

TARTALOMJEGYZÉK

1	BEVEZETÉS.....	2
2	AZ ALKALMAZOTT SZOFTVER	2
3	A MODELL FELÉPÍTÉSE.....	4
3.1	A modellezett terület.....	4
3.2	Modell paraméterei	6
3.3	Víztermelési adatok.....	9
3.4	Modell kalibrációja	13
3.5	A modell verifikálása	15
4	TERVEZETT ÚJ KÚT HATÁSSZÁMÍTÁSA.....	19
4.1	A tervezett új kút.....	19
4.2	Számítási eredmények.....	20
5	ÖSSZEFOGLALÁS	25

ÁBRAJEGYZÉK

1. ábra:	Modellezett terület számítási hálójával	5
2. ábra:	Modell vertikális felépítése	6
3. ábra:	Eltérő szivárgáshidraulikai paraméterekkel jellemezhető közzettestek lehatárolása	7
4. ábra:	Karsztvíz termelések a modellezett területen	9
5. ábra:	Nyomásváltozás figyelő kutakban a KIS-PE-02 kút hidrodinamikai vizsgálata alatt	13
6. ábra:	Nyomásváltozás az RW3 jelű időszak alatt	14
7. ábra:	Számított depresszió a KIS-PE-02 kút 3600 m ³ /nap termelése esetén	15
8. ábra:	Nyomásváltozás a KIS-PE-01 kútban	17
9. ábra:	Mért és számított eredmények a MAL-PE-02 kútban	18
10. ábra:	Mért és számított eredmények a KIS-PE-01B kútban.....	18
11. ábra:	A geotermikus rendszer kútjai a tervezett új kúttal együtt	19
12. ábra:	Számított vízszint változás az új kút üzemelése esetén 8 M m ³ /év víztermelés/besajtolás figyelembevételével	21
13. ábra:	Számított hatásterület az új kút üzemelése esetén 8 M m ³ /év víztermelés/besajtolás figyelembevételével	22
14. ábra:	8 M m ³ /év víztermelés/besajtolás jelenlegi hatásterülete és az új kút üzemelése esetén várható vízszint változás	23
15. ábra:	Számított hőmérséklet változás 2049-re (25 év múlva) 8 M m ³ /év termelés/visszasajtolás esetén.....	25

TÁBLÁZATJEGYZÉK

1. táblázat:	Triász képződmények felső 100 m-en jellemző szivárgási paraméterek	8
2. táblázat:	Termálvíz kivételek 2014	12
2. táblázat:	Geotermikus kutak átlagos hozama időlépcsőnként (m ³ /nap)	16
4. táblázat:	Geotermikus kutak tervezett víztermelése	20
5. táblázat:	Geotermikus kutak termelési/visszasajtolási adatai 2013-2049 (m ³ /d).....	24

1 BEVEZETÉS

A felszínalatti víztermelések okozta környezeti hatások vizsgálatának egyik leggyakrabban alkalmazott módszere az érintett földtani környezet, illetve a benne végbemenő hidraulikai folyamatok numerikus modellezése. A miskolci geotermikus rendszer létesítéséhez kapcsolódóan 2014-ben készítette el az AQUIFER Kft. a magyarországi szakmai gyakorlatban is több éve alkalmazott és elfogadott FEFLOW szoftver felhasználásával a vizsgált térség geotermikus vízföldtani modelljét.

A rendszer működésbe helyezése óta a folyamatos üzemi méréseknek köszönhetően egyre több információ áll rendelkezésre a geotermikus kutak közvetlen környezetére. A gyarapodó mérési eredmények birtokában 2019-ben megtörtént a termelő és visszasajtoló kutak környezetében a kezdeti modell újra kalibrálása, pontosítása.

Dokumentációnk a modell aktuális állapotát ismerteti, majd bemutatja a tervezett új kút üzemelése következtében várható, számított hatásokat.

2 AZ ALKALMAZOTT SZOFTVER

A hőtranszport számításokat a WASY Ltd. által kifejlesztett FEFLOW szoftver alkalmazásával végeztük el. A szoftver rövid, érthető leírását az alábbiakban ismertetjük.

A FEFLOW az első olyan teljes körű modellező szoftver, amely sikeresen egyesíti az erőteljes grafikus képességeket a bonyolult elemzési eszközökkel és a megbízható numerikus algoritmusokkal,

- permanens és nem permanens szivárgás,
- telített és telítetlen szivárgás,
- sűrűség függő szivárgás,
- többszörös szabad víztükör,
- tömeg- és hőtranszport
- szimulációk futtatása érdekében.

A FEFLOW-t kimondottan azért tervezték, hogy megfeleljen a komplex modellezési projektekben résztvevő nagy szakértelemmel rendelkező modellezők műszaki igényeinek. A program legfontosabb komponensei:

- A végeelem háló létrehozását, a paraméterzónák meghatározását és a peremfeltételek megadását lehetővé tevő komplex és átfogó grafikus eszközkészlet.
- Adatimportálás és interpolációs algoritmusok, valamint ARC/INFO (ESRI) GIS interfész.

- Megbízható numerikus algoritmusok és megoldási módszerek.
- Valós idejű adatértékelés.
- Magas szintű 3D vizualizálás.

Ezek a komponensek lehetővé teszik, hogy a modellfelépítés, a szimuláció futtatása és az eredmények megjelenítése hatékonyan történjen. A FEFLOW egy teljesen integrált modellezési környezet, teljes értékű grafikus interfésszel és erőteljes numerikus megoldókkal, melyek a felhasználó számára lehetővé teszik:

1. a végelem háló grafikus létrehozását egyszerű és komplex geológiai formációk részére,
2. a külső adatok importálását és csatolását a FEFLOW "GIS/DATA Coupling" rendszerével,
3. az összes szivárgáshidraulikai és transzport paraméter megadását,
4. a komplex modell szimulációk futtatását, és
5. az eredmények megjelenítését két és három dimenzióban.

Fő jellemzők

- Fejlett 3D grafikus alapú modellezési környezet.
- Telített és telítetlen szivárgáshidraulikai és szennyeződésterjedés modellezés (2D & 3D).
- Konvektív, konduktív és termo-diszperzív hőtranszport.
- Teljesen tranziens, félig tranziens és permanens szivárgáshidraulikai és transzport folyamatok.
- Nyomás alatti és szabadfelületű vízádók, valamint több szabad felületű (pangó) víztükör.
- Celluláris konvekciós folyamatok alkalmazása a dupla diffúziós, valamint a gravitáció és a hő hatására létrejövő konvekció szimulációjára.
- Erőteljes végelem háló generálási képességek.
- Adatbázis és GIS-kapcsolat az adatok hatékony kezelése érdekében.
- Integrált adatcsoportosítási rutinok a diszkrét adatok interpolációjához.
- Peremfluxusok és transzfer feltételek grafikus hozzárendelése.
- Az eredmények megtekintése olyan átütő, 3D vizualizálási eszközökkel, mint: kerítésdiagramok, részecskeútvonalak, izofelületek, tetszőleges kivágások, izochronok, modell elforgatás és áramlási vektorok.
- Részletes mérlegkészítés: szivárgáshidraulikai, koncentráció és hőáram.
- Új interfész-manager a FEFLOW és egyéb szoftverek közti kapcsolat megteremtése érdekében.

3 A MODELL FELÉPÍTÉSE

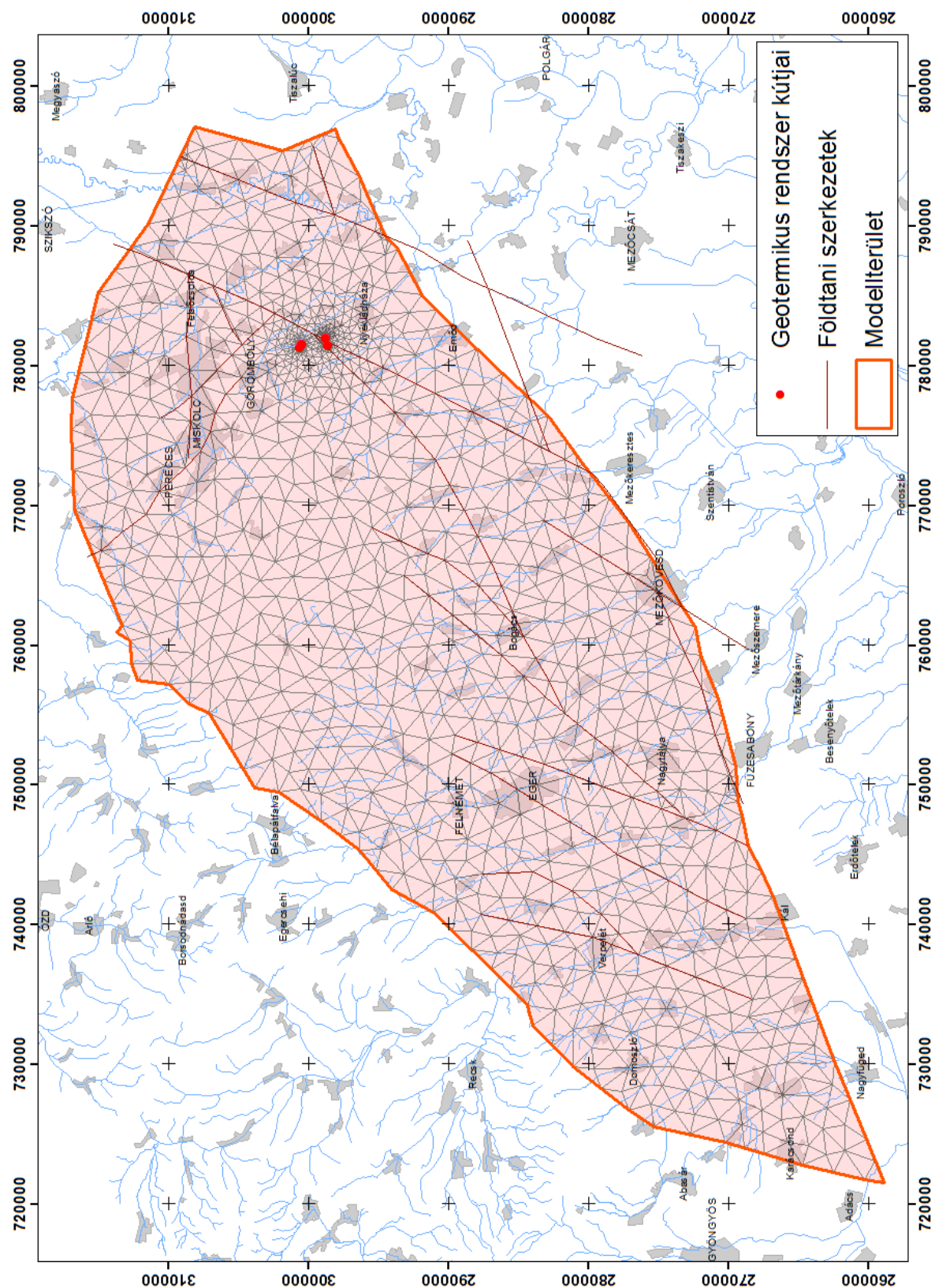
3.1 A modellezett terület

Horizontális kiterjedés

A modellezésben figyelembe vett terület horizontális kiterjedését általában célszerű akkorára megválasztani, hogy a vizsgálni kívánt hatások a peremeken elhanyagolhatóak legyenek. Esetünkben a szimulációs modellel szemben támasztott elvárások értelmében nem csak a tervezett tevékenység lokális hatását szükséges vizsgálni, hanem figyelembe kell venni a teljes geotermikus rezervoárt. Így a keleti-délkeleti modellhatár a Vatta-Maklári árok, a nyugati határ a Darnó-zóna, míg az északi határ a Bükki és Szendrői egységek tektonikus határvonalai.

Számítási háló

A modellezés első lépése a számítási háló felépítése. A modellezett terület lefedéséhez a végelelem módszer háromszöghálóját használtuk fel. Mivel a kijelölt modellterület a korábbi hasonló jellegű számítások alapján becsülhető hatásterülethez képest igen nagy kiterjedésű - 90 x 40 km-, a geotermikus kutak által közvetlenül érintett 5 km x 5 km-es területen a pontosabb szimuláció érdekében sűrítettük a számítási csomópontokat. A hálógenerálás során alappont-, illetve vonalként megadásra kerültek a jellemző földtani szerkezeti vonalak és a geotermikus kutak. A modellezett területet a végleges számítási hálóval a 1. ábra mutatja.



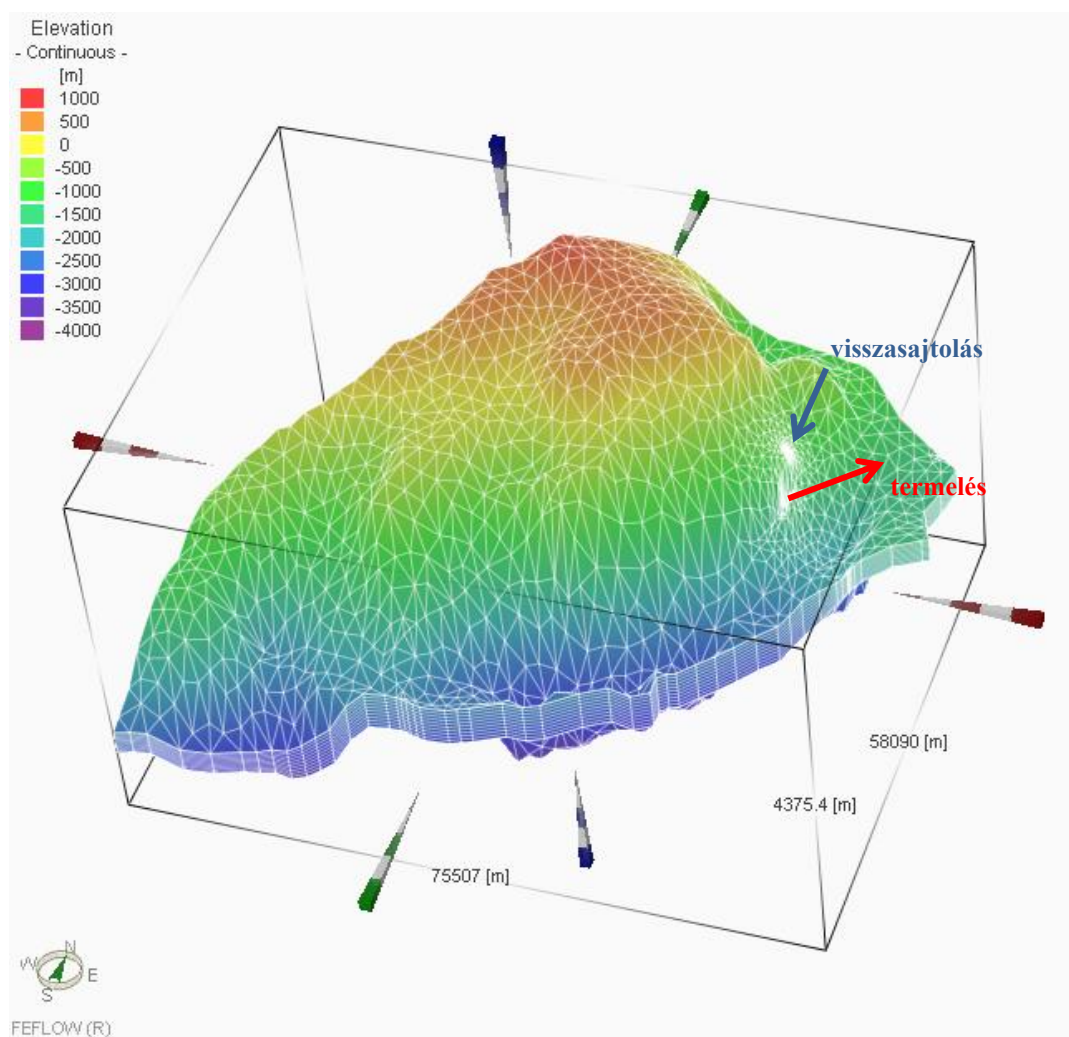
1. ábra: Modellezett terület számítási hálójával

Vertikális felosztás

A modell vertikális felosztása tekintetében a triász képződmények teljes vastagsága modellezésre került.

A modell tetejét a triász képződmények fedőszintje adja, az alja e felületből a vastagság adatok felhasználásával került megadásra. A vizsgált rétegösszletet a teljes modellezett területen 10 db, függőlegesen azonos vastagságú alrétegre osztottuk.

A számítási háló térbeli felépítését a hévíztermelés és visszasajtolás helyének feltüntetésével a 2. ábra mutatja.

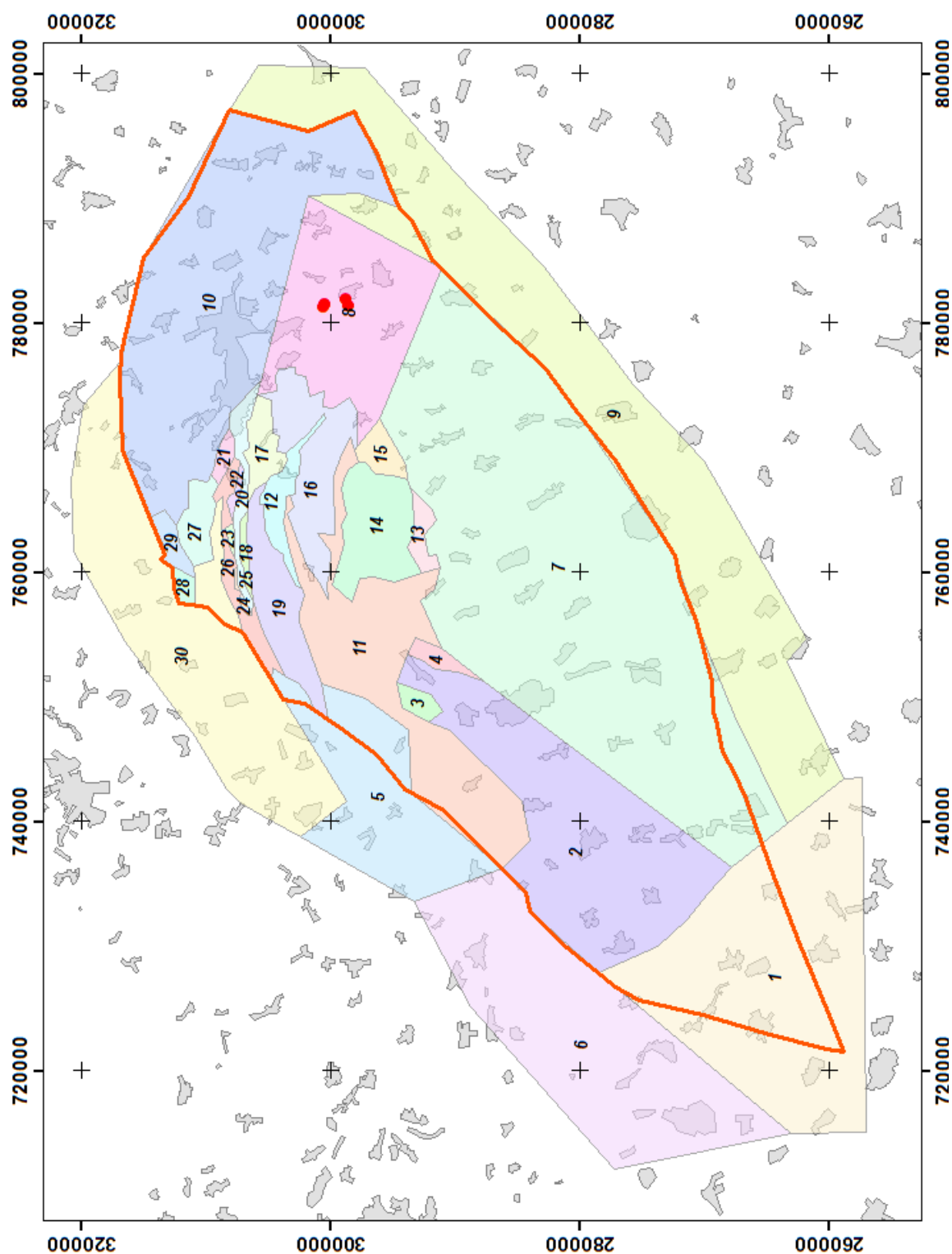


2. ábra: Modell vertikális felépítése

3.2 Modell paraméterei

A FEFLOW szoftver felhasználásával felépített modell szivárgási és geotermikus paraméterét korábbi, a területre vonatkozó modellezési munka (*Vatnaskil Consulting Engineers, 2012*) eredményei alapján kerültek megadásra. A paraméterezés alapját a vízvezető, illetve vízzáró kőzettestek lehatárolása adja. A különböző típusú kőzettestek elhelyezkedését

az 3. ábra mutatja. Az egyes kőzettestek néhány fontosabb paraméterét a képződmények vízforgalom szempontjából fontosabb felső 100 méterére vonatkozóan az 1. táblázat foglalja össze.



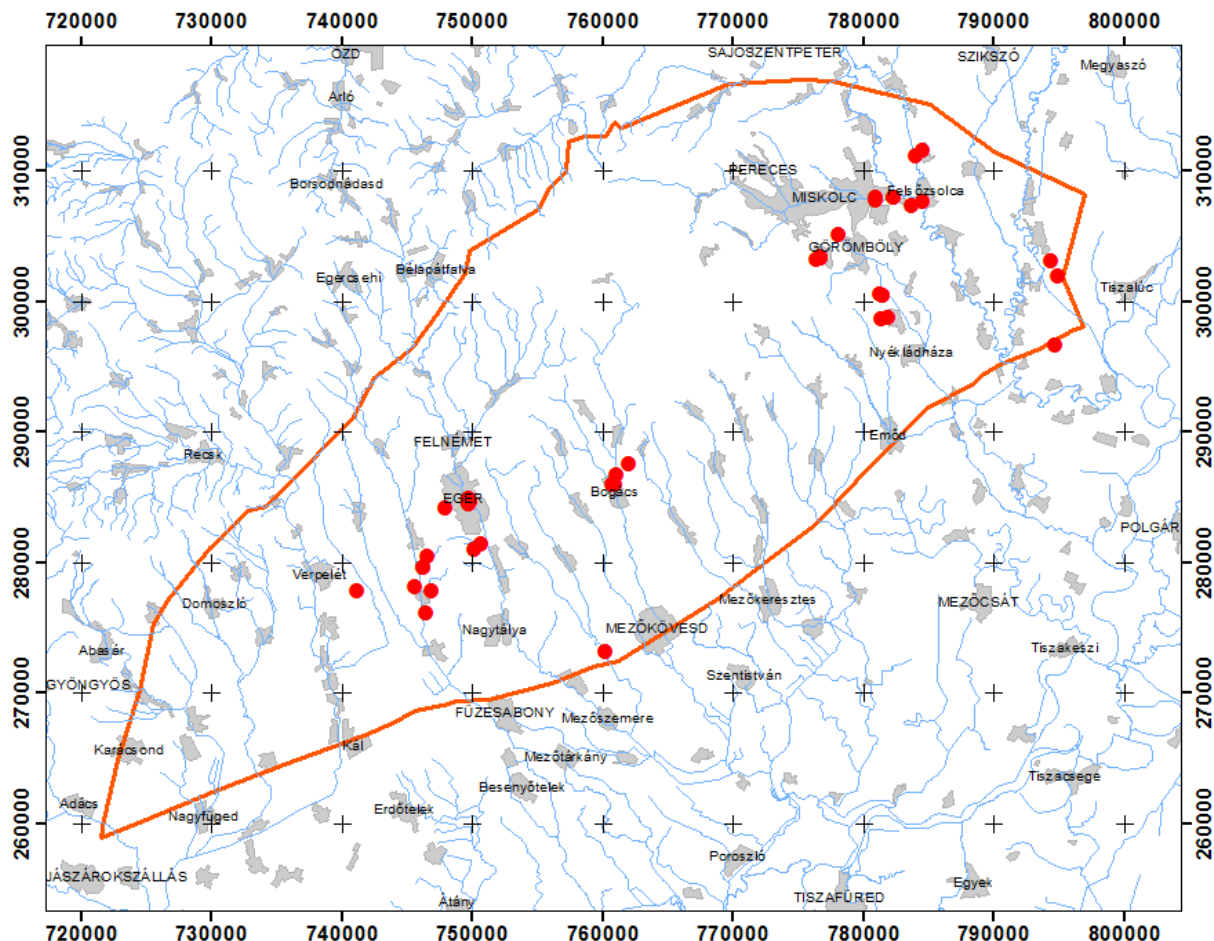
3. ábra: Eltérő szivárgáshidraulikai paraméterekkel jellemezhető kőzettestek lehatárolása

Zóna azonosítója	Triász rétegek vastagsága (m)	Szivárgási tényező (m/s)	Porozitás (%)	Beszivárgás (mm/év)
1	3000	10^{-10}	0.2	0
2	500	10^{-4}	1.0	0
3	500	10^{-3}	3.0	300
4	500	10^{-4}	1.0	250
5	1500	10^{-9}	0.2	0
6	1500	10^{-9}	0.2	0
7	500	10^{-4}	1.0	0
8	1000	10^{-4}	1.0	0
9	300	10^{-6}	0.5	0
10	300	10^{-4}	1.0	0
11	400	10^{-11}	0.1	5
12	500	10^{-5}	1.0	200
13	500	10^{-3}	3.0	300
14	500	10^{-5}	1.0	200
15	500	10^{-6}	0.5	0
16	1000	10^{-3}	3.0	350
17	250	10^{-8}	0.5	20
18	150	10^{-11}	0.1	5
19	1000	10^{-3}	3.0	400
20	400	10^{-3}	0.1	20
21	500	10^{-5}	1.0	200
22	250	10^{-8}	1.0	20
23	250	10^{-8}	0.5	20
24	250	10^{-8}	0.5	20
25	250	10^{-8}	0.5	20
26	400	10^{-5}	1.0	200
27	300	10^{-3}	3.0	350
28	200	10^{-5}	1.0	200
29	100	10^{-9}	0.2	5
30	2000	10^{-11}	0.1	0

1. táblázat: Triász képződmények felső 100 m-en jellemző szivárgási paraméterek

3.3 Víztermelési adatok

A térség karsztvíz termelése a modell kezdeti kalibrációjához a területileg illetékes hatóság 2014 évi adatszolgáltatása szerint van figyelembe véve. A vízkivételi helyeket a 4. ábra mutatja, a termelések jellemző adatait 2. táblázat tartalmazza.



4. ábra: Karsztvíz termelések a modellezett területen

Termálkút (forrás)	EOV Y (m)	EOV X (m)	Engedélyezett vízkivétel	Megjegyzés	Talpmélység (m)	Víz-hőmérséklet (°C)
Bogács K-6 (II)	760 973,2	285 973,7	292 000 m ³ /év		491	69
Bogács B-1	790 723,2	285 989,3	148 920 m ³ /év		485	72
Bogács Szent Márton hegyi kút (K-8)	762 001,7	287 515,6	200 000 m ³ /év		1162	39
Bogács Csemetekert (K-9)	761 131,0	286 718,8	20 000 m ³ /év		817,6	54,6
Egerszalók De-42 K-4	746 313,2	279 592,0	105 850 m ³ /év		407,5	65,5
Egerszalók De-42/a K-7	746 313,2	279 586,3	803 000 m ³ /év		425,7	68
Egerszalók 2010 hrsz.	746 602	280 489	-	De-42/a tartalékkútja, tervezett	800	
Demjén, Kenderföldi K-11	745 673,6	278 066,0	181 770 m ³ /év		950	66,3
Demjén Hegyeskői K-10	741 210,2	277 804,7	179 860 m ³ /év		696,5	63,7
Demjén, Hegyeskő-völgy, tartalékkút	746 919	277 830	-	a K-10 tartalékkútja, a kút elkészült, de a közölt adatok tervezettek	800	-
Demjén K-12	746 498,8	276 080,8	175 000 m ³ /év		1515,0	73,0
Eger AT-8 (Eger K-21/A)	750 703,1	281 371,6	516 000 m ³ /év		886,5 (eredeti)	47,3
Eger AT-10 (Eger K-15/A)	750 152,6	281 005,5	-		840 (eredeti)	51,3
Eger Török fürdő alatti kút	749 785,9	284 710,9	133 027 m ³ /év		feltörő forrás	29
Eger, strand	749 794,73	284 733,40	178 437 m ³ /év	a koordináták az 1. medence csapjának kifolyó nyílásához tartoznak	feltörő forrás	30,2-31
Eger Török fürdő Tükör medence	749 785,89	284 710,05	128 880 m ³ /év		feltörő	30-32
Eger Bárány uszoda	749 797,09	284 834,59	196 566 m ³ /év		feltörő	27

Termálkút (forrás)	EOV Y (m)	EOV X (m)	Engedélyezett vízkivétel	Megjegyzés	Talpmélység (m)	Víz-hőmérséklet (°C)
Eger, Petőfi téri vízmű I. sz. kút (B-2)	749 720,55	284 785,21	1 100 000 m ³ /év		60,7	27
Eger, Petőfi téri vízmű III. sz. kút (B-9)	749 716,33	284 881,89	250 000 m ³ /év		112,2	25,5
Eger, Petőfi tér II.	749 744,85	284 494,86	-		182	28
Eger, Petőfi tér II/A	749 749,82	284 516,37	-		209,6	28
Eger, Petőfi tér IV. (Szent József kút, B-117)	749 837,38	284 707,18	17 520 m ³ /év		28	30,1
Eger Szent József forrás (aknakút)	749 864,85	284 722,08	116 640 m ³ /év	együttes üzemben működnek	9	
Eger J5 kút	749 860,99	284 718,11			21,5 (40)	27,8
Köröm SH-3	794 755	296 634	21 900 m ³ /év	jelenleg nincs érvényes engedélye, a közölt érték az utolsó lekötés	1880	
Mezőkövesd I/A,K-50	760 293,6	273 146,3	291.840 m ³ /év		1000	63
Miskolc Szabadság fürdő	782 340,5	308 035,7	490 m ³ /év		482	46
Miskolc Aug. 20 I. kút B-10	781 028,3	307 939,8	85 000 m ³ /év	üzemeltetői nyilatkozat szerint tervezett lekötés 100.000 m ³ /év	627	40
Miskolc Aug. 20 II. B-69	781 059,8	307 816,4	240 000 m ³ /év	üzemeltetői nyilatkozat szerint tervezett lekötés 300 000 m ³ /év	620	41,2
Miskolc, MIVÍZ központi telepi termálkút, B-109	782 340,1	308 035,9	130 000 m ³ /év	folyamatban lévő módosítást követő lekötés: 100 000 m ³ /év	466	45
Miskolc Egyetem termálkút (K-103)	776 750,84	303 335,67	-	a B-187 tartalékkútja	260	34
Miskolci Egyetem II. termálkút (B-187)	778 147,98	305 132,06	50 000 m ³ /év		310	32
Miskolc Húsipari Termálkút (K-117)	783,8 (km)	307,4 (km)	438 000 m ³ /év		436	45,25
Miskolc Parki kút, K-93	776 751,9	303 336,0	499 m ³ /év		240	29
Miskolc Termálforrás	776 479,6	303 219,5	1 900 000 m ³ /év		24,5	30
Miskolc Szerelem szigeti kút B-160	776 743,0	303 444,6	499 m ³ /év		14,8	29

Termálkút (forrás)	EOV Y (m)	EOV X (m)	Engedélyezett vízkivétel	Megjegyzés	Talpmélység (m)	Víz- hőmérséklet (°C)
<u>Mályi K-5</u>	781 442,44	298 622,65	1 200 000 m ³ /év		2305,5	98,0
Kistokaj K-7	781 577	300 507			1737,0	66,5
Kistokaj K-8	781 586,73	300 501,8			1093,0	79,2
<u>Mályi B-6</u>	781 991,26	298 808,76	2 900 000 m ³ /év		1515,0	89,0
KIS-PE2	781 359,66	300 617,68			1057,0	75
Arnót 010/34 hrsz-ú <u>termelő</u> (K-16) hévízkút	784 599,1	311 606,8	86400 m ³ /év	a vízjogi üzemeltetési engedélykérelmet benyújtották	632	51
Arnót 010/38 hrsz-ú visszasajtoló hévízkút	784 120	311 220		a visszasajtoló kút elkészült, de adatai még nem állnak rendelkezésre, a közölt adatok a tervezettek	1000	
Bőcs KT-1 <u>termelő</u> hévízkút	795 025	301 955	730 000 m ³ /év		1850;	várt talphő: 98
Bőcs KV-1 visszasajtoló hévízkút	794 445	303 065			1650	várt talphő: 97
Bükkaranyos 018 hrsz-ú termálkút	-	-	134 532 m ³ /év	csak elvi engedély, a kúthely később kerül pontosításra	600	elvárt víz hő: 40
Eger, Tulipánkert utca 5.	747 952,4	284 175,1	20 000 m ³ /év	a kút elkészült, de jelenleg nincs érvényes engedélye, a közölt érték az utolsó lekötés	704,5	31
Felsőzsolca 88 hrsz-ú termálkút	784 628	307 640	45 000 m ³ /év		1000	elvárt víz hő: 35

2. táblázat: Termálvízkivételek 2014

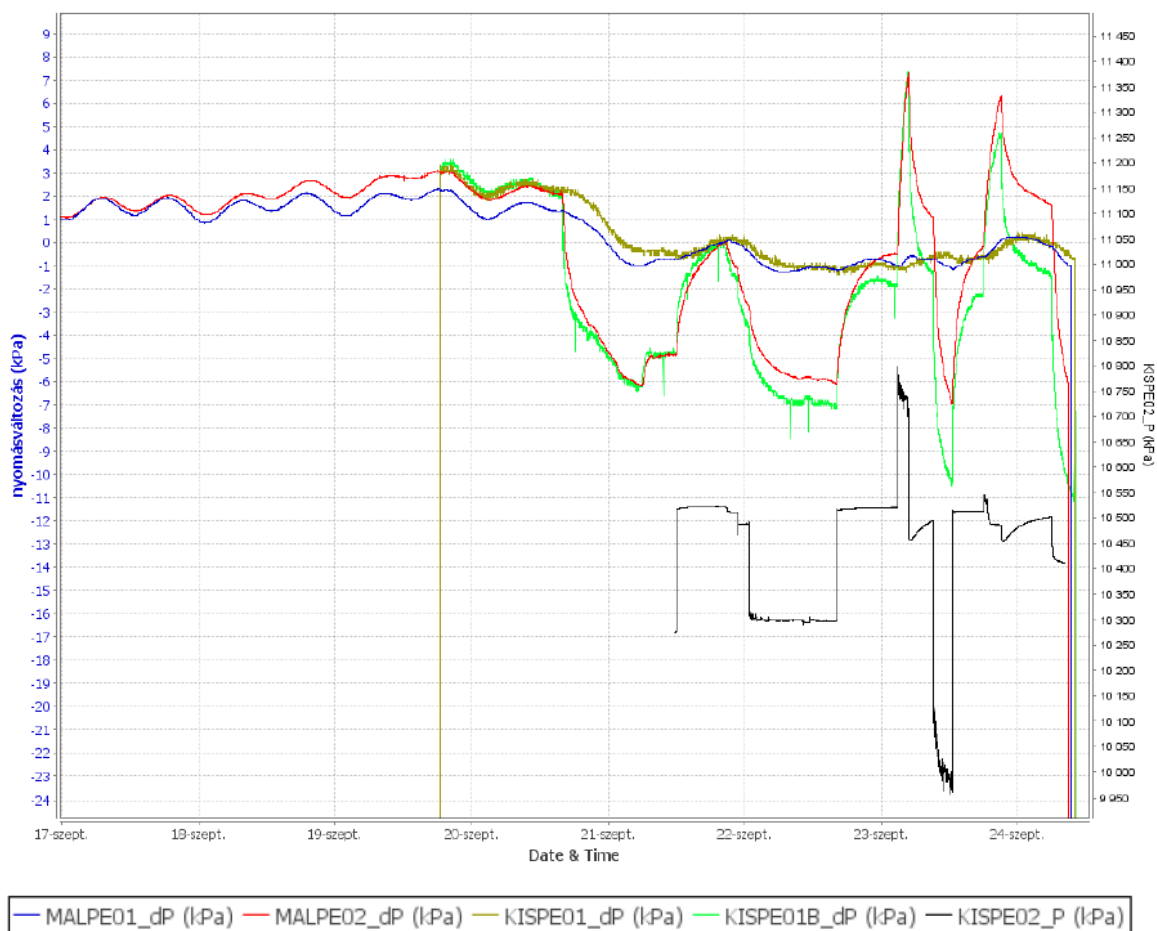
3.4 Modell kalibrációja

A regionális modell paraméterei egy korábban kalibrált és elfogadott modellből származnak, ezért ezeket további érdemi kalibráció nélkül elfogadtuk.

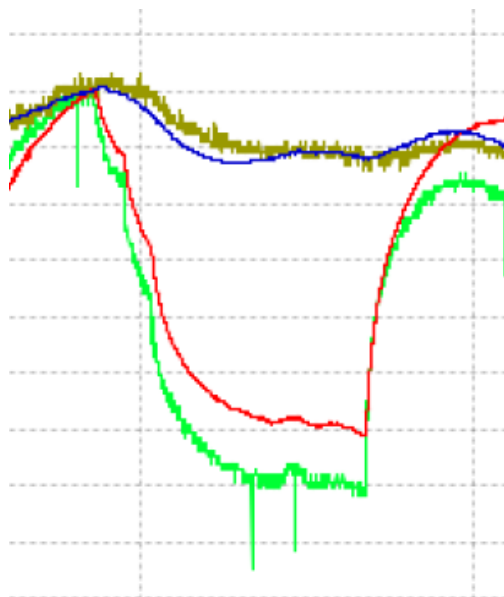
Az így felépített modellel első lépésben a 2014- évi termelési adatokkal készült ellenőrző szimuláció.

A részletes kalibrációt a geotermikus kutak környezetére végeztünk, mivel ezen a területen keletkeztek érdemi új ismeretek, mérési eredmények.

A geotermikus kutak megfúrása után 2012.09.21-2012.09.24 között a KIS-PE-02 jelű fúrásban többlépcsős hidrodinamikai vizsgálatot végeztek. A mérések során a termelés, leállítás hatásait a termelt kút mellett a többi kúton, mint figyelőkúton is mérték. A méréseket a Golder Associates (Magyarország) Zrt. önálló tanulmányban értékelte. A hatásvizsgálati modell kalibrációja szempontjából a vizsgálatok legfontosabb eredménye a KIS-PE-01B és a MAL-PE-02 kutakban mért nyomásváltozások. E mérések RW3-as jelű szakasza elég hosszú volt ahhoz, hogy közel állandósult vízszinteket mértek a két figyelőkúton. A teljes mérési időszakot az 5. ábra, míg a kalibrációhoz használt RW3 időszakot kinagyítva a 6. ábra mutatja be.



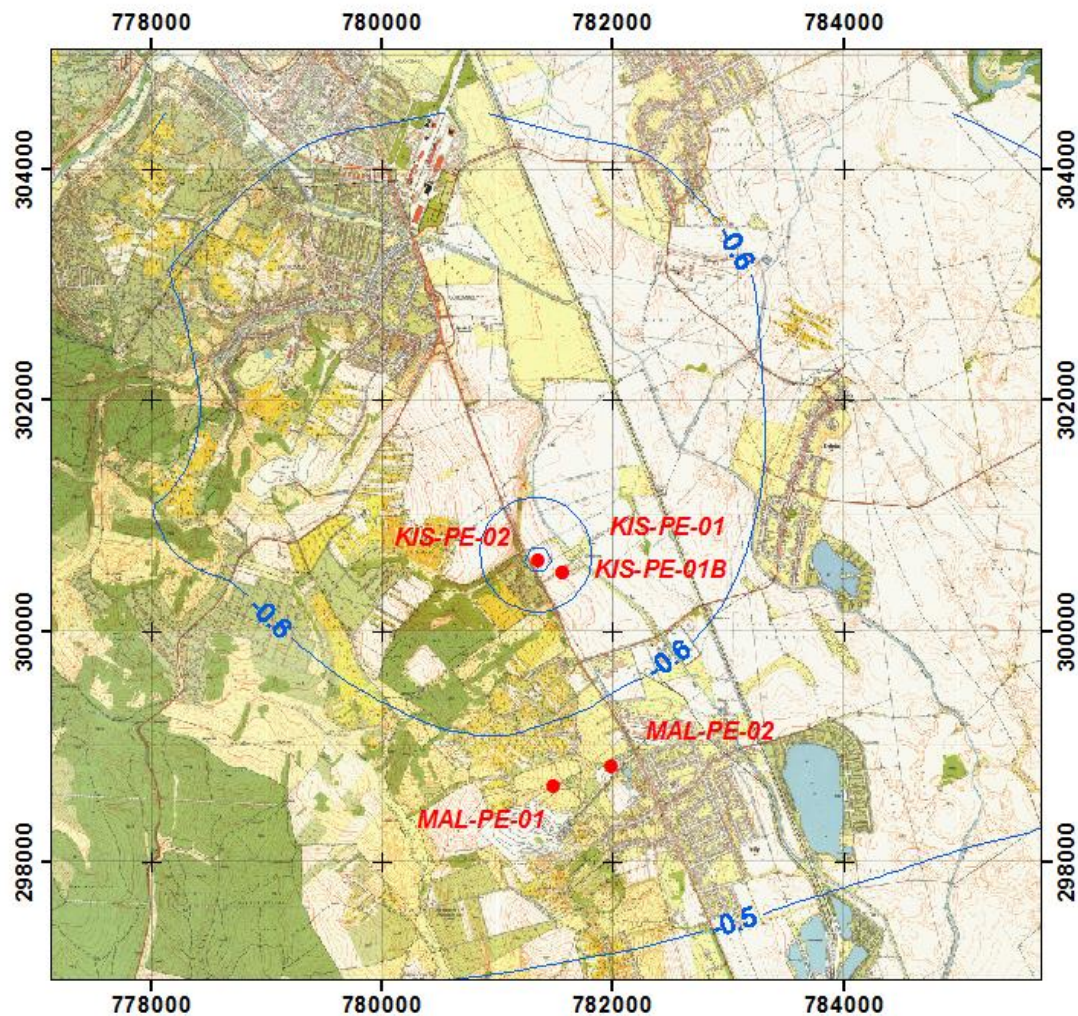
5. ábra: Nyomásváltozás figyelő kutakban a KIS-PE-02 kút hidrodinamikai vizsgálata alatt



6. ábra: Nyomásváltozás az RW3 jelű időszak alatt

A mérési eredményekből látható, hogy a KIS-PE-02 kút 2500 l/p (3600 m³/nap) hozamú termelésének hatására a termeléshez közelebb eső KIS-PE-01B kútban 7 kPa, míg a távolabbi MAL-PE-02 kútban 6 kPa nyomáscsökkenés volt mérhető. A lokális kalibráció célja reális szivárgáshidraulikai paraméterek mellett ezeknek az értékeknek a visszaadása. A lokális kalibráció eredményét a 7. ábra mutatja.

Az eredményről megállapítható, hogy számszerűleg nem mutat ugyan teljes egyezést a mérési pontokon mért értékekkel, de a hatás jellege, nagyságrendje a regionális vizsgálatok elvégzéséhez elegendően pontos.



7. ábra: Számított depresszió a KIS-PE-02 kút 3600 m³/nap termelése esetén

3.5 A modell verifikálása

Az üzemeltetéshez kapcsolódó környezetvédelmi szakértői tevékenység fontos feladata a monitoring mérésekre alapozva a meglévő vízföldtani modell folyamatos pontosítása, aktualizálása.

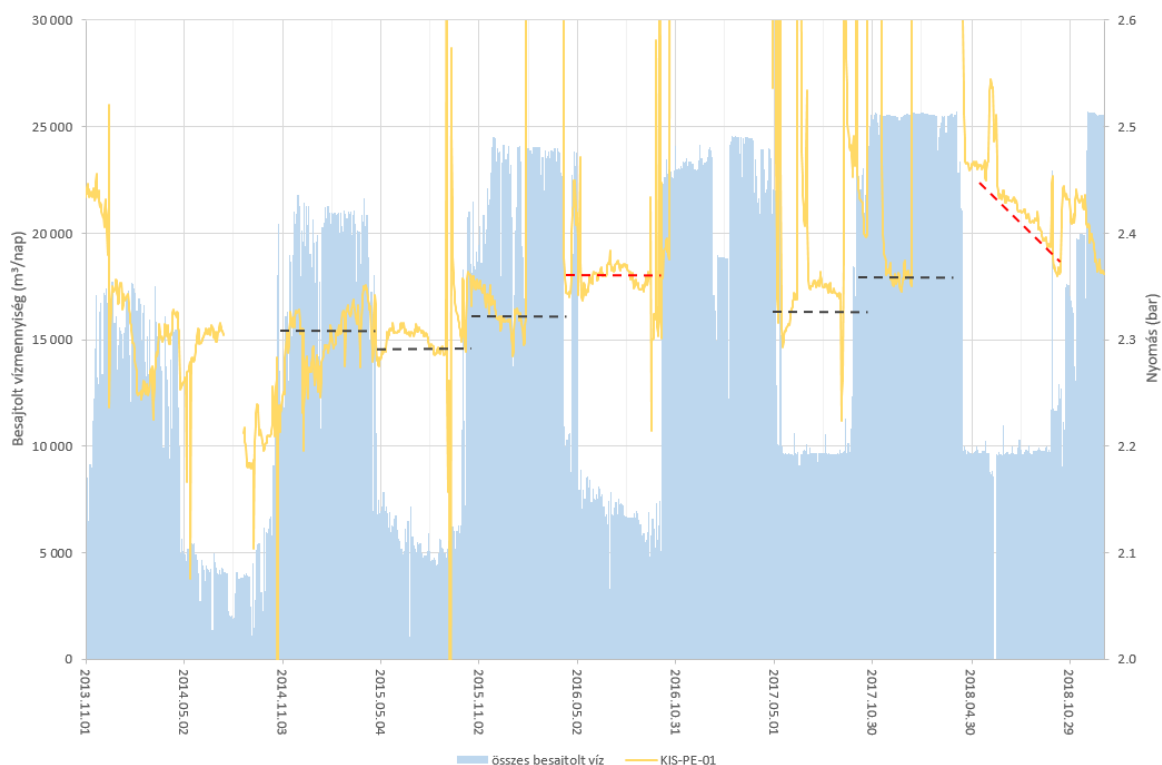
2019-ben termelés növelés engedélyeztetéséhez kapcsolódó hatásvizsgálati modellezési munkák keretében megtörtént a meglévő modell verifikálása. A verifikálás során az addig eltel 6 év üzemelésének szimulálásával, a számított és mért értékek összehasonlításával történt meg annak a vizsgálata, hogy a modell megfelelően írja-e le a hévíztárolóban a termelés hatására lejátszódó folyamatokat.

A geotermikus rendszer üzemelésének termelési visszasajtolási adatait a tényleges üzemelési adatok alapján meghatározott közel féléves időszakokra, az átlagos hozamértékekkel vettük figyelembe a számítások során. Az adatokat a 3. táblázat adja meg.

idő- lépcső	időszak	hossz (nap)	MAL-01	MAL-02	PE-02	PE-01/B
1	2013.11.01 - 2014.04.01	172	9 271	4 628	4 949	8 950
2	2014.04.02 - 2014.10.14	196	257	3 764	1 677	2 341
3	2014.10.15 - 2015.04.21	190	9 502	8 559	7 996	10 065
4	2015.04.22 - 2015.09.29	161	0	5 544	1 896	3 647
5	2015.09.30 - 2016.04.04	188	11 085	9 803	10 989	9 900
6	2016.04.05 - 2016.10.03	182	925	7 128	2 715	5 338
7	2016.10.04 - 2017.05.01	210	11 835	10 148	11 672	10 310
8	2017.05.02 - 2017.09.22	146	634	9 242	7 614	2 287
9	2017.09.23 - 2018.04.11	201	12 463	12 076	12 093	11 933
10	2018.04.12 - 2018.09.24	166	710	8 799	6 753	2 695
11	2018.09.25 - 2018.12.31	97	10 377	8 194	7 197	11 217

3. táblázat: Geotermikus kutak átlagos hozama időlépcsőnként (m³/nap)

A mért értékek közül amennyiben lehetséges célszerű üzemén kívüli (monitoring) kút adatait felhasználni a kalibrálás, verifikálás során. Ilyen kút a KIS-PE-01 jelű kút. Részletesebben megvizsgálva a kútban mért nyomásokat (8. ábra) látható, hogy azok nem tekinthetők referencia értékeknek.

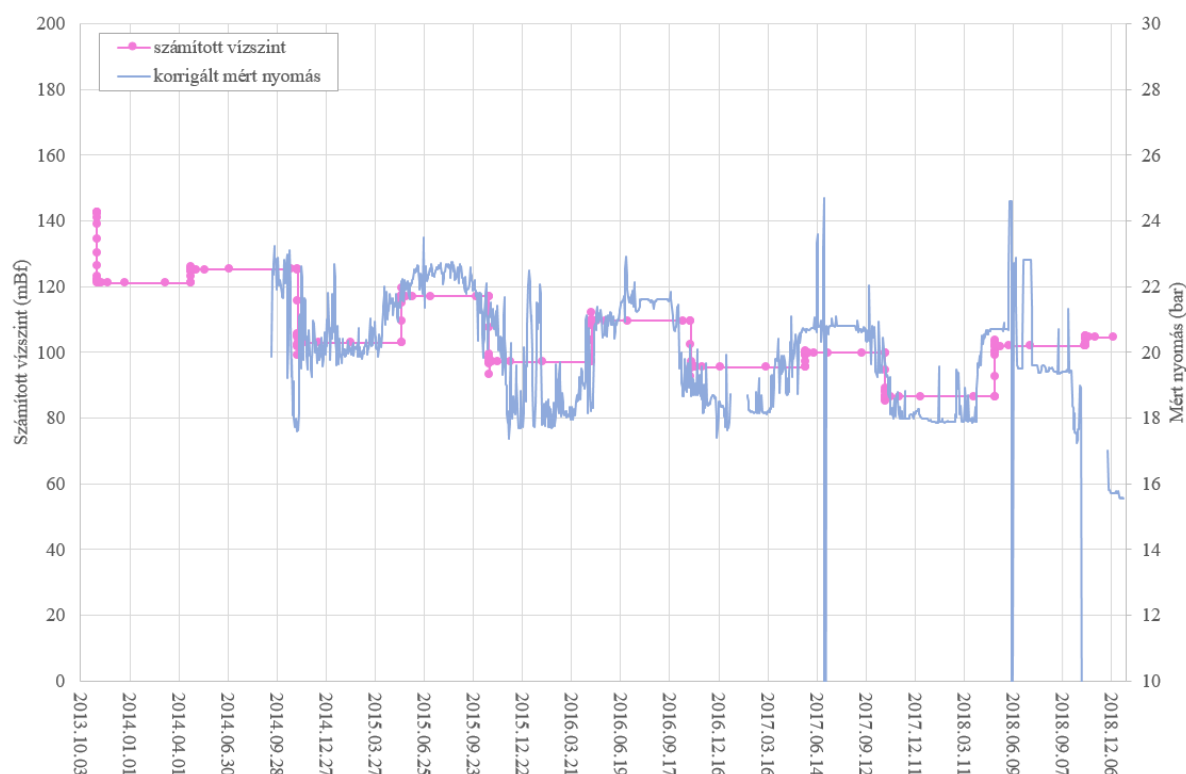


8. ábra: Nyomásváltozás a KIS-PE-01 kútban

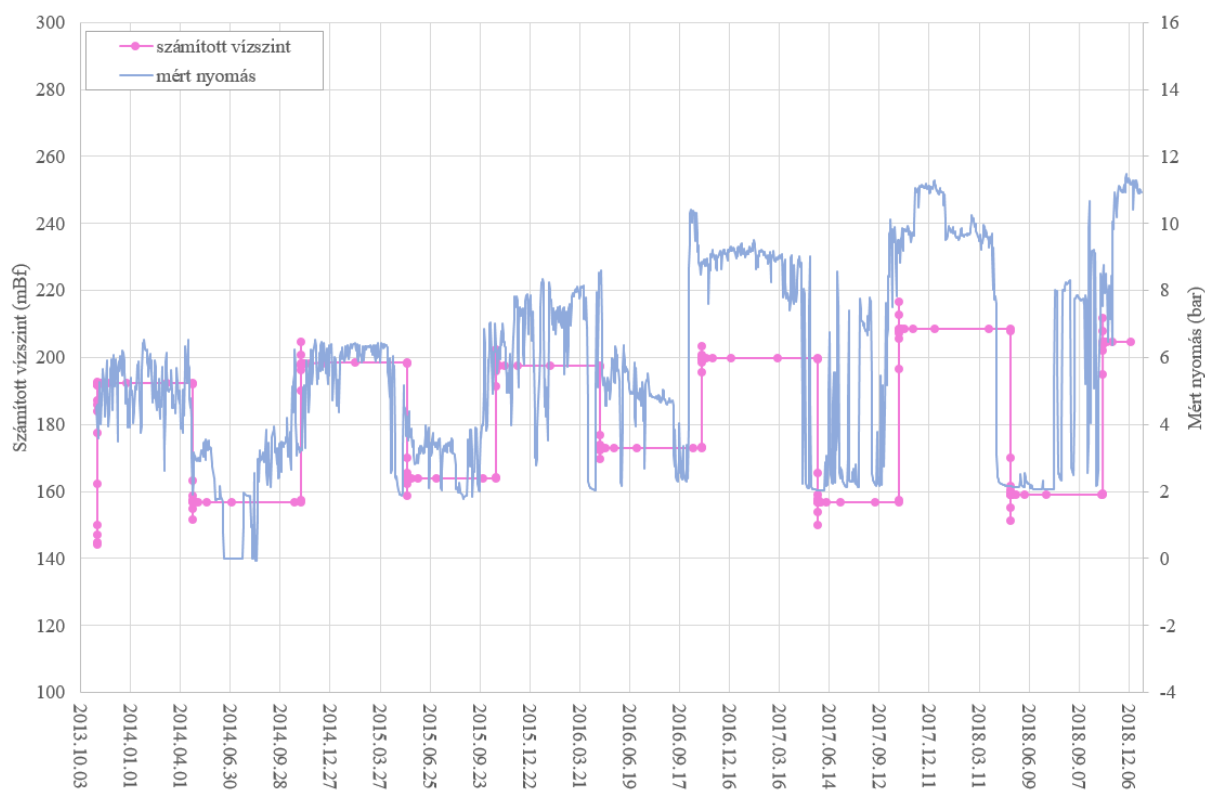
Az ábrán két problémás időszak látható, melyek mért nyomásait piros szaggatott vonallal átlagoltuk. 2016 nyarán, amikor lecsökken a besajtott víz mennyisége a nyomás magasabb átlagos szintre áll be, mint az előző ciklusban, amikor nagy mennyiséget sajtoltak vissza. Másik problémás időszak 2018 nyara. Ekkor nem alakul ki a kvázi permanens állapot, hanem a kútban fokozatosan csökkenő nyomást mérnek közel állandó visszasajtolás mellett. Mindkét esetben műszaki problémák miatt a mérési eredmények nem a valóságos rétegyomást mutatják.

A 2016-2018 időszak mérései nem mértékadók modellezési szempontból, ezért más referencia mérést kellett választani a modell verifikálásához. Egyéb lehetőség hiányában az üzemelő kutak méréseit használtuk referencia adatként. Az üzemelő kutak esetében a mérések mindig terheltek a kút műszaki állapotától függő kúthatással (skin), vagyis a mérések általában valamivel nagyobb vízszint/nyomás ingadozást mutatnak, mint amekkora a vízádo közegben jelentkezik. Emiatt a mért és számított értékek kisebb egyezése mellett is kalibráltnak/verifikáltnak tekinthető a modell.

A számítási eredményeket a 9. ábra és 10. ábra mutatja.



9. ábra: Mért és számított eredmények a MAL-PE-02 kútban



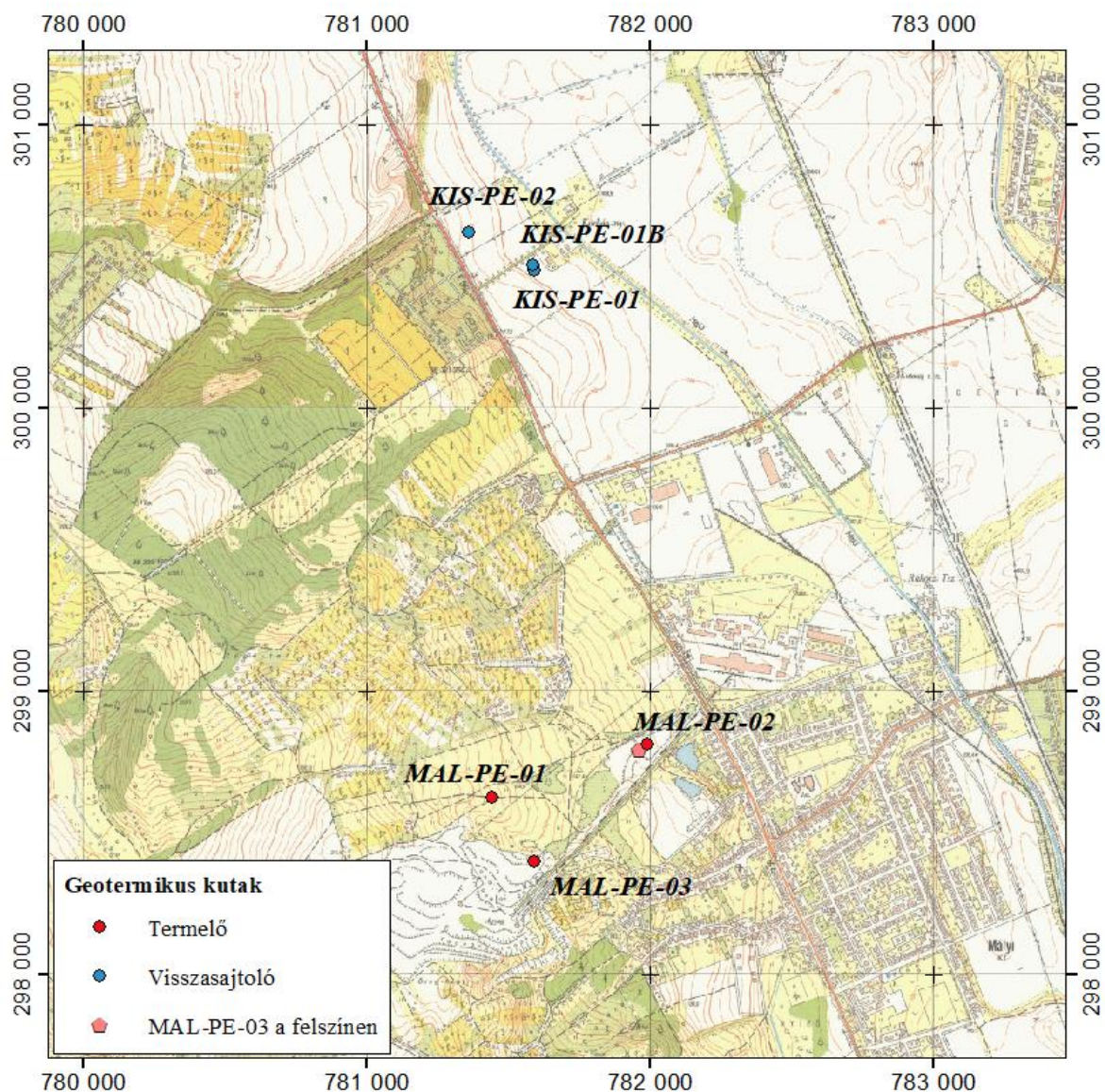
10. ábra: Mért és számított eredmények a KIS-PE-01B kútban

A kalibráció és a verifikálás eredményei alapján megállapítható, hogy a rendelkezésre ismeretek szintjén a meglévő modell kellő pontossággal szimulálja a nagytérségi folyamatokat, és a termelőkutakban lejátszódó nyomásváltozásokat, így alkalmas hatásvizsgálatok elvégzésére.

4 TERVEZETT ÚJ KÚT HATÁSSZÁMÍTÁSA

4.1 A tervezett új kút

A **MAL-PE-03** jelű új termelőkutat a felszínen a meglévő MAL-PE-02 kút mellé helyezve ferdtített fűrés alkalmazásával tervezik létesíteni. A tényleges termelési pont, azaz a kúttalp, a szűrőzés helye ettől a felszíni ponttól DNY-i irányban mintegy 500 m távolságban, a MAL-PE-01 kúttól pedig D-DK irányban 300 m távolságra várható. A geotermikus rendszer kútjainak elhelyezkedését a tervezett új kúttal együtt a 11. ábra mutatja.



11. ábra: A geotermikus rendszer kútjai a tervezett új kúttal együtt

Az üzemeltető a termelés növelését nem tervezi, az új kút célja a triász felszín egy mélyebb pontján elérve a MAL-PE-01 kúthoz hasonló, a MAL-PE-02 kút vizénél melegebb víz feltárása és termelése. Így a kutak összes termelése változatlanul az engedélyezett a $8 \text{ M m}^3/\text{év}$ marad. A jelenlegi tervek szerint a termelés felét 4 M m^3 -t a MAL-PE-01 kút adja majd, míg a 2-es és 3-as kút együttesen adja majd a termelés másik felét. Nagyobb részben az új kút üzemel, a MAL-PE-02-es kút valószínűleg tartalék kútként fog üzemelni. A rendszer tervezett termelési adatait a 4. táblázat adja meg.

	Jelenleg engedélyezett vízfelhasználás ($\text{m}^3/\text{év}$)	Tervezett vízfelhasználás ($\text{m}^3/\text{év}$)
Miskolci Geotermia Zrt. (1-es kút)	4,0 millió	4,0 millió
KUALA Kft. (2-es kút)	4,0 millió	0,33 millió
KUALA Kft. (3-as kút)		3,67 millió

4. táblázat: Geotermikus kutak tervezett víztermelése

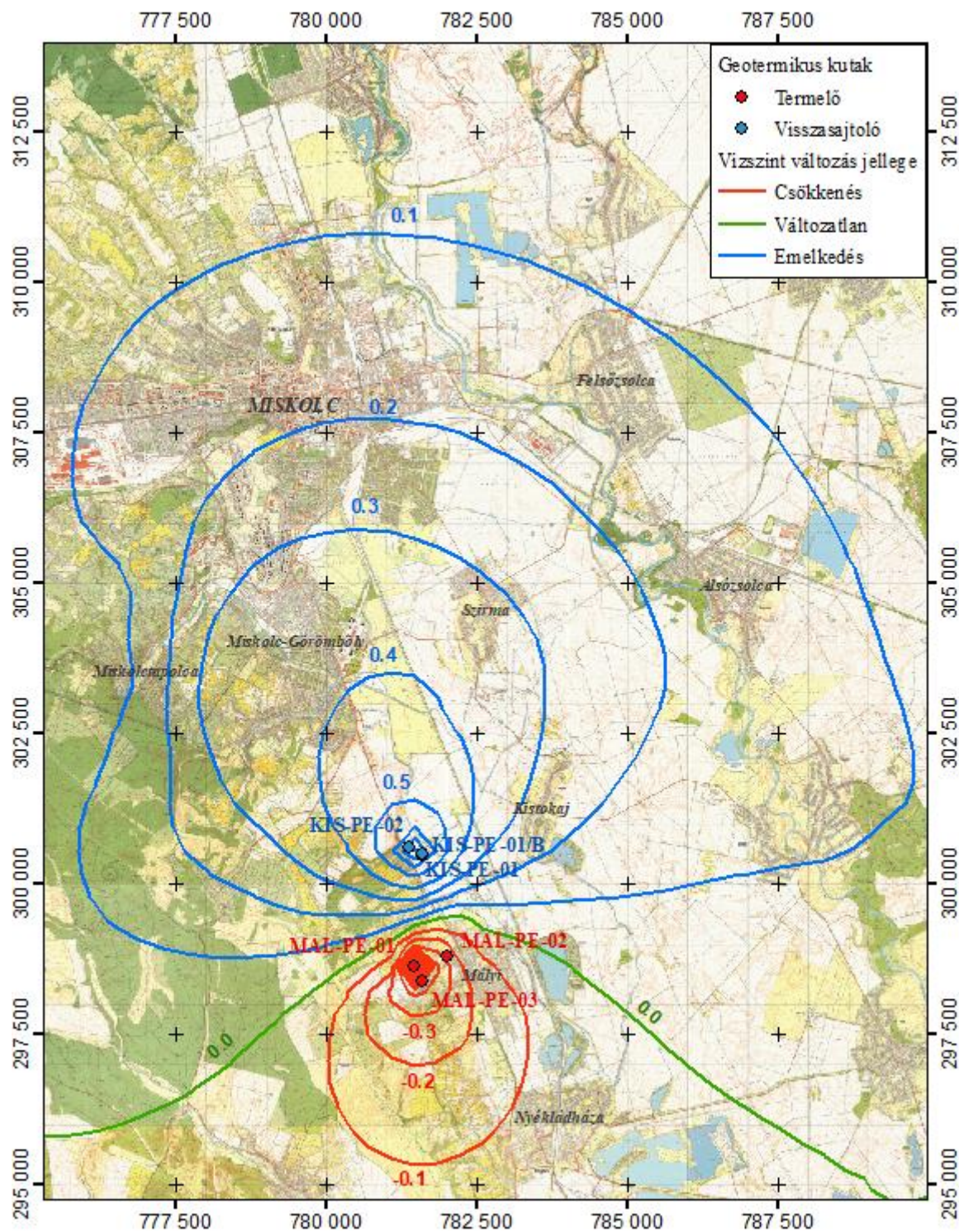
A visszasajtolás továbbra is fele-fele arányban történik a KIS-PE-01B és KIS-PE-02 kutakba.

4.2 Számítási eredmények

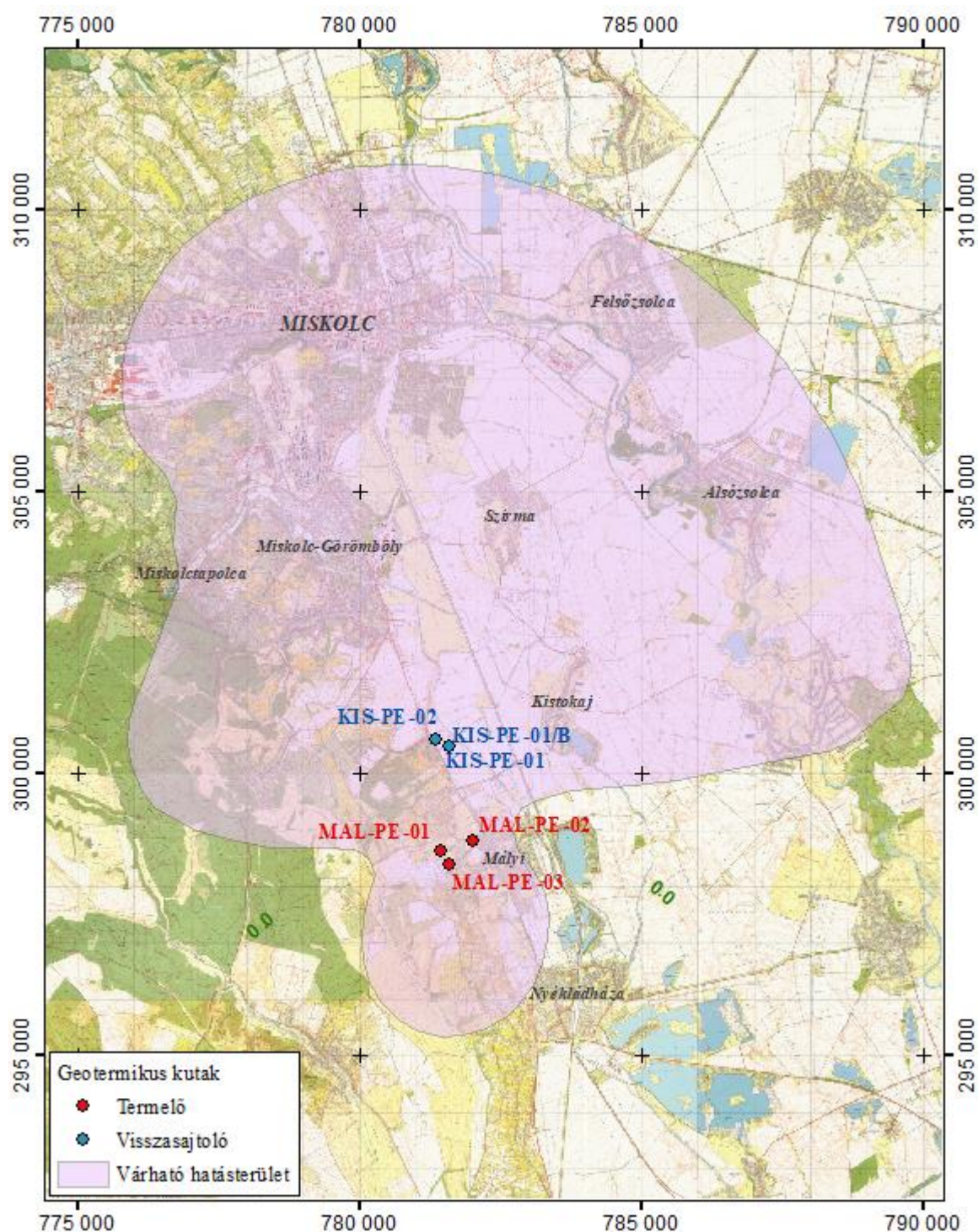
A tevékenység hatása nyomás- és hőmérsékletváltozás formájában érinti a geotermális rezervoárt.

Környezeti hatás szempontjából a termelés/visszasajtolás következtében kialakuló nyomás/vízszint változás érinti a legnagyobb területet. Az összesen $8 \text{ M m}^3/\text{év}$ termelés mellett tartósan kialakuló számított permanens hatást a 12. ábra mutatja.

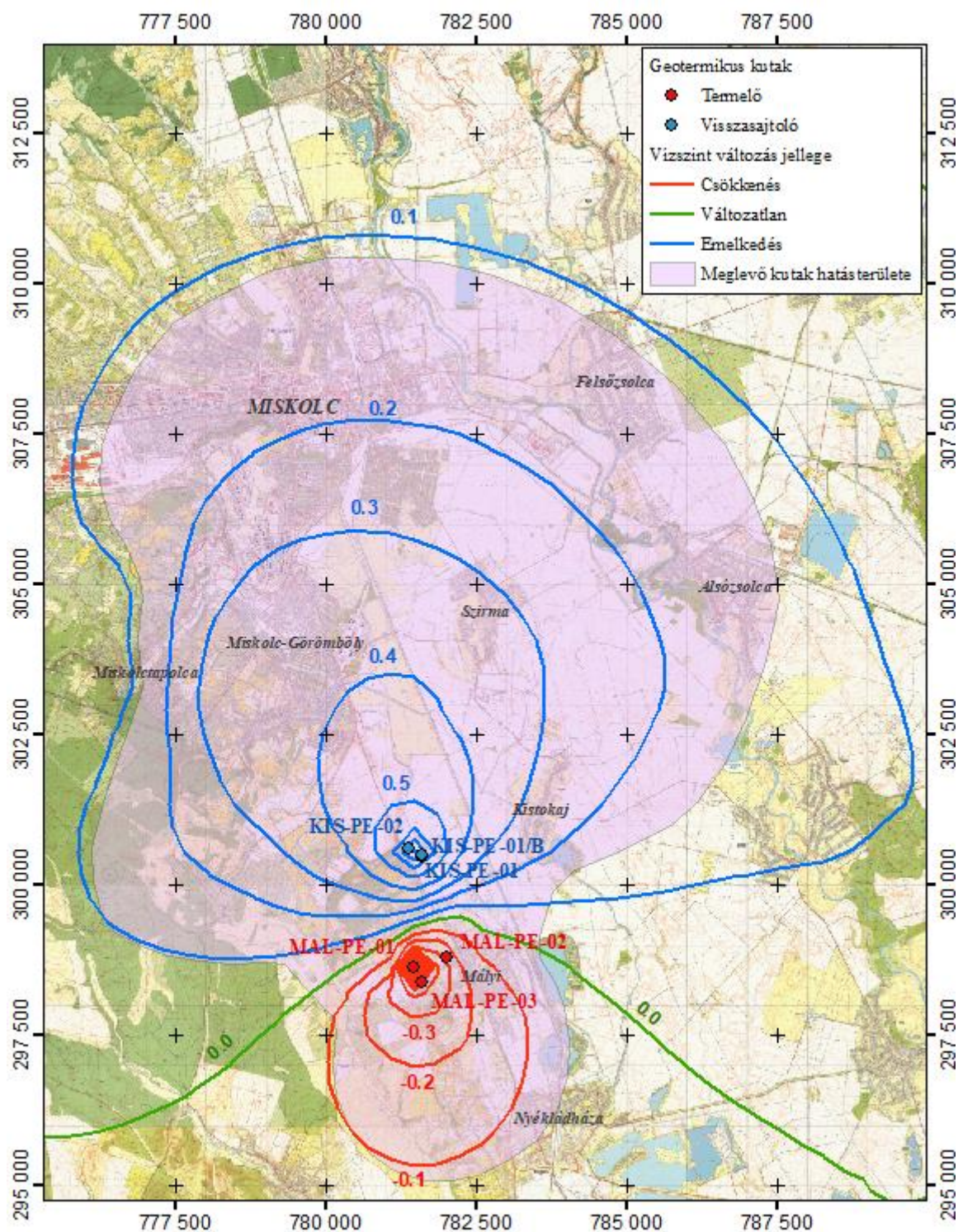
A jelenleg engedélyezett hatásterület a 0,1 méteres hidraulikai hatással jellemezhető tér. A 14. ábra a meglévő kutak $8 \text{ M m}^3/\text{év}$ termeléséhez tartozó hatásterületet és az új kút üzemelése esetén, az előzővel azonos összes termelés mellett várható vízszint változást mutatja. Látható, hogy amennyiben továbbra is a 0,1 méteres hidraulikai hatás jelöli ki a hatásterületet az új kúttal a hatásterület kismértékben változik. Azáltal, hogy a termelés súlypontja eltolódik néhány 100 m-el D-DNy irányba nem csak a süllyedéssel érintett térrész határa módosul, hanem az emelkedéssel érintett terület is változik, és kismértékben főként keleti irányban megnő.



12. ábra: Számított vízszint változás az új kút üzemelése esetén 8 M m³/év víztermelés/besajtolás figyelembevételével



13. ábra: Számított hatásterület az új kút üzemelése esetén 8 M m³/év víztermelés/besajtolás figyelembevételével



14. ábra: 8 M m³/év víztermelés/besajtolás jelenlegi hatásterülete és az új kút üzemelése esetén várható vízszint változás

A hőtranszport folyamatok hatásterülete nagyságrendekkel kisebb, mint a hidraulikai folyamatoké, azok a hidraulikai hatások alapján kijelölt térrészen belül zajlanak le.

A hőmérsékleti változás tranziens folyamat, ami a visszasajtolás megkezdésekor indult el, és a földtani közeg hővezetési jellemző mellett az aktuális termelés következtében kialakuló áramlási viszonyok is befolyásolják. A várható hőmérsékleti változásokhoz ezért olyan számítást kell alkalmazni, ami szimulálja az üzemelés eddig eltelt időszakát, és ebből az állapotból kiindulva vizsgálja a jövőbeli folyamatokat.

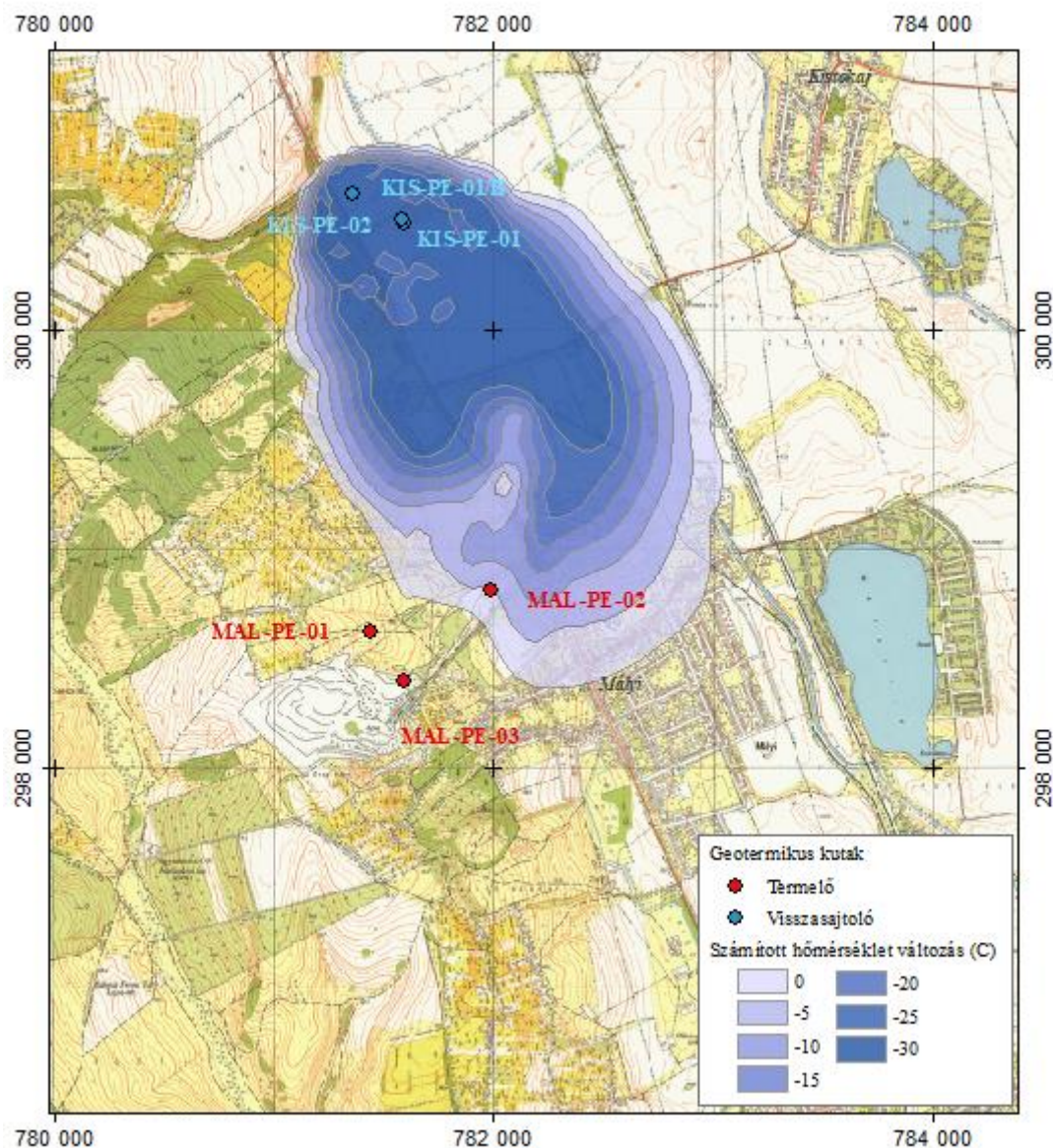
A várható hőmérsékletváltozás számításához a geotermikus rendszer üzemelésének termelési/visszasajtolási adatait a tényleges üzemelési adatok alapján kutanként éves átlagos hozamértékekkel vettük figyelembe a 2013-2023 időszakra, míg az előrejelzéshez a 4. táblázat szerinti adatok kerültek a modellbe. A teljes modellezett időszakra figyelembe vett adatokat az 5. táblázat adja meg.

	MAL-PE-01	MAL-PE-02	KIS-PE-01	KIS-PE-02	KIS-PE-01/B	MAL-PE-03
2013	1 574	705	0	819	1 460	-
2014	4 643	5 101	1	3 942	5 800	-
2015	5 901	7 377	0	5 821	7 457	-
2016	6 475	8 816	0	7 482	7 809	-
2017	7 409	10 172	71	10 022	7 496	-
2018	6 611	9 612	234	8 417	7 527	-
2019	8 033	10 005	225	9 914	7 896	-
2020	8 558	8 432	578	8 431	7 766	-
2021	7 551	9 598	606	9 272	7 078	-
2022	7 253	9 734	0	9 734	7 253	-
2023*	7 250	9 700	0	9 700	7 250	-
2024-2049	10 959	904	0	-10 959	-10 959	10 055

* 2022 év és 2023 első 9 hónapja alapján becsült érték

5. táblázat: Geotermikus kutak termelési/visszasajtolási adatai 2013-2049 (m³/d)

A számított hőmérsékletváltozást a geotermikus védőidomok kijelöléséhez alkalmazott 25 éves időszakra 15. ábra szemlélteti.



15. ábra: Számított hőmérséklet változás 2049-re (25 év múlva) 8 M m³/év termelés/visszasajtolás esetén

5 ÖSSZEFOGLALÁS

Áttekintve a számítási eredményeket, megállapítható, hogy a tervezett új kút a már engedélyezett rendszer környezeti hatásait várhatóan érdemben nem módosítja, így a magasabb hőfokú víz kitermelésével és energetikai célú hasznosításával a meglévő hatásterület mellett több geotermikus forrású energia állítható elő.

A terv kidolgozásában részt vett munkatárs:

Davideszné Dömötör Katalin
okl. hidrogeológus, vezető tervező
MMK 13- 6818

Révi Géza
vízgazdálkodási mérnök, vezető tervező
MMK 01- 6817

Budapest, 2023.október

.....
Révi Géza
ügyvezető