebből arra a következtetésre jutottam, hogy a formációt diszperz agyagosság jellemzi (3. tézis), amit a Thomas-Stieber féle cross-plot (38. ábra) és a sűrűség – neutron porozitás cross-plot (39. ábra) is alátámaszt. A sűrűség – neutron porozitás cross-plot alapján a formációt a diszperz agyagosság mellett strukturális agyagosság is jellemzi. A megállapítás után a területről vett magokból készült csiszolatok és a pásztázó elektronmikroszkóp képe (40. ábra és 41. ábra) is megerősítették ezt a megállapítást.

Neutron porozitás és sűrűség szelvények segítségével, azok adataiból illetve megfelelő szolnoki területről származó mélyfúrás-geofizikai szelvények analógiája alapján megállapítottam, hogy a területen az alsó pannóniai képződmények a kompakt állapotukból megítélve a jelenleginél jóval nagyobb mélységben kellett, hogy tartózkodjanak (4. tézis). Először is az általam Szolnoki Formációnak értelmezett szakaszra jellemző porozitás kisebb volt, mint a kompaktos terend alapján várható volt. Ekkora porozitással, a mintegy 600 méterrel mélyebben elhelyezkedő vagy az ekkora mélységet megjárt egységek, formációk rendelkeznek. A 39. ábra M-40 fúrás sűrűség – neutron porozitás cross-plotja alapján a fúrásban az Endrődi Formáció totál porozitása kb. 10 %, ami mintegy 2000 méteres mélységre jellemző, de a képződmény jelenleg ~1400 méter mélyen helyezkedik el. Ez szintén arra utal, hogy ez a terület kiemelkedett az idők során és korábban több száz méterrel mélyebben helyezkedett el. A tézist alátámasztja a 18. ábra is, ahol ellenállás szelvényen szemléltetem, hogy az Alföld területéről származó 3 fúrás ellenállás szelvényeit 600 méterrel magasabbra helyezve, azok a Répcelaki fúrások lefutásához hasonló képet adnak. Így például a Szolnoki Formáció a két területen teljesen azonos mélység-szakaszra került.

Mivel Répcelak területéről lényegesen több információ állt rendelkezésre így e terület részletesebb elemzése történt meg. A legnagyobb és legjelentősebb szén-dioxidos telep (Ap II.) és a felette elhelyezkedő szintén szén-dioxidos telep (Ap III.) vizsgálata során

megszerkesztettem a fent említett térképek mellett a két telep közti agyagos réteg permeabilitás eloszlás térképét is.

Kőrössy (1965) az alsó pannóniai réteg igen kis vastagságát a prepontusi erózióval magyarázza a Kisalföldön, így ennek hatására véleménye szerint hiányzik az alsó pannóniai összlet alsó része. A meglévő harmadik alsó pannóniai fejlődéstörténeti szakasz idején képződött szint 150-200 m vastag agyagmárga, alárendelten néhány homokos betelepüléssel. A vizsgálataim alapján az Ap II. – ami a legjelentősebb szén-dioxidos telep – és a felette elhelyezkedő Ap-III. telep vastagsága és egyéb paramétereik alapján megállapítható volt, hogy a terület története során történt egy eróziós esemény, ami érintette az Ap III. telepet (68. ábra). Ezzel magyarázható, hogy fordított a vastagság viszonya (67. ábra) az Ap II. és Ap III. telepnek (5. tézis). Míg az Ap II. telep É-D-i lefutású szelvényét nézve a széleken vékony, a középső részen pedig vastagabb kifejlődésű, addig az Ap III. telep vastagság szempontjából pontosan ellenkező kifejlődésű. Ezek alapján megállapítottam, hogy bár történt eróziós esemény a területen, de nem hiányzik az első kettő alsó pannóniai fejlődéstörténeti szakasz, tehát a területen, mind az Algyői, mind a Szolnoki, mind pedig Endródi Formáció megtalálható. A fejlődéstörténet során ugyan bekövetkezett eróziós esemény, de az nem volt olyan jelentős, mint azt korábban feltételezték. A 4. és 5. tézisek alapján megállapítható, hogy az alsó pannóniai összlet a jelenlegi helyzetébe vertikális kiemelkedés útján juthatott, amely újabb bizonyítéka lehet a Ny-Dunántúl kompressziós kiemelkedésére. Ezt úgy értelmezem, hogy a jelenlegi preannon medence aljzat domborzata nem eltemetett domborzat, hanem a medence üledékek lerakódása közben alakult ki differenciális süllyedéssel illetve a kompressziós fázisban emelkedéssel.

### ***Tézisek:***

1) Kidolgoztam egy olyan kiértékelési módszert, mely segítségével egyszerű, alapszelvényekből (ellenállás, SP) származtatott adatok felhasználásával elkészített ellenállás agyagosság- trend effektív porozitás és ellenállás agyagosság- permeabilitás „cross-plot”- ok segítségével objektíven szétválaszthatóvá váltak az egyes üledékes formációk. A különböző formációk jól elkülönülő, fúrásonként egyértelműen azonosítható pontfelhőket alkotnak a „cross-plot”-okon. Ezek segítségével így a formációhatár kijelölés helyessége is ellenőrizhető. A formációk jól elkülöníthetőek a fajlagos ellenállás hisztogramokon is.



A formációk nemcsak a karotázsgörbék lefutásában, hanem a fizikai paraméterek hisztogramjában (fajlagos ellenállás) és a mért illetve származtatott fizikai paraméterek egymás közti kapcsolatában (cross-plotok) is különböznek egymástól.

2) Megállapítottam, a Mihályi-Répcelak területen a mélyfúrás-geofizikai (látszólagos fajlagos elektromos ellenállás, természetes potenciál és természetes gamma) szelvények alapján történt formáció kijelölés eredményeként, hogy az alsó pannóniai formációk, azaz az Endrődi, Szolnoki és Algyői Formációk jelen vannak a területen. Felettük a már felső pannóniai Újfalui Formáció még megtalálható, de a Zagyvai és Nagyalföldi Formáció hiányzik a területen, ami a medencefejlődés utolsó fázisában kompresszió hatására bekövetkezett emelkedés okozta erózió következménye lehet.

3) Kimutattam ellenállás, SP (természetes potenciál), neutron porozitás és sűrűség szelvények segítségével, hogy a Mihályi-Répcelak területen a szén-dioxidot tároló Endrődi Formációt diszperz és strukturális agyagosság egyaránt jellemzi, amit a későbbiekben fúrómagokból készített csiszolatok is alátámasztottak. A diszperz és strukturális agyagosság nagy aránya (<50%) mellett ez a formáció fluidum tárolóként nem viselkedhetne. Ez arra utal, hogy a működőképes, azaz a fluidumok áramlását és tárolását is lehetővé tévő porozitás nagyon nagymértékben másodlagos, amit a nyugatról keletre történő szén-dioxid migráció alakíthatott ki.

4) Megállapítottam, hogy a területen a Szolnoki Formációként azonosított képződmény a vizsgált terület fejlődéstörténetének korábbi szakaszában, a jelenleginél mintegy 600 méterrel nagyobb mélységet is megjárta. A megállapításomat a következőkre alapozom: 1) a neutron porozitás és sűrűség adatokból számolt totál porozitás (~15%) a Nagyalföldre jellemző trendet alapul véve 600 méterrel nagyobb mélységnek felelt meg. 2) Ezt alátámasztotta, hogy a szolnoki területről származó mélyfúrás-geofizikai szelvényeken kijelölt Szolnoki Formáció mélysége valóban körülbelül ennyivel (kb. 600 m-rel) nagyobb, illetve az elektromos görbe alakjai nagyon hasonlóak a két területen. 3) Ugyanezt támasztják alá az ellenállás és SP szelvényekből kiszámolt effektív porozitás értékek és a porozitás mélység szerinti változása, amelyek megegyeznek a Nagyalföldön található Szolnoki Formáció átlagos effektív porozitással, és annak mélység szerinti lefutásával, holott a nagyalföldi területen a formáció mintegy 600 m-rel mélyebben helyezkedik el.

5) Az Ap II. és III. telepnél a vastagság területi eloszlása és egyéb paraméterek (porozitás, permeabilitás) alapján megállapítottam, hogy a terület története során lejátszódott egy eróziós esemény, amely az Ap III. telepet érintette. Ez magyarázatul szolgál arra, hogy míg Ap II. telep É-D-i lefutású szelvény alapján a szélek felé kivékonyodik, addig az Ap III. telep vastagság viszonyai éppen fordítottan alakultak, azaz „lefejezett” telep képét mutatja.

## 9. Köszönetnyilvánítás

Ez úton is szeretnék köszönetet mondani tudományos témavezetőimnek *Dr. Falus Györgynek* és *Dr. Bódi Tibornak* kreatív tanácsaikért, pozitív kritikai észrevételeikért és nem utolsósorban türelmükért.

Köszönetet mondok még *Dr. Zilahi-Sebess László*, hihetetlen mértékű segítő támogatásáért és mentori útmutatásaiért, Kutassy Lászlóné, Lendvay Pál, Vlasics Péter munkatársaimnak és Király Csilla Ph.D. hallgatónak, akik önzetlen segítségükkel hozzájárultak munkám eredményességéhez.

Továbbá köszönetet mondok Dr. Fancsik Tamásnak és a Magyar Földtani és Geofizikai Intézetének a folyamatos támogatásáért és segítségért, amit a dolgozatom megírásához nyújtottak.

Végül, de nem utolsó sorban szeretnék köszönetet mondani a Linde Gáz Magyarország Zrt.-nek, hogy engedélyezték a Mihályi-Répcelak területéről származó anyagokba a betekintést így támogatva a doktori dolgozatom elkészültét.

## 10. Felhasznált irodalom

1. Aeschbach-Hertig, W., Kipfer, R., Hofer, M., Imboden, D.M., Wieler, R., Signer, P., 1996. Quantification of gas fluxes from the subcontinental mantle: the example of Laacher See, a maar lake in Germany. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 60 (No. I), 31–41.
2. Aigbedion I. 2007. A Case Study of Permeability Modeling and Reservoir Performance in the Absence of Core Data in the Niger Delta, Nigeria. *Journal of Applied Sciences* 7 (5), 772-776
3. Aigbedion I. 2004. Petrophysical Analysis of Some Onshore Fields in the Niger Delta, Nigeria using Geophysical Well Logging, pp: 20-60.
4. Ádám O., Haas J., Nemesi L., Redelerné Tátrai M., Ráner G. & Varga G. 1984. Földtani alapszelvények geofizikai vizsgálata. *MÁELGI 1983. évi Jelentése* 37–44.
5. Árkai P., Balogh K. 1989. The age of metamorphism of East Alpine type basement, Little Plane, W-Hungary: K-Ar dating of K-white micas from very low- and low-grade metamorphic rocks. *Acta Geologica Hungarica* 32: 131-147.
6. Balan, B., Mohaghegh, S., Ameri, S., 1995. State-Of-The-Art in Permeability Determination From Well Log Data: Part 1- A Comparative Study, Model Development. SPE 30978 Eastern Regional Conference, Morgan Town, West Virginia
7. Balázs E., 1971. A Kisalföld medencealjzatának ópaleozóos kőzetei, Magyar Földtani Intézet Évi jelentése az 1969. évről
8. Balázs L., 2013. Kőzetfizika. Egyetemi jegyzet, ELTE Természettudományi Kar, Geofizikai és Űrtudományi Tanszék
9. Beaubien S. E., Ciotoli G., Coombs P., Dictor M.C., Krüger M., Lombardi S., Pearce J.M., West J.M., 2008. The impact of a naturally occurring CO<sub>2</sub> gas vent on the shallow ecosystem and soil chemistry of a Mediterranean pasture (Latera, Italy) *International Journal of Greenhouse gas Control* 2, 373-387
10. Bock, J., 1984. *Analysing Your Logs, Vol. II: Advanced Open Hole Log Interpretation*. Petromedia, Tyler, 173 pp
11. Bódi T., 2014 CO<sub>2</sub> gas storage as a new alternative to extend the cycle of depleted oil and gas fields. SHECHTMAN INTERNATIONAL SYMPOSIUM, 29 jun -4 july 2014 Cancun, Mexico

12. Budai T., Konrád Gy., 2005. Magyarország Földtana
13. Cappa J. and Rice D., 1995. Carbon dioxide in Mississippian Rocks of the Paradox Basin and adjacent areas, Colorado, Utah, New Mexico, and Arizona. U.S. Geological Survey Bulletin, 2000-H.
14. Clayton J. L., Spencer C. W. Koncz I. and Szalay A., 1990. Origin and migration of hydrocarbon gases and carbon dioxide, Békés Basin, south eastern Hungary. Organic geochemistry, Vol. 15, No. 3, pp. 233-247.
15. Coates G.R., Dumanior, 1981. A New Approach to Improve Log Derived Permeability. The Log Analyst, pp:17.
16. Cornides I., Takaoka N., Nagao K. and Matsuo S. 1986. Contribution of mantle-derived gases to subsurface gases in a tectonically quiescent area, the Carpathian Basin. Hungary, revealed by noble gas measurements. Geochemical Journal, 20, 119-125.
17. Császár G., 2005. Magyarország és környezetének regionális földtana. I. Paleozoikum- paleogén. ELTE Eötvös Kiadó, Budapest, pp.: 328
18. Csókás J., 1993. Mélyfúrás geofizika. Kézirat, Nemzeti Tankönyvkiadó
19. Csókás, J., 1986: Determination of filtration coefficient of water-bearing sand layers by well logging, Geophysical Transactions vol. 32. NO. 1.
20. Falus Gy., **Szamosfalvi, Á.**, Jencsel, H., Hámor-Vidó, M., Török, K.. 2011. A hazai földtani szerkezetek felmérése a szén-dioxid-visszasajtolás szempontjából. Magyar Tudomány.2011.4, 444-449
21. Falus, Gy., **Szamosfalvi, Á.**, Király, Cs.: Long-term storage and leakage: natural analogues in Hungary. 2nd CGS Europe Knowledge Sharing Workshop on „Natural Analogues”, Germany, 2011.
22. Ferenczy I., Kiss B., 1993. Szénhidrogén-tárolók mélyfúrás geofizikai értelmezése. Kézirat, Nemzeti Tankönyvkiadó
23. Fertl, W. H., Chilingarian, G.. and Yen, T. F., 1982. Use of natural gamma ray spectral logging in evaluation of clay minerals. Energy Sources, 6 (4): 335-360.
24. Fülöp J., et al. 1989. Bevezetés Magyarország geológiájába, Akadémia Kiadó
25. Fülöp J., 1990. Magyarország geológiája. Paleozoikum I. Földtani Intézet kiadványa, 325 p

26. Gal F., Michel B., Gilles B., Frédéric J., Karine M., 2011 CO<sub>2</sub> escapes into the Laacher See region, East Eifel, Germany: Application of natural analogue onshore and offshore geochemical monitoring. *International Journal of Greenhouse Gas Control* 5, 1099-1118
27. Gilfillian S., Wilkinson M., Haszeldine R. S., Shipton Z. K., Nelson S. T., Poreda R. J., 2011. He and Ne as tracers of natural CO<sub>2</sub> mitigation up a fault from a deep reservoir. *International Journal of Greenhouse Gas Control* 5, 1507-1516
28. Glover P., Introduction to Petrophysics and Formation Evaluation. MSc Course. Université Laval, 2013.  
[http://www.academia.edu/4874396/Petrophysics\\_MSc\\_Course\\_Notes\\_Permeability](http://www.academia.edu/4874396/Petrophysics_MSc_Course_Notes_Permeability)
29. Haas J., 2001. *Geology of Hungary*. ELTE Eötvös Kiadó, Budapest, 317 p.
30. Holloway S., Pearce J. M., Ohsumi T., Hards V.L., 2005. A review of Natural CO<sub>2</sub> Occurrences and their Relevance to CO<sub>2</sub> storage. Sustainable Energy and Geophysics Programme, External Report CR/05/104
31. Horváth F. 1993. Towards a mechanical model for the evolution of the Pannonian Basin. — *Tectonophysics* 226, 333–357.
32. IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007
33. Juhász Gy. 1998. A magyarországi neogén mélymedencék pannóniai képződményeinek litosztratiográfiája. In: Bérczi István – Jámor Áron (szerk.): Magyarország geológiai képződményeinek rétegtana. Magyar Olajipari Részvénytársaság–Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest, 469–484.
34. Juhász Gy. 1992. A pannóniai s. l. formációk térképezése az Alföldön: elterjedés, fácies és üledékes környezet. (Pannonian S.L. Lithostratigraphic Units in The Hungarian Plain: Distribution, Facies And Sedimentary Environments). *Földtani Közlemény/Acta Geologica Hungarica*. 122, 2–4, 133–165.
35. Kane J. A., 2003. Use of Resistivity Logs as a Tool for Estimating Interparticle Porosity. BEG
36. Király, Cs., **Szamosfalvi, Á.**, Falus, Gy., Szabó, Cs., Sendula E. Ipari eredetű szén-dioxid beszajtolásának várható fizikai és kémiai hatásai a porusfluidumra és a tároló kőzetre a Mihályi-Répcelak természetes CO<sub>2</sub>-előfordulás vizsgálatára alapján. *Magyar Geofizika*, 2013, 54, 43-52
37. Kertai, G., 1972. Chemical Composition and Generation of Oil and Gas. Akadémiai Kiadó, Budapest, Hungary, 112 pp (in Hungarian).

38. Koncz, I., 1983. The stable carbon isotope composition of the hydrocarbon and carbon dioxide components of Hungarian natural gases. *Acta Mineralogica Petrographica Szeged, Hungary* 26, 33–49
39. Koncz, I., Etler, O., 1994. Origin of oil and gas occurrences in the Pliocene sediments of the Pannonian Basin. *Organic Geochemistry* 21, 1069–1080.
40. Kőrössy L., 1958. Adatok a Kisalföld mélyföldtanához. *Földtani Közlöny* 88, 291–298.
41. Kőrössy L., 1965. Nyugat-Magyarországi medencék rétegtani és szerkezetani felépítése. *Földtani Közlöny* 95, 22–36.
42. Kőrössy L., 1981. Regional geological profiles in the Pannonian basin. *Earth Evol. Sci.* 3–4, 223–231.
43. Kőrössy L., 1987. A Kisalföld kőolaj- és földgázkutatás földtani eredményei. *Általános Földtani Szemle* 22, 99-174
44. Kőrössy, L., 1989. Hydrocarbon geology of the Drava Basin, Hungary. *General Geological Review Journal of the Hungarian Geological Society* 24, 3-121
45. Kőrössy, L., 1990. A Délkelet-Dunántúl kőolaj- és földgázkutatásának földtani eredményei. [Hydrocarbon geology of Transdanubia, Hungary.]. *Ált. Földt. Szle.* 25, 3–53
46. Kőrössy, L., 2005. Hydrocarbon geology of the south-eastern Great Plain, Hungary. *General Geological Review Journal of the Hungarian Geological Societ* 29, 41-132.
47. Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia 2014 – 2025, kitekintéssel 2050-re. 2013. Hazai Dekarbonizációs utiterv. Nemzetközi Alkalmazkodási Stratégia.
48. Mészáros F., Zilahi-Sebess L., 2001. Compaction of sediments with great thickness in the Pannonian Basin. *Geophysical Transaction* 2001 Vol. 44. No. 1. pp. 21-48
49. Mészáros L., Dallos E., Vágó L., Czupi J., Paulik D., Darabos A., Marton T., Simán Gy, Ferenczy Z. 1979. A Mihályi kutatási terület lehatároló fázisú zárójelentése, a szén-dioxid- és a „nem égethető” kevert gáztelepek vagyonszámítása.
50. Pauwels H., Gaus I., le Nindre Y. M., Pearce J., Czernichowski-Lauriol I., 2007. Chemistry of fluids from a natural analogue for a geological CO<sub>2</sub> storage site (Montmiral, France): Lesson for CO<sub>2</sub>-water-rock interaction assessment and monitoring. *Applied Geochemistry* 22, 2817-2833
51. Pápa, A., Ráner, G., Tátrai, M. & Varga, G. 1990. Seismic and magnetotelluric investigation on a network of base lines. *Acta Geod. Geophys. Mont. Hung.* 25, 309–323.

52. Pápay J. A CO<sub>2</sub> összegyűjtés és földtani szerkezetekben történő tárolás rezervoár és geo mérnöki irányelvei. 2007
53. Pearce J., Czernichowski-Lauriol I., Lombardi S., Brune S., Nádor A., Baker J., Pauwels H., Hatziyannis G., Beaubien S., faber S., 2004 A review of natural CO<sub>2</sub> accumulations in Europe as analogues for geological sequestration I
54. Pethő G., Vass P., 2009. Geofizika alapjai. Elektronikus jegyzet pp. 1-331.  
[http://digitalisegyetem.hu/elearning/contents.php?subject\\_ID=MFGFT6001T](http://digitalisegyetem.hu/elearning/contents.php?subject_ID=MFGFT6001T)
55. Rauzi, S.L., 1999. Carbon dioxide in the St. Johns–Springerville Area, Apache County, Arizona. Arizona Geological Survey, Open-File Report 99-2.
56. Salazar J. M., Torres-Verdin C., Sigal R., 2005. Assessment of Permeability from Well Logs Based on Core Calibration and Simulation of Mud-Filtrate Inversion. *Petrophysics*, Vol. 46., NO. 6., P. 434-451.
57. Serra, O., 1985. *Fundamentals of well-log interpretation*. Elsevier
58. Scheffer V. 1958. Adatok a Kárpát medencék regionális geofizikájához. *Geof. Közlemények* 9., pp. 1-2.
59. Sherwood Lollar B., Ballentine C. J. and O’Nions R. K. 1997. The fate of mantle-derived carbon in a continental sedimentary basin: Integration of C/He relationships and stable isotope signatures. *Geochim. Cosmochim. Acta*, Vol. 61, No. 11, pp. 2295-2307. 5279-5290.
60. Sherwood Lollar B., O’Nions R. K., and Ballentine C. J. 1994. Helium and neon isotope systematics in carbon dioxide-rich and hydrocarbon-rich gas reservoirs. *Geochim. Cosmochim. Acta* 58, 5279-5290.
61. Span and Wagner A new equation of state for carbon dioxide covering the fluid region from the triple-point temperature to 1100K at pressures up to 800MPa. *Journal of Physical and Chemical Reference Data*. v25 i6. 1509-1596. 1996.
62. Stevens S. H., Pearce J. M., Rigg A. J., 2001. *Natural Analogs for Geologic Storage of CO<sub>2</sub>: An Integrated Global Research Program*
63. Stevens, S.H., Fox, C., White, T., Melzer, S., 2006. *Natural CO<sub>2</sub> analogs for Carbon Sequestration. Final Report for USDOE*.
64. **Szamosfalvi, Á.**, Falus, Gy.: Re-evaluation method of „old” well-logs to gain accurate petrophysical parameters in a natural CO<sub>2</sub> reservoir. *Ifjú Szakemberek Ankétja*, 2012 Tatabánya



65. **Szamosfalvi, Á.**, Falus, Gy.: From storage potential to storage capacity: re-evaluation method of „old” well-logs to gain accurate petrophysical parameters in a promising CO<sub>2</sub> storage formation. Third EAGE CO<sub>2</sub> Geological Storage Workshop Understanding the Behavior of CO<sub>2</sub> in Geologic Storage Reservoirs, March 26-27, 2012, Edinburgh
66. **Szamosfalvi, Á.**, The first result of well-log re-interpretation of a Hungarian natural CO<sub>2</sub> reservoir. The Meeting Of Young Geoscientists, 2013, Békéscsaba
67. Tari G., Báldi T., Báldi-Beke M., 1992. Paieogene retroarc flexural basin beneath the Neogene Pannonian Basin: a geodynamic model. *Tectonophysics*, 226 (1993) 433-455
68. 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
69. Thomas, E. C., and Stieber, S. J., 1975, The distribution of shale in sandstones and its effects upon porosity, paper T in 16th Annual Logging Symposium Transactions: Society of Professional Well Log Analysts.
70. Timur A., 1968. An Investigation of permeability, Porosity and Residual Saturation Relationship for Sandstone reservoirs. *Log Analyst*, 9;8.
71. Tixier M.P., 1949. Evaluation of Permeability From Electric Log Resistivity Gradient. *Earth Sci. J.*, 2; 113.
72. Vető et al., 2003. Geochemistry of CO<sub>2</sub> –rich gases in te Pannonian Basin with emphasis on the Mihályi-Répcelak gas fields and the Mátraderecske gas seepage – thermal water system. NASCENT Project, Manuscript.
73. Western Atlas Wireline Services, Western Atlas International 1985. Log Interpretation Charts. Atlas Wireline Services, Western Atlas International
74. Xu P., Yu B., 2008. Developing a new form of permeability and Kozeny-Carman constant for homogeneous porous media by means of fractal geometry. *Advences in Water Resources* 312, 74-81
75. Zilahi-Sebess L., 2013. Országos geotermikus potenciál-felmérés eredményei. Új utak a földtudományban - 2013 Geotermikus rezervoárok.
76. Zilahi-Sebess L., 2009. A porozitás és permeabilitás, valamint közetsűrűség geofizikai úton történő becslésének módszerei és eszközei. State-of art tanulmány.
77. Zilahi-Sebess L., 2008. Petrofizikai módszerfejlesztés 2008. ELGI éves jelentés

78. Zilahi-Sebess L., 2005. Mélyfúrás-geofizikai mérések értelmezése a Mórágyi rög területén. PhD doktori értekezés.

# Táblázatok

		átlag	intervallum
<b>C<sub>1</sub></b>	tf%	2,85	0,59-9,37
<b>C<sub>2+</sub></b>	tf%	0,45	0-2,8
<b>CO<sub>2</sub></b>	tf%	95,39	86,95-98,9
<b>N<sub>2</sub></b>	tf%	1,31	0,13-3,61

1. táblázat Mihályi-Répcelak szén-dioxid telepek átlagos gázösszetétele (Mészáros et al. 1979)

Medencealjzati CO <sub>2</sub> -telepek	Tárolókőzet	Teleptípus	Vízáramlás, vízutánpótlás	Harántoló fúrások
<b>Mihályi</b>	repedezett kvarcit, fillit, alsó-pannóniai konglomerátum	halmaztelep	gáztest határát minden irányban a gáz-víz határ adja	M-1, M-21, M-25, M-38
<b>Répcelak</b>	repedezett mészfilit	halmaztelep	gáztestet gáz-víz határ övezi, kivéve délen; a DNY-i irányt kivéve a telep jó vízutánpótlással rendelkezik	M-14, M-26

2. táblázat Medencealjzati CO<sub>2</sub>-telepek alapinformációinak összefoglalása

Miocén CO <sub>2</sub> -telepek	Tárolókőzet	Teleptípus	Vízáramlás, vízutánpótlás
<b>A telep</b>	finomszemcsés mészhomokkő, ikrás-likacsos mészkő	sztratigráfiailag árnyékolt rétegtelep	
<b>B telep</b>	aprókavicsos homokkő	sztratigráfiailag árnyékolt rétegtelep	Kis kiterjedésű víztest tartozhat ide mely aktivitása változó

3. táblázat Miocén CO<sub>2</sub>-telepek alapinformációinak összefoglalása

Alsó-pannóniai CO <sub>2</sub> -telepek	Tárolókőzet	Teleptípus	Vízáramlás, vízutánpótlás	Harántoló fúrások
Mihályi_I.sz	Agyagmárga-csíkos finom- és aprószemcsés homokkő	litológiailag árnyékolt rétegtelep	Vízutánpótlása egyoldalú, csak ÉNY felől várható utánáramlás	M29, M-33, M-25
Mihályi_II/A.sz	karbonátos kötőanyagú, finomszemcsés homokkő	litológiailag árnyékolt rétegtelep	víztestről nincs információ	M-21, M-29, M-33, M-35
Mihályi_II/B.sz	finomszemcsés, agyagos homok	litológiailag árnyékolt rétegtelep	ismertsége alacsony, valószínűleg teljes mértékben kimerüléssel	M-9
Répcelak_I.sz	karbonátos kötőanyagú, aleurit csíkos, finomszemcsés homokkő	litológiailag árnyékolt rétegtelep	A víztestről kevés az adat	M-5/b, M-6, M-19, M-30
Répcelak_II.sz (LEGNAGYOBB gázvagyonnal rendelkező, LEGISMERTEBB gáztelep)	helyenként gyengén rétegzett, vékony aleurit rétegekkel tagolt, karbonátos kötőanyagú, finomszemcsés homokkő	litológiailag árnyékolt rétegtelep	víztest ismerete nem kielégítő, vízutánpótlás kizárólag nyugatról várható	M-5/b, M-6, M-14, M-18, M-19, M-23, M-24, M-26, M-30, M-32, M-34, M-37,
Répcelak_III.sz	aleurit csíkos, agyagos finomszemcsés homokkő	litológiailag árnyékolt rétegtelep	víztest aktivitása alacsony, csak korlátozott vízutánpótlás	M-5/b, M-6, M-7, M-14, M-18, M-19, M-23, M-24, M-26, M-27, M-30, M-32, M-34, M-37,
Répcelak_IV.sz	finomszemcsés homokkő	litológiailag árnyékolt rétegtelep	vízutánáramlás egyoldalú, intenzitása valószínűleg gyenge	M-5/b, M-6, M-7, M-12, M-16, M-18, M-19, M-23, M-30, M-32, M-34, M-37 (M-18, M-19 impermeábilis)
Répcelak_V.sz	agyagos homokkő	litológiailag árnyékolt rétegtelep	vízutánpótlást csak nyugatról kap, ami jónak mondható	M-8, M-12, M-15, M-19, M-23, M-30, M-32, M-34, M-37
Répcelak_VI.sz	változóan agyagos, aleurolitcsíkokkal-padokkal tagolt, finomszemcsés homokkő	litológiailag árnyékolt rétegtelep	vízutánpótlást csak nyugatról kap, ami jónak mondható	M-7, M-8, M-12, M-19, M-30, M-32, M-37
Répcelak_VII.sz	agyagos, aleurolit padokkal tagolt, finomszemcsés homokkő	litológiailag árnyékolt rétegtelep	Víztestről információ nincsen	M-12, M-16, M-18, M-19, M-23, M-30, M-32, M-37

4. táblázat Alsó pannóniai CO<sub>2</sub>-telepek alapinformációinak összefoglalása

Felső pannóniai CO <sub>2</sub> -telepek	Tárolókőzet	Teleptípus	Vízáramlás, vízutánpótlás	Harántoló fúrások
Mihályi_I.sz	helyenként agyagos, aleurolit csíkokkal tagolt finomszemcsés homokkő	boltozatos rétegtelep	kevés adat van, de vízutánáramlásnak nagy szerepe lehet	M-21, M-25, M-38
Mihályi_II.sz	agyagos, finomszemcsés homokkő	boltozatos rétegtelep	tároló réteg agyagosság, vékonysága miatt a telep korlátozott vízutánpótlással rendelkezhet	M-21, M-25, M-38
Mihályi_III.sz	karbonátos kötőanyagú, aleurolit padokkal tagolt, apró és finomszemcsés homokkő	boltozatos rétegtelep	nagy víztesttel rendelkezik, a vízutánáramlás minden irányból kedvező	M-21, M-25
Mihályi_IV.sz	aleurolit padokkal tagolt, aprószemcsés agyagos homokkő	boltozatos rétegtelep	jó beáramlás várható a víztestből	Nincs megadva
Mihályi_V.sz	aleurolit padokkal tagolt, aprószemcsés homokkő	boltozatos rétegtelep	Nincs információ	M-21, M-25, M-38
Mihályi_VI.sz	aleurolit padokkal tagolt, aprószemcsés homokkő	boltozatos rétegtelep	Nincs információ	M-21, M-25
Mihályi_VIIb.sz	csillámos, aprószemcsés homokkő	boltozatos rétegtelep	vízutánpótlása közepes	M-21, M-25, M-38
Mihályi_VIIa.sz	helyenként agyagos, finomszemcsés homokkő	boltozatos rétegtelep	Nincs információ	M-21, M-25, M-38
Mihályi_VIII.sz	agyagos, finomszemcsés homokkő	boltozatos rétegtelep	Nincs információ	M-21
Mihályi_IX.sz	finomszemcsés homokkő	rétegtelep	Nincs információ	M-21
Mihályi_X.sz	finomszemcsés homokkő	rétegtelep	Nincs információ	M-21
Répcelak_I.sz	finomszemcsés homokkő	rétegtelep	Nincs információ	M-26

5. táblázat Felső pannóniai CO<sub>2</sub>-telepek alapinformációinak összefoglalása

Felső-pannóniai „nem éghető” kevertgáztelepek	Tárolókőzet	Teleptípus	Vízáramlás, vízutánpótlás	Harántoló fúrások
I.sz kevertgáztelep	finomszemcsés, agyagos homokkő	kőzettanilag árnyékolt rétegtelep	Nincs információ	MF-1
II.sz kevertgáztelep	agyagmárga-padokkal, aleurolit csíkokkal tagolt finomszemcsés homokkő	kőzettanilag árnyékolt rétegtelep	Nincs információ	MF-1, M-13

6. táblázat Felső pannóniai „nem éghető” kevertgáztelepek alapinformációinak összefoglalása

NÉV	EGYENLET	PARAMÉTEREK
<b>Wyllie és Rose egyenlet I.</b>	$k = \left( \frac{100 \cdot \Phi^{2.25}}{S_{wi}} \right)^2$	k= permeabilitás (mD) φ=porozitás S <sub>wi</sub> = mozgásképtelen víztelítettség
<b>Wyllie és Rose egyenlet II.</b>	$k = \left( \frac{100 \cdot \Phi^2 \cdot [1 - S_{wi}]}{S_{wi}} \right)^2$	k= permeabilitás (mD) φ= porozitás S <sub>wi</sub> =mozgásképtelen víztelítettség
<b>Timur egyenlet</b>	$k = \frac{0.136 \cdot \Phi^{4.4}}{S_{wi}^2}$	k= permeabilitás (mD) φ= porozitás S <sub>wi</sub> = mozgásképtelen víztelítettség (%)
<b>Morris és Biggs egyenlet</b>	$k = \left( \frac{c \cdot \Phi^3}{S_{wi}^2} \right)$	k= permeabilitás (mD) φ= porozitás S <sub>wi</sub> = mozgásképtelen víztelítettség c=konstans, olaj= 250; gáz=80
<b>Kozeny-Carman egyenlet</b>	$k = \frac{c \cdot d^2 \cdot \Phi^3}{(1 - \Phi)^2}$	k= permeabilitás (mD) φ= porozitás c=konstans d= medián szemcse átmérő (mikron)
<b>Berg egyenlet</b>	$k = 8.4 \cdot 10^{-4} \cdot d^2 \cdot \Phi^{5.1}$	k= permeabilitás (mD) φ= porozitás d= medián szemcse átmérő (mikron)
<b>Van Baaren egyenlet</b>	$k = 10 \cdot D_d^2 \cdot \Phi^{(3.64+m)} \cdot C^{-3.64}$	k= permeabilitás (mD) φ= porozitás D <sub>d</sub> =modal szemcse méret (mikron) C= sorting index m= Archie cementációs faktor

7. táblázat Néhány permeabilitás becslési módszer (Glover 2013 alapján)

Fúrások	Szelvények	CO <sub>2</sub>	Nem éghető gáz	Éghető gáz	Hely
M-6	R, SP, DL, RM, cement	x			Répcelak
M-8	R, SP, ML, cement				Répcelak
M-9	R, SP, DL, RM, cement	x			Mihályi
M-12	R, SP, ML, cement	x			Répcelak
M-13	R, SP, ML, cement, GR,NG	x	x		Répcelak
M-14	R, SP, DL, cement	x			Répcelak
M-15	R, SP, DL, ML, cement				Répcelak
M-19	R, SP, RM, GR, NG, ML, cement	x		x	Répcelak
M-20	R, SP, DL, RM, cement				Répcelak
M-21	R, SP, DL, RM, GR ,NG	x			Mihályi
M-24	R, SP, DL, cement, GR, NG	x			Répcelak
M-25	R, SP, DL, RM, cement, GR,NG	x			Mihályi
M-26	R, SP, DL, RM, cement	x			Répcelak
M-27	R, SP, DL, RM, cement				Répcelak
M-29	R, SP, RM, cement	x			Mihályi
M-30	R, SP, DL, RM, GR,GG,NG, MLL	x			Répcelak
M-31	R, SP, cement				Mihályi
M-32	R, SP, DL, RM, GR,GG, NG, MLL, cement	x			Répcelak
M-33	R, SP, DL, RM, GR, NG, cement	x			Mihályi
M-34	R, SP, DL, RM, GR,GG,NG, MLL, cement				Mihályi
M-35	R, SP, RM, MLL, cement	x			Mihályi
M-36	R, SP, DL, RM, cement, MLL, LL				Mihályi
M-37	R, SP, DL, RM, cement, GR,NG,GG,MLL,LL	x			Répcelak
M-38	R, SP, DL, RM, GR,GG,NG	x			Mihályi
M-39	R, SP, DL, RM, cement, GR,ML,MLL,DEN	x			Mihályi
M-40	R, SP, DL, RM, cement, GR,LL,MLL,ATL,DEN	x			Répcelak
M-41	R, SP				Répcelak
MF-1	R, SP, DL, RM, GR,NG, cement		x		Répcelak
MF-2	R, SP, DL, RM, GR, NG, cement			x	Répcelak
MF-3	R, SP, DL, RM, GR, NG, cement			x	Répcelak

8. táblázat A beszkenntelt és digitalizált fúrások és a fúrásokhoz kapcsolódó szelvények.  
(R= ellenállás, SP=természetes potenciál, DL=lyukbőség, GR=természetes gamma, LL=laterolog,  
MLL=mikrolaterolog, NG=neutron gamma, DEN=sűrűség, ML=mikrolog, RM=iszapellenállás, GG=gamma-  
gamma)



	TELEPÜLÉS	FÚRÁS_NEV	X_KOORD	Y_KOORD	TALP_MELYSÉG
M-6	Répcelak	M.6	232627,7	496092,4	1474,5
M-8	Répcelak	M.8	227694	495398	1474,5
M-12	Répcelak	M.12	226674	493210	1017
M-13	Répcelak	M.13	230281,2	495830,8	1483,5
M-14	Répcelak	M.14	234016,9	498160,1	1438,2
M-15	Répcelak	M.15	229060,4	497439,7	1795
M-19	Répcelak	M-19	228554,8	494175,3	1574,5
M-20	Répcelak	M.21	231227,2	498004,6	1586
M-24	Répcelak	M.24	231741,8	495590,7	1461,5
M-26	Répcelak	M.26	232632,8	497349,6	1450,5
M-27	Répcelak	M.27	235667,7	499265,8	1789,5
M-30	Mihályi	M.30	248229	493529	1456
M-32	Répcelak	M.32	229763	494655	1413
M-37	Répcelak	M.37	227648	492649,7	1566
M-40	Répcelak	M.40	231324,9	495089	1500
MF-1	Répcelak	MF.1	231487,6	496008,6	1250
MF-2	Répcelak	MF-2	227603,5	493685,1	1250
MF-3	Répcelak	MF-3	226518,2	493790,6	1203

9. táblázat Répcelaki fúrások és EOv koordinátái és talpmélysége

	TELEPÜLÉS	FÚRÁS_NEV	X_KOORD	Y_KOORD	TALP_MELYSÉG
M-9	Mihályi	M.9	243405,7	501877,9	1712
M-21	Mihályi	M.20	244527	502896	1533,5
M-25	Mihályi	M.25	243299,7	502619,4	1650
M-29	Mihályi	M.29	245866,5	502538,4	1680
M-31	Mihályi	M.31	242159,5	502206,2	1690,5
M-33	Mihályi	M.33	246847,6	502338,8	1724
M-34	Mihályi	M.34	242481	497117,8	1565
M-35	Mihályi	M.35	245055	502068	1448
M-36	Mihályi	M.36	245187,1	503650,1	1752,5
M-38	Mihályi	M.38	243827	503375,6	1650

10. táblázat Répcelaki fúrások és EOv koordinátái és talpmélysége

<b>Fúrás</b>	<b>Átlag ellenállás érték</b>
M-6	26,54
M-12	23,34
M-13	25,48
M-14	24,99
M-19	24,82
M-24	24,89
M-26	24,11
M-30	25,34
M-32	25,51
M-37	24,42
M-40	23,52
M-8	27,57
M-15	25,96
M-20	26,40
MF-1	27,00
MF-2	26,27
MF-3	25,45

11. táblázat Répcelaki fúrások teljes ellenállás szelvényéinek fúrásonkénti átlag értéke

Fúrás	Algyői_tető	Algyői_vast	Szolnoki_tető	Szolnoki_vast	Endrődi_tető	Endrődi_talp	Endrődi_vast
M-6	630,6	285,5	916,1	325,7	1241,8	1442,85	201,05
M-8	642,1	407	1049,1	195,8	1244,9	1438,6	193,7
M-12	576,6	322,4	899	227,6	1126,6	1354,3	227,7
M-13	607	319,3	926,3	243	1169,3	1396,9	227,6
M-14	670,3	250,7	921	318	1239	1420,4	181,4
M-15	675,7	397,7	1073,4	230,6	1304	1656,6	352,6
M-19	644	278,1	922,1	263	1185,1	1445,3	260,2
M-20	602,2	392,3	994,5	261,8	1256,3	1474,1	217,8
M-24	613,5	276,6	890,1	320,1	1210,2	1426,8	216,6
M-26	794,3	144	938,3	300,4	1238,7	1422,05	183,35
M-27	912,4	200,9	1113,3	231,5	1344,8	1552,6	207,8
M-30	586,6	223,4	810	364,5	1174,5	1431	256,5
M-32	625	244	869	341,3	1210,3	1452,6	242,3
M-37	575,5	345	920,5	209,5	1130	1554	424
M-40	586,2	316	902,2	280,8	1183	1461,6	278,6
MF-1	548,1	384	932,1	207,6	1139,7		
MF-2	623,1	275,9	899	211,7	1110,7		
MF-3	633,3	307,1	940,4	163,8	1104,2		

12. táblázat Répcelaki fúrások formáció határai (vast= vastagság [m], talp=fekü mélység [m], tető= tető mélység [m])

Fúrás	Szolnoki tető	Szolnoki talp	Szolnoki vast	Algyői tető	Algyői talp	Algyői vast	Endrődi tető	Endrődi talp	Endrődi vast
M-9	904,3	1333,6	429,3	663,4	904,3	240,9	1333,6	1686,3	352,7
M-21	998,8	1404,3	405,5	580,8	998,8	418	1404,3	1571,3	167
M-25	980,5	1433,3	452,8	588,4	980,5	392,1	1433,3	1610,6	177,3
M-29	1101,6	1324,1	222,5	762,1	1101,6	339,5	1324,1	1657,7	333,6
M-31	894,1	1336,8	442,7	602,1	894,1	292	1336,8	1679,8	343
M-33	1144,7	1393,6	248,9	717,1	1144,7	427,6	1393,6	1708,3	314,7
M-34	938,7	1230,7	292	710,9	938,7	227,8	1230,7	1540,15	309,45
M-35	1116,1	1409,5	293,4	791,4	1116,1	324,7	1409,5	1688	278,5
M-36	1108	1453,1	345,1	626,3	1108	481,7	1453,1	1687,1	234
M-38	940,1	1374,7	434,6	600,6	940,1	339,5	1374,7	1615,6	240,9
M-39	1053,6	1412,1	358,5		1053,6		1412,1	1585,1	173

13. táblázat Mihályi fúrások formáció határai (vast= vastagság [m], talp=fekü mélység [m], tető= tető mélység [m])

Fúrás	Endrődi_tető [m]	Endrődi_talp [m]	Permeabilitás [mD]
M-6	1241,8	1442,85	0,26
M-8	1244,9	1438,6	0,07
M-12	1126,6	1352,8	1,05
M-13	1169,3	1396,9	0,12
M-14	1230,1	1420,4	0,13
M-15	1304	1656,6	0,09
M-19	1185,1	1445,3	0,15
M-20	1256,3	1474,1	0,04
M-24	1210,2	1426,8	0,52
M-26	1239	1422,05	0,13
M-27	1344,8	1552,6	0,01
M-30	1136,7	1431	2,62
M-32	1100,5	1452,6	2,14
M-37	1130	1554	0,40
M-40	1168,4	1461,6	1,28
MF-1	1139,7	1249,9	1,28
MF-2	1110,7	1253,9	0,04
MF-3	1104,2	1204,9	0,68

14. táblázat Endrődi Formáció mélységszakaszai és permeabilitás értékei

Endrődi Formáció	Effektív Porozitás	Ellenállás homokosság	Ellenállás agyagosság	Trend effektív porozitás	Permeabilitás [mD]
RÉPCELAK					
Átlag	0,17	0,22	0,78	0,06	0,61
Súlyozott átlag	0,18	0,21	0,79	0,06	0,51
MIHÁLYI					
Átlag	0,11	0,19	0,81	0,04	0,091
Súlyozott átlag	0,11	0,20	0,80	0,04	0,084

15. táblázat A Mihályi és Répcelak területeken számolt paraméterek átlag és vastagságra súlyozott átlag eredményei az Endrődi Formációra

Fúrás	EOV_X	EOV_Y	TALP_MELYSÉG [m]	AP II_tető [m]	AP II_talp [m]	AP II_vast [m]	Ap II_tep	ApII szt [m/s]
M-6	232627,7	496092,4	1474,5	1413,7	1427,25	13,55	0,11	2,91E-08
M-14	234016,9	498160,1	1438,2	1406,4	1410	3,6	0,06	1,09E-09
M-19	228554,8	494175,3	1574,5	1424	1427,62	3,62	0,09	5,56E-09
M-24	231741,8	495590,7	1461,5	1396	1408,3	12,3	0,13	8,55E-08
M-26	232632,8	497349,6	1450,5	1406,08	1411,04	4,96	0,14	1,80E-07
M-30	227939,9	493533	1456	1400,8	1409,2	8,4	0,13	1,45E-07
M-32	229763	494655	1413	1420	1425	5	0,10	4,71E-09
M-40	231324,9	495089	1500	1411,2	1421,8	1,6	0,15	3,19E-07

16. táblázat Ap II. telep alapadatai (Ap= alsó-pannóniai, vast= vastagság, szt=szivárgási tényező, tep= trend effektív porozitás)

Fúrás	EOV_X	EOV_Y	TALP_ME- LY SÉG	AP III_tető	AP III_talp	AP III_vast	Ap III_tep	ApIII szt
M-6	232627,7	496092,4	1474,5	1395,5	1402,8	7,3	0,04	1,66E-10
M-14	234016,9	498160,1	1438,2	1386,6	1392,25	5,6	0,06	8,14E-10
M-19	228554,8	494175,3		1408,5	1416,18	7,68	0,08	3,57E-09
M-24	231741,8	495590,7	1461,5	1381,1	1385	3,9	0,05	1,85E-10
M-26	232632,8	497349,6	1450,5	1391	1396	5	0,07	1,85E-09
M-30	227939,9	493533	1456	1388	1394	6	0,07	8,83E-10
M-32	229763	494655	1413	1405,5	1411,35	4,9	0,11	688E-09
M-40	231324,9	495089	1500	1394,9	1398,25	3,35	0,09	9,78E-09

17. táblázat Ap III. telep alapadatai (Ap= alsó-pannóniai, vast= vastagság, szt=szivárgási tényező, tep= trend effektív porozitás)

TELEP	Térfogat [m <sup>3</sup> ]	Átlag mélység [m]	Effektív porozitás	Permeabilitás [mD]	Hőmérséklet [K]	Átlagos vastagság [m]	Sűrűség [kg/m <sup>3</sup> ]	Pórus térfogat [m <sup>3</sup> ]
Ap II	6,3E+07	1408,8	0,12	8,55	348	7,8	432,76	9,84E+06
Ap III	4,1E+07	1396,4	0,07	0,3	347	6	431,15	2,88E+06

18. táblázat Ap II. és Ap III. telep főbb paraméterei

# Mellékletek

MI. 69. ábra a) M-12 fúrás egyszelvényes kiértékelése a Szolnoki és Endrődi Formációra b) M-12 fúrás kétszelvényes kiértékelése a Szolnoki és Endrődi Formációra .....	137
MI. 70. ábra a) M-13 fúrás egyszelvényes kiértékelése a Szolnoki és Endrődi Formációra b) M-13 fúrás kétszelvényes kiértékelése a Szolnoki és Endrődi Formációra .....	138
MI. 71. ábra a) M-26 fúrás egyszelvényes kiértékelése a Szolnoki és Endrődi Formációra b) M-26 fúrás kétszelvényes kiértékelése a Szolnoki és Endrődi Formációra .....	139
MI. 72. ábra a) M-30 fúrás egyszelvényes kiértékelése a Szolnoki és Endrődi Formációra b) M-30 fúrás kétszelvényes kiértékelése a Szolnoki és Endrődi Formációra .....	140
MI. 73. ábra a) M-32 fúrás egyszelvényes kiértékelése a Szolnoki és Endrődi Formációra b) M-32 fúrás kétszelvényes kiértékelése a Szolnoki és Endrődi Formációra .....	141
MI. 74. ábra a) M-37 fúrás egyszelvényes kiértékelése a Szolnoki és Endrődi Formációra b) M-37 fúrás kétszelvényes kiértékelése a Szolnoki és Endrődi Formációra .....	142
MI. 75. ábra a) M-40 fúrás egyszelvényes kiértékelése a Szolnoki és Endrődi Formációra b) M-40 fúrás kétszelvényes kiértékelése a Szolnoki és Endrődi Formációra .....	143
MI. 76. ábra a) M-8 fúrás egyszelvényes kiértékelése a Szolnoki és Endrődi Formációra b) M- 8 fúrás kétszelvényes kiértékelése a Szolnoki és Endrődi Formációra .....	144
MI. 77. ábra a) M-15 fúrás egyszelvényes kiértékelése a Szolnoki és Endrődi Formációra b) M-15 fúrás kétszelvényes kiértékelése a Szolnoki és Endrődi Formációra .....	145
MI. 78. ábra a) M-20 fúrás egyszelvényes kiértékelése a Szolnoki és Endrődi Formációra b) M-20 fúrás kétszelvényes kiértékelése a Szolnoki és Endrődi Formációra .....	146
MI. 79. ábra a) M-27 fúrás egyszelvényes kiértékelése a Szolnoki és Endrődi Formációra b) M-27 fúrás kétszelvényes kiértékelése a Szolnoki és Endrődi Formációra .....	147
MI. 80. ábra a) MF-1 fúrás egyszelvényes kiértékelése a Szolnoki és Endrődi Formációra b) MF-1 fúrás kétszelvényes kiértékelése a Szolnoki és Endrődi Formációra .....	148
MI. 81. ábra a) MF-2 fúrás egyszelvényes kiértékelése a Szolnoki és Endrődi Formációra b) MF-2 fúrás kétszelvényes kiértékelése a Szolnoki és Endrődi Formációra .....	149
MI. 82. ábra a) MF-3 fúrás egyszelvényes kiértékelése a Szolnoki és Endrődi Formációra b) MF-3 fúrás kétszelvényes kiértékelése a Szolnoki és Endrődi Formációra .....	150
MI. 83. ábra a) M-21 fúrás egyszelvényes kiértékelése a Szolnoki és Endrődi Formációra b) M-21 fúrás kétszelvényes kiértékelése a Szolnoki és Endrődi Formációra .....	151
MI. 84. ábra a) M-25 fúrás egyszelvényes kiértékelése a Szolnoki és Endrődi Formációra b) M-25 fúrás kétszelvényes kiértékelése a Szolnoki és Endrődi Formációra .....	152
MI. 85. ábra a) M-29 fúrás egyszelvényes kiértékelése a Szolnoki és Endrődi Formációra b) M-29 fúrás kétszelvényes kiértékelése a Szolnoki és Endrődi Formációra .....	153
MI. 86. ábra a) M-33 fúrás egyszelvényes kiértékelése a Szolnoki és Endrődi Formációra b) M-33 fúrás kétszelvényes kiértékelése a Szolnoki és Endrődi Formációra .....	154
MI. 87. ábra a) M-35 fúrás egyszelvényes kiértékelése a Szolnoki és Endrődi Formációra b) M-35 fúrás kétszelvényes kiértékelése a Szolnoki és Endrődi Formációra .....	155
MI. 88. ábra a) M-38 fúrás egyszelvényes kiértékelése a Szolnoki és Endrődi Formációra b) M-38 fúrás kétszelvényes kiértékelése a Szolnoki és Endrődi Formációra .....	156

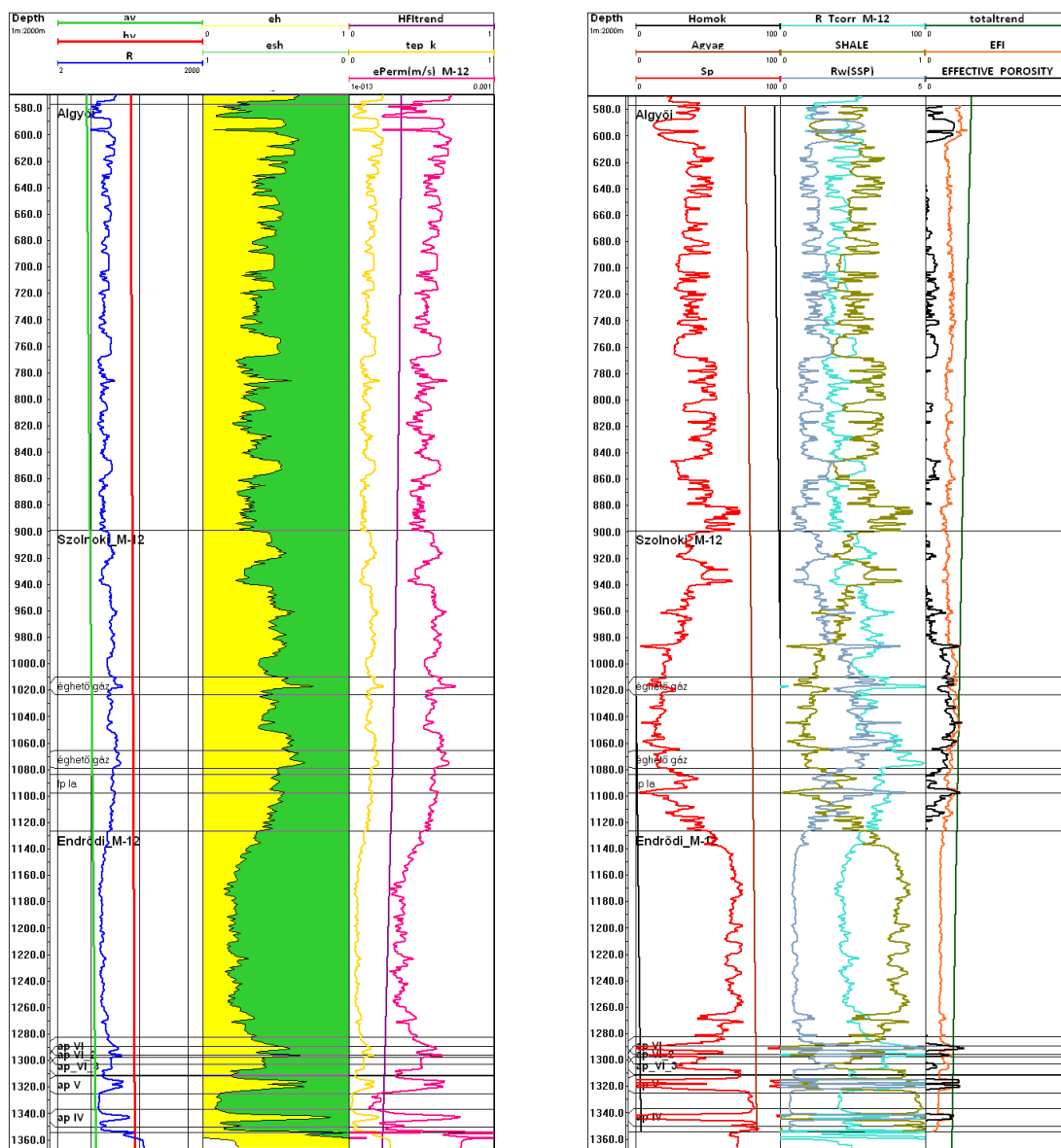


MI. 89. ábra a) M-9 fúrás egyszelvényes kiértékelése a Szolnoki és Endrődi Formációra b) M-9 fúrás kétszelvényes kiértékelése a Szolnoki és Endrődi Formációra .....	157
MI. 90. ábra a) M-31 fúrás egyszelvényes kiértékelése a Szolnoki és Endrődi Formációra b) M-31 fúrás kétszelvényes kiértékelése a Szolnoki és Endrődi Formációra .....	158
MI. 91. ábra a) M-34 fúrás szelvényes kiértékelése a Szolnoki és Endrődi Formációra b) M-34 fúrás kétszelvényes kiértékelése a Szolnoki és Endrődi Formációra .....	159
MI. 92. ábra a) M-36 fúrás egyszelvényes kiértékelése a Szolnoki és Endrődi Formációra b) M-36 fúrás kétszelvényes kiértékelése a Szolnoki és Endrődi Formációra .....	160
MII. 93. ábra M-13. fúrás agyagosság - szivárgási tényező cross-plot.....	161
MII. 94. ábra M-12. fúrás agyagosság - szivárgási tényező cross-plot.....	161
MII. 95. ábra M-26. fúrás agyagosság - szivárgási tényező cross-plot.....	162
MII. 96. ábra M-30. fúrás agyagosság - szivárgási tényező cross-plot.....	162
MII. 97. ábra M-32. fúrás agyagosság - szivárgási tényező cross-plot.....	163
MII. 98. ábra M-37. fúrás agyagosság - szivárgási tényező cross-plot.....	163
MII. 99. ábra M-40. fúrás agyagosság - szivárgási tényező cross-plot.....	164
MII. 100. ábra M-12. fúrás trend effektív porozitás –agyagosság cross-plot .....	164
MII. 101. ábra M-13. fúrás trend effektív porozitás –agyagosság cross-plot .....	165
MII. 102. ábra M-26. fúrás trend effektív porozitás –agyagosság cross-plot .....	165
MII. 103. ábra M-30. fúrás trend effektív porozitás –agyagosság cross-plot .....	166
MII. 104. ábra M-32. fúrás trend effektív porozitás –agyagosság cross-plot .....	166
MII. 105. ábra M-37. fúrás trend effektív porozitás –agyagosság cross-plot .....	167
MII. 106. ábra M-40. fúrás trend effektív porozitás –agyagosság cross-plot .....	167
MII. 107. ábra M-12. fúrás agyagosság – ellenállás agyagosság cross-plot .....	168
MII. 108. ábra M-13. fúrás agyagosság – ellenállás agyagosság cross-plot .....	168
MII. 109. ábra M-26. fúrás agyagosság – ellenállás agyagosság cross-plot .....	168
MII. 110. ábra M-30. fúrás agyagosság – ellenállás agyagosság cross-plot .....	169
MII. 111. ábra M-32. fúrás agyagosság – ellenállás agyagosság cross-plot .....	169
MII. 112. ábra M-37. fúrás agyagosság – ellenállás agyagosság cross-plot .....	169
MII. 113. ábra M-40. fúrás agyagosság – ellenállás agyagosság cross-plot .....	170
MII. 114. ábra M-12. fúrás agyagosság - trend effektív porozitás cross-plot .....	170
MII. 115. ábra M-13. fúrás agyagosság - trend effektív porozitás cross-plot .....	171
MII. 116. ábra M-26. fúrás agyagosság - trend effektív porozitás cross-plot .....	171
MII. 117. ábra M-30. fúrás agyagosság - trend effektív porozitás cross-plot .....	172
MII. 118. ábra M-32. fúrás agyagosság - trend effektív porozitás cross-plot .....	172
MII. 119. ábra M-37. fúrás agyagosság - trend effektív porozitás cross-plot .....	173
MII. 120. ábra M-40. fúrás agyagosság - trend effektív porozitás cross-plot .....	173
MIII. 121. ábra Mihályi területen a telepek lehatárolása a Mihályi-Répcelak összefoglaló jelentés alapján (Mészáros et al. 1979) .....	174
MIV. 122. ábra Mihályi terület szén-dioxidos fúrási és a telepek határai a hőmérséklet korrigált ellenállás szelvényeken .....	175
MV. 123. ábra Algyői Formáció vastagság térkép Répcelak területen.....	176
MV. 124. ábra Szolnoki Formáció vastagság térkép Répcelak területen.....	176
MV. 125. ábra Algyői Formáció tető térkép Répcelak területen .....	177

MV. 126. ábra Szolnoki Formáció tető térkép Répcelak területen .....	177
MV 127. ábra Algyői Formáció permeabilitás térkép Répcelak területén.....	178
MV128. ábra. Szolnoki Formáció permeabilitás térkép Répcelak területén.....	178
MV 129. ábra Algyői Formáció ellenállás agyagosság térkép Répcelak területén.....	179
MV 130. ábra Szolnoki Formáció ellenállás agyagosság térkép Répcelak területén.....	179
MV 131. ábra Algyői Formáció logaritmikus szivárgási tényező térkép Répcelak területén	180
MV132. ábra. Szolnokii Formáció logaritmikus szivárgási tényező térkép Répcelak területén	180
MV. 133. ábra Endrődi Formáció tető térkép Mihályi területen.....	181
MV. 134. ábra Endrődi Formáció felü térkép Mihályi területen.....	181
MV. 135. ábra Szolnoki Formáció tető térkép Mihályi területen .....	182
MV. 136. ábra Algyői Formáció tető térkép Mihályi területen .....	182
MV. 137. ábra Endrődi Formáció vastagság térkép Mihályi területen .....	183
MV. 138. ábra Szolnoki Formáció vastagság térkép Mihályi területen.....	183
MV. 139. ábra Algyői Formáció vastagság térkép Mihályi területen .....	184
MV. 140. ábra Endrődi Formáció szivárgási tényező [m/s] logaritmikus térkép Mihályi területen .....	184
MV.141. ábra Szolnoki Formáció szivárgási tényező[m/s] logaritmikus térkép Mihályi területe .....	185
MV.142. ábra Algyői Formáció szivárgási tényező [m/s] logaritmikus térkép Mihályi területen .....	185
MVI.143. ábra Répcelaki fúrások ellenállás szelvényeiből készült hisztogramok M-6, M-8, M-12, M-15, M-19 és M-20 fúrás. ....	186
MVI.144. ábra Répcelaki fúrások ellenállás szelvényeiből készült hisztogramok M-27, M-37, MF-1 és MF-3fúrás. ....	187
MVII.145. ábra Répcelak területén található fúrások ellenállás hisztogramja formációkra bontva .....	188

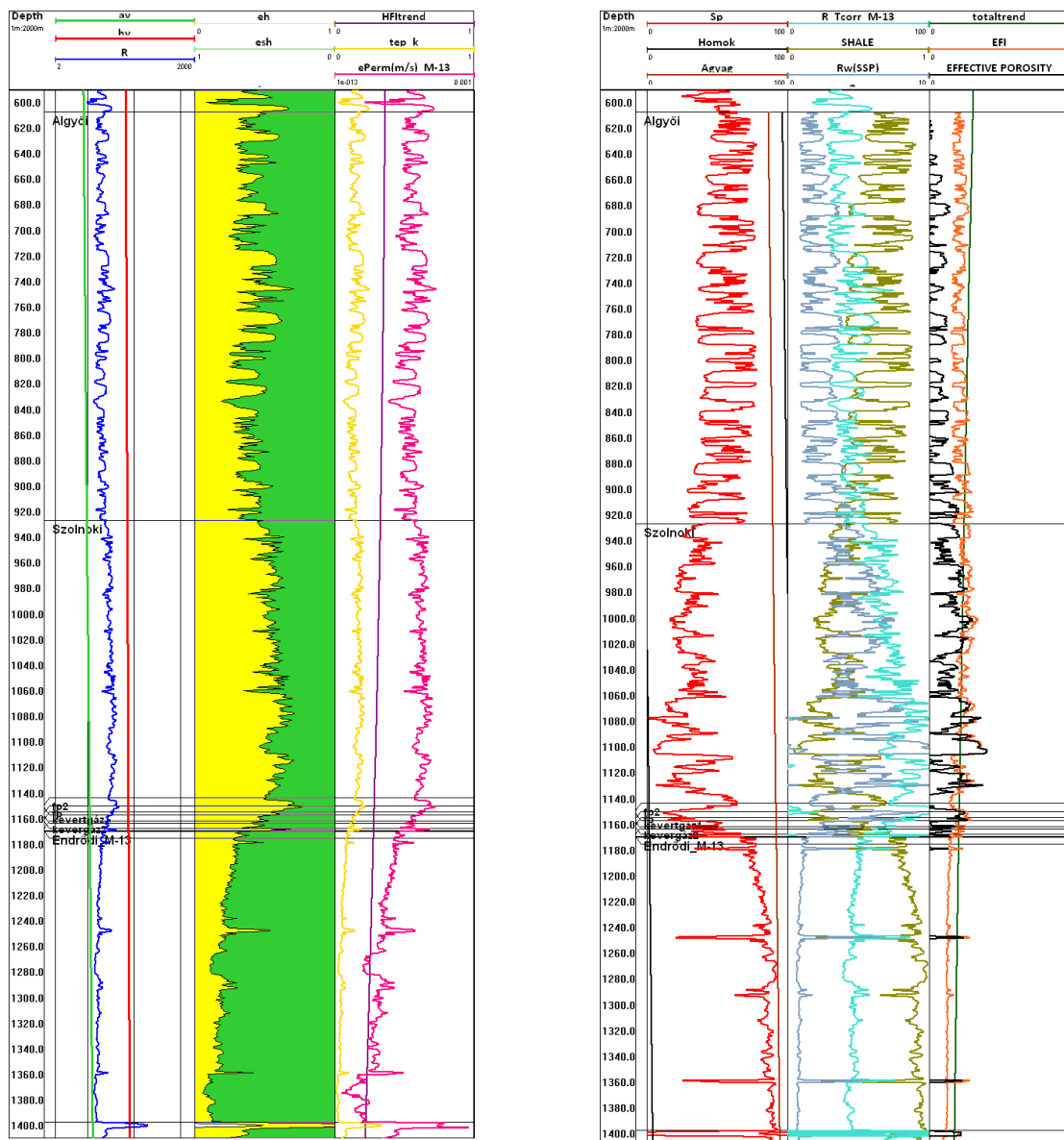
Melléklet I.

Répcelak szén-dioxidos fúrásainak mélyfúrás geofizikai szelvényei:



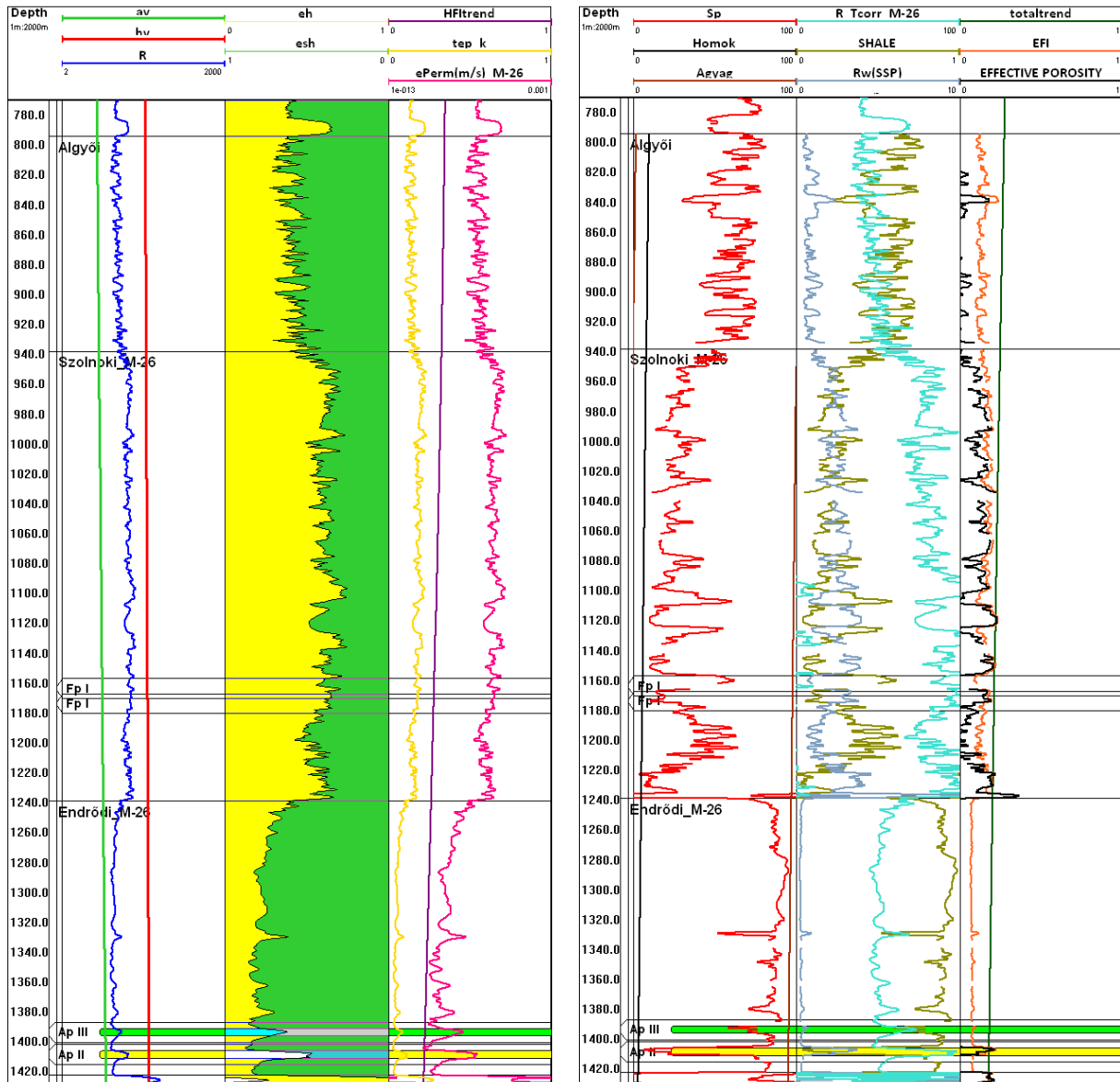
Ml. 69. ábra a) M-12 fúrás egyszelvényes kiértékelése a Szolnoki és Endródi Formációra b) M-12 fúrás kétszelvényes kiértékelése a Szolnoki és Endródi Formációra

(av=agyagvonal; hv=homokvonal; R= fajlagos ellenállás szelvény [ohmm]; eh= ellenállás homokosság; esh= ellenállás agyagosság; HFI TREND=homok porozitás trend; tep\_k=trend effektív porozitás; ePerm=szivárgási tényező [m/s]; Sp=természetes potenciál szelvény [mV]; Agyag=agyagvonal; Homok=homokvonal; R\_Tcorr=hőmérséklet korrigált fajlagos ellenállás szelvény [ohmm]; SHALE=agyagosság; Rw(SSP)=SSP szelvényből számított fajlagos vízellenállás szelvény [ohmm]; EFI=elektromos ellenállás [ohmm]; EFFECTIVE\_POROSITY=effektív porozitás)



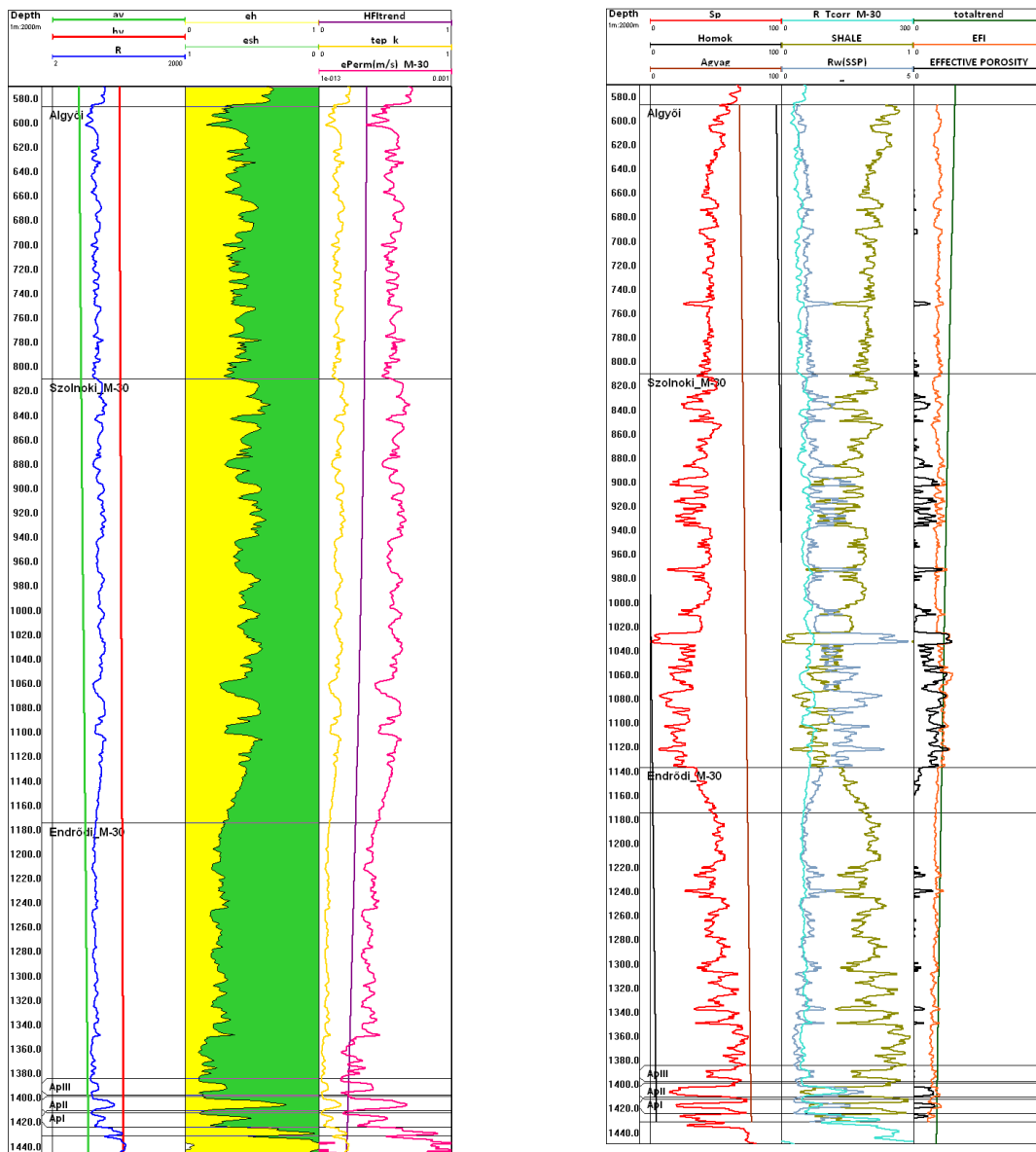
MI. 70. ábra a) M-13 fúrás egyszelvényes kiértékelése a Szolnoki és Endrődi Formációra b) M-13 fúrás kétszelvényes kiértékelése a Szolnoki és Endrődi Formációra

(av=agyagvonal; hv=homokvonal; R= fajlagos ellenállás szelvény [ohmm]; eh= ellenállás homokosság; esh= ellenállás agyagosság; HFI TREND=homok porozitás trend; tep\_k=trend effektív porozitás; ePerm=szivárgási tényező [m/s]; Sp=természetes potenciál szelvény [mV]; Agyag=agyagvonal; Homok=homokvonal; R\_Tcorr=hőmérséklet korrigált fajlagos ellenállás szelvény [ohmm]; SHALE=agyagosság; Rw(SSP)=SSP szelvényből számított fajlagos vízellenállás szelvény [ohmm]; EFI=elektromos ellenállás [ohmm]; EFFECTIVE\_POROSITY=effektív porozitás)



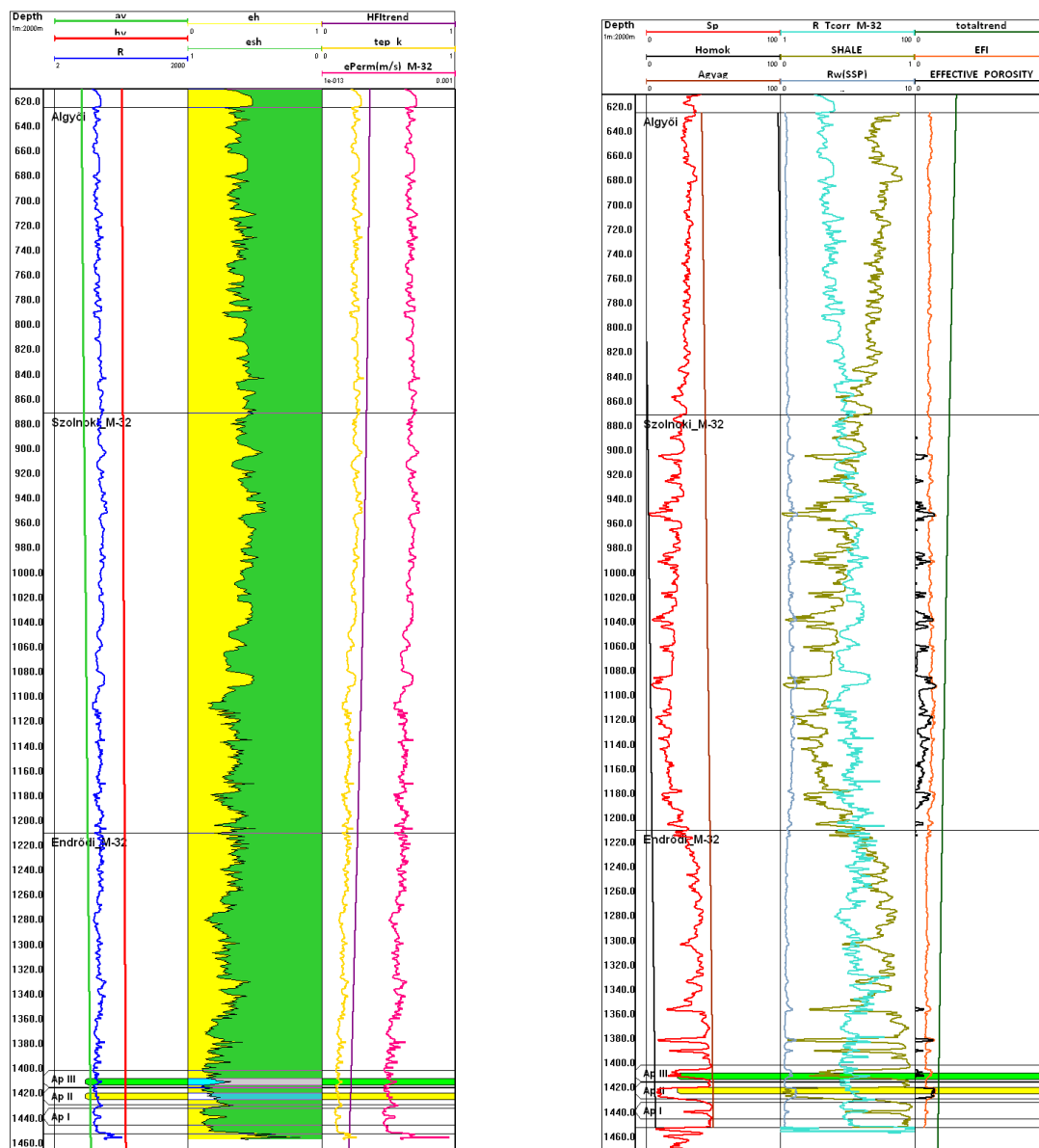
MI. 71. ábra a) M-26 fúrás egyszelvényes kiértékelése a Szolnoki és Endrődi Formációra b) M-26 fúrás kétszelvényes kiértékelése a Szolnoki és Endrődi Formációra

(av=agyagvonal; hv=homokvonal; R= fajlagos ellenállás szelvény [ohmm]; eh= ellenállás homokosság; esh= ellenállás agyagosság; HFI TREND=homok porozitás trend; tep\_k=trend effektív porozitás; ePerm=szivárgási tényező [m/s]; Sp=természetes potenciál szelvény [mV]; Agyag=agyagvonal; Homok=homokvonal; R\_Tcorr=hőmérséklet korrigált fajlagos ellenállás szelvény [ohmm]; SHALE=agyagosság; Rw(SSP)=SSP szelvényből számított fajlagos vízellenállás szelvény [ohmm]; EFI=elektromos ellenállás [ohmm]; EFFECTIVE\_POROSITY=effektív porozitás)



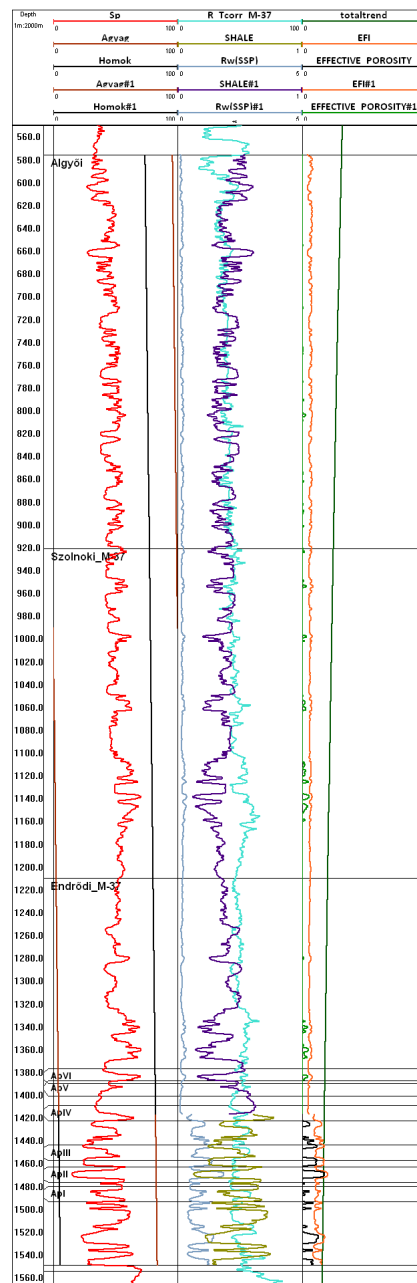
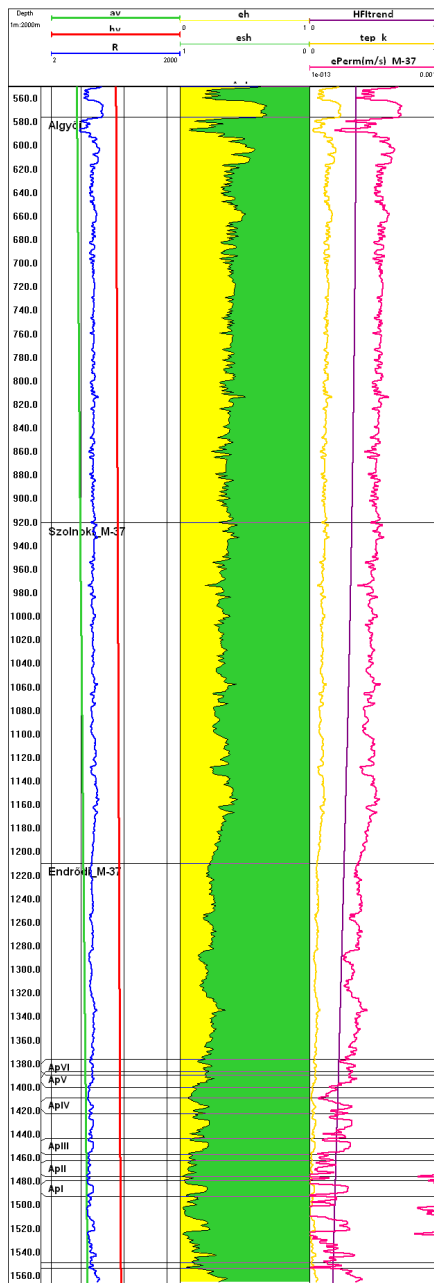
MI. 72. ábra a) M-30 fúrás egyszelvényes kiértékelése a Szolnoki és Endrődi Formációra b) M-30 fúrás kétszelvényes kiértékelése a Szolnoki és Endrődi Formációra

(av=agyagvonal; hv=homokvonal; R= fajlagos ellenállás szelvény [ohmm]; eh= ellenállás homokosság; esh= ellenállás agyagosság; HFI TREND=homok porozitás trend; tep\_k=trend effektív porozitás; ePerm=szivárgási tényező [m/s]; Sp=természetes potenciál szelvény [mV]; Agyag=agyagvonal; Homok=homokvonal; R\_Tcorr=hőmérséklet korrigált fajlagos ellenállás szelvény [ohmm]; SHALE=agyagosság; Rw(SSP)=SSP szelvényből számított fajlagos vízellenállás szelvény [ohmm]; EFI=elektromos ellenállás [ohmm]; EFFECTIVE\_POROSITY=effektív porozitás)



MI. 73. ábra a) M-32 fúrás egyszelvényes kiértékelése a Szolnoki és Endrődi Formációra b) M-32 fúrás kétszelvényes kiértékelése a Szolnoki és Endrődi Formációra

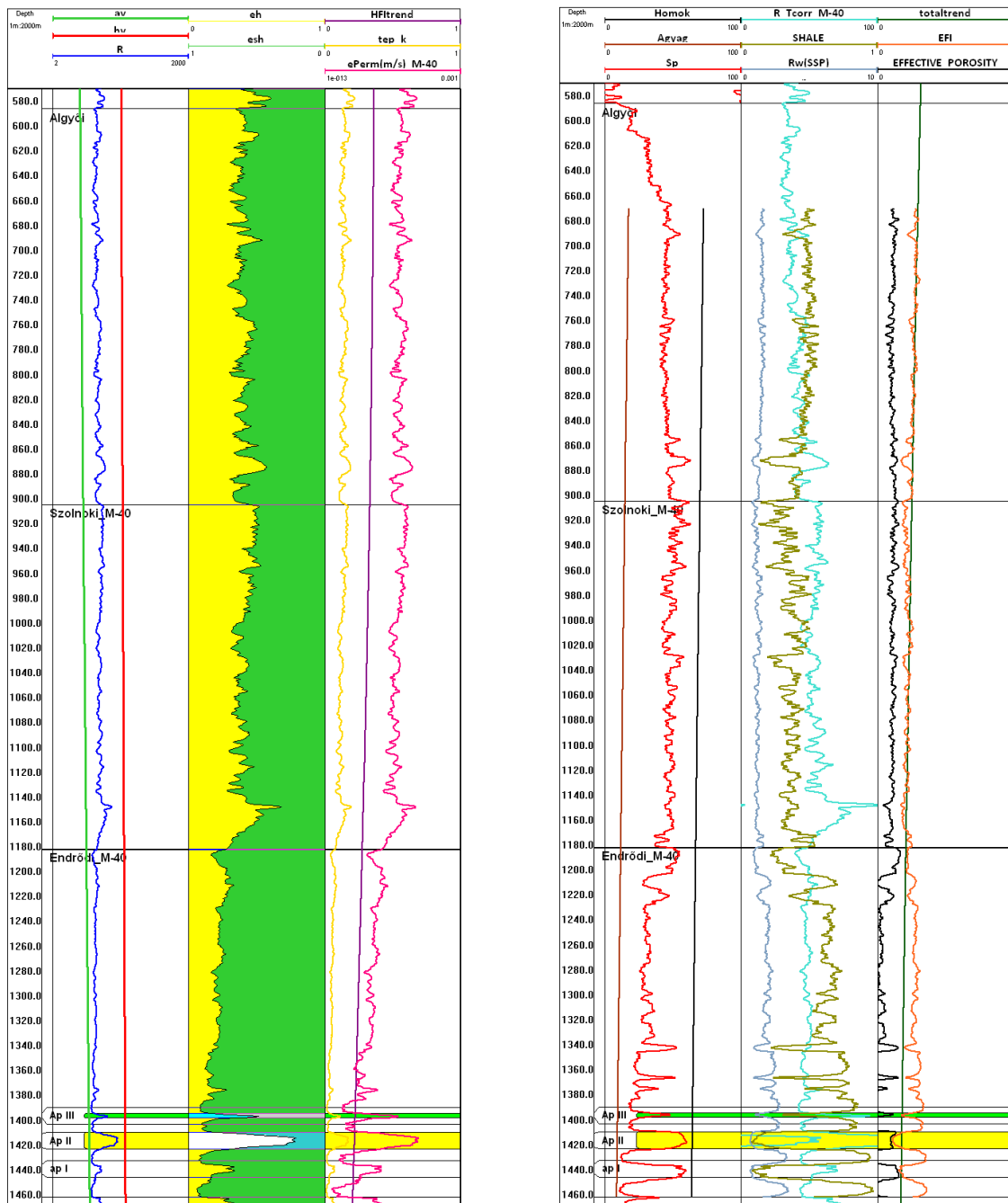
(av=agyagvonal; hv=homokvonal; R= fajlagos ellenállás szelvény [ohmm]; eh= ellenállás homokosság; esh= ellenállás agyagosság; HFI TREND=homok porozitás trend; tep\_k=trend effektív porozitás; ePerm=szivárgási tényező [m/s]; Sp=természetes potenciál szelvény [mV]; Agyag=agyagvonal; Homok=homokvonal; R\_Tcorr=hőmérséklet korrigált fajlagos ellenállás szelvény [ohmm]; SHALE=agyagosság; Rw(SSP)=SSP szelvényből számított fajlagos vízellenállás szelvény [ohmm]; EFI=elektromos ellenállás [ohmm]; EFFECTIVE\_POROSITY=effektív porozitás)



MI. 74. ábra a) M-37 fúrás egyszelvényes kiértékelése a Szolnoki és Endrődi Formációra b) M-37 fúrás kétszelvényes kiértékelése a Szolnoki és Endrődi Formációra

(av=agyagvonal; hv=homokvonal; R= fajlagos ellenállás szelvény [ohmm]; eh= ellenállás homokosság; esh= ellenállás agyagosság; HFI TREND=homok porozitás trend; tep\_k=trend effektív porozitás; ePerm=szivárgási tényező [m/s]; Sp=természetes potenciál szelvény [mV]; Agyag=agyagvonal; Homok=homokvonal; R\_Tcorr=hőmérséklet korigált fajlagos ellenállás szelvény [ohmm]; SHALE=agyagosság; Rw(SSP)=SSP szelvényből számított fajlagos vízellenállás szelvény [ohmm]; EFI=elektromos ellenállás [ohmm]; EFFECTIVE\_POROSITY=effektív porozitás)

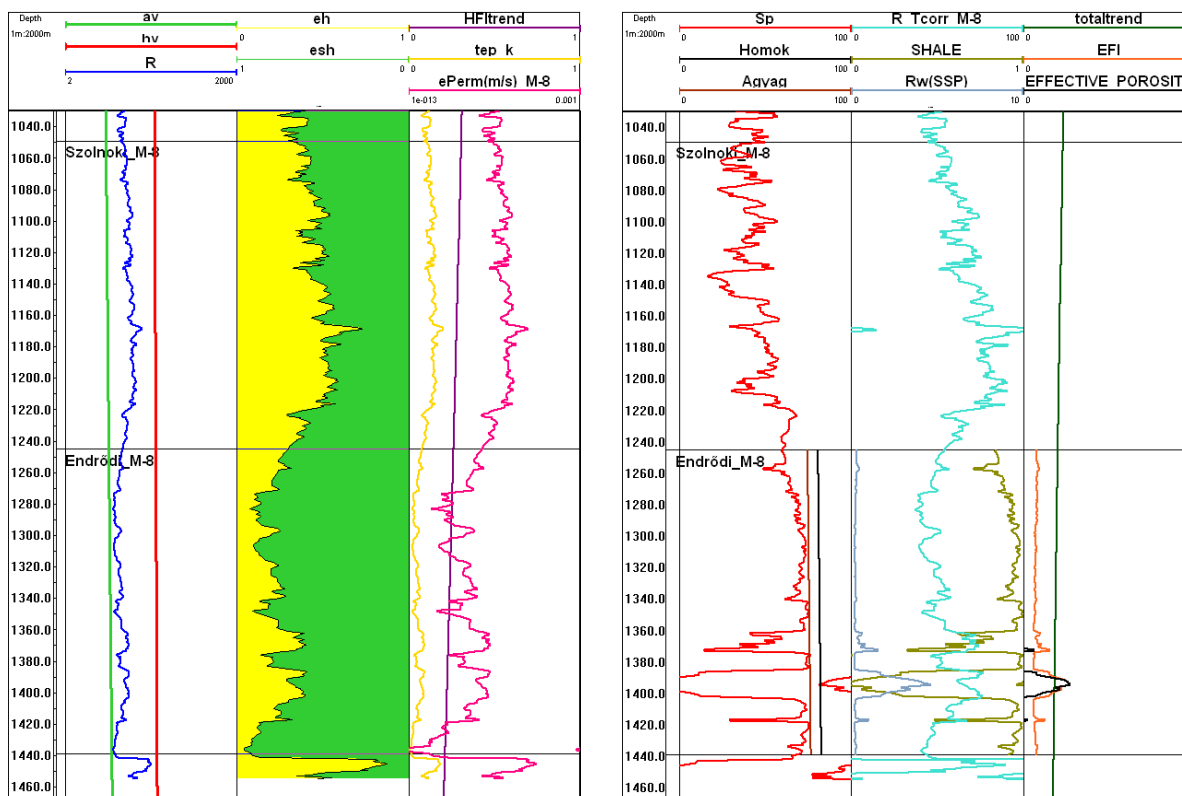




MI. 75. ábra a) M-40 fúrás egyszelvényes kiértékelése a Szolnoki és Endrődi Formációra b) M-40 fúrás kétszelvényes kiértékelése a Szolnoki és Endrődi Formációra

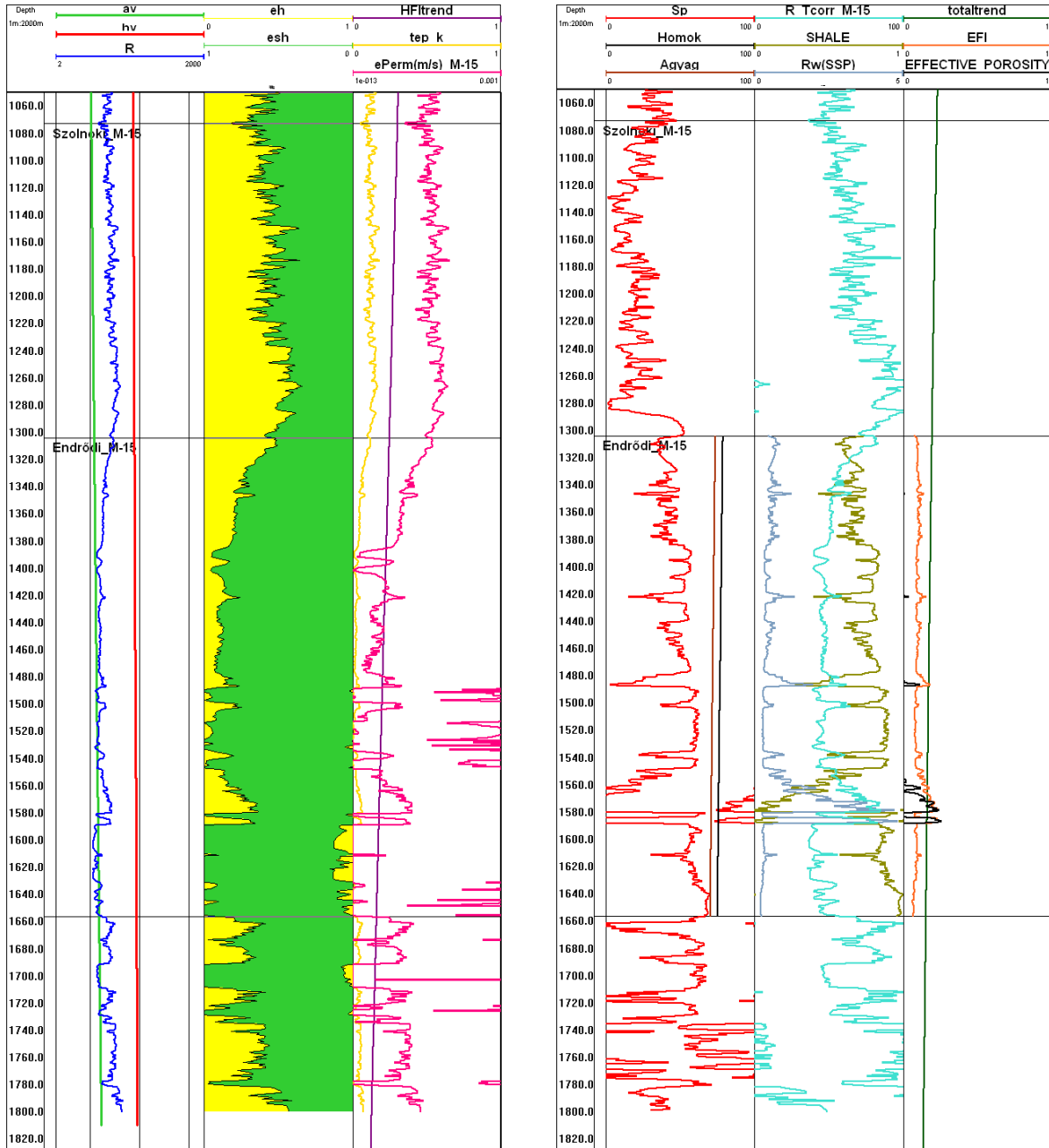
(av=agyagvonal; hv=homokvonal; R= fajlagos ellenállás szelvény [ohmm]; eh= ellenállás homokosság; esh= ellenállás agyagosság; HFI TREND=homok porozitás trend; tep\_k=trend effektív porozitás; ePerm=szivárgási tényező [m/s]; Sp=természetes potenciál szelvény [mV]; Agyag=agyagvonal; Homok=homokvonal; R\_Tcorr=hőmérséklet korrigált fajlagos ellenállás szelvény [ohmm]; SHALE=agyagosság; Rw(SSP)=SSP szelvényből számított fajlagos vízellenállás szelvény [ohmm]; EFI=elektromos ellenállás [ohmm]; EFFECTIVE\_POROSITY=effektív porozitás)

## Répcelak nem szén-dioxidos fúrásainak mélyfúrás-geofizikai szelvényei:



MI. 76. ábra a) M-8 fúrás egyszelvényes kiértékelése a Szolnoki és Endrődi Formációra b) M-8 fúrás kétszelvényes kiértékelése a Szolnoki és Endrődi Formációra

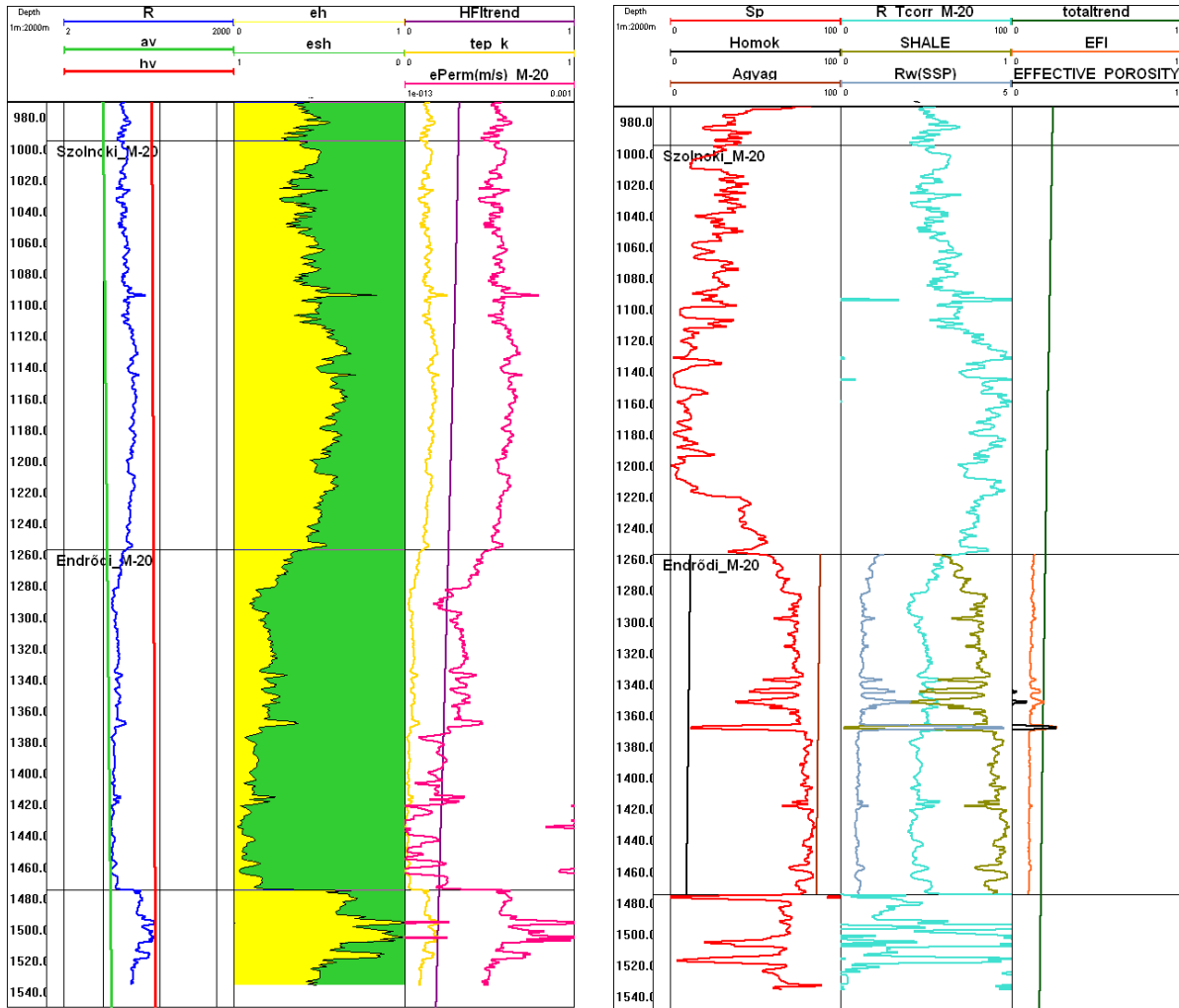
(av=agyagvonal; hv=homokvonal; R= fajlagos ellenállás szelvény [ohmm]; eh= ellenállás homokosság; esh= ellenállás agyagosság; HFI TREND=homok porozitás trend; tep\_k=trend effektív porozitás; ePerm=szivárgási tényező [m/s]; Sp=természetes potenciál szelvény [mV]; Agyag=agyagvonal; Homok=homokvonal; R\_Tcorr=hőmérséklet korigált fajlagos ellenállás szelvény [ohmm]; SHALE=agyagosság; Rw(SSP)=SSP szelvényből számított fajlagos vízellenállás szelvény [ohmm]; EFI=elektromos ellenállás [ohmm]; EFFECTIVE\_POROSITY=effektív porozitás)



MI. 77. ábra a) M-15 fúrás egyszelvényes kiértékelése a Szolnoki és Endrődi Formációra b) M-15 fúrás

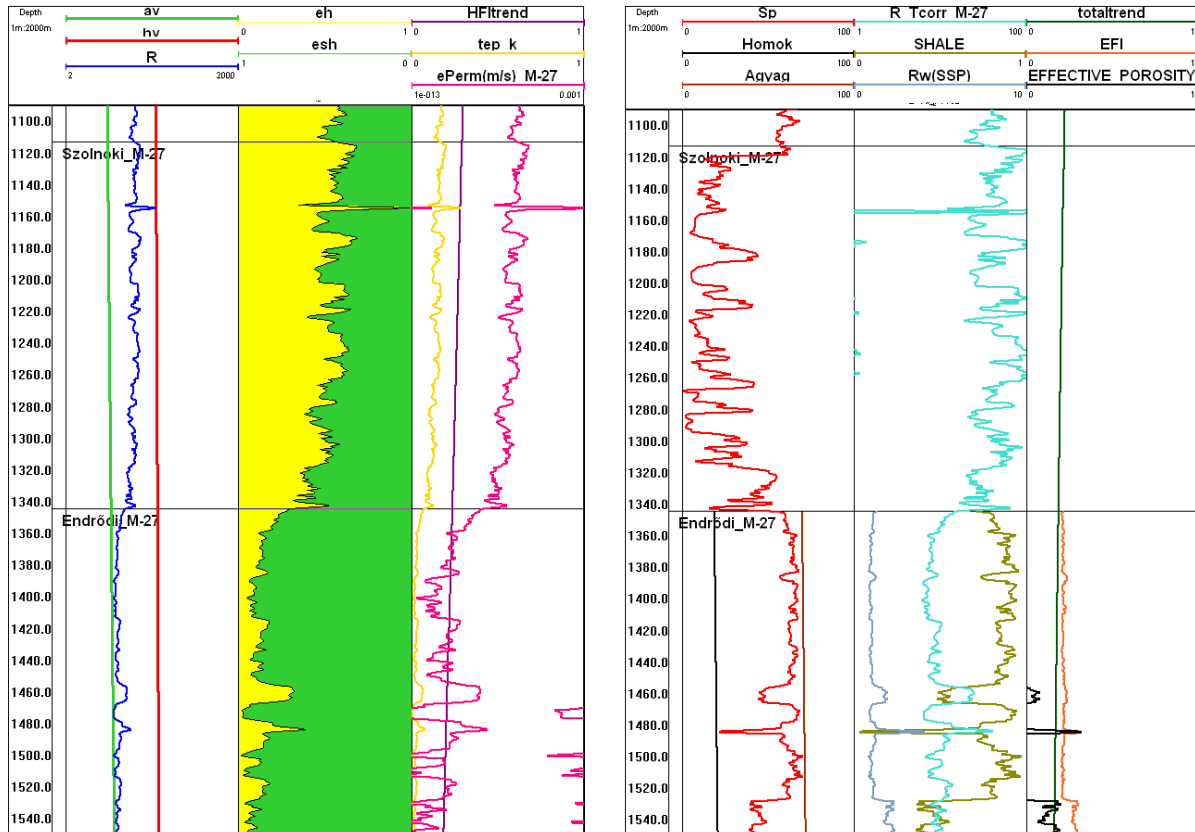
kétzelvényes kiértékelése a Szolnoki és Endrődi Formációra

(av=agyagvonal; hv=homokvonal; R= fajlagos ellenállás szelvény [ohmm]; eh= ellenállás homokosság; esh= ellenállás agyagosság; HFI TREND=homok porozitás trend; tep\_k=trend effektív porozitás; ePerm=szivárgási tényező [m/s]; Sp=természetes potenciál szelvény [mV]; Agvag=agyagvonal; Homok=homokvonal; R\_Tcorr=hőmérséklet korrigált fajlagos ellenállás szelvény [ohmm]; SHALE=agyagosság; Rw(SSP)=SSP szelvényből számított fajlagos vízellenállás szelvény [ohmm]; EFI=elektromos ellenállás [ohmm]; EFFECTIVE\_POROSITY=effektív porozitás)



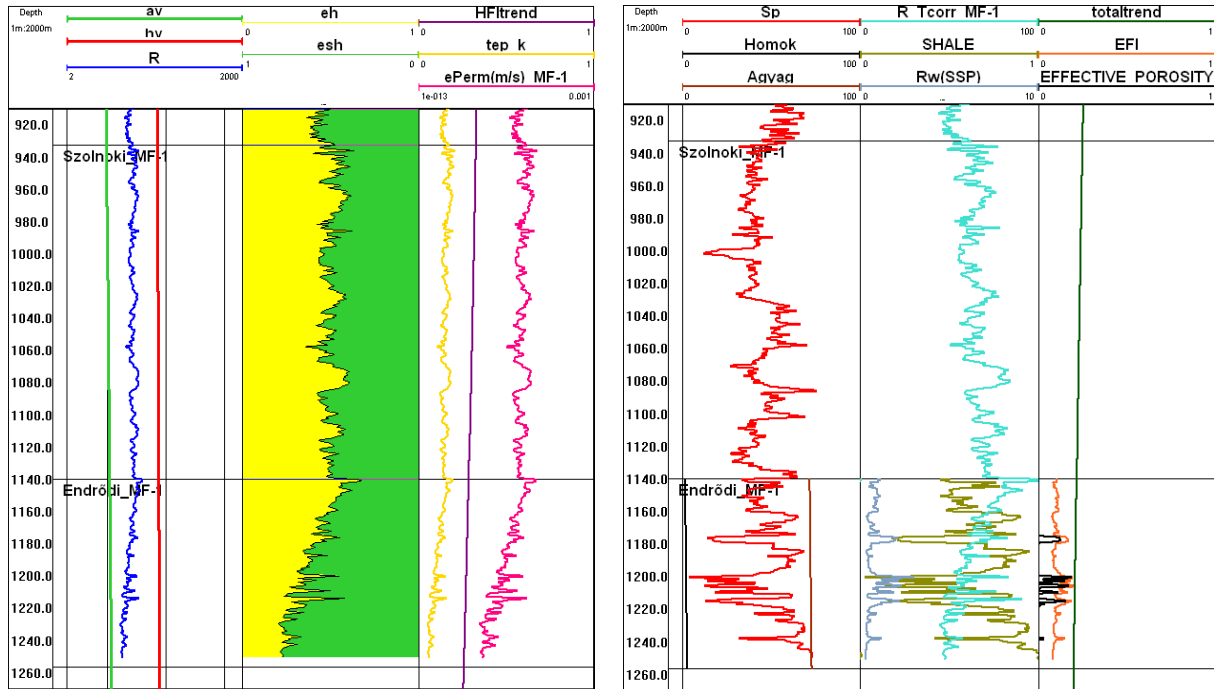
MI. 78. ábra a) M-20 fúrás egyszelvényes kiértékelése a Szolnoki és Endrődi Formációra b) M-20 fúrás  
kétszelvényes kiértékelése a Szolnoki és Endrődi Formációra

(av=agyagvonal; hv=homokvonal; R= fajlagos ellenállás szelvény [ohmm]; eh= ellenállás homokosság; esh= ellenállás agyagosság; HFI TREND=homok porozitás trend; tep\_k=trend effektív porozitás; ePerm=szivárgási tényező [m/s]; Sp=természetes potenciál szelvény [mV]; Agvag=agyagvonal; Homok=homokvonal; R\_Tcorr=hőmérséklet korigált fajlagos ellenállás szelvény [ohmm]; SHALE=agyagosság; Rw(SSP)=SSP szelvényből számított fajlagos vízellenállás szelvény [ohmm]; EFI=elektromos ellenállás [ohmm]; EFFECTIVE\_POROSITY=effektív porozitás)



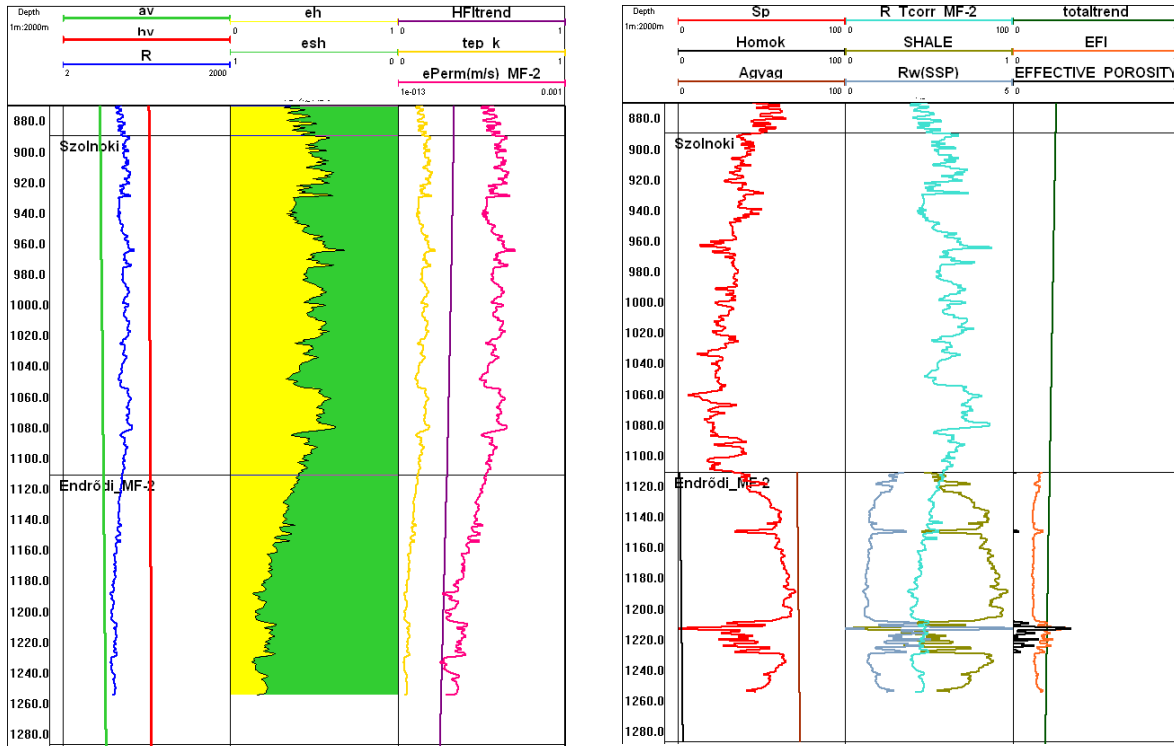
MI. 79. ábra a) M-27 fúrás egyszelvényes kiértékelése a Szolnoki és Endrődi Formációra b) M-27 fúrás kétszelvényes kiértékelése a Szolnoki és Endrődi Formációra

(av=agyagvonal; hv=homokvonal; R= fajlagos ellenállás szelvény [ohmm]; eh= ellenállás homokosság; esh= ellenállás agyagosság; HFI TREND=homok porozitás trend; tep\_k=trend effektív porozitás; ePerm=szivárgási tényező [m/s]; Sp=természetes potenciál szelvény [mV]; Agyag=agyagvonal; Homok=homokvonal; R\_Tcorr=hőmérséklet korrigált fajlagos ellenállás szelvény [ohmm]; SHALE=agyagosság; Rw(SSP)=SSP szelvényből számított fajlagos vízellenállás szelvény [ohmm]; EFI=elektromos ellenállás [ohmm]; EFFECTIVE\_POROSITY=effektív porozitás)



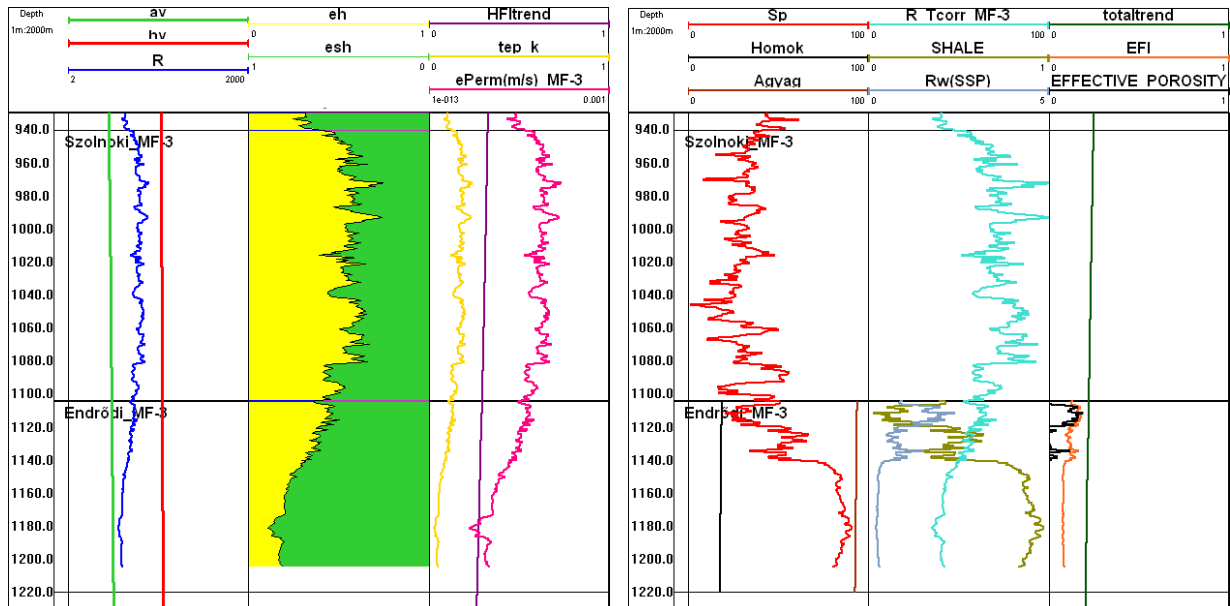
MI. 80. ábra a) MF-1 fúrás egyszelvényes kiértékelése a Szolnoki és Endrődi Formációra b) MF-1 fúrás kétszelvényes kiértékelése a Szolnoki és Endrődi Formációra

(av=agyagvonal; hv=homokvonal; R= fajlagos ellenállás szelvény [ohmm]; eh= ellenállás homokosság; esh= ellenállás agyagosság; HFI TREND=homok porozitás trend; tep\_k=trend effektív porozitás; ePerm=szivárgási tényező [m/s]; Sp=természetes potenciál szelvény [mV]; Agvag=agyagvonal; Homok=homokvonal; R\_Tcorr=hőmérséklet korigált fajlagos ellenállás szelvény [ohmm]; SHALE=agyagosság; R<sub>w</sub>(SSP)=SSP szelvényből számított fajlagos vízellenállás szelvény [ohmm]; EFI=elektromos ellenállás [ohmm]; EFFECTIVE\_POROSITY=effektív porozitás)



MI. 81. ábra a) MF-2 fúrás egyszelvényes kiértékelése a Szolnoki és Endrődi Formációra b) MF-2 fúrás kétszelvényes kiértékelése a Szolnoki és Endrődi Formációra

(av=agyagvonal; hv=homokvonal; R= fajlagos ellenállás szelvény [ohmm]; eh= ellenállás homokosság; esh= ellenállás agyagosság; HFI TREND=homok porozitás trend; tep\_k=trend effektív porozitás; ePerm=szivárgási tényező [m/s]; Sp=természetes potenciál szelvény [mV]; Agvag=agyagvonal; Homok=homokvonal; R\_Tcorr=hőmérséklet korrigált fajlagos ellenállás szelvény [ohmm]; SHALE=agyagosság; R w(SSP)=SSP szelvényből számított fajlagos vízellenállás szelvény [ohmm]; EFI=elektromos ellenállás [ohmm]; EFFECTIVE\_POROSITY=effektív porozitás)

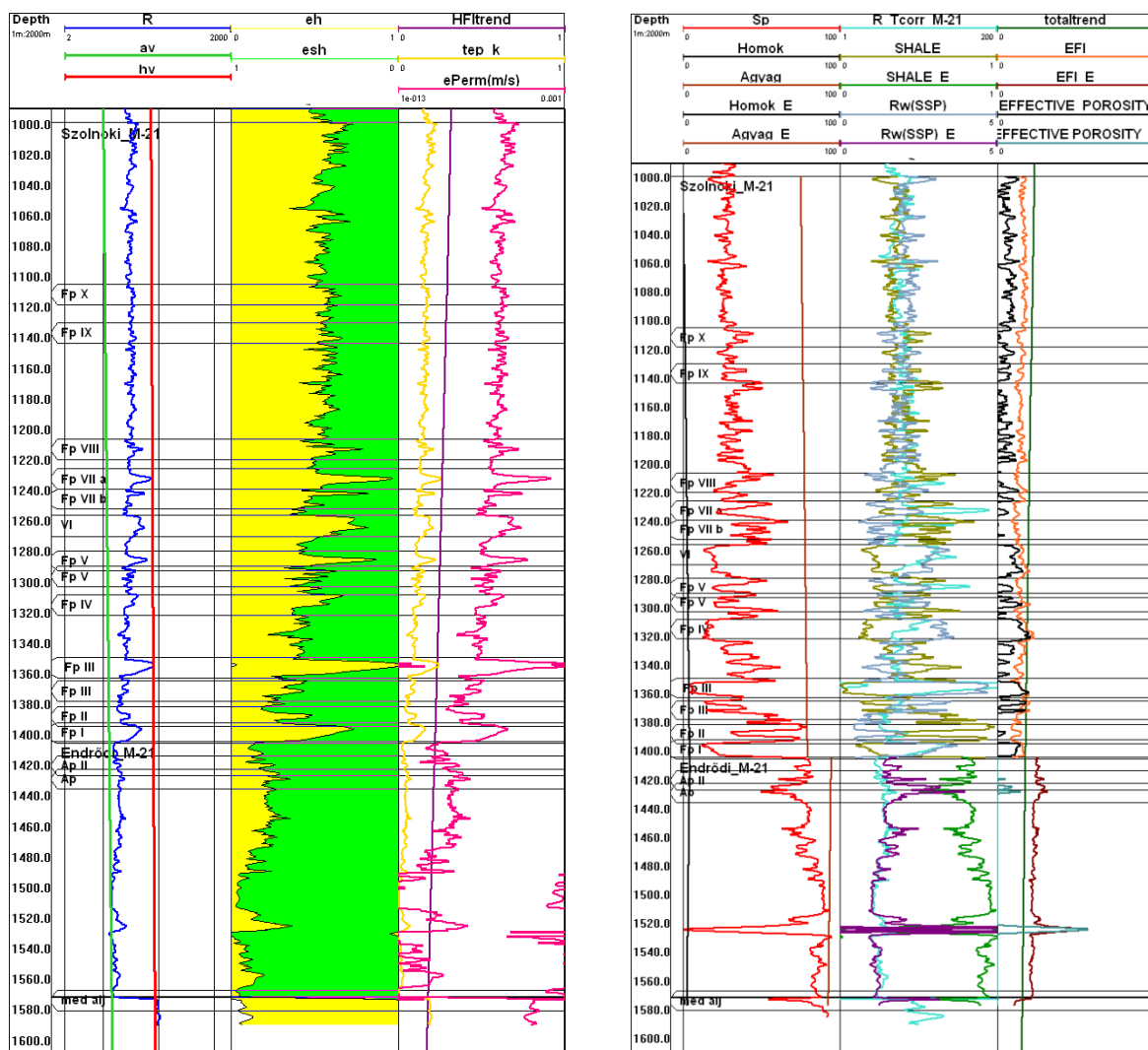


MI. 82. ábra a) MF-3 fúrás egyszelvényes kiértékelése a Szolnoki és Endrődi Formációra b) MF-3 fúrás kétszelvényes kiértékelése a Szolnoki és Endrődi Formációra

(av=agyagvonal; hv=homokvonal; R= fajlagos ellenállás szelvény [ohmm]; eh= ellenállás homokosság; esh= ellenállás agyagosság; HFI TREND=homok porozitás trend; tep\_k=trend effektív porozitás; ePerm=szivárgási tényező [m/s]; Sp=természetes potenciál szelvény [mV]; Agyag=agyagvonal; Homok=homokvonal; R\_Tcorr=hőmérséklet korrigált fajlagos ellenállás szelvény [ohmm]; SHALE= agyagosság; R<sub>w</sub>(SSP)=SSP szelvényből számított fajlagos vízellenállás szelvény [ohmm]; EFI=elektromos ellenállás [ohmm]; EFFECTIVE\_POROSITY=effektív porozitás)

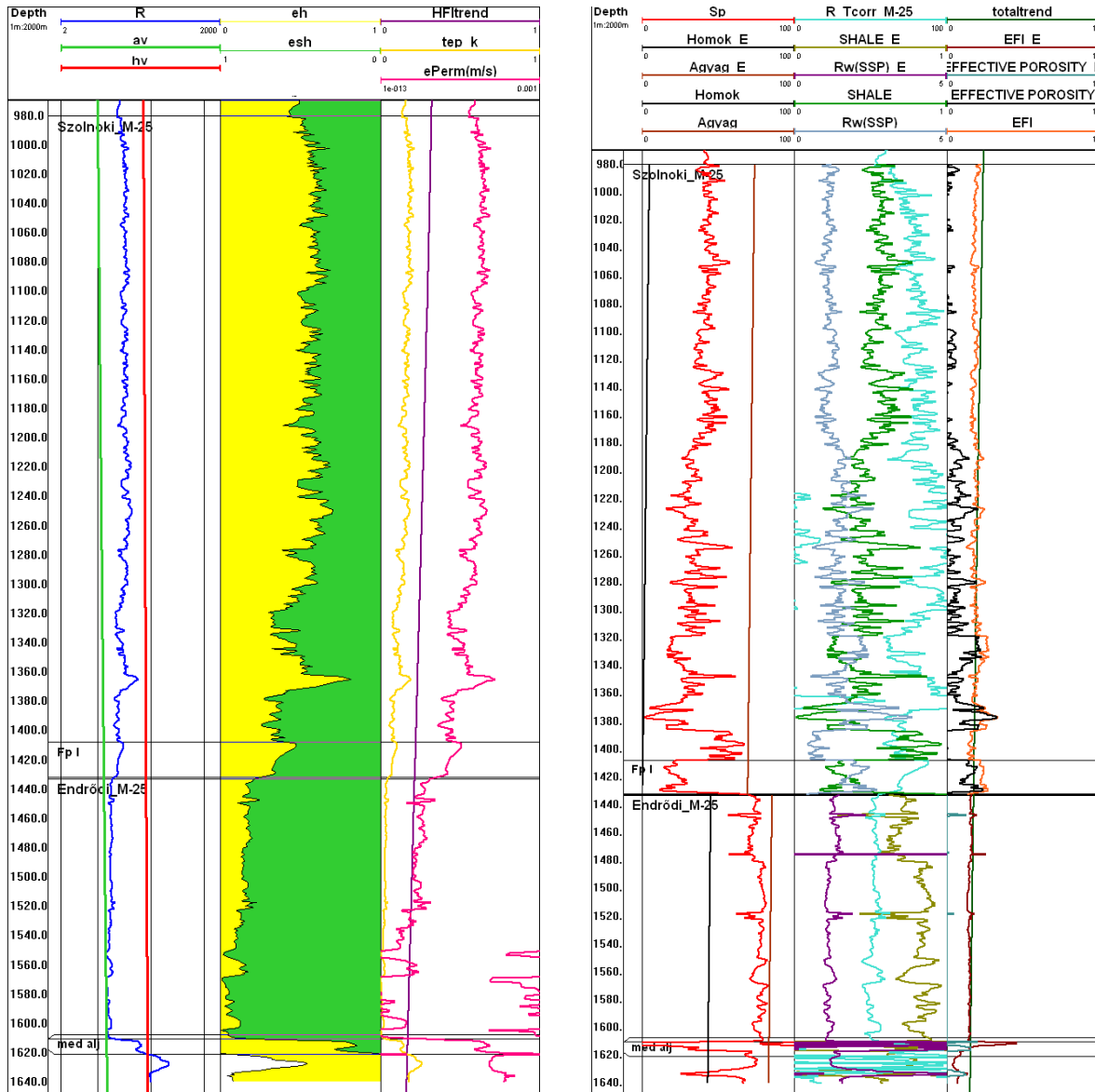


Mihályi szén-dioxidos fúrások mélyfúrás-geofizikai szelvényei:



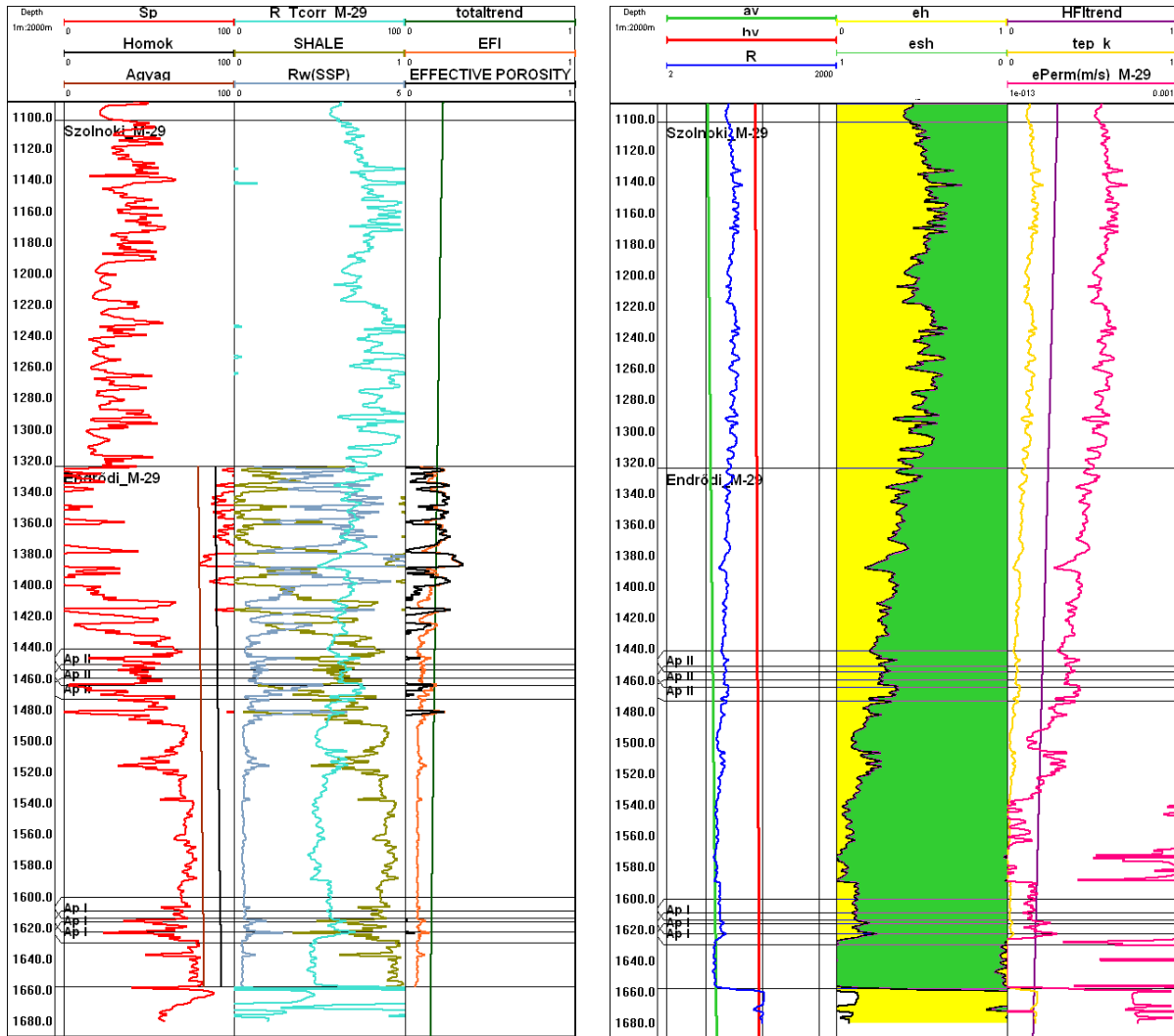
MI. 83. ábra a) M-21 fúrás egyszelvényes kiértékelése a Szolnoki és Endrődi Formációra b) M-21 fúrás kétszelvényes kiértékelése a Szolnoki és Endrődi Formációra

(av=agyagvonal; hv=homokvonal; R= fajlagos ellenállás szelvény [ohmm]; eh= ellenállás homokosság; esh= ellenállás agyagosság; HFI TREND=homok porozitás trend; tep\_k=trend effektív porozitás; ePerm=szivárgási tényező [m/s]; Sp=természetes potenciál szelvény [mV]; Agyag=agyagvonal; Homok=homokvonal; R\_Tcorr=hőmérséklet korigált fajlagos ellenállás szelvény [ohmm]; SHALE= agyagosság; Rw(SSP)=SSP szelvényből számított fajlagos vízellenállás szelvény [ohmm]; EFI=elektromos ellenállás [ohmm]; EFFECTIVE\_POROSITY=effektív porozitás)



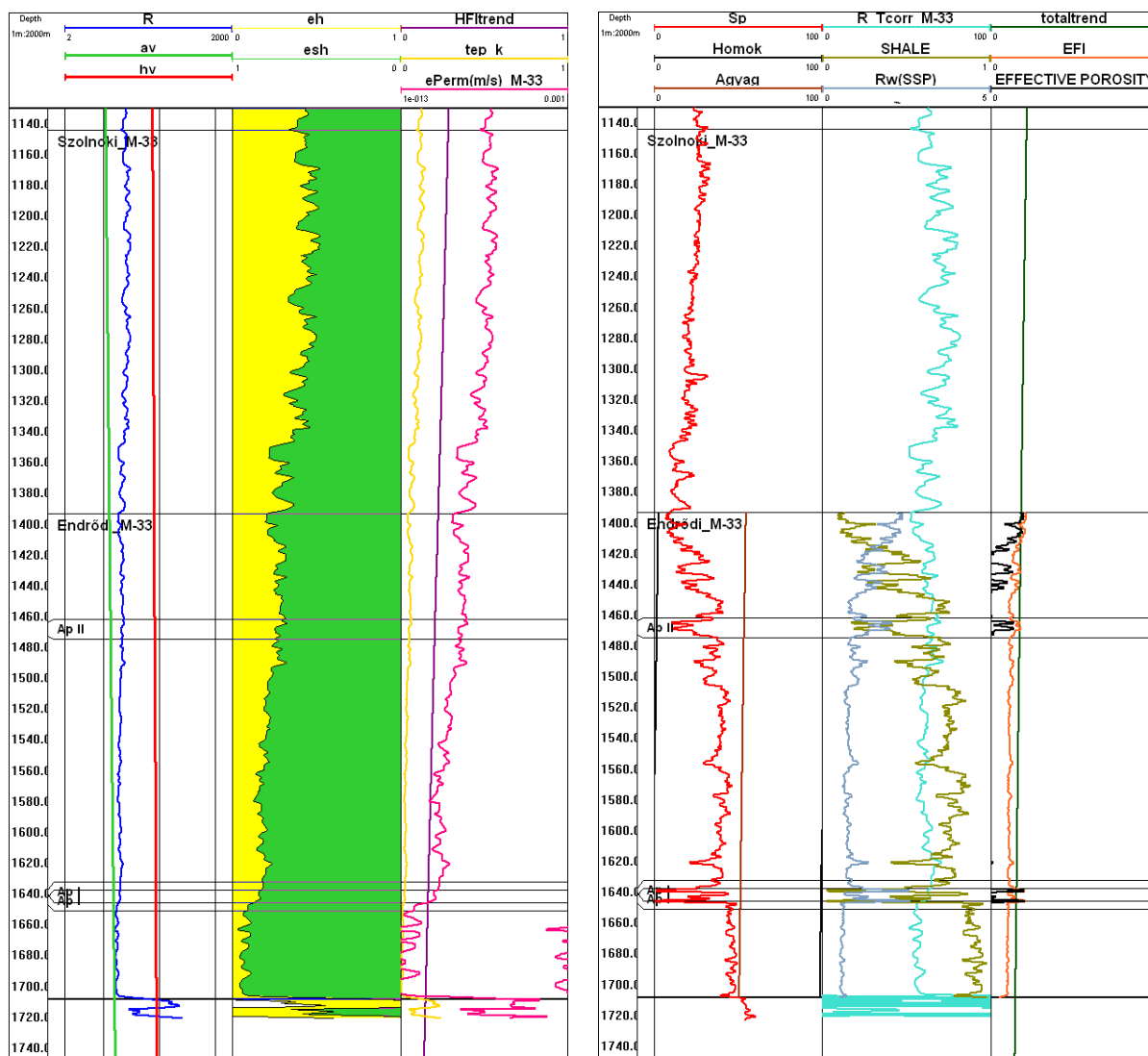
MI. 84. ábra a) M-25 fúrás egyszelvényes kiértékelése a Szolnoki és Endrődi Formációra b) M-25 fúrás kétszelvényes kiértékelése a Szolnoki és Endrődi Formációra

(av=agyagvonal; hv=homokvonal; R= fajlagos ellenállás szelvény [ohmm]; eh= ellenállás homokosság; esh= ellenállás agyagosság; HFI TREND=homok porozitás trend; tep\_k=trend effektív porozitás; ePerm=szivárgási tényező [m/s]; Sp=természetes potenciál szelvény [mV]; Agvag=agyagvonal; Homok=homokvonal; R\_Tcorr=hőmérséklet korigált fajlagos ellenállás szelvény [ohmm]; SHALE= agyagosság; Rw(SSP)=SSP szelvényből számított fajlagos vízellenállás szelvény [ohmm]; EFI=elektromos ellenállás [ohmm]; EFFECTIVE\_POROSITY=effektív porozitás)



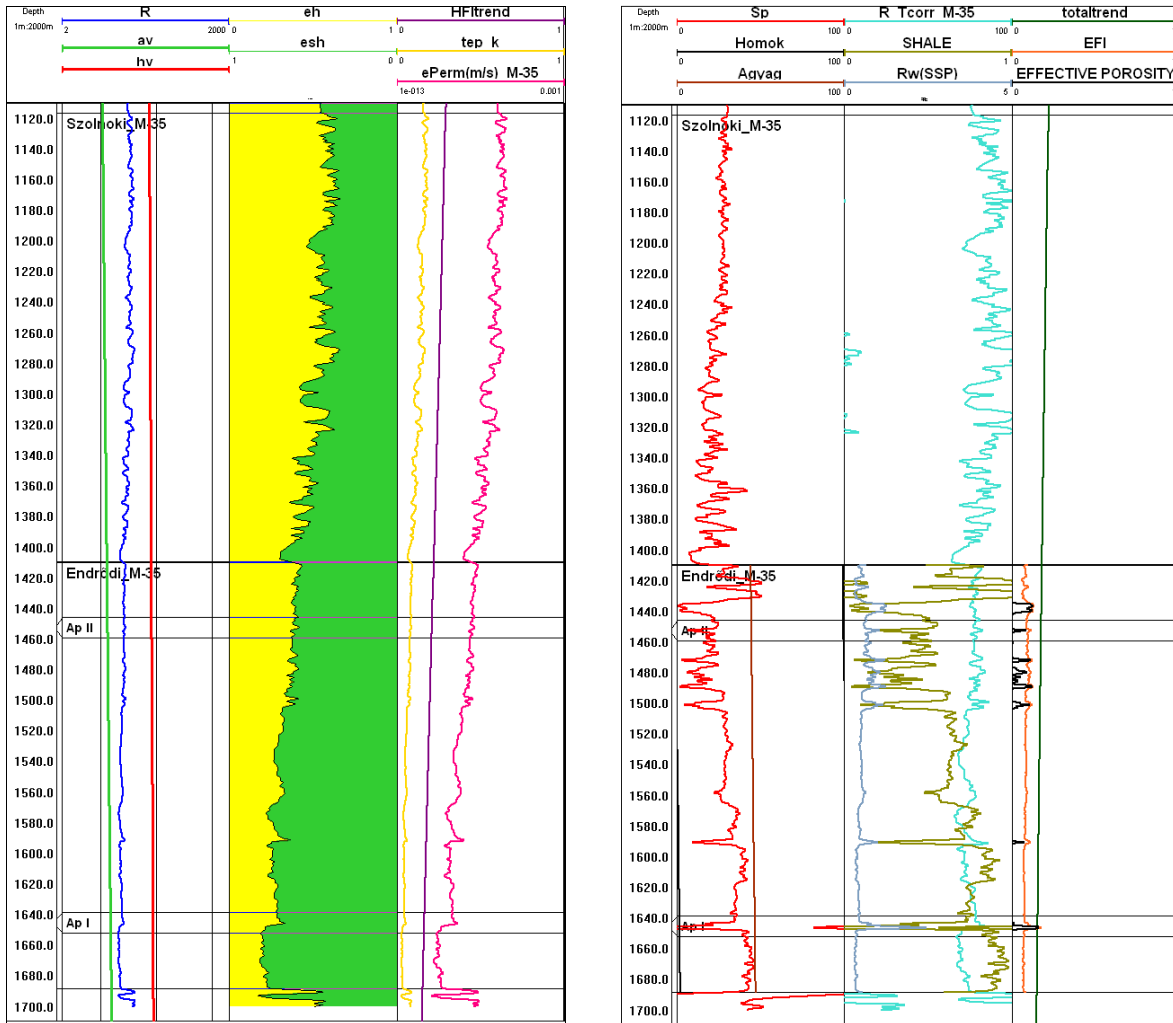
MI. 85. ábra a) M-29 fúrás egyszelvényes kiértékelése a Szolnoki és Endrődi Formációra b) M-29 fúrás kétszelvényes kiértékelése a Szolnoki és Endrődi Formációra

(av=agyagvonal; hv=homokvonal; R= fajlagos ellenállás szelvény [ohmm]; eh= ellenállás homokosság; esh= ellenállás agyagosság; HFI TREND=homok porozitás trend; tep\_k=trend effektív porozitás; ePerm=szivárgási tényező [m/s]; Sp=természetes potenciál szelvény [mV]; Agyag=agyagvonal; Homok=homokvonal; R\_Tcorr=hőmérséklet korigált fajlagos ellenállás szelvény [ohmm]; SHALE= agyagosság; Rw(SSP)=SSP szelvényből számított fajlagos vízellenállás szelvény [ohmm]; EFI=elektromos ellenállás [ohmm]; EFFECTIVE\_POROSITY=effektív porozitás)



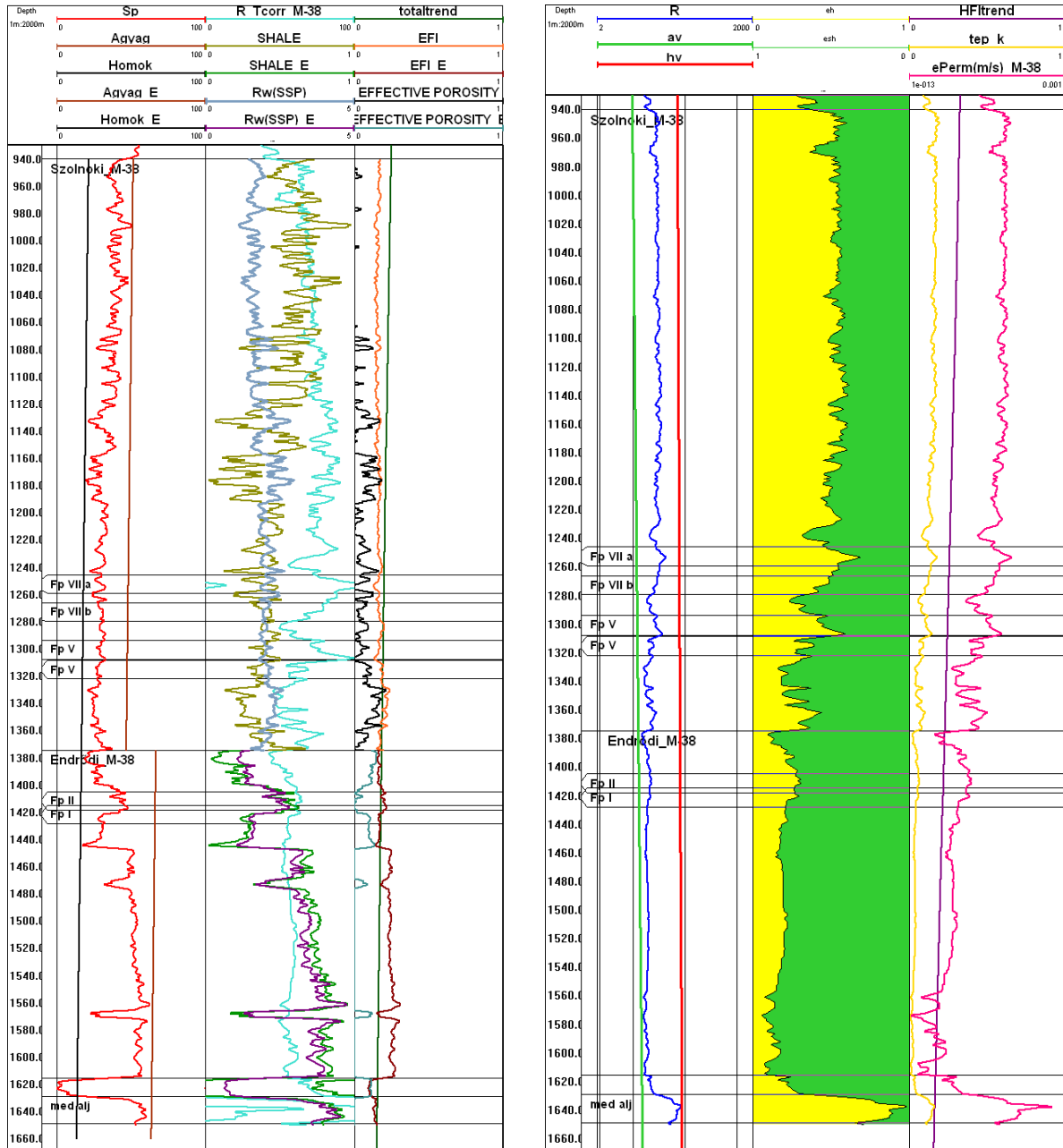
Ml. 86. ábra a) M-33 fúrás egyszelvényes kiértékelése a Szolnoki és Endrődi Formációra b) M-33 fúrás kétszelvényes kiértékelése a Szolnoki és Endrődi Formációra

(av=agyagvonal; hv=homokvonal; R= fajlagos ellenállás szelvény [ohmm]; eh= ellenállás homokosság; esh= ellenállás agyagosság; HFI TREND=homok porozitás trend; tep\_k=trend effektív porozitás; ePerm=szivárgási tényező [m/s]; Sp=természetes potenciál szelvény [mV]; Agvag=agyagvonal; Homok=homokvonal; R\_Tcorr=hőmérséklet korigált fajlagos ellenállás szelvény [ohmm]; SHALE=agyagosság; Rw(SSP)=SSP szelvényből számított fajlagos vízellenállás szelvény [ohmm]; EFI=elektromos ellenállás [ohmm]; EFFECTIVE\_POROSITY=effektív porozitás)



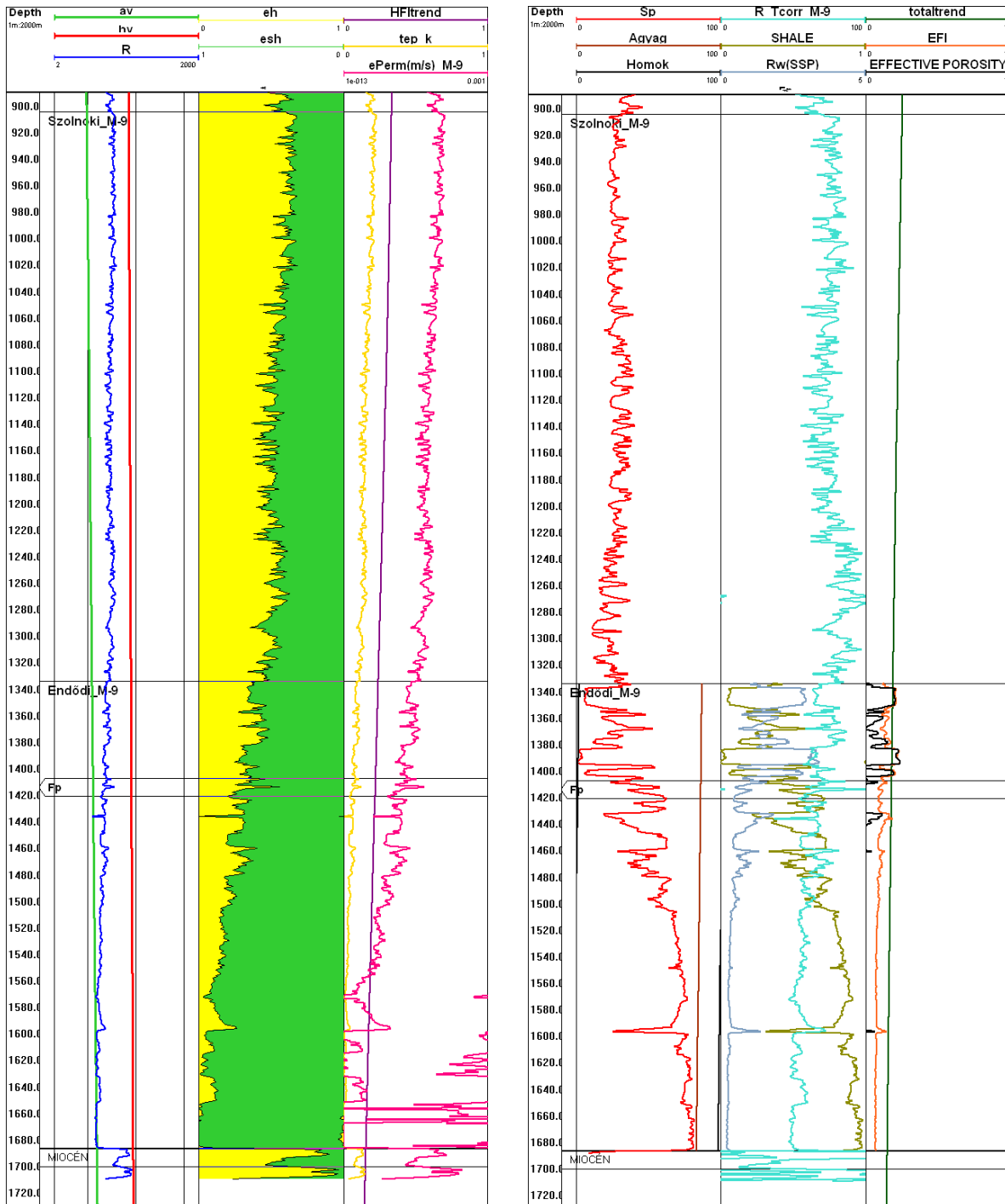
MI. 87. ábra a) M-35 fúrás egyszelvényes kiértékelése a Szolnoki és Endrődi Formációra b) M-35 fúrás kétszelvényes kiértékelése a Szolnoki és Endrődi Formációra

(av=agyagvonal; hv=homokvonal; R= fajlagos ellenállás szelvény [ohmm]; eh= ellenállás homokosság; esh= ellenállás agyagosság; HFI TREND=homok porozitás trend; tep\_k=trend effektív porozitás; ePerm=szivárgási tényező [m/s]; Sp=természetes potenciál szelvény [mV]; Agyag=agyagvonal; Homok=homokvonal; R\_Tcorr=hőmérséklet korigált fajlagos ellenállás szelvény [ohmm]; SHALE=agyagosság; Rw(SSP)=SSP szelvényből számított fajlagos vízellenállás szelvény [ohmm]; EFI=elektromos ellenállás [ohmm]; EFFECTIVE\_POROSITY=effektív porozitás)



MI. 88. ábra a) M-38 fúrás egyszelvényes kiértékelése a Szolnoki és Endrődi Formációra b) M-38 fúrás  
kétszelvényes kiértékelése a Szolnoki és Endrődi Formációra

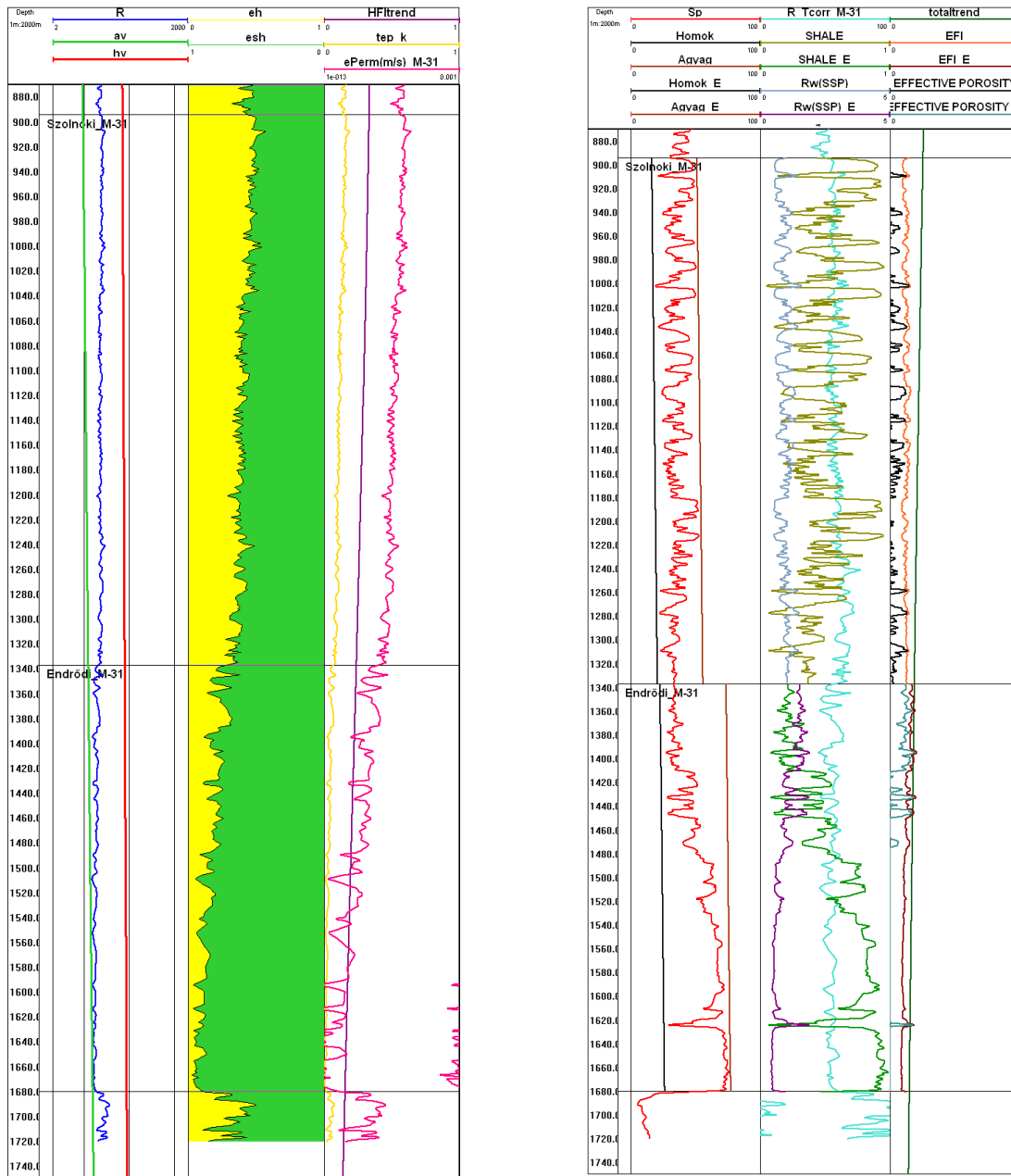
(av=agyagvonal; hv=homokvonal; R= fajlagos ellenállás szelvény [ohmm]; eh= ellenállás homokosság; esh= ellenállás agyagosság; HFI TREND=homok porozitás trend; tep\_k=trend effektív porozitás; ePerm=szivárgási tényező [m/s]; Sp=természetes potenciál szelvény [mV]; Agvag=agyagvonal; Homok=homokvonal; R\_Tcorr=hőmérséklet korrigált fajlagos ellenállás szelvény [ohmm]; SHALE= agyagosság; Rw(SSP)=SSP szelvényből számított fajlagos vízellenállás szelvény [ohmm]; EFI=elektromos ellenállás [ohmm]; EFFECTIVE\_POROSITY=effektív porozitás)



MI. 89. ábra a) M-9 fúrás egyszelvényes kiértékelése a Szolnoki és Endrődi Formációra b) M-9 fúrás kétszelvényes kiértékelése a Szolnoki és Endrődi Formációra

(av=agyagvonal; hv=homokvonal; R= fajlagos ellenállás szelvény [ohmm]; eh= ellenállás homokosság; esh= ellenállás agyagosság; HFI TREND=homok porozitás trend; tep\_k=trend effektív porozitás; ePerm=szivárgási tényező [m/s]; Sp=természetes potenciál szelvény [mV]; Agyaq=agyagvonal; Homok=homokvonal; R\_Tcorr=hőmérséklet korrigált fajlagos ellenállás szelvény [ohmm]; SHALE= agyagosság; Rw(SSP)=SSP szelvényből számított fajlagos vízellenállás szelvény [ohmm]; EFI=elektromos ellenállás [ohmm]; EFFECTIVE\_POROSITY=effektív porozitás)

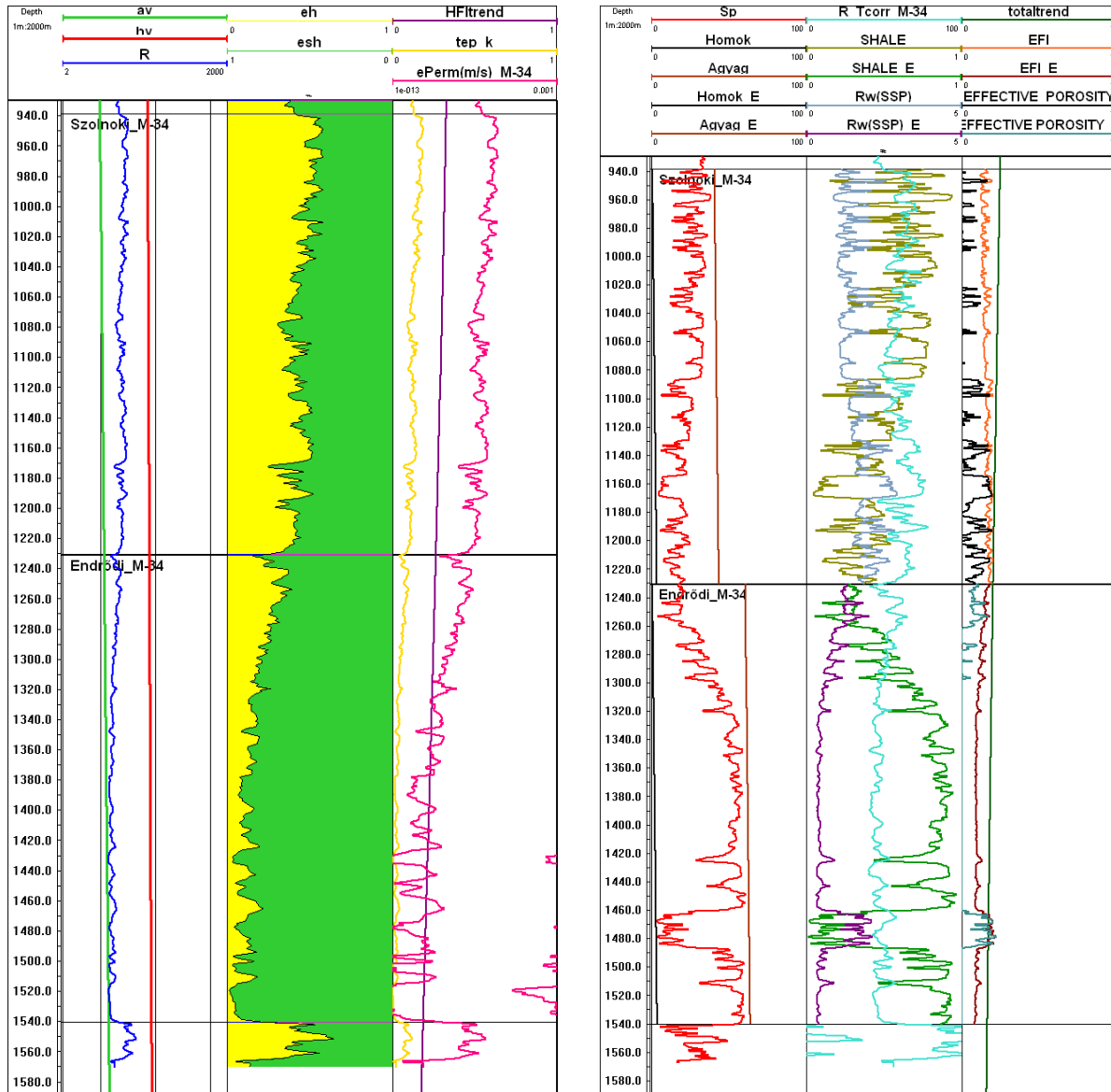
Mihályi nem szén-dioxidos fúrások mélyfúrás-geofizikai szelvényei:



MI. 90. ábra a) M-31 fúrás egyszelvényes kiértékelése a Szolnoki és Endrődi Formációra b) M-31 fúrás kétszelvényes kiértékelése a Szolnoki és Endrődi Formációra

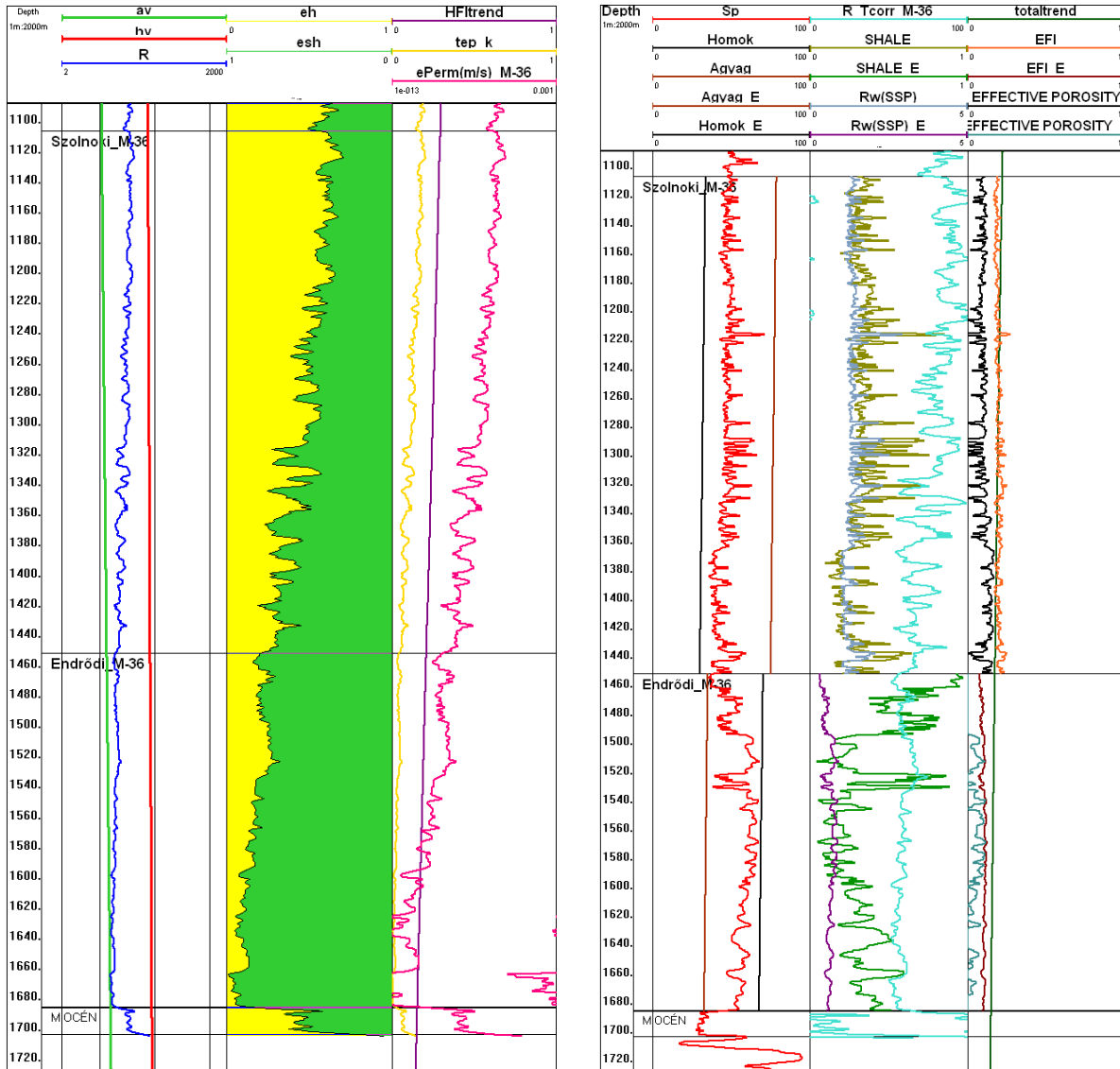
(av=agyagvonal; hv=homokvonal; R= fajlagos ellenállás szelvény [ohmm]; eh= ellenállás homokosság; esh= ellenállás agyagosság; HFI TREND=homok porozitás trend; tep\_k=trend effektív porozitás; ePerm=szivárgási tényező [m/s]; Sp=természetes potenciál szelvény [mV]; Agvag=agyagvonal; Homok=homokvonal; R\_Tcorr=hőmérséklet korrigált fajlagos ellenállás szelvény [ohmm]; SHALE= agyagosság; Rw(SSP)=SSP szelvényből számított fajlagos vízellenállás szelvény [ohmm]; EFI=elektromos ellenállás [ohmm]; EFFECTIVE\_POROSITY=effektív porozitás)





MI. 91. ábra a) M-34 fúrásgegy szelvényes kiértékelése a Szolnoki és Endrődi Formációra b) M-34 fúrás kétszelvényes kiértékelése a Szolnoki és Endrődi Formációra

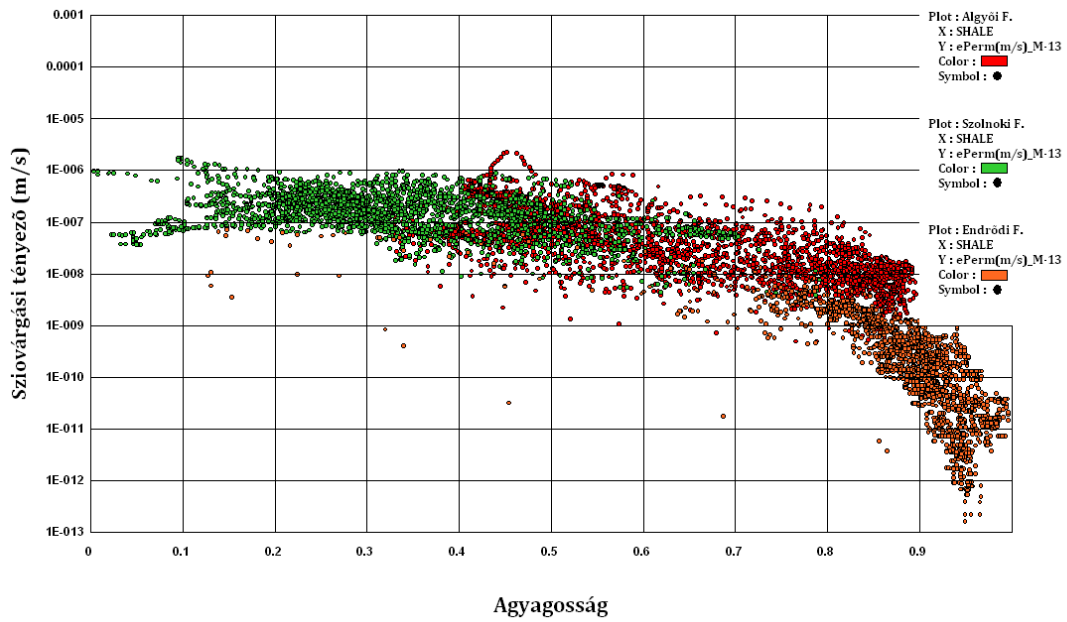
(av=(av=agyagvonal; hv=homokvonal; R= fajlagos ellenállás szelvény [ohmm]; eh= ellenállás homokosság; esh= ellenállás agyagosság; HFI TREND=homok porozitás trend; tep\_k=trend effektív porozitás; ePerm=szivárgási tényező [m/s]; Sp=természetes potenciál szelvény [mV]; Agvag=agyagvonal; Homok=homokvonal; R\_Tcorr=hőmérséklet korigált fajlagos ellenállás szelvény [ohmm]; SHALE= agyagosság; R w(SSP)=SSP szelvényből számított fajlagos vízellenállás szelvény [ohmm]; EFI=elektromos ellenállás [ohmm]; EFFECTIVE\_POROSITY=effektív porozitás)



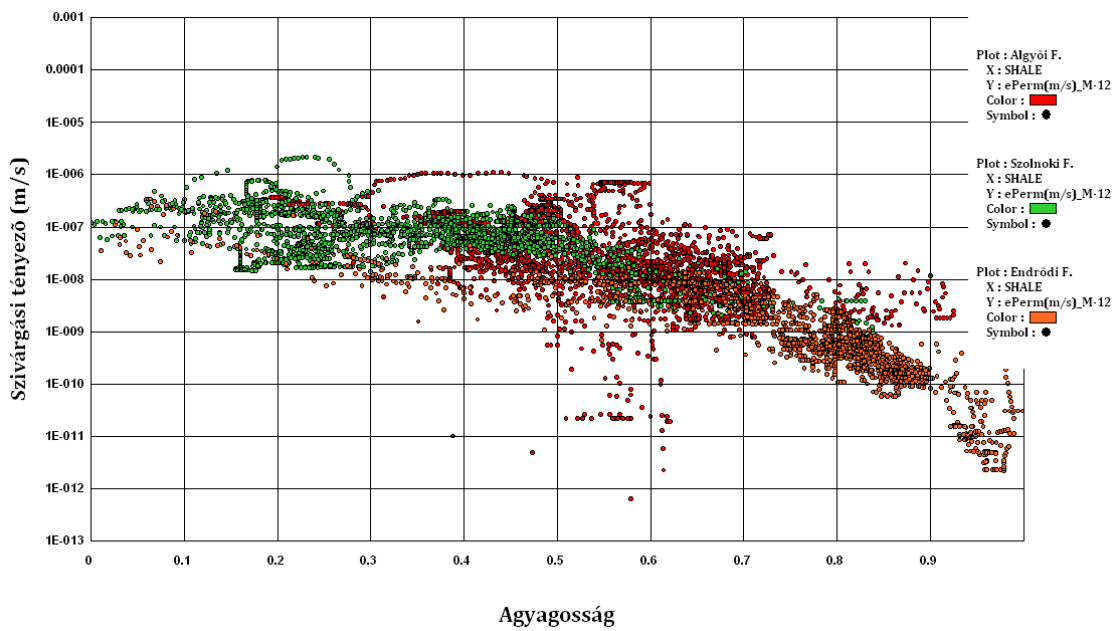
MI. 92. ábra a) M-36 fúrás egyszelvényes kiértékelése a Szolnoki és Endrődi Formációra b) M-36 fúrás kétszvényes kiértékelése a Szolnoki és Endrődi Formációra

(av=agyagvonal; hv=homokvonal; R= fajlagos ellenállás szelvény [ohmm]; eh= ellenállás homokosság; esh= ellenállás agyagosság; HFI TREND=homok porozitás trend; tep\_k=trend effektív porozitás; ePerm=szivárgási tényező [m/s]; Sp=természetes potenciál szelvény [mV]; Agyag=agyagvonal; Homok=homokvonal; R\_Tcorr=hőmérséklet korrigált fajlagos ellenállás szelvény [ohmm]; SHALE= agyagosság; Rw(SSP)=SSP szelvényből számított fajlagos vízellenállás szelvény [ohmm]; EFI=elektromos ellenállás [ohmm]; EFFECTIVE\_POROSITY=effektív porozitás)

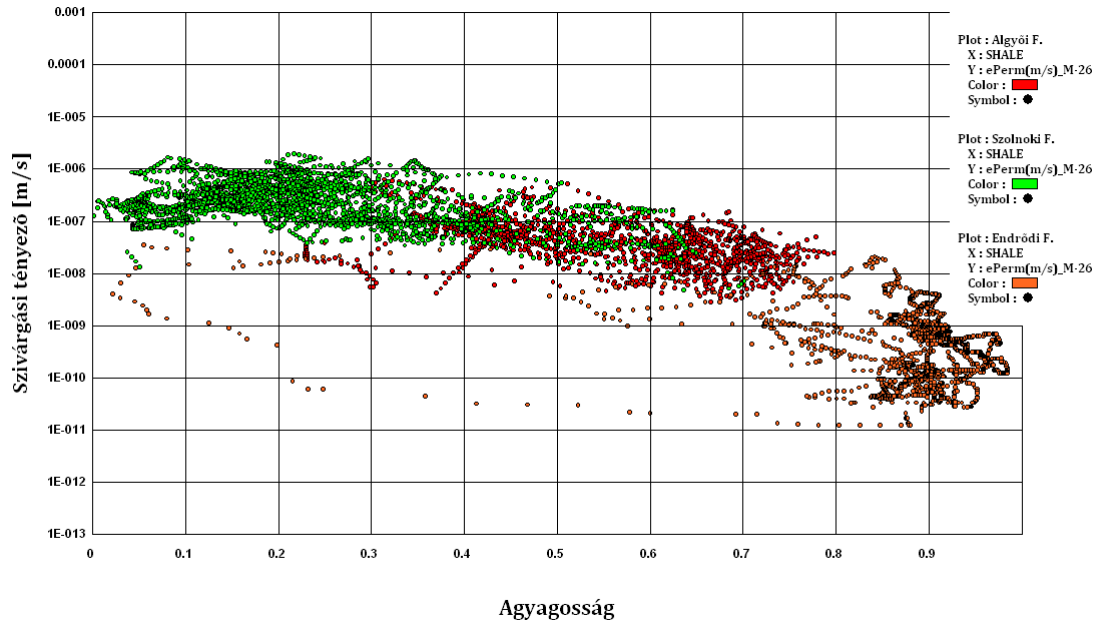
Melléklet II.



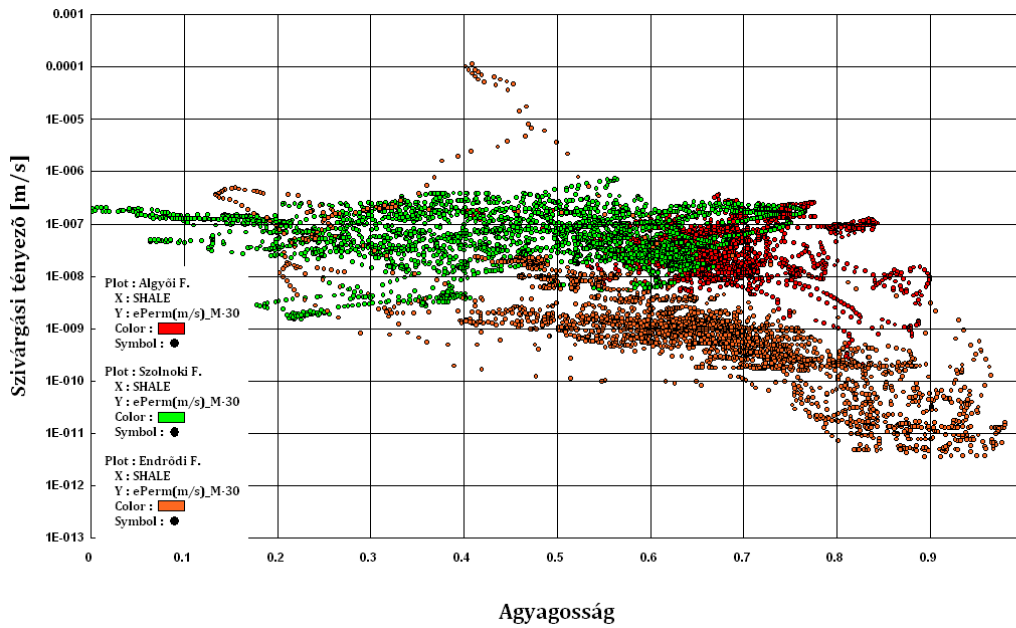
MII. 93. ábra M-13. fúrás agyagosság - szivárgási tényező cross-plot



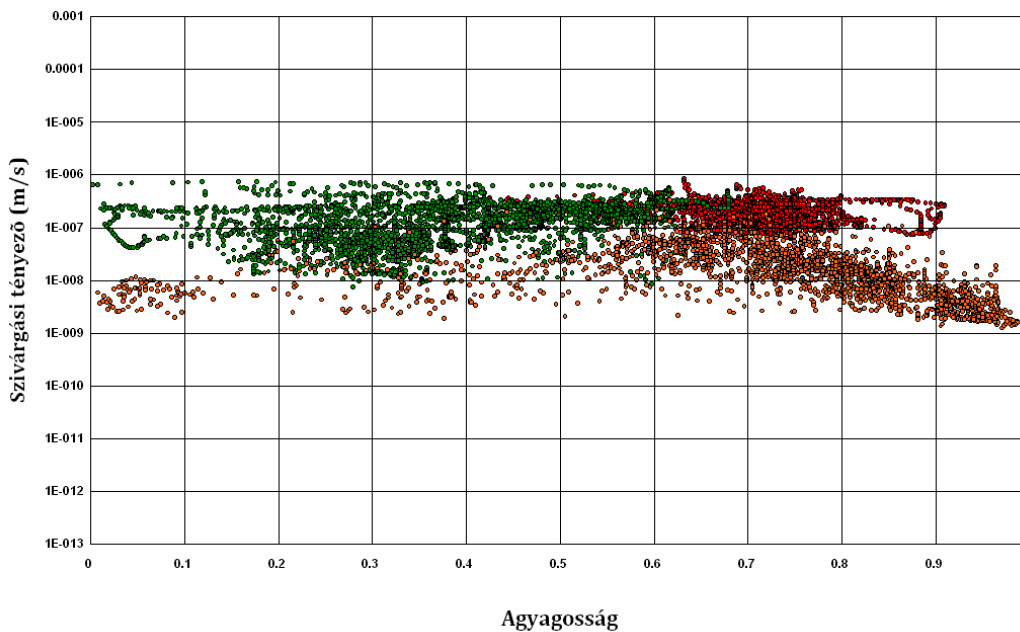
MII. 94. ábra M-12. fúrás agyagosság - szivárgási tényező cross-plot



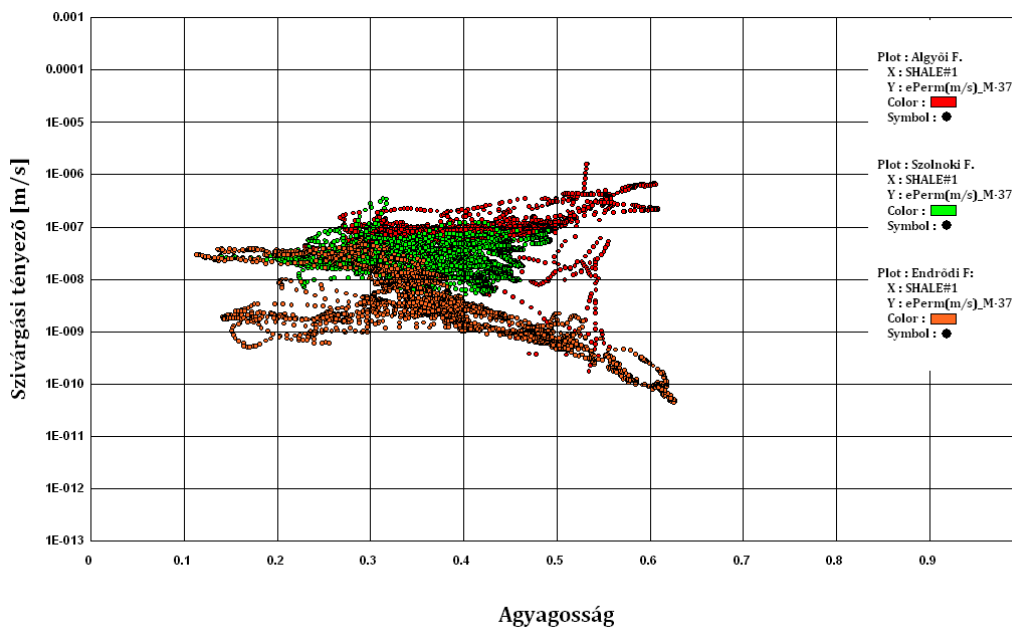
MII. 95. ábra M-26. fúrás agyagosság - szivárgási tényező cross-plot



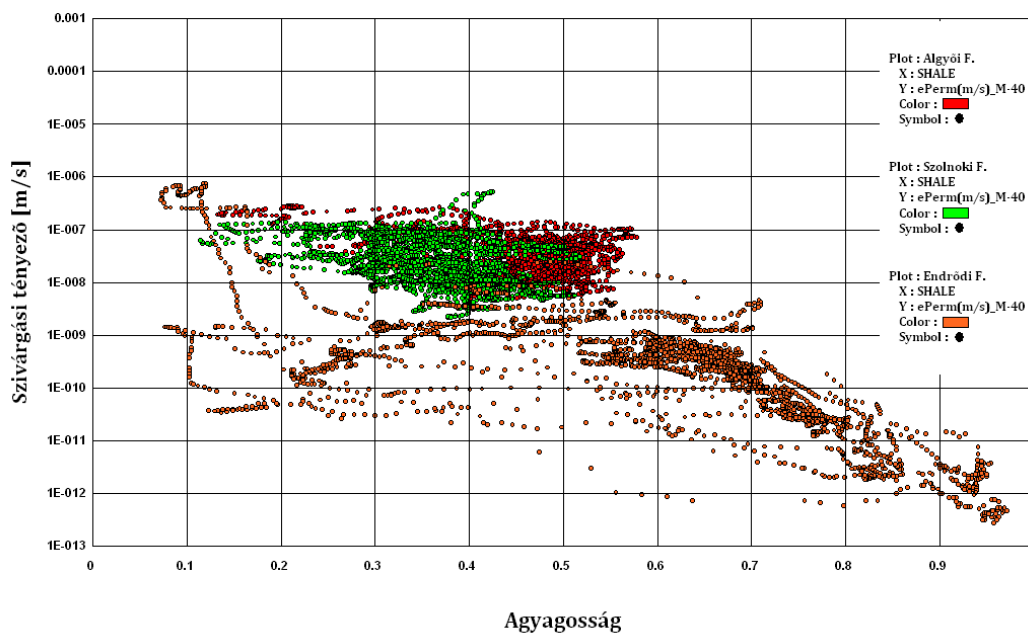
MII. 96. ábra M-30. fúrás agyagosság - szivárgási tényező cross-plot



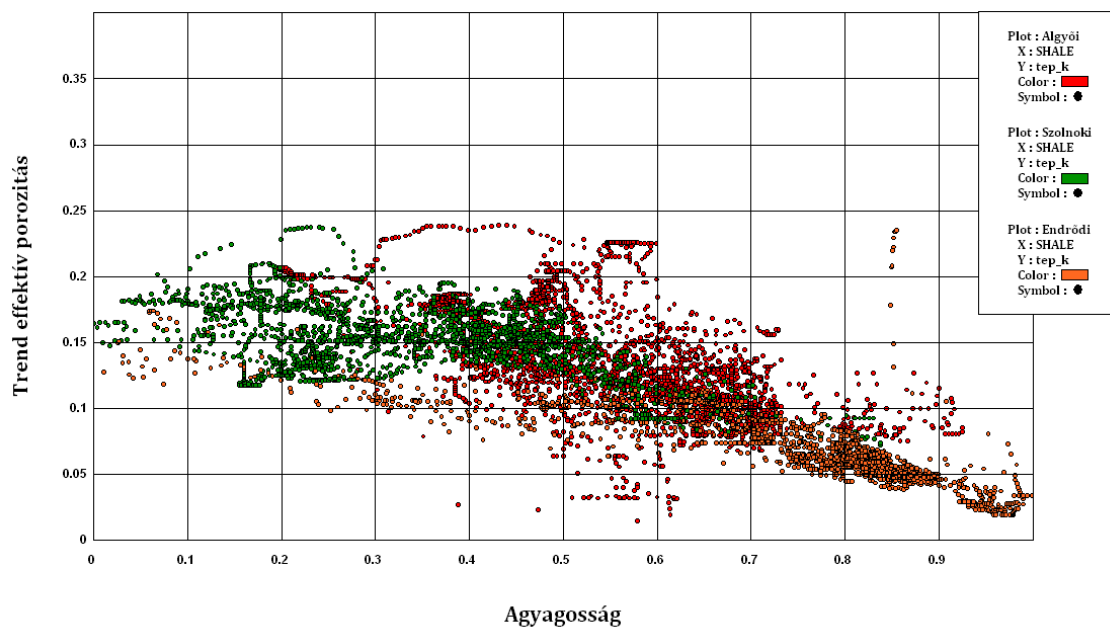
MII. 97. ábra M-32. fúrás agyagosság - szivárgási tényező cross-plot



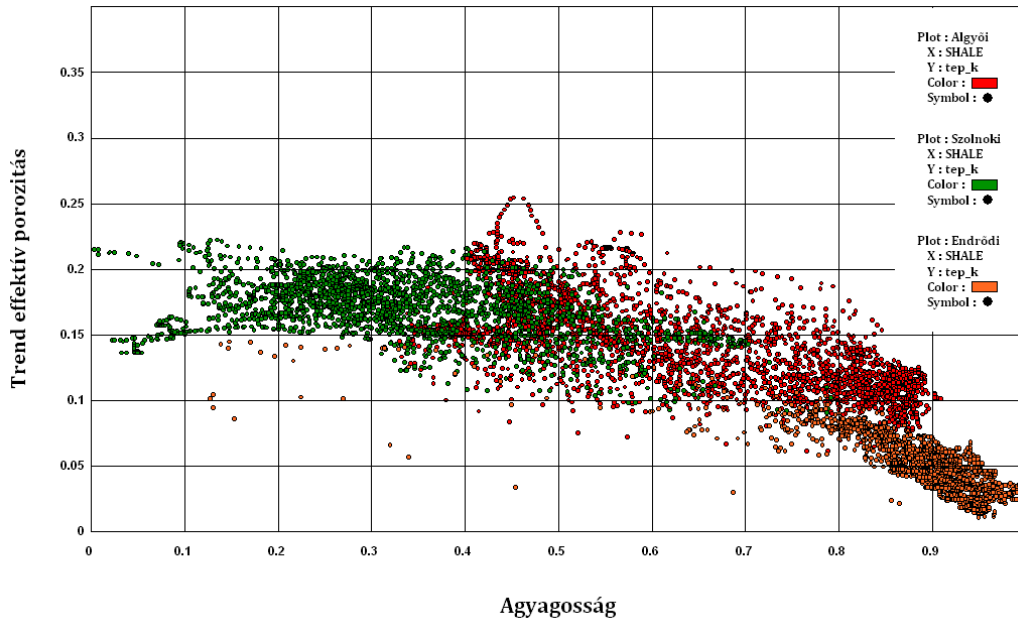
MII. 98. ábra M-37. fúrás agyagosság - szivárgási tényező cross-plot



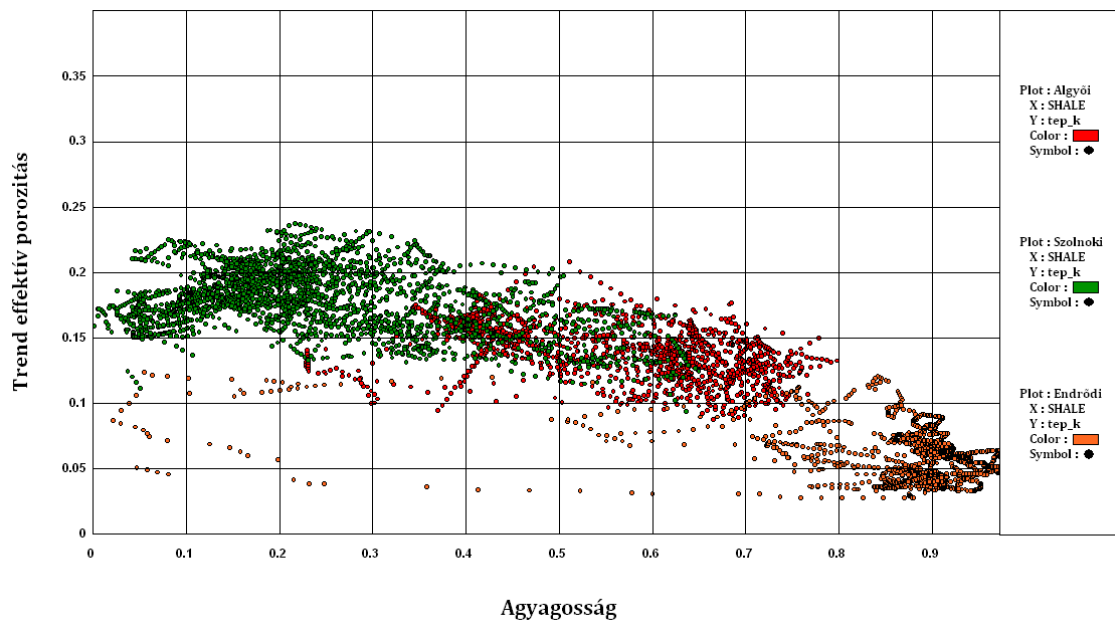
MII. 99. ábra M-40. fúrás agyagosság - szivargási tényező cross-plot



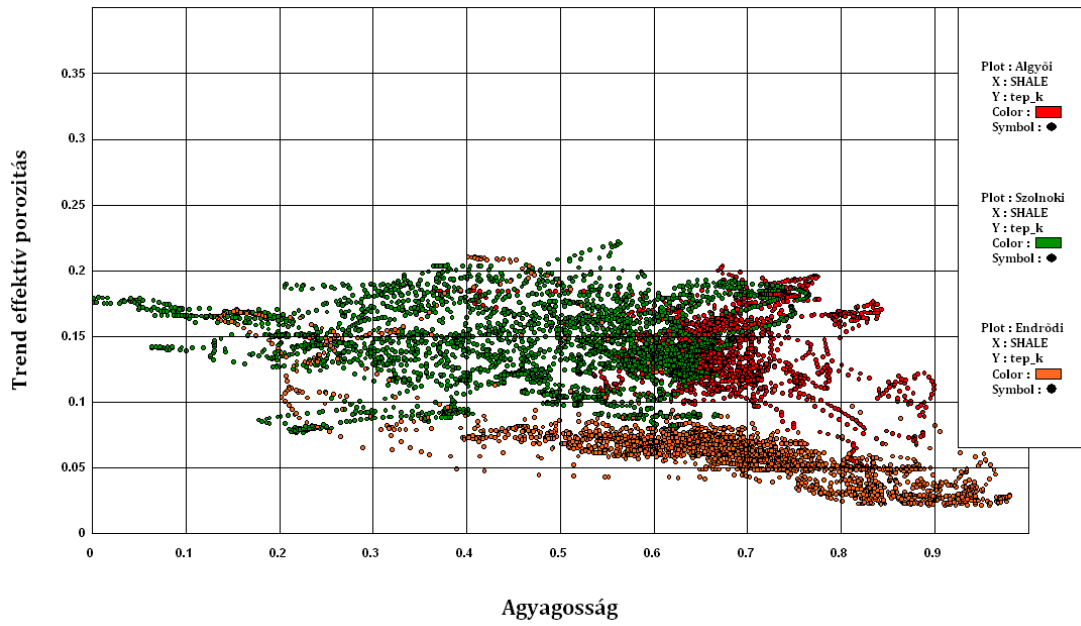
MII. 100. ábra M-12. fúrás trend effektív porozitás –agyagosság cross-plot



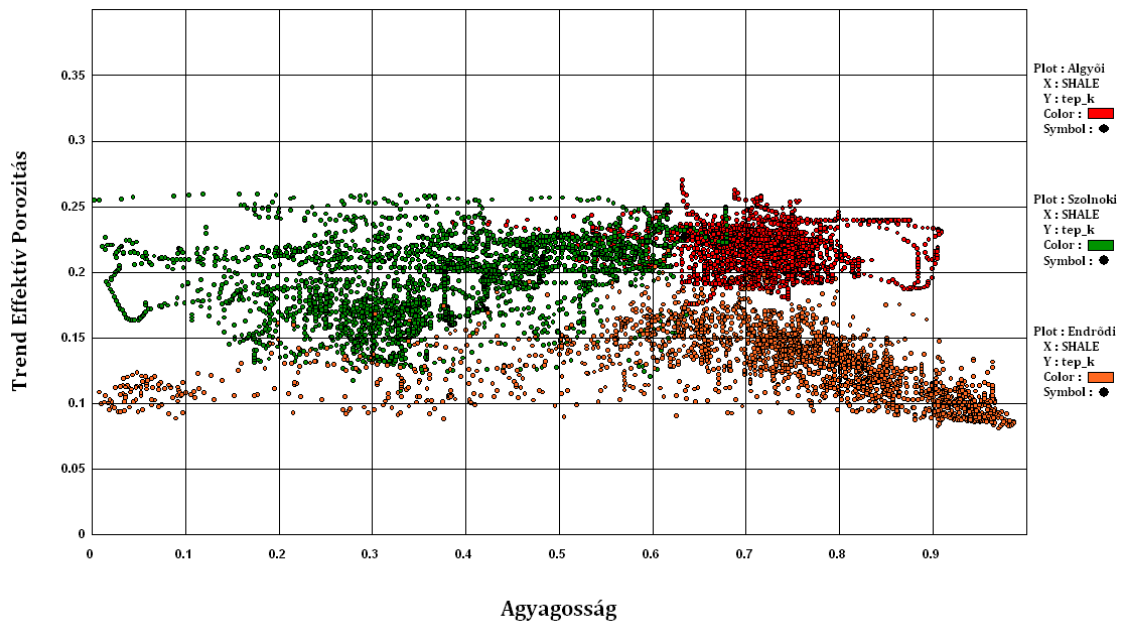
MII. 101. ábra M-13. fúrás trend effektív porozitás –agyagosság cross-plot



MII. 102. ábra M-26. fúrás trend effektív porozitás –agyagosság cross-plot

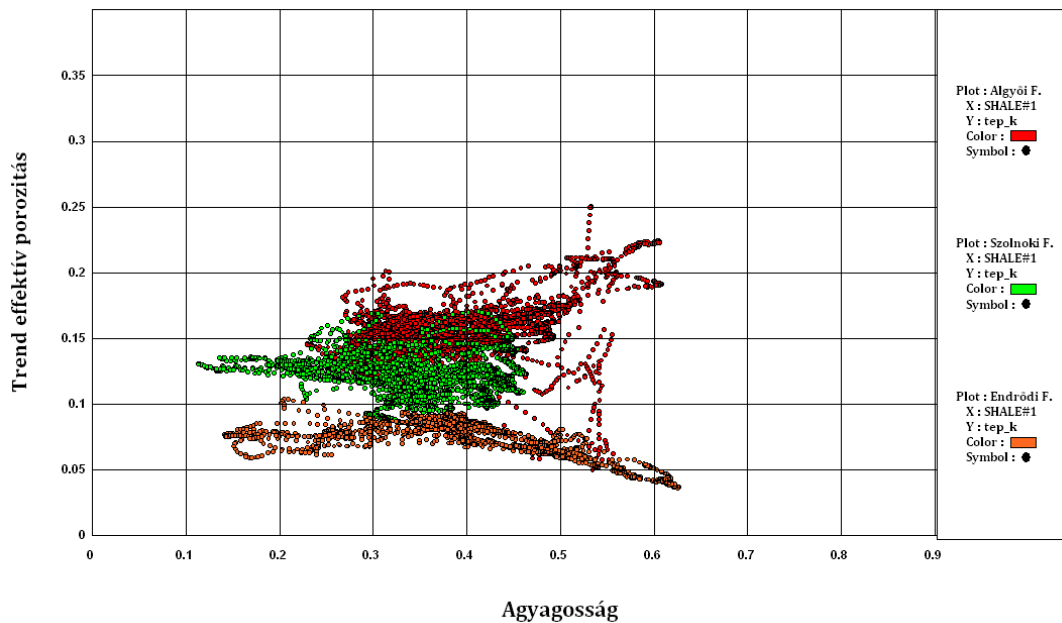


MII. 103. ábra M-30. fúrás trend effektív porozitás –agyagosság cross-plot

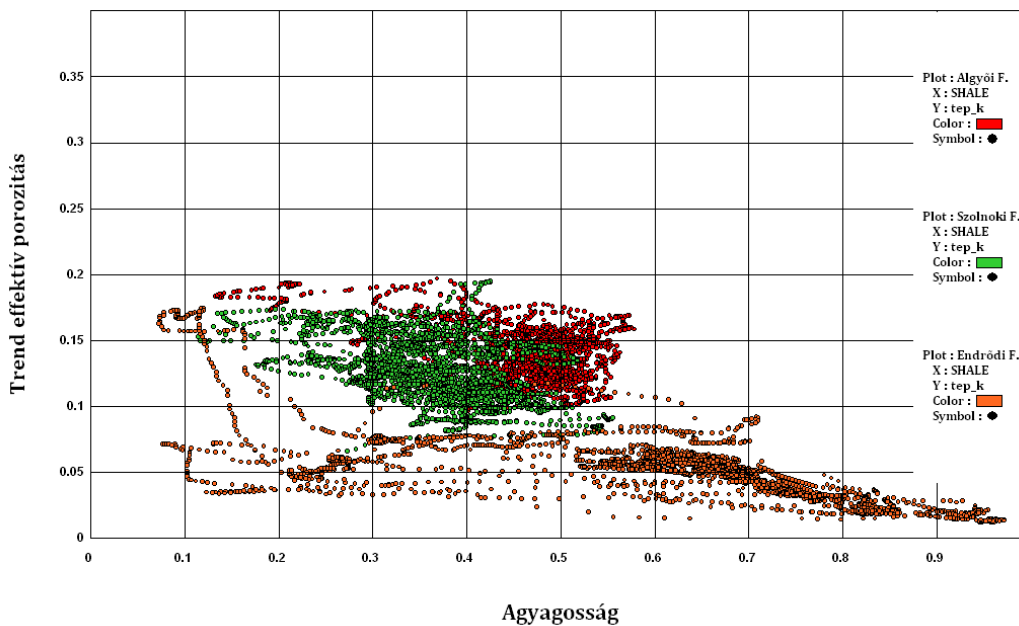


MII. 104. ábra M-32. fúrás trend effektív porozitás –agyagosság cross-plot

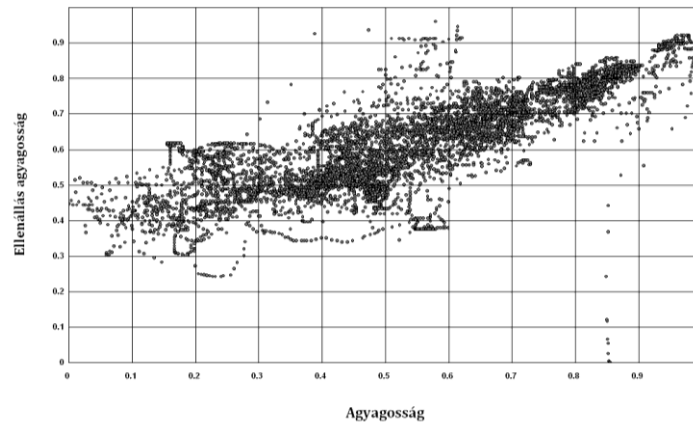




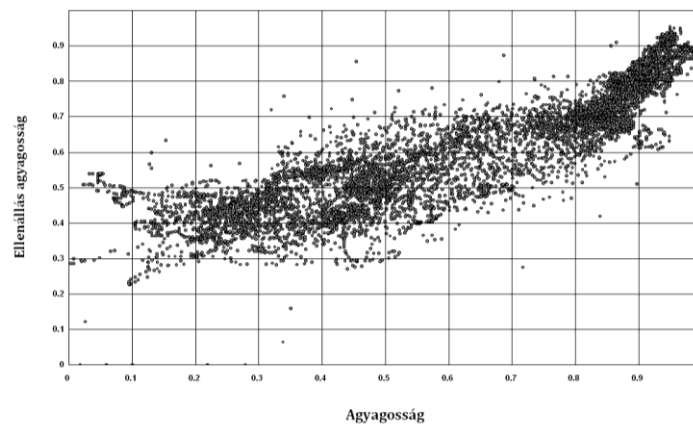
MII. 105. ábra M-37. fúrás trend effektív porozitás –agyagosság cross-plot



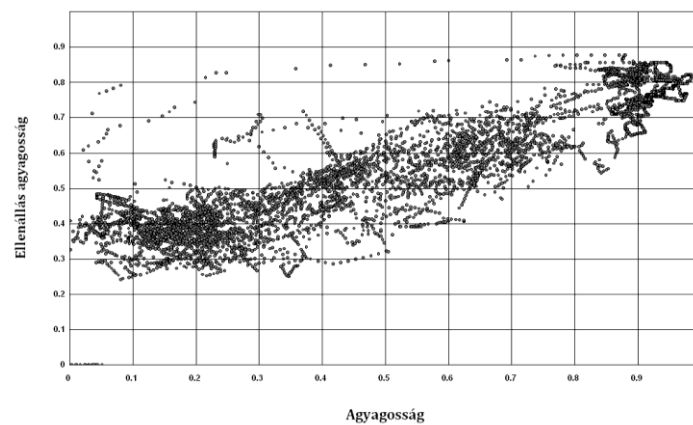
MII. 106. ábra M-40. fúrás trend effektív porozitás –agyagosság cross-plot



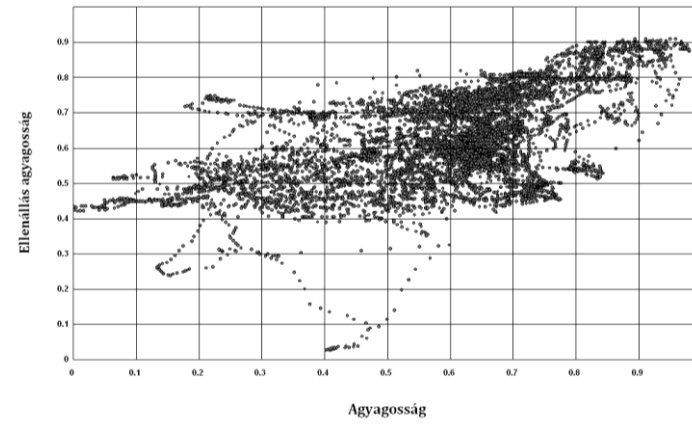
MII. 107. ábra M-12. fúrás agyagosság – ellenállás agyagosság cross-plot



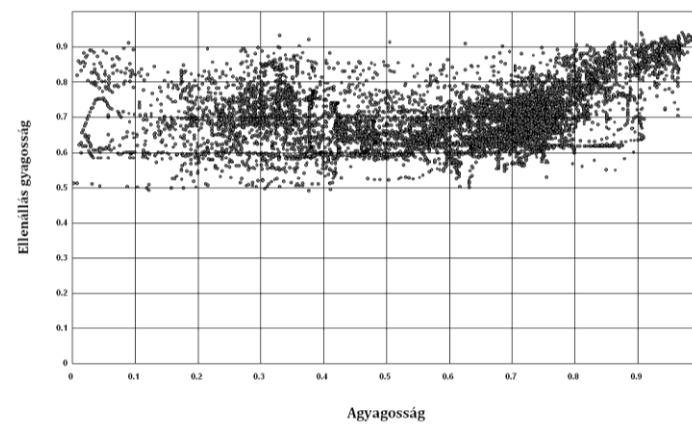
MII. 108. ábra M-13. fúrás agyagosság – ellenállás agyagosság cross-plot



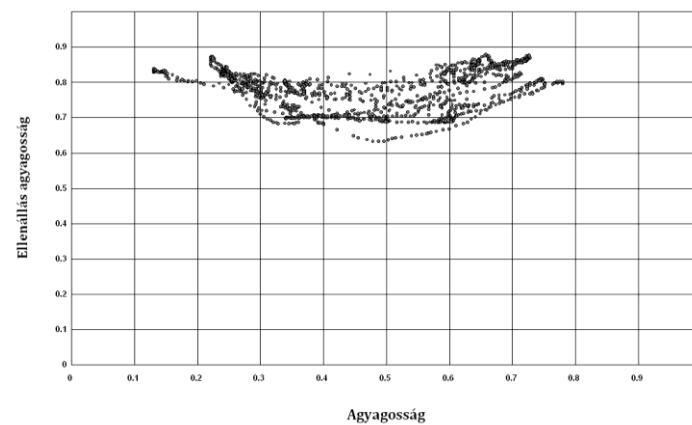
MII. 109. ábra M-26. fúrás agyagosság – ellenállás agyagosság cross-plot



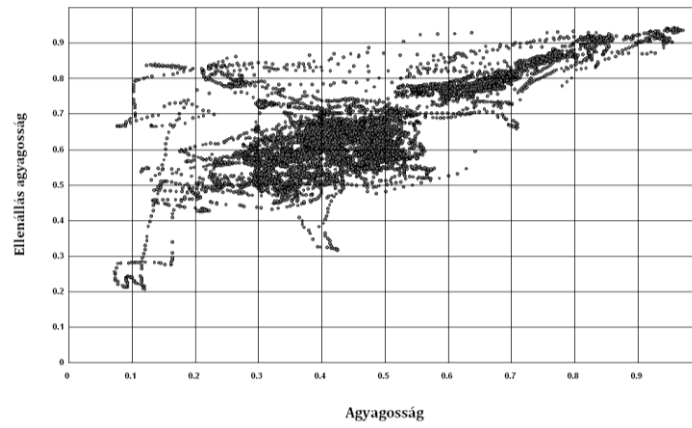
MII. 110. ábra M-30. fúrás agyagosság – ellenállás agyagosság cross-plot



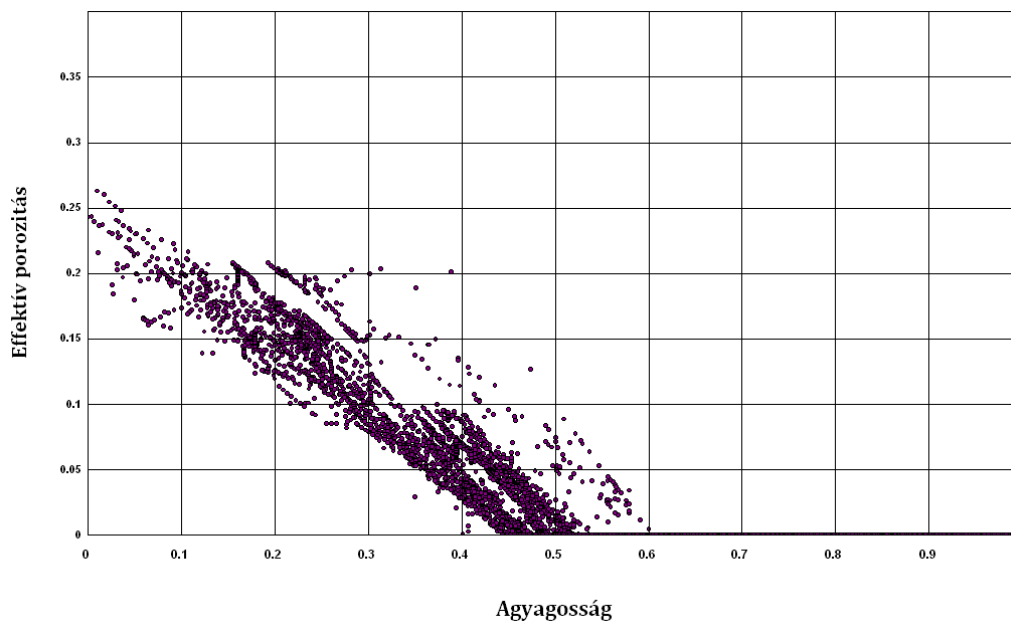
MII. 111. ábra M-32. fúrás agyagosság – ellenállás agyagosság cross-plot



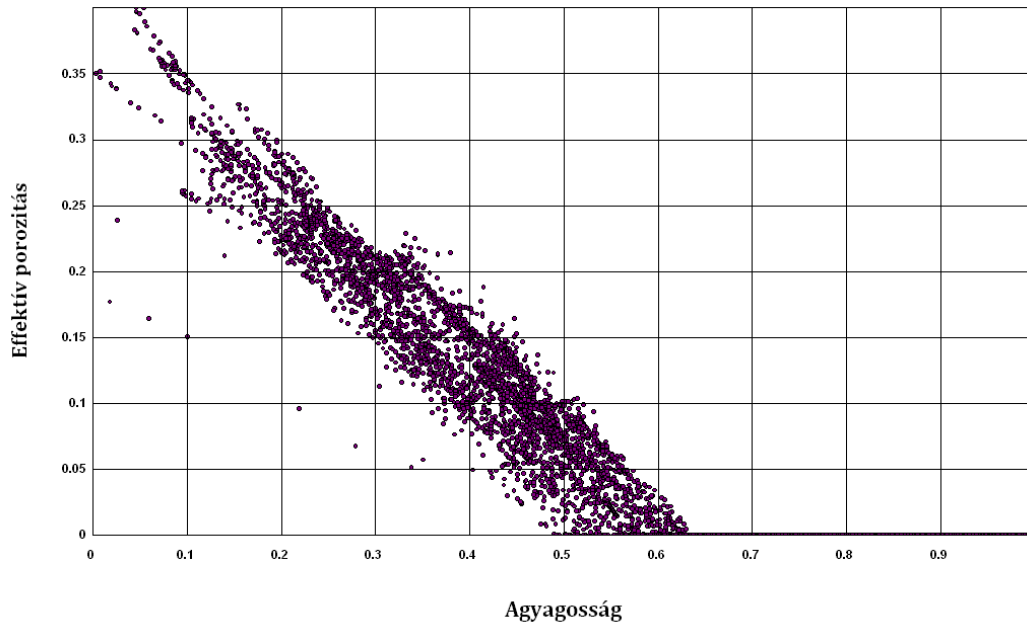
MII. 112. ábra M-37. fúrás agyagosság – ellenállás agyagosság cross-plot



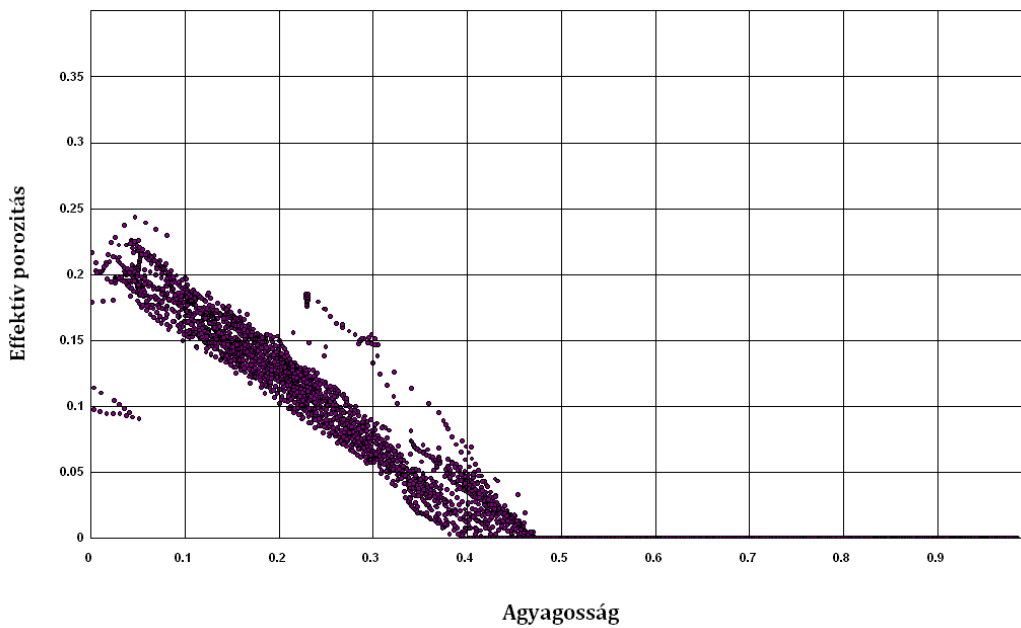
MII. 113. ábra M-40. fúrás agyagosság – ellenállás agyagosság cross-plot



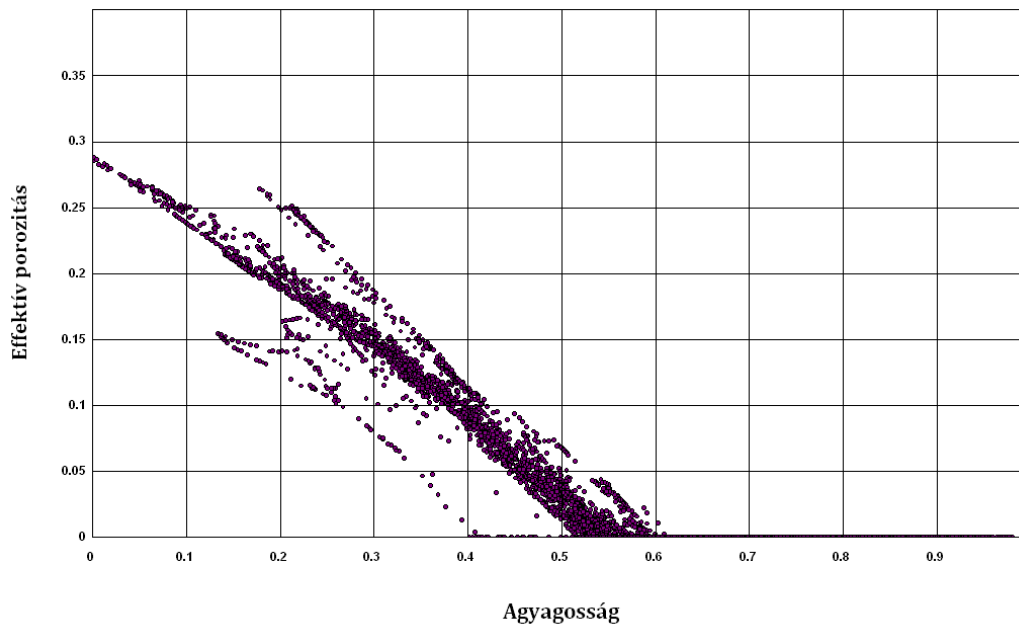
MII. 114. ábra M-12. fúrás agyagosság - trend effektív porozitás cross-plot



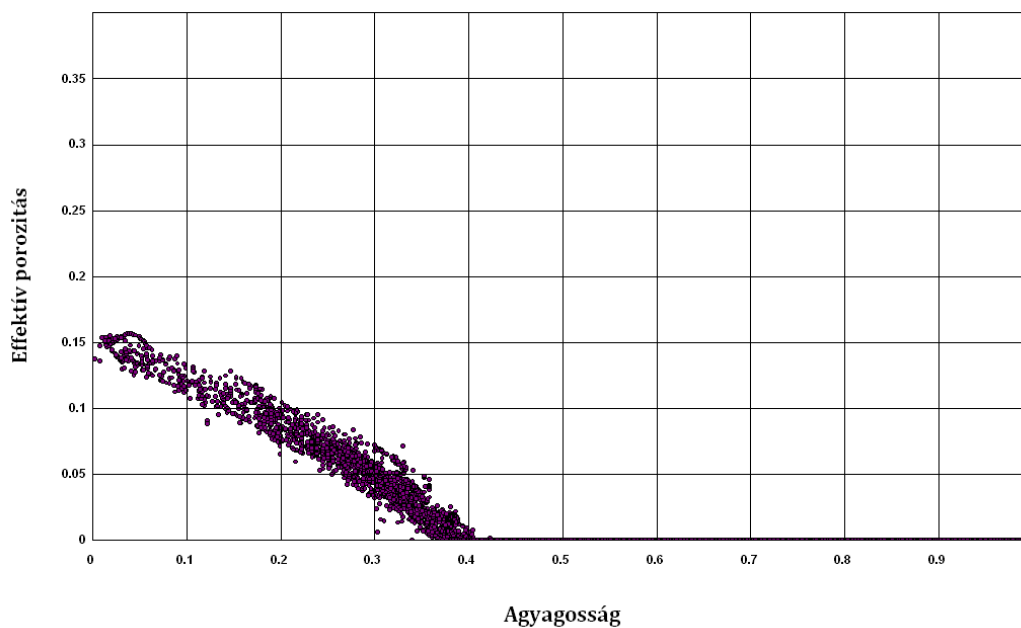
MII. 115. ábra M-13. fúrás agyagosság - trend effektív porozitás cross-plot



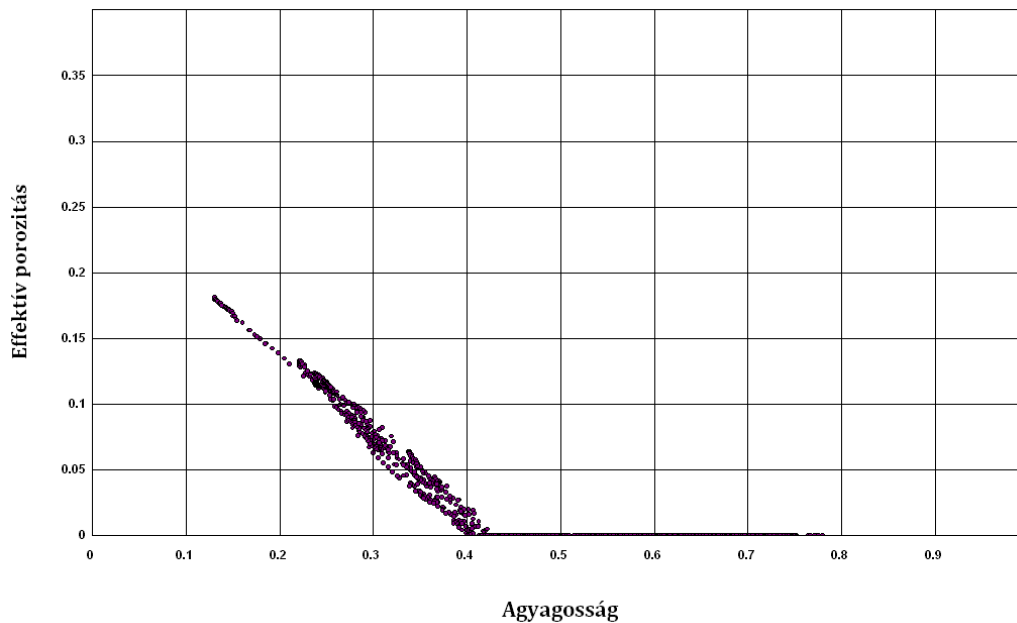
MII. 116. ábra M-26. fúrás agyagosság - trend effektív porozitás cross-plot



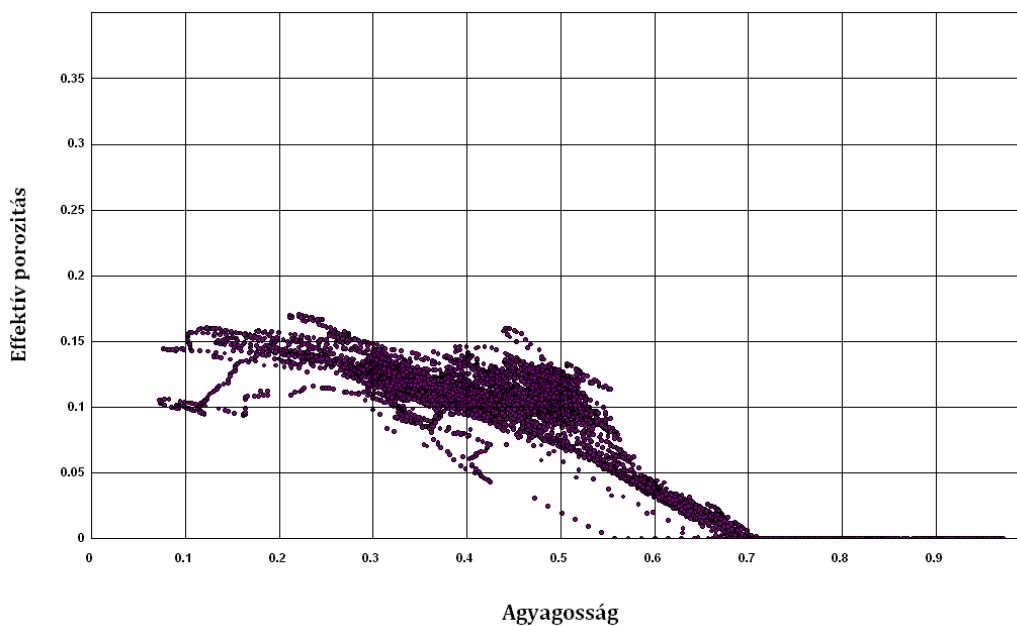
MII. 117. ábra M-30. fúrás agyagosság - trend effektív porozitás cross-plot



MII. 118. ábra M-32. fúrás agyagosság - trend effektív porozitás cross-plot

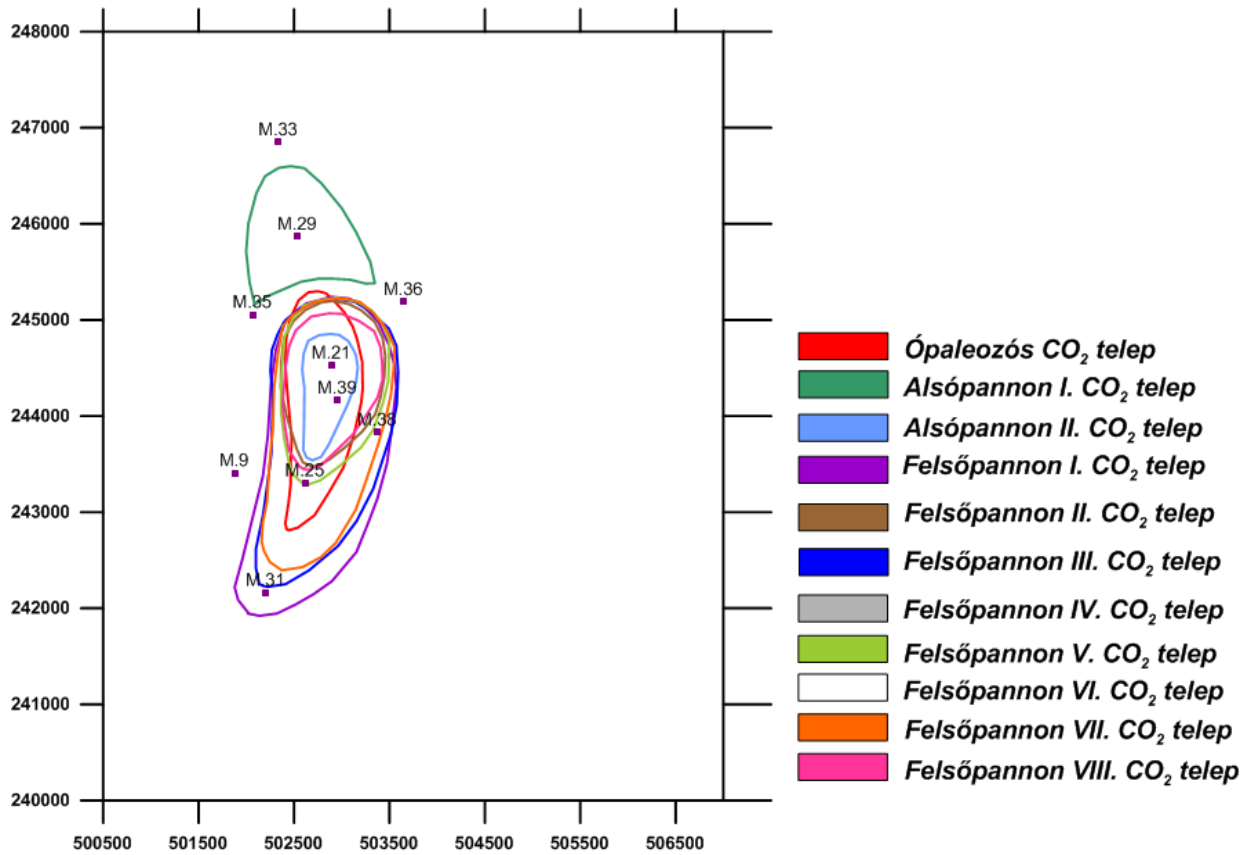


MII. 119. ábra M-37. fúrás agyagosság - trend effektív porozitás cross-plot



MII. 120. ábra M-40. fúrás agyagosság - trend effektív porozitás cross-plot

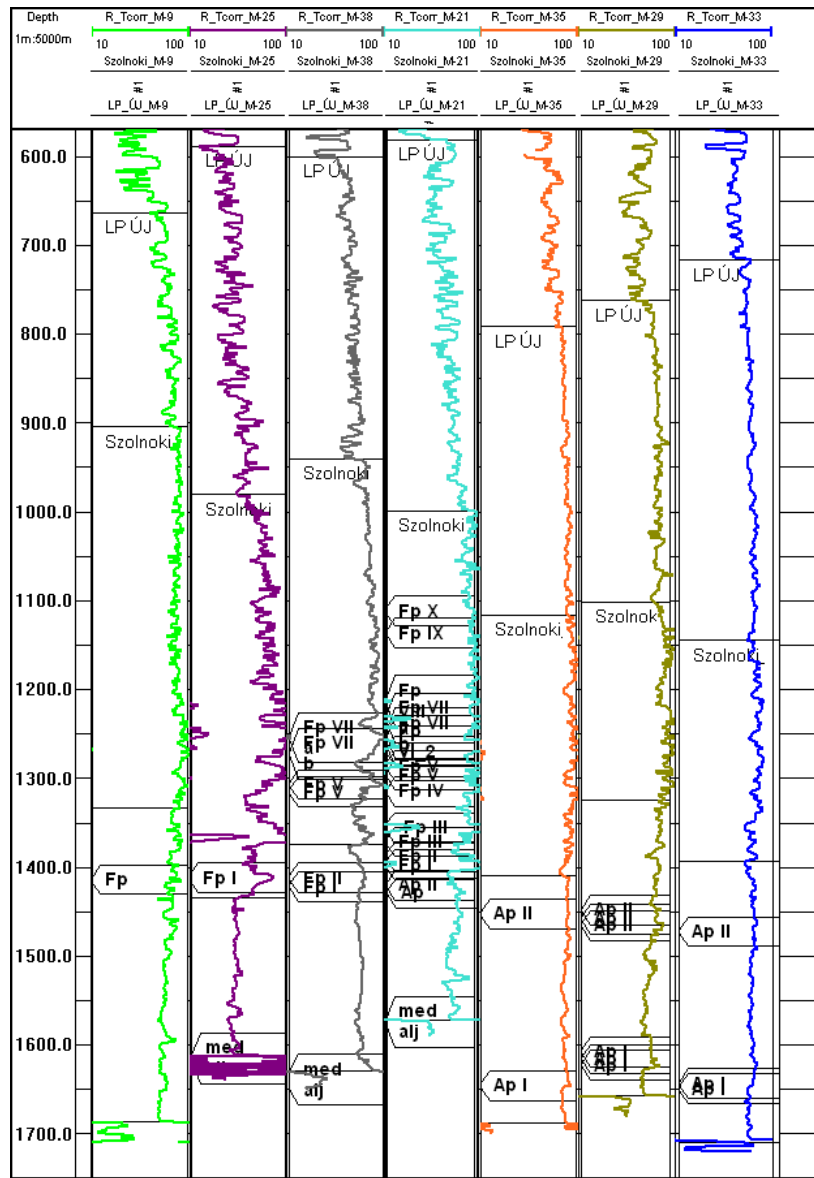
## Melléklet III.



MIII. 121. ábra Mihályi területen a telepek lehatárolása a Mihályi-Répcelak összefoglaló jelentés alapján (Mészáros et al. 1979)

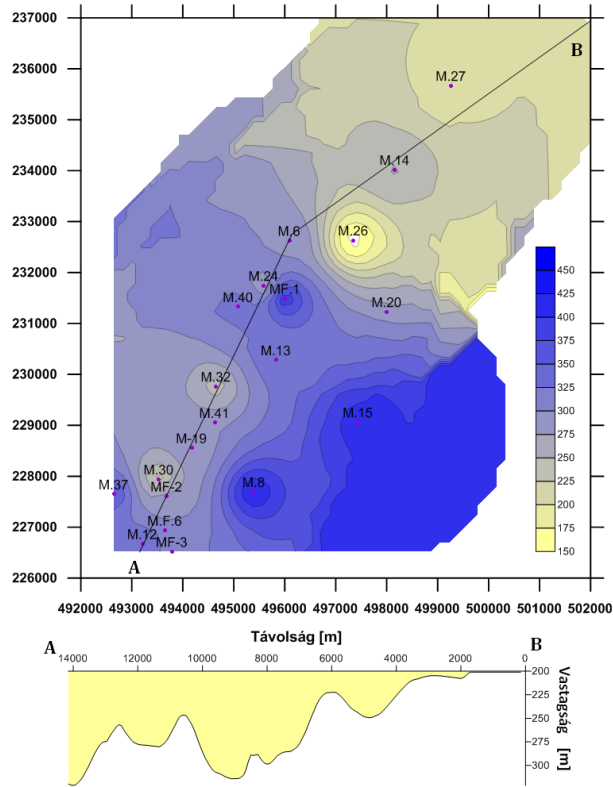


Melléklet IV.

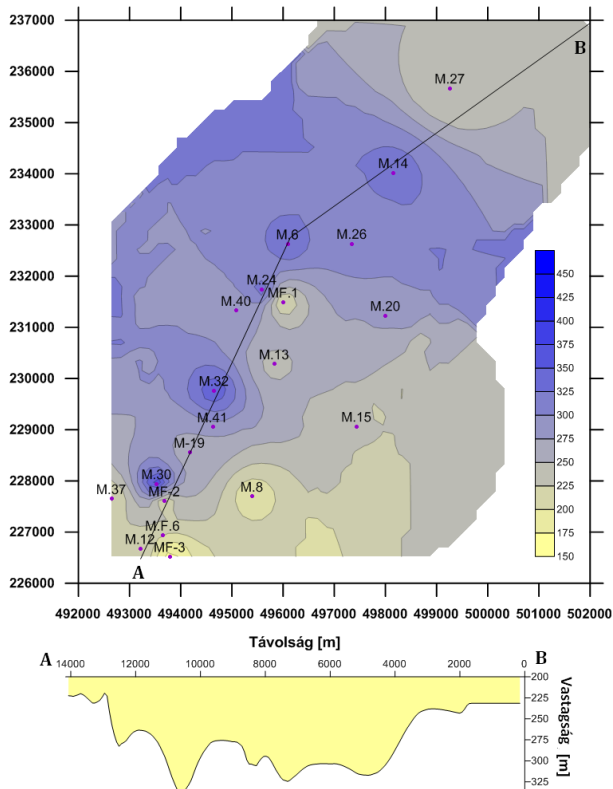


MIV. 122. ábra Mihályi terület szén-dioxidos fúrási és a telepek határai a hőmérséklet korigált ellenállás szelvényeken

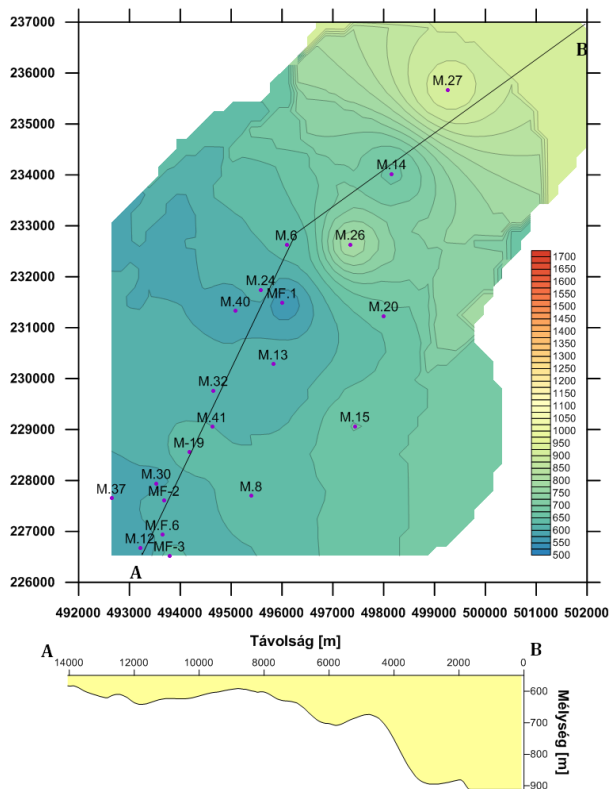
Melléklet V.



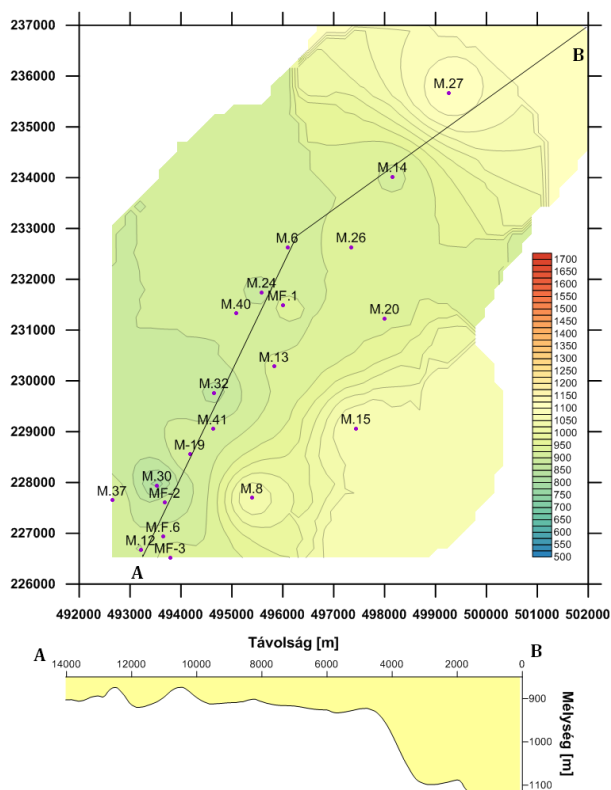
MV. 123. ábra Algyői Formáció vastagság térkép Répcelak területen



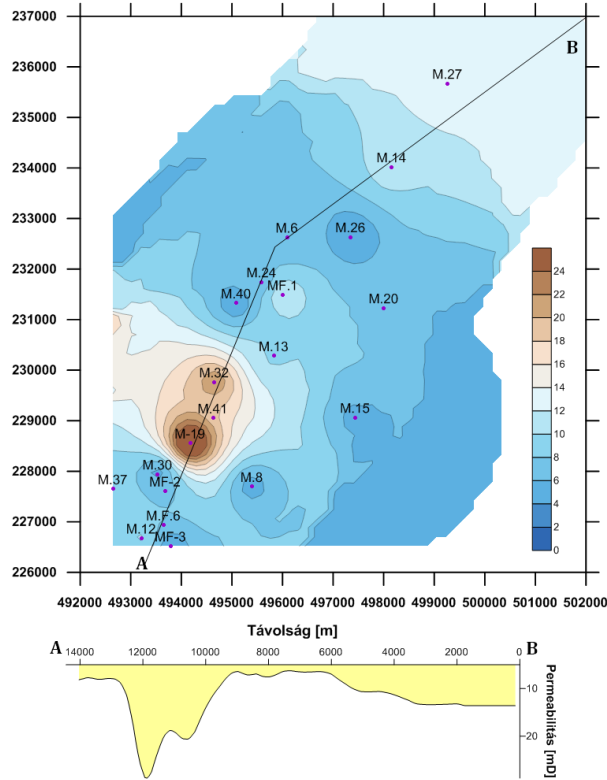
MV. 124. ábra Szolnoki Formáció vastagság térkép Répcelak területen



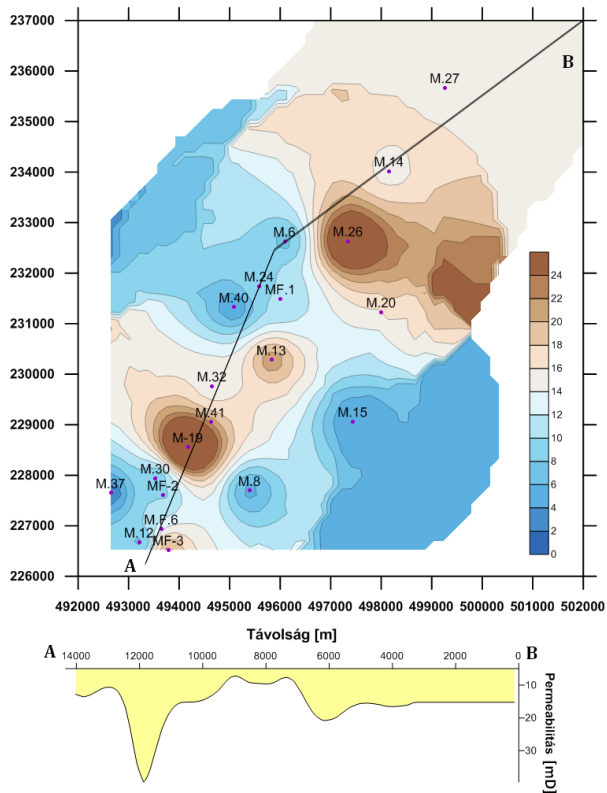
MV. 125. ábra Algyői Formáció tető térkép Répcelak területen



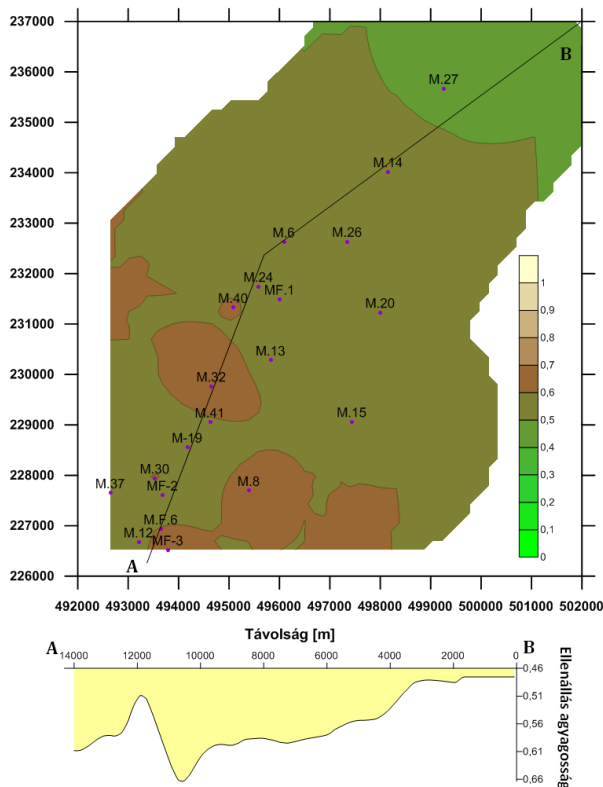
MV. 126. ábra Szolnoki Formáció tető térkép Répcelak területen



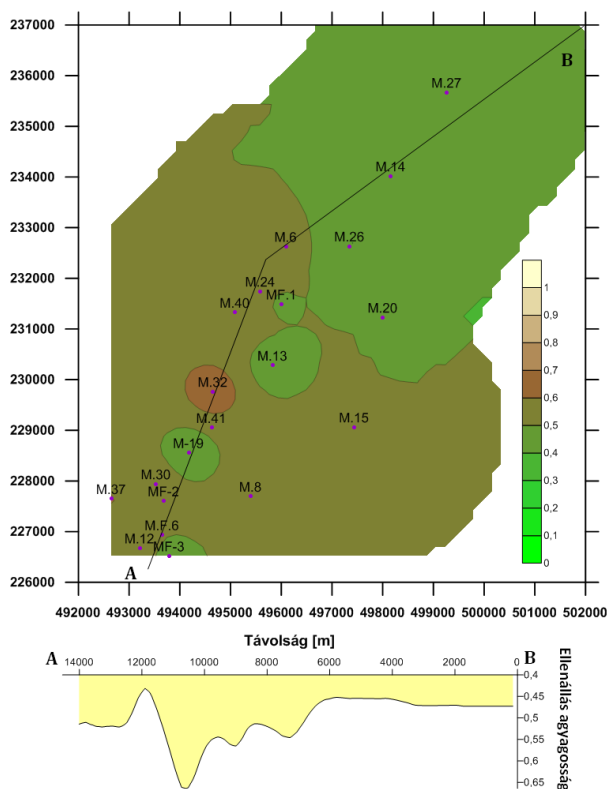
MV 127. ábra Algyői Formáció permeabilitás térkép Répcelak területén



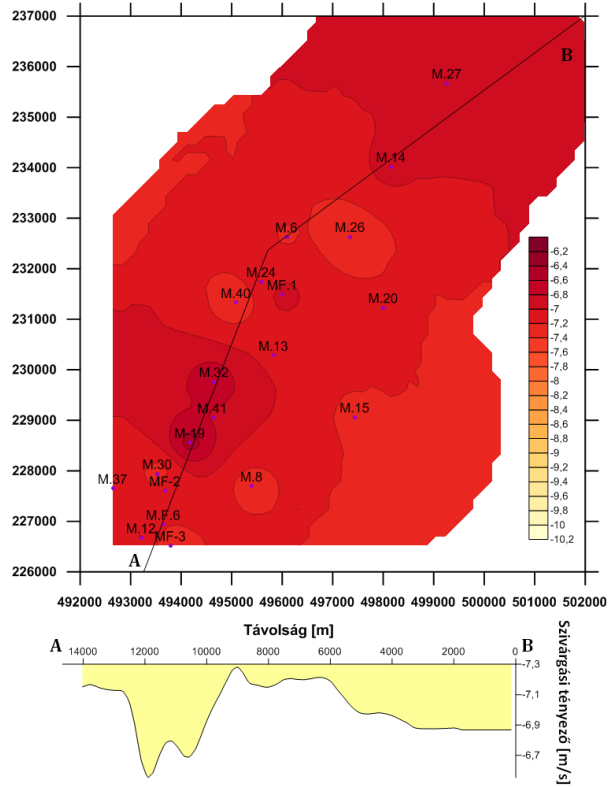
MV128. ábra. Szolnoki Formáció permeabilitás térkép Répcelak területén



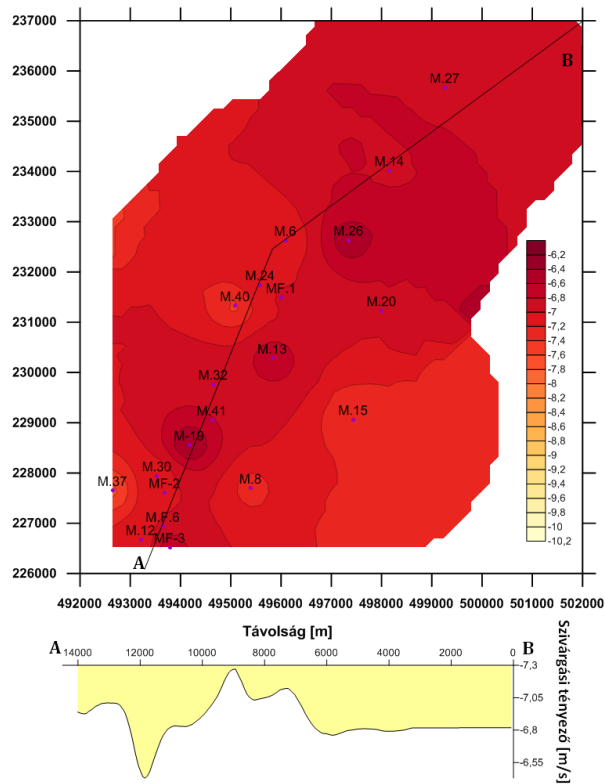
MV 129. ábra Algyői Formáció ellenállás agyagosság térkép Répcelak területén



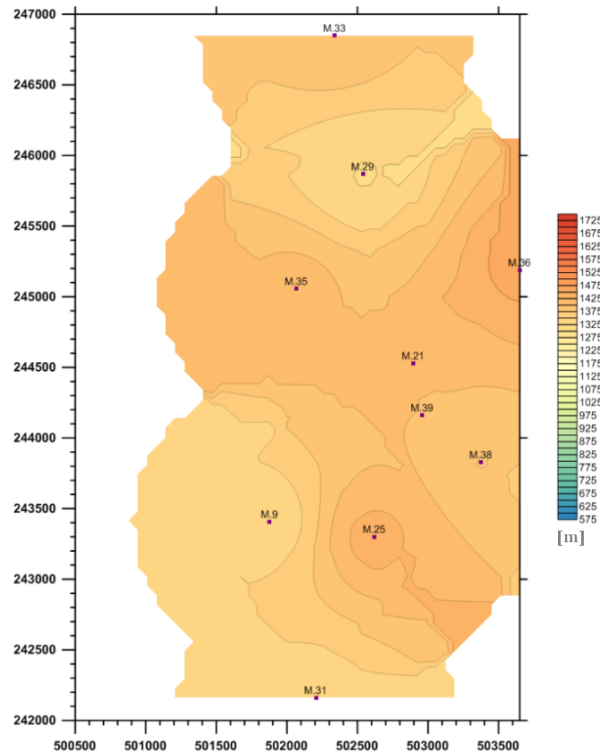
MV 130. ábra Szolnoki Formáció ellenállás agyagosság térkép Répcelak területén



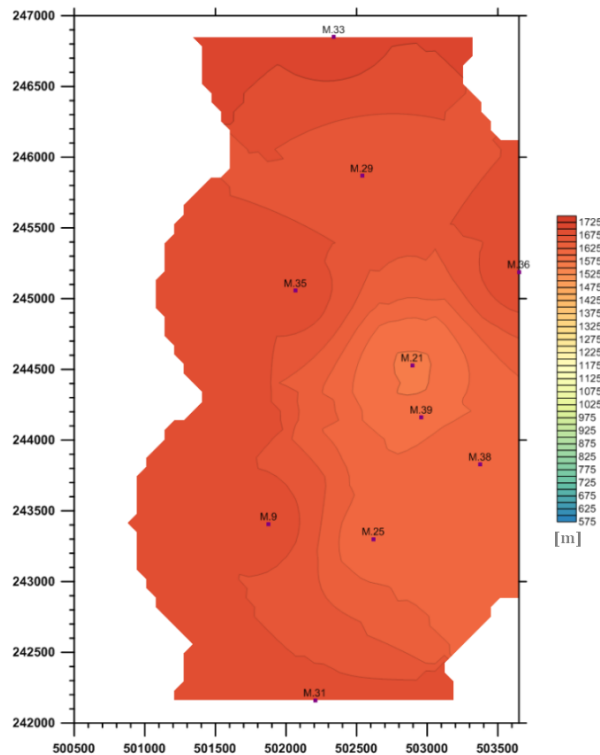
MV 131. ábra Algyői Formáció logaritmusos szivárgási tényező térkép Répcelak területén



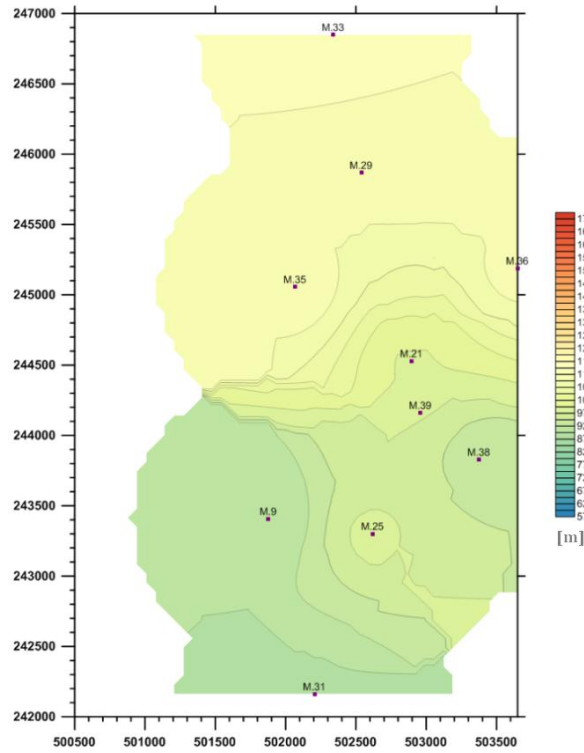
MV132. ábra. Szolnokii Formáció logaritmusos szivárgási tényező térkép Répcelak területén



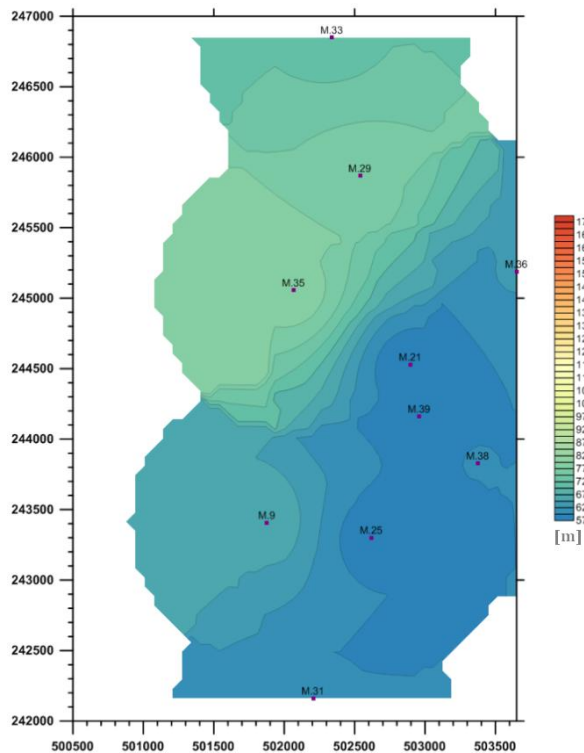
MV. 133. ábra Endrődi Formáció tető térkép Mihályi területen



MV. 134. ábra Endrődi Formáció felü térkép Mihályi területen

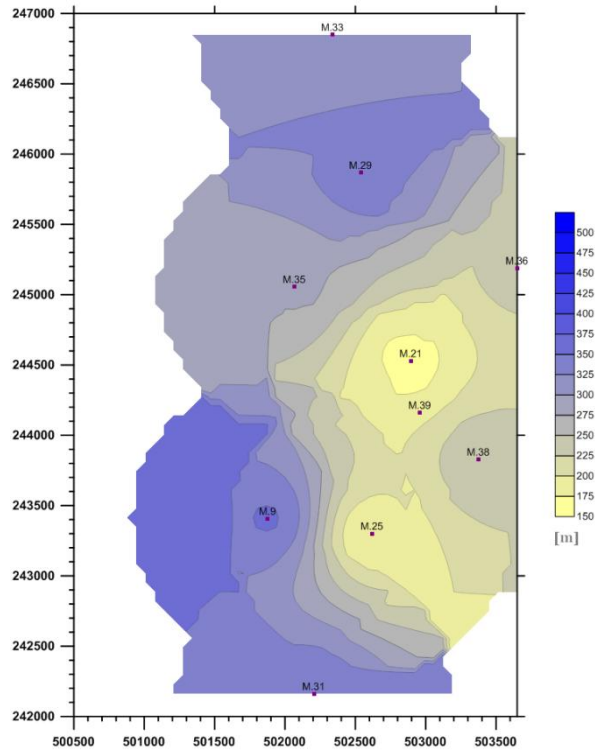


MV. 135. ábra Szolnoki Formáció tető térkép Mihályi területen

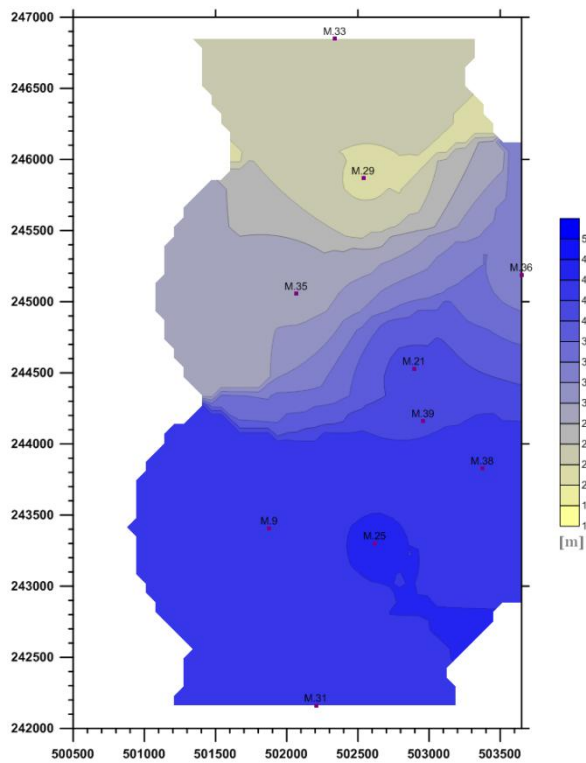


MV. 136. ábra Algyői Formáció tető térkép Mihályi területen

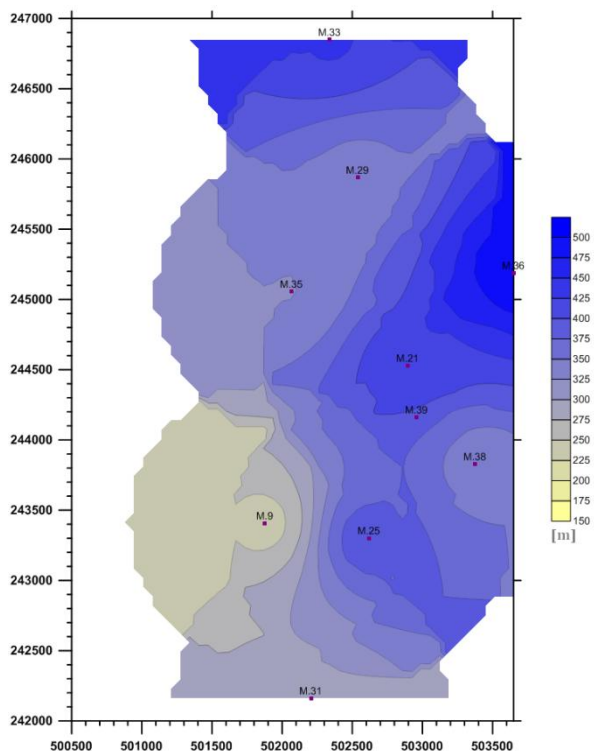




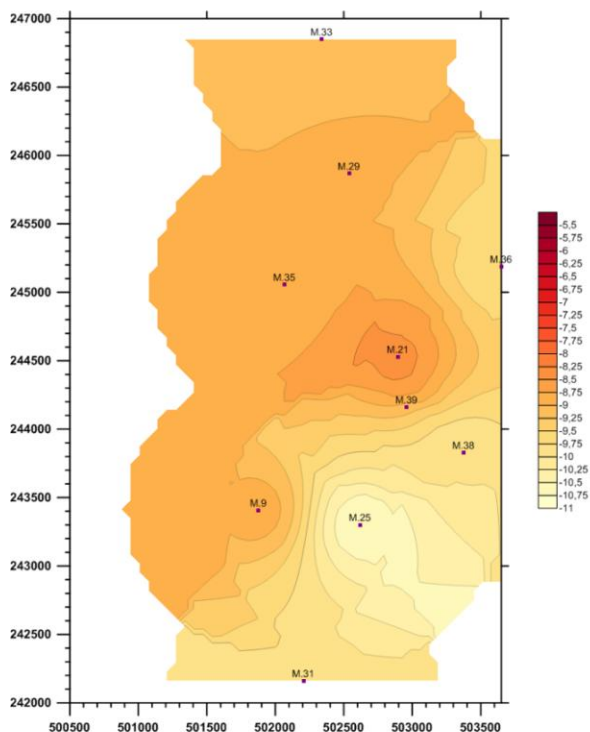
MV. 137. ábra Endrődi Formáció vastagság térkép Mihályi területen



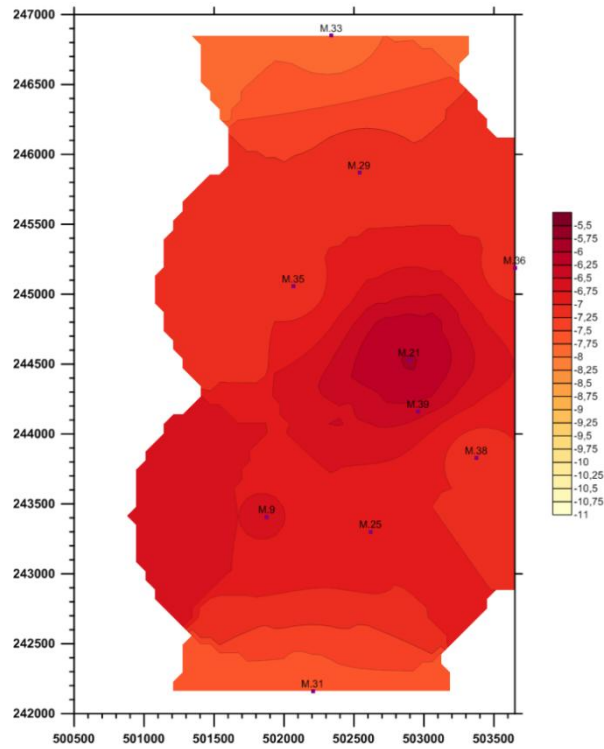
MV. 138. ábra Szolnoki Formáció vastagság térkép Mihályi területen



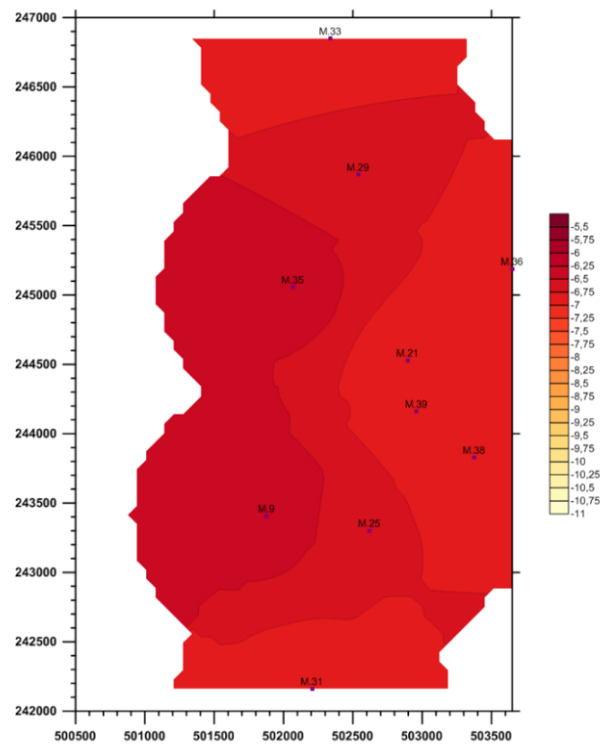
MV. 139. ábra Algyői Formáció vastagság térkép Mihályi területen



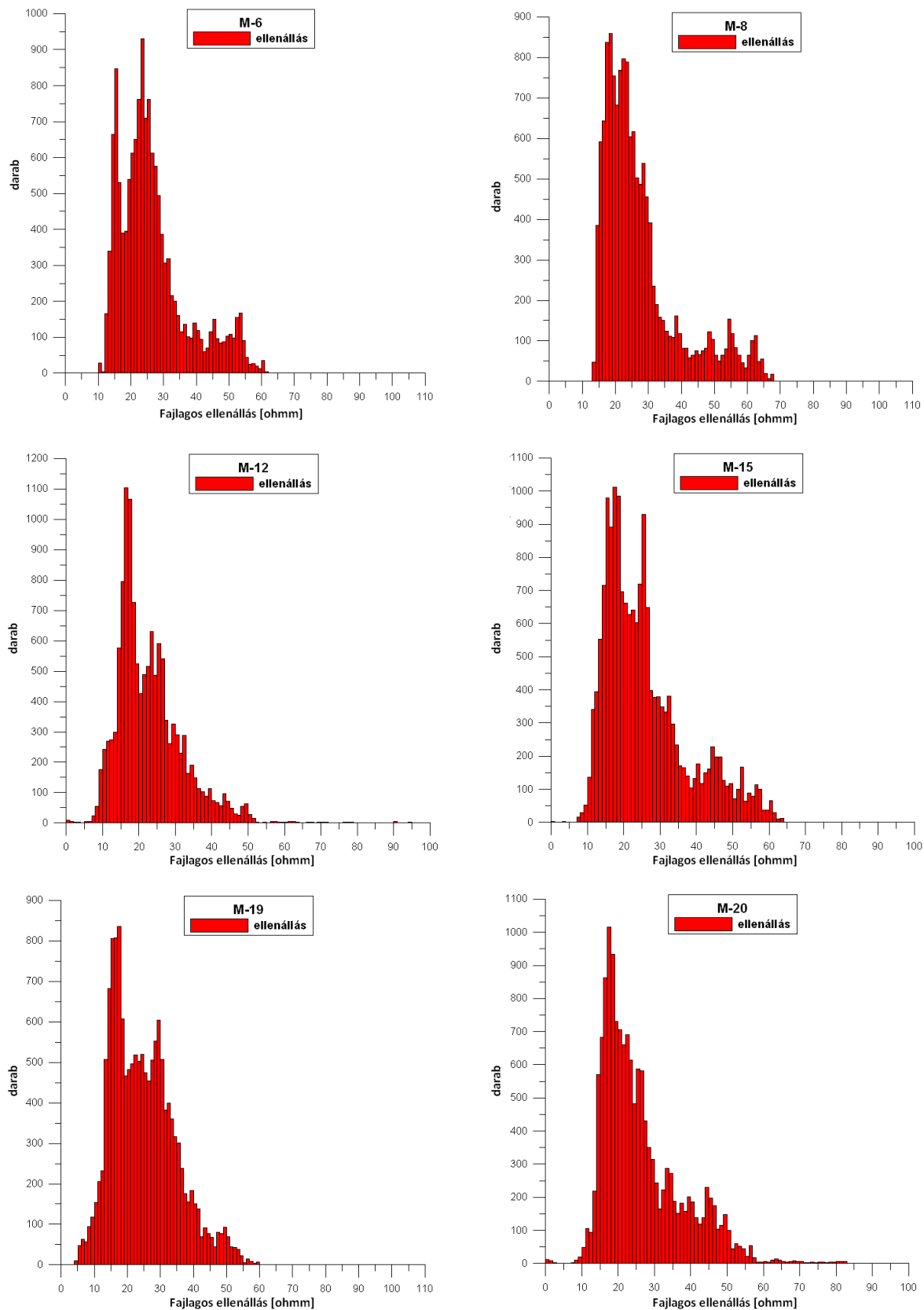
MV. 140. ábra Endrődi Formáció szivárgási tényező [m/s] logaritmus térkép Mihályi területen



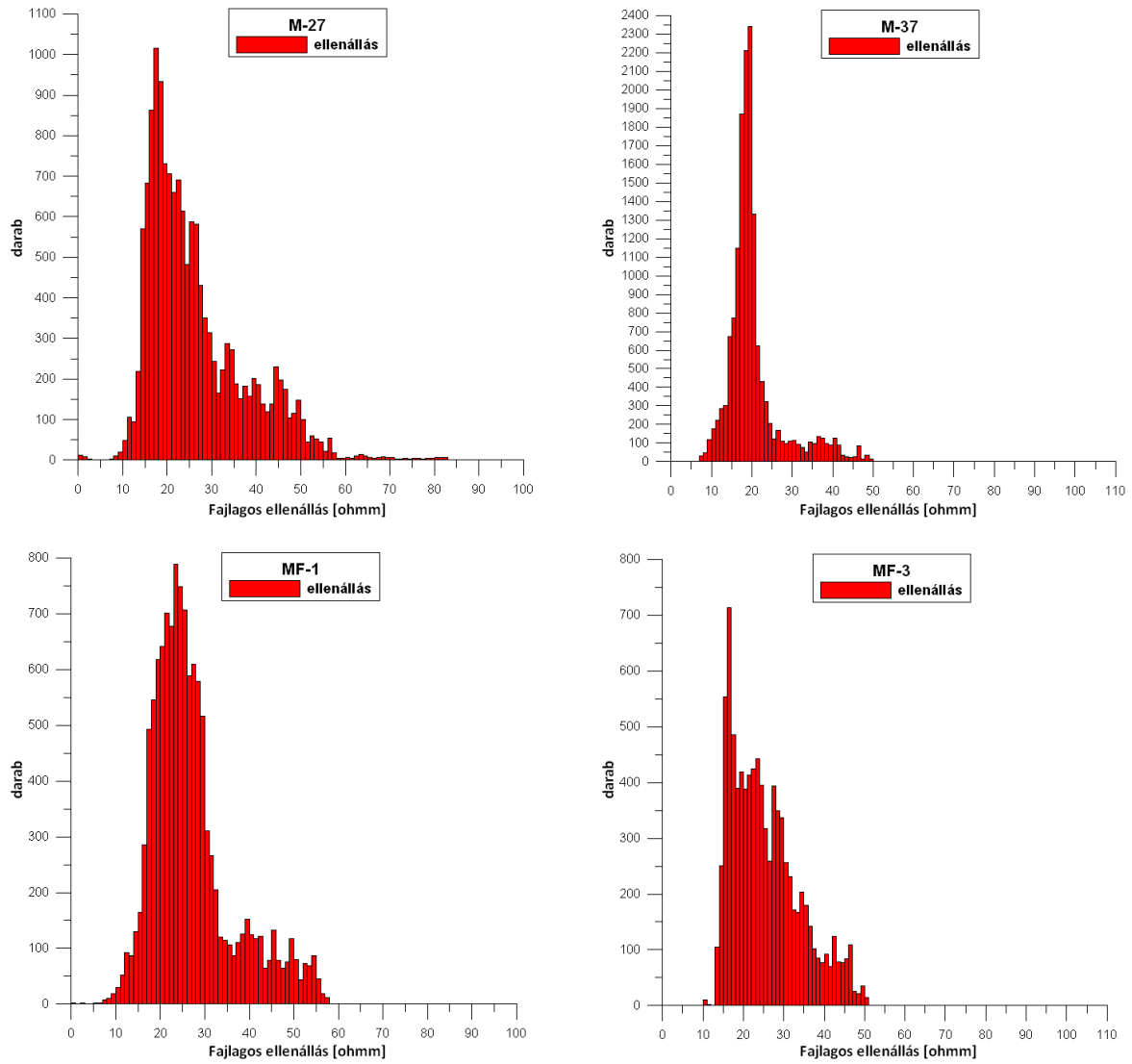
MV.141. ábra Szolnoki Formáció szivárgási tényező[m/s] logaritmusos térkép Mihályi területe



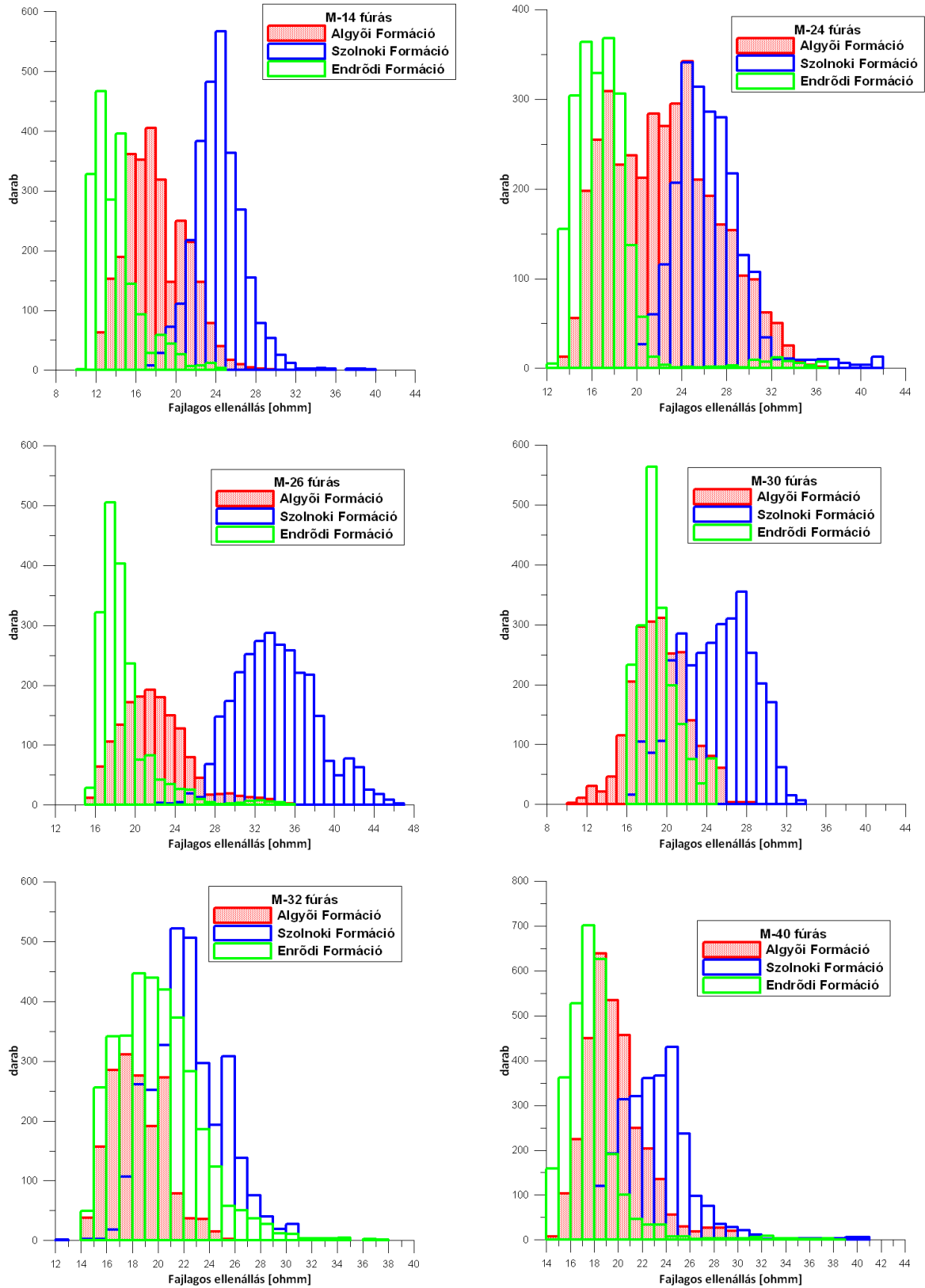
MV.142. ábra Algyői Formáció szivárgási tényező [m/s] logaritmusos térkép Mihályi területen



MVI.143. ábra Répcelaki fúrások ellenállás szelvényeiből készült hisztogramok M-6, M-8, M-12, M-15, M-19 és M-20 fúrás.



MVI.144. ábra Répcelaki fúrások ellenállás szelvényeiből készült hisztogramok M-27, M-37, MF-1 és MF-3fúrás.



MVII.145. ábra Répcelak területén található fúrások ellenállás hisztogramja formációkra bontva