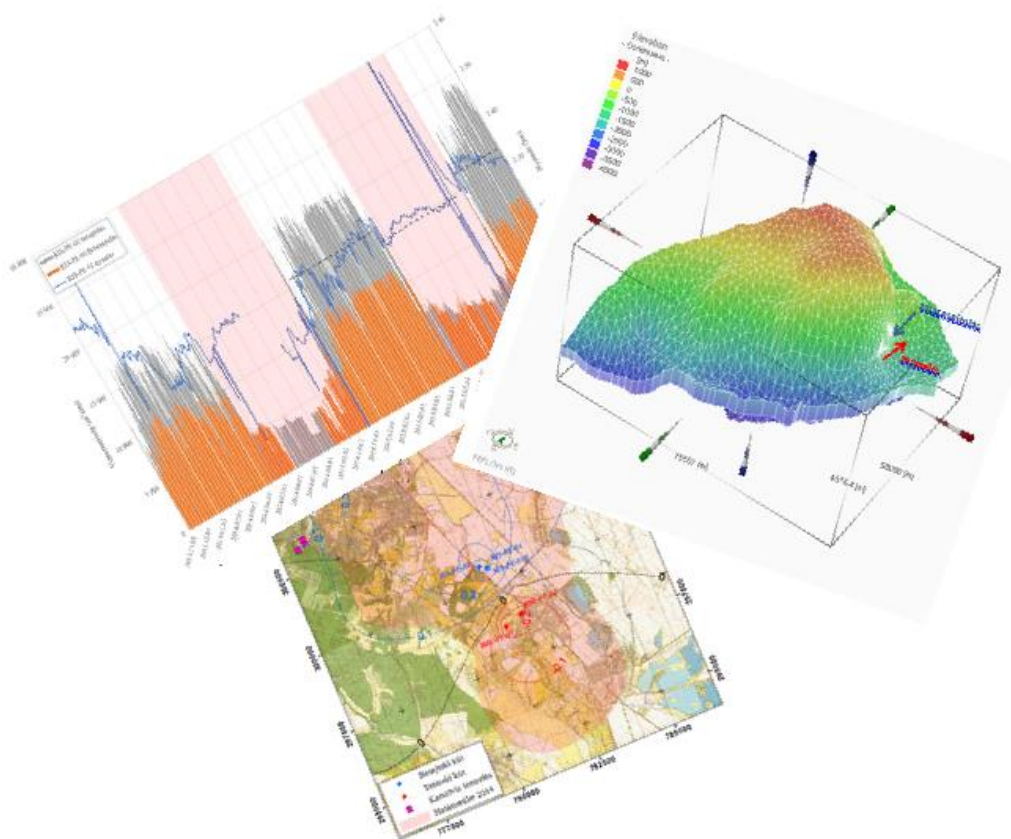

Miskolci Geotermikus Rendszer

Geotermikus kutak üzemelésének hatásvizsgálata numerikus modellezéssel



AQUIFER Kft.
2017

TARTALOMJEGYZÉK

1	ELŐZMÉNY	3
2	ÜZEMELÉS MÉRÉSI EREDMÉNYEI	4
3	MODELLEZÉS	10
3.1	A vizsgált terület földtani jellemzői	10
3.2	A modellezett terület	11
3.3	Modell paraméterei	13
3.4	Víztermelési adatok	16
3.5	Modell kalibrációja	17
4	A BŐVÍTETT TERMELÉS HATÁSVIZSGÁLATA	21

ÁBRÁK

1. ábra:	Termelés és kútfejnyomás alakulása a MAL-PE-01 kútban 2013-2016	4
2. ábra:	Termelés és kútfejnyomás alakulása a MAL-PE-02 kútban 2013-2016	5
3. ábra:	Visszasajtolás és kútfejnyomás alakulása a KIS-PE-01 kútban 2013-2016	5
4. ábra:	Visszasajtolás és kútfejnyomás alakulása a KIS-PE-02 kútban 2013-2016	6
5. ábra:	Visszasajtolás és kútfejnyomás alakulása a KIS-PE-01B kútban 2013-2016	6
6. ábra:	Kútfejnyomás és üzemi vízszint alakulása a MAL-PE-01 kútban 2013-2016	7
7. ábra:	Kútfejnyomás és üzemi vízszint alakulása a MAL-PE-02 kútban 2013-2016	8
8. ábra:	Kútfejnyomás a visszasajtoló kutakban 2013-2016	9
9. ábra:	KIS-PE-01 kút kútfejnyomása és a visszasajtott vízmennyiség 2013-2015	9
10. ábra:	Modellezett terület számítási hálójával	12
11. ábra:	Modell vertikális felépítése	13
12. ábra:	Eltérő szivárgáshidraulikai paraméterekkel jellemezhető közzettestek lehatárolása	14
13. ábra:	Karsztvíz termelések a modellezett területen	16
14. ábra:	Tranziens kalibráció eredménye a KIS-PE-01 kútra	18
15. ábra:	Számított vízszintváltozás 4,95 Mm ³ /év termelés esetén (m)	19
16. ábra:	Hatásterület módosulása az ismételt kalibráció eredményeként	20
17. ábra:	Számított vízszintváltozás 6,5 Mm ³ /év víztermelés esetén	21
18. ábra:	Hatásterület 6,5 Mm ³ /év víztermelés esetén	22
19. ábra:	A bővített kapacitású geotermikus rendszer hatásterülete és a hideg karsztvíz termelések védőövezetei	24
20. ábra:	A bővített kapacitású geotermikus rendszer hatásterülete és a meleg karsztvíz termelések védőövezetei	25

TÁBLÁZATOK

1. táblázat:	Triász képződmények felső 100 m-én jellemző szivárgási paraméterek	15
2. táblázat:	Geotermikus kutak átlagos hozama időlépcsőnként (m ³ /nap)	17

1 ELŐZMÉNY

A Pannergy Zrt. leányvállalatai 2013-tól a triász korú bükki mészkőre létesített mélyfúrású kutakkal geotermia alapú távfűtési rendszert üzemeltet Miskolc térségében. A rendszer megvalósítása során 5 db - 2 db termelőkut és 3 db visszasajtoló - kút került lemélyítésre. A hőellátás biztosítása érdekében létesített rendszer termálvíz kitermelő, hasznosító és visszasajtoló létesítményei jelenleg érvényes üzemelési engedély – 13397-20/2013. Ikt. sz. és 81-6/2014. Ikt. sz. - alapján működnek.

A közel négy éves üzemelés eltelével szükségessé vált az üzemelési engedélyek meghosszabbítása. Az illetékes Hatósággal folytatott előzetes az engedélyhosszabbítási kérelemhez csatolni kell az eddigi üzemelés és a hozzá kapcsolódó monitorig eredményeinek értékelését, a korábbi engedélyezéshez készített hatásvizsgálati modell felülvizsgálatát, aktualizálását.

Jelen dokumentáció a több mint három éves üzemelés mérési eredményeinek értékelése után röviden ismerteti a hatásvizsgálati modell felépítését, majd bemutatja az új kalibrációs eredményeket, a tevékenység frissített hatásterületét.

Az üzemeltetők az engedélyhosszabbítási kérelmet bővített kapacitásra - a kitermelt és visszasajtoló termálvíz mennyiségének növelésére - tervezik megkérni, ezért az újra kalibrált modellel meghatároztuk a megnövelt termelés várható hatásterületét is.

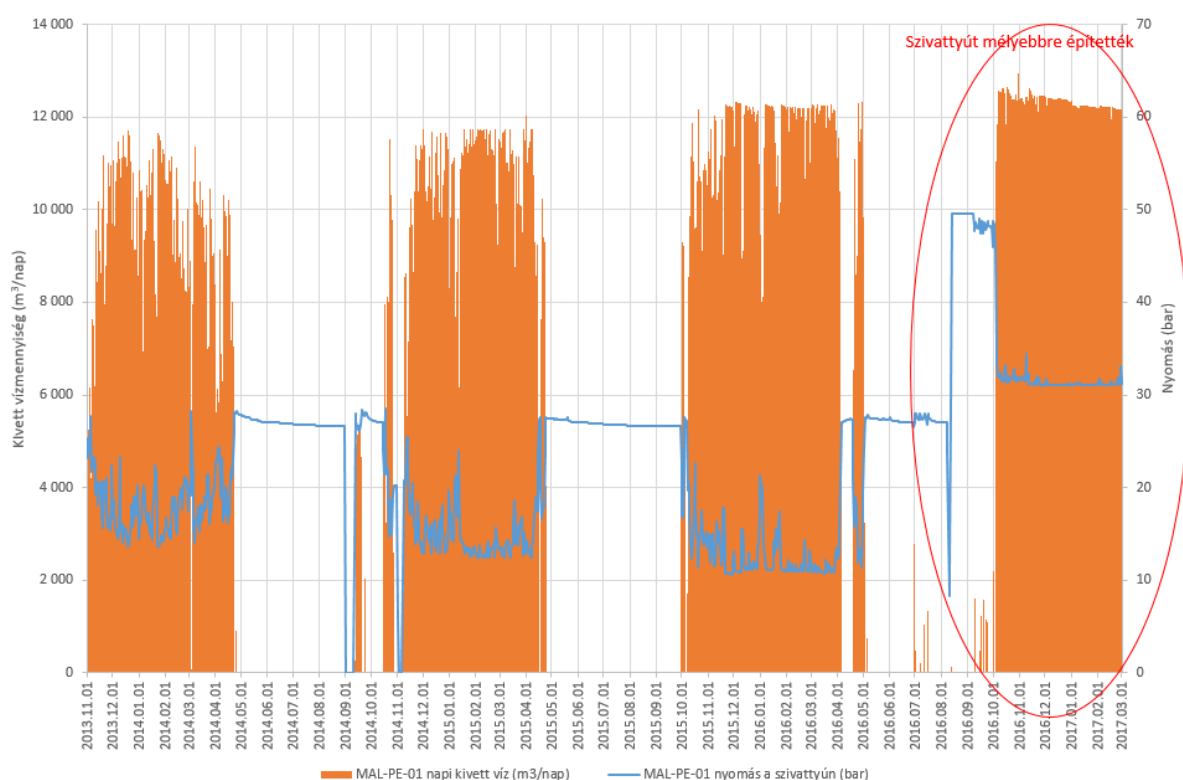
2 ÜZEMELÉS MÉRÉSI EREDMÉNYEI

A miskolci geotermikus rendszer működésének körülményeit az üzemeltetők folyamatosan vizsgálják, és az eredményekről éves jelentéseket nyújtanak be az illetékes Hatóságnak. Dokumentációnkban a rendszeres méréseket csak a vízföldtani modellezéshez szükséges alapadatok előállítása céljával értékeljük.

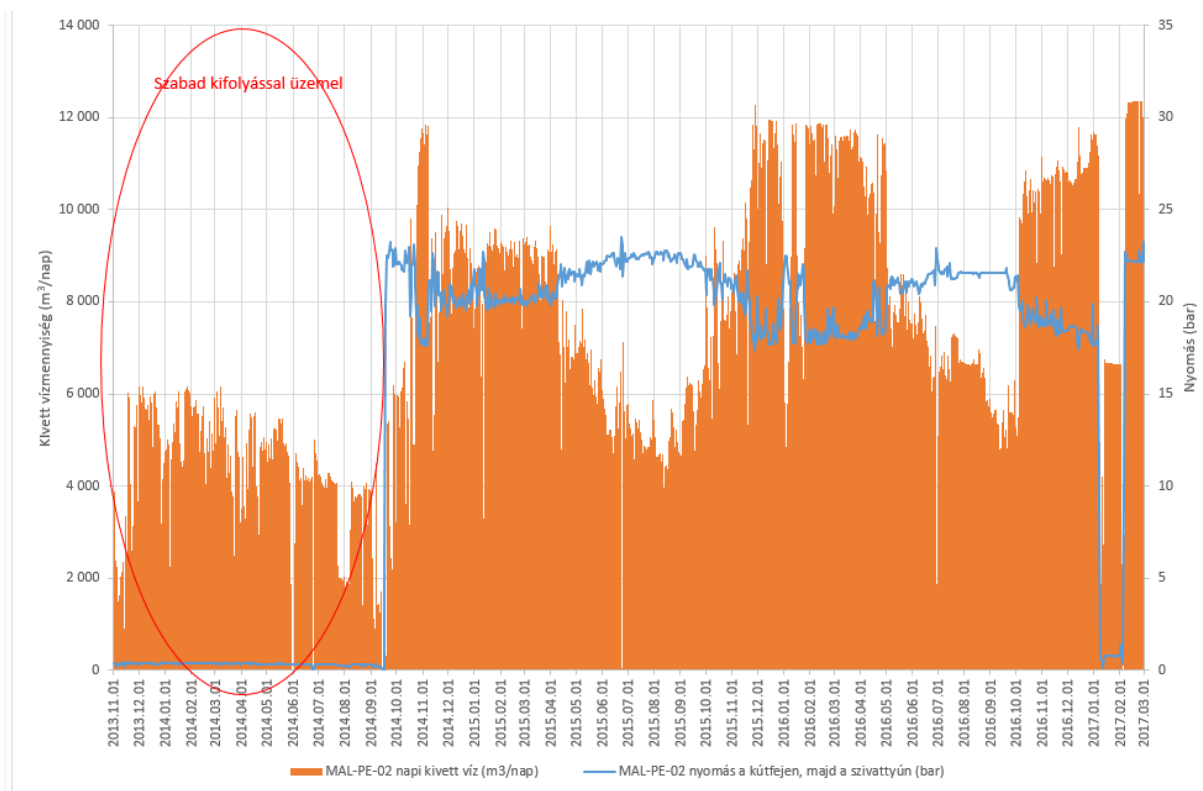
Az értékeléshez alábbi adatok állnak rendelkezésre:

- **termelő kutak (MAL-PE-01 és MAL-PE-02):** hozam, hőmérséklet, nyomás a szivattyún, dinamikus vízszint és napi kivett vízmennyiség
- **visszasajtoló kutak (KIS-PE-01, KIS-PE-01/B és KIS-PE-02):** hozam, hőmérséklet, nyomás a szivattyún és napi kivett vízmennyiség

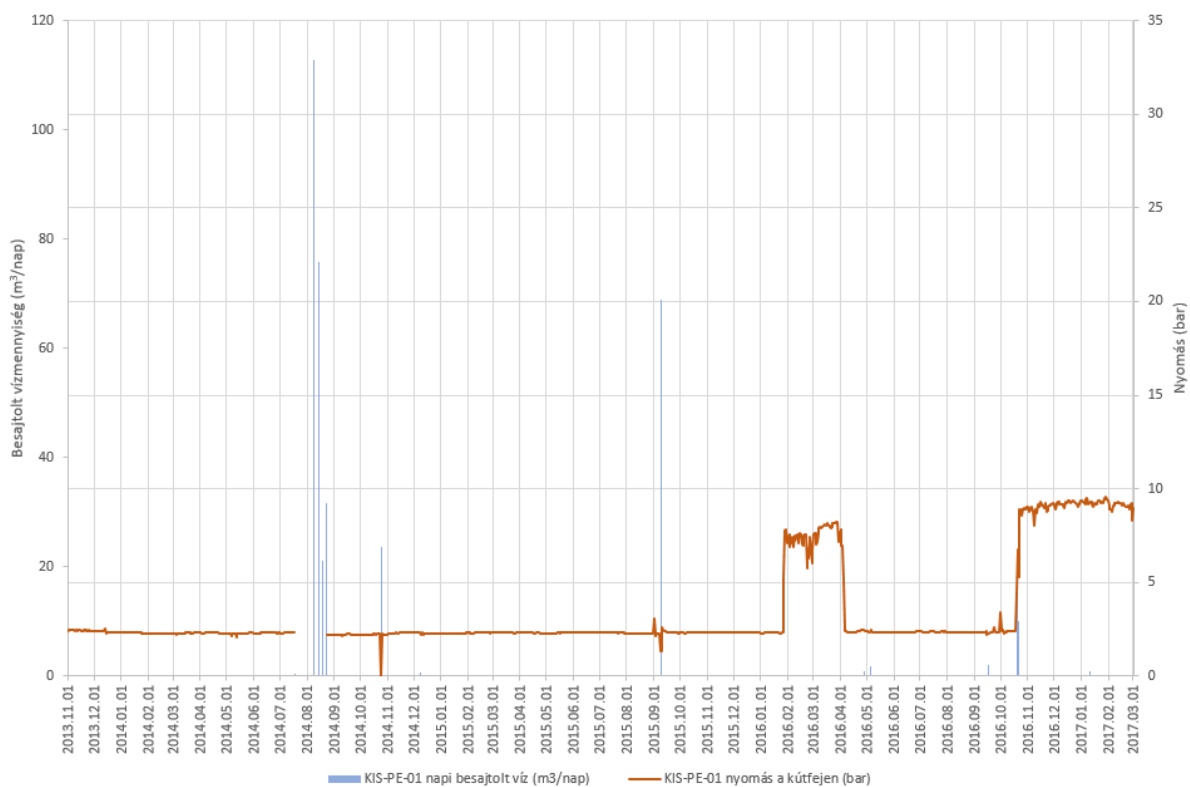
Elsőként az össze kútra rendelkezésünkre álló termelés/visszasajtolás és kútfejnyomás adatok grafikonjait mutatjuk be a 2013-2016 időszakra.



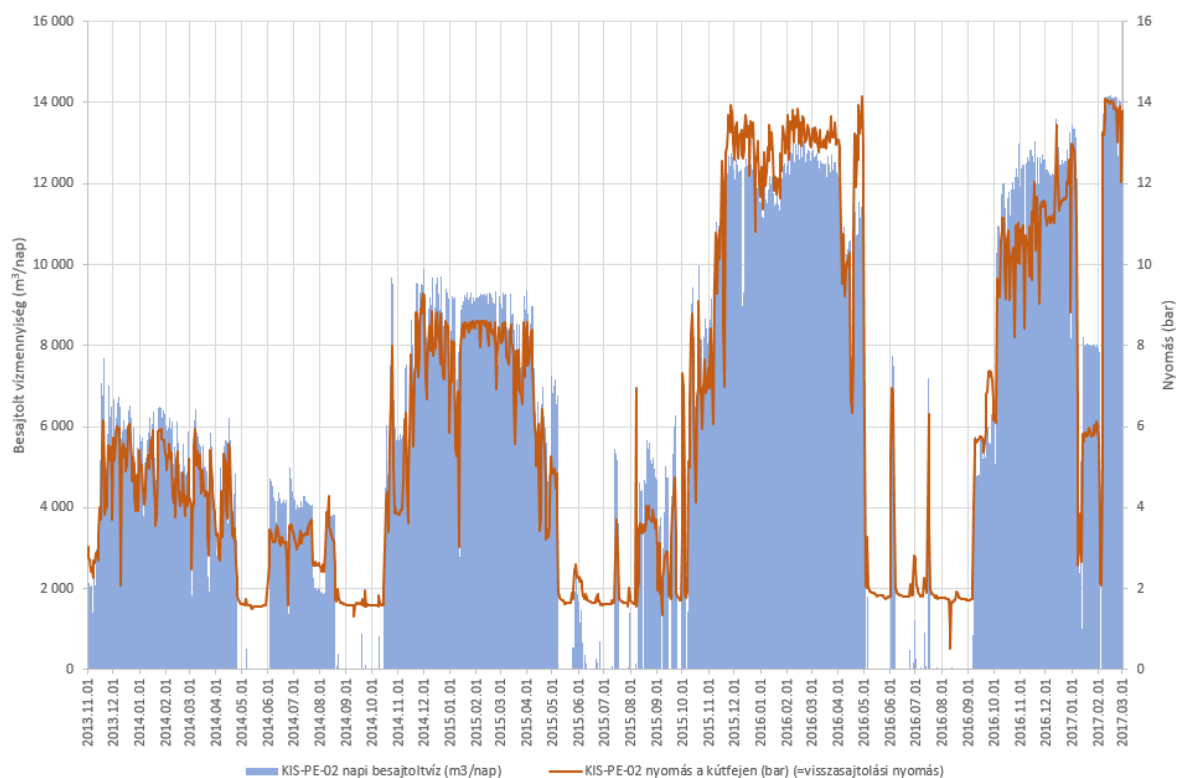
1. ábra: Termelés és kútfejnyomás alakulása a MAL-PE-01 kútban 2013-2016



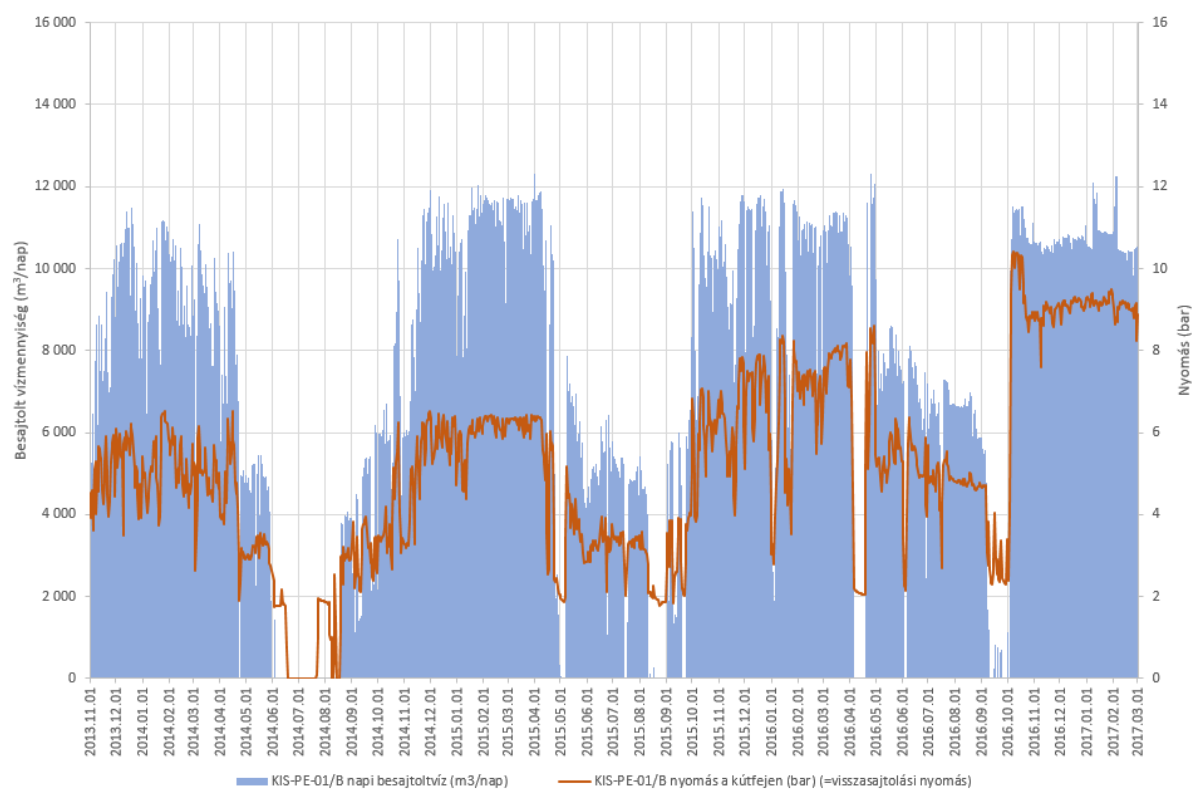
2. ábra: Termelés és kútfejnyomás alakulása a MAL-PE-02 kútban 2013-2016



3. ábra: Visszasajtolás és kútfejnyomás alakulása a KIS-PE-01 kútban 2013-2016



4. ábra: Visszasajtolás és kútfejnyomás alakulása a KIS-PE-02 kútban 2013-2016

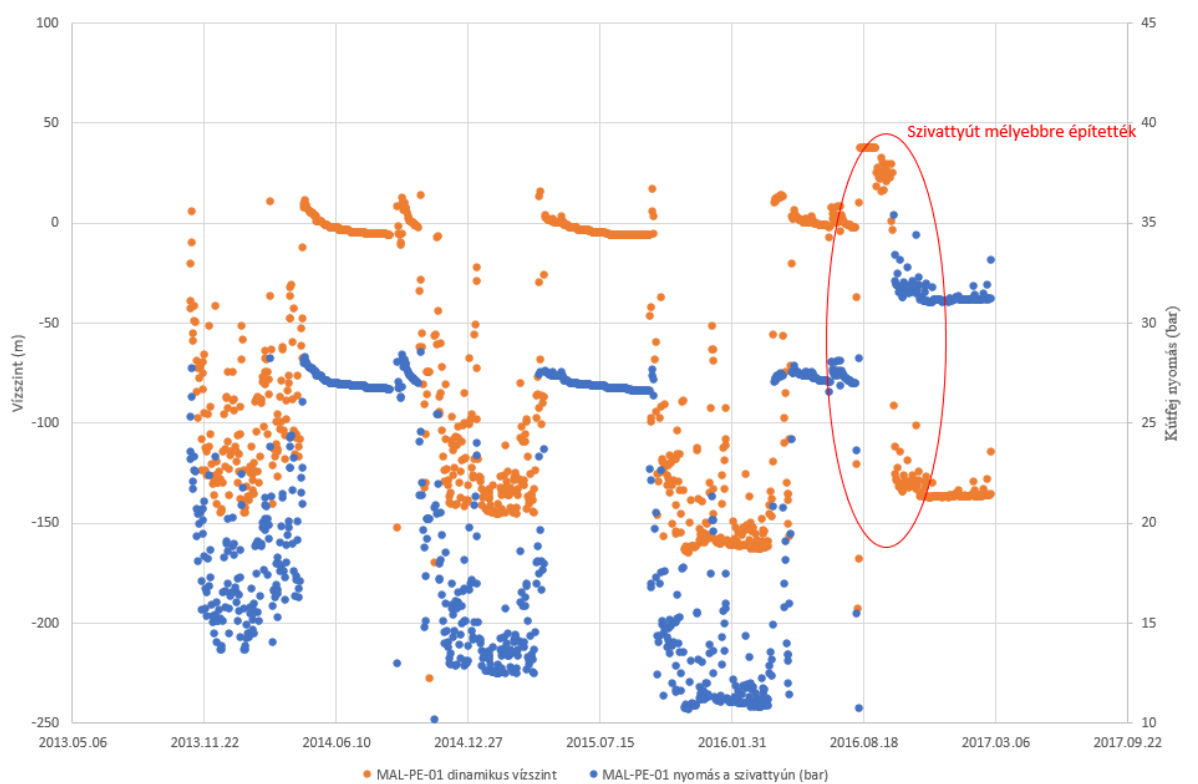


5. ábra: Visszasajtolás és kútfejnyomás alakulása a KIS-PE-01B kútban 2013-2016

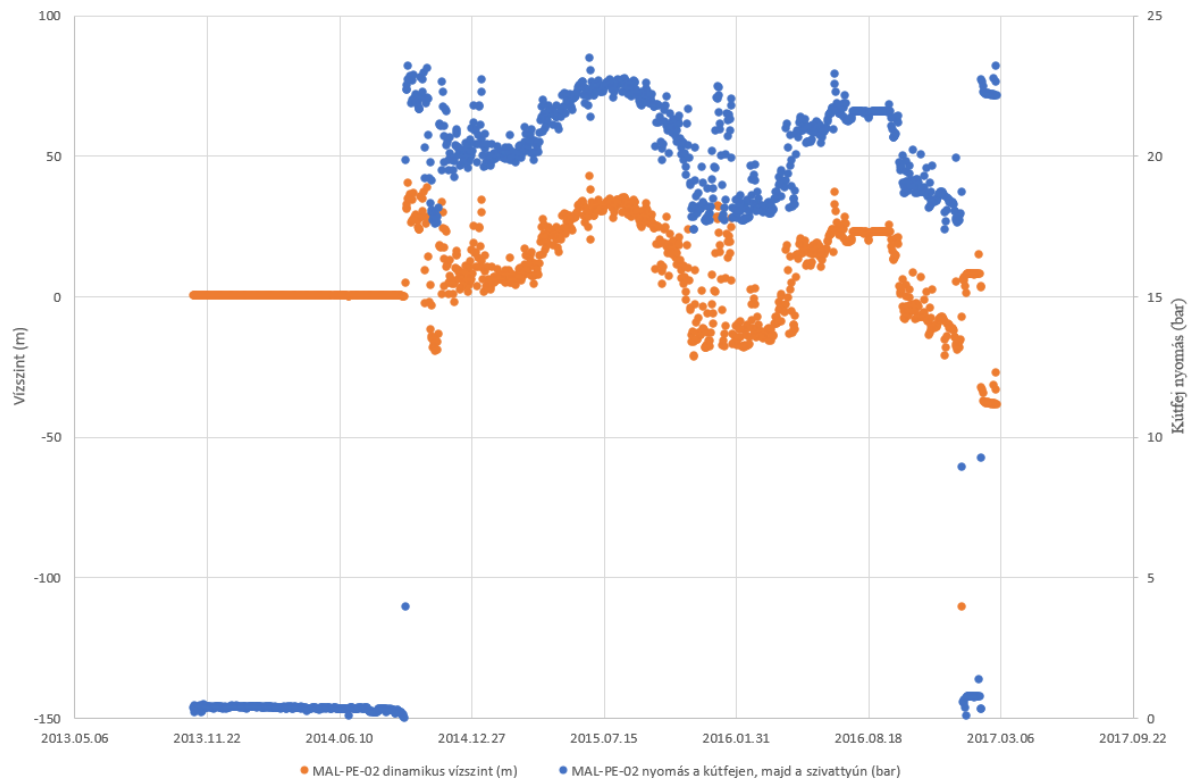
Az ábraszorozat alapján látható, hogy a vizsgált időszakban a kutak üzemelésében érdemi változás nem következett be. A nagyobb termeléshez arányosan nagyobb kútfejnyomás tartozik.

A visszasajtoló kutak esetében a KIS-PE-02 kút a termelőkéhez hasonlóan jó műszaki jellemzőket mutat, míg a KIS-PE-01/B kút esetében kismértékben romlott a kút nyelőkőképessége, mivel a 11.000 m³/nap körüli besajtolási kapacitáshoz kismértékben növekvő kútfejnyomás tartozik.

A KIS-PE-01 kutat a vizsgált időszak alatt az üzemeltető gyakorlatilag nem használta besajtolásra, így az a rendszer monitoring kútjaként tekinthető. A hidraulikai modell kalibrálásához vízszint adatokra lenne szükség, ám ebben a kútban csak a kútfejen mért nyomás áll rendelkezésre. A kútfejen mért nyomás abszolút értékében direkt módon nem használható a modellszámításokhoz, azonban a vízszint változásának mértékét arányosan mutatja a nyomásváltozás. A kútfej nyomás és a kútban mért vízszint kapcsolatát a termelőkutakban végzett mérések alapján szemléltetjük. Az ábráról látható, hogy mint ahogy az várható a vízszintváltozás m-ben meghatározott számszerű értéke a nyomásváltozás bar-ban megadott értékeinek 10-szerese.



6. ábra: Kútfejnyomás és üzemi vízszint alakulása a MAL-PE-01 kútban 2013-2016

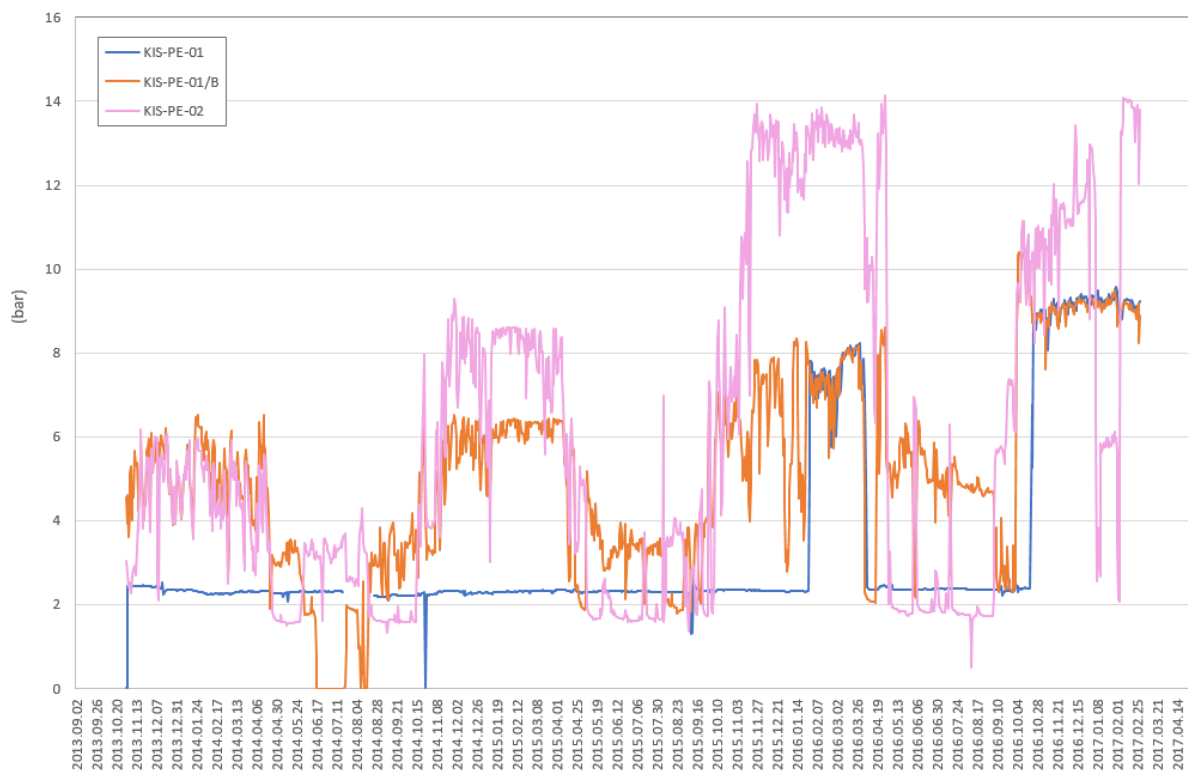


7. ábra: Kútfejnyomás és üzemi vízszint alakulása a MAL-PE-02 kútban 2013-2016

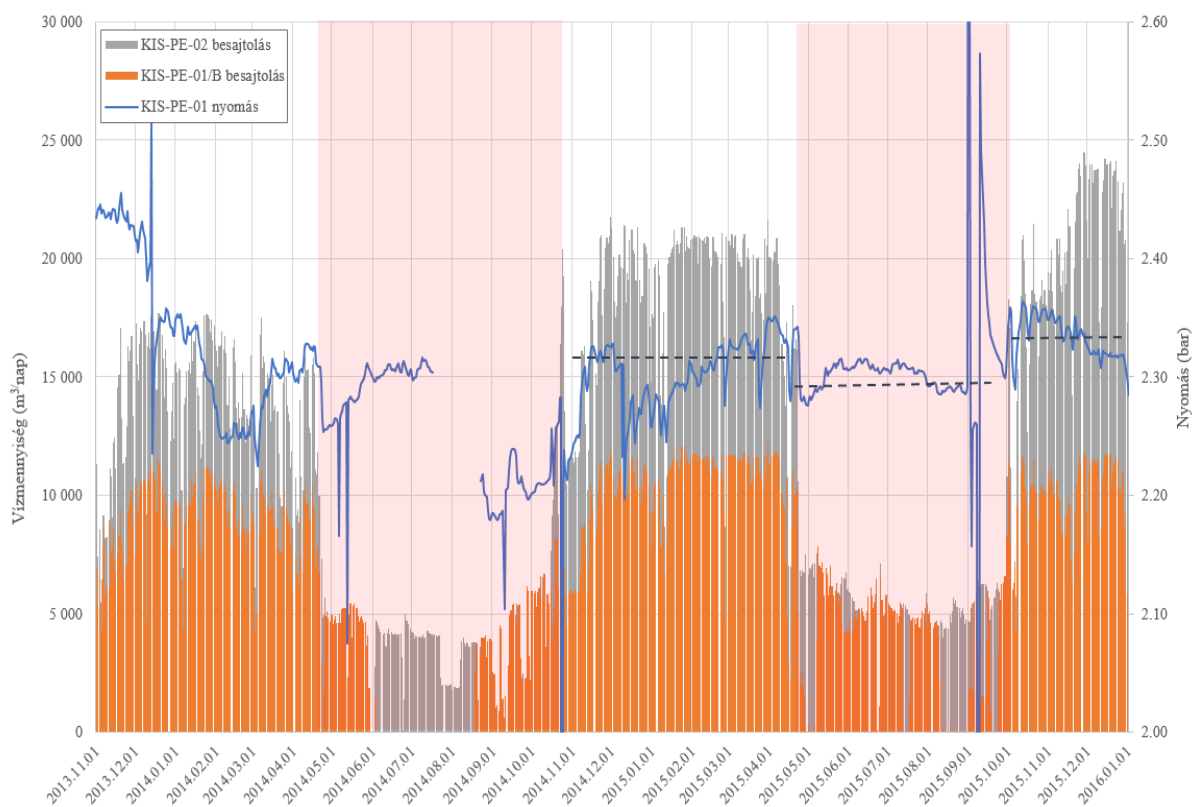
A meglévő modell kalibrációjához tehát az üzemén kívüli KIS-PE-01 kút nyomásadatai közvetve használhatók. A kalibrációs alapként tekinthető adatsor kijelöléséhez a teljes mérési idősről le kell választani a 2016 januárja utáni adatokat. Mint az a 8. ábráról látható 2016-tól a téli időszakban, amikor intenzívebb a termelés/besajtolás, a KIS-PE01 és KIS-PE-01/B kutak nyomása azonos. Az üzemeltető ebben az időszakban műszakilag „összenyitotta” a két kút, így a visszasajtoló szivattyú által előállított nyomás jelenik meg ezen a kútfejen is, azaz 1/B kúttal azonos a nyomása ilyenkor. Ez az időszak tehát nem alkalmas a rétegben mért nyomásváltozás jellemzésére.

A 9. ábrán a 2013-2015 időszakra mutatjuk be a KIS-PE-01 kút nyomásának alakulását a 8. ábrához képest mintegy 10-szeres nagyítással. Ebben a léptékben már látható a korábbi ábrán állandónak tűnő nyomásértékek tényleges alakulása, ciklusos változásai. Az értelmezés segítéséhez az ábrán látható a visszasajtoló teljes vízmennyiség is.

Ez az ábra képezi végül a modell újra kalibrálásának alapját, ezért feltüntettük rajta az időben változó – tranzien- szimuláció időlépcsőit (rózsaszín és fehér háttér váltakozása), valamint szaggatott vonallal azt az átlagos nyomásértéket amit az egyes időlépcsőkre a rétegben jellemzőnek tekintünk.



8. ábra: Kútfejnyomás a visszasajtoló kutakban 2013-2016



9. ábra: KIS-PE-01 kút kútfejnyomása és a visszasajtoló vízmennyiség 2013-2015

3 MODELLEZÉS

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 a 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 modellt korábbi tanulmányaink részletesen ismertetik, így most csak egy rövid, összefoglaló áttekintést adunk róla.

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.

3.1 A vizsgált terület földtani jellemzői

A Bükk a Borsodi nagyszerkezeti egységnek a fiatal medenceüledékek közül tektonikusan, szigetegységként kiemelt darabja a Darnó-zóna és a Középmagyarországi-zóna közötti térben.

A Bükk-hegységet felépítő triász rétegeket mészkő, valamint márga, pala és vulkanikus kőzetek adják, különféle vastagságban. A mészkövek képviselik a legnagyobb tömeget, a triász rétegek több mint 50%-át teszik ki. A triász teljes vastagsága 2000-2500 m körüli. A bükk-hegységi kibúvások kivételével a tároló triász kőzet fiatalabb korú üledékkel fedett, délkelet felé fokozatosan süllyed.

A jó vízvezető tömeges mészkő négy nagy, egymástól rossz vízvezető vagy vízzáró kőzettestek által elválasztott tömbben fordul elő. A triász mészkő felső 100 m-es jól karsztosodott részén a kőzet hidraulikus vezetőképessége 10^{-3} - 10^{-4} m/s, a vízzáró képződmények szivárgási tényezője 10^{-5} - 10^{-11} m/s. A triász mélyebb szintjén nagyságrendekkel csökken az értéke a szivárgási tényező értéke.

3.2 A modellezett terület

Horizontális kiterjedés

A modellezésben figyelembevett 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. Modellhatárok így azonosak a 2012 évi modellel, vagyis a keleti-délkeleti határ a Vatta-Maklári árok, a nyugati határ a Darnó-zóna, míg az északi határ a Bükki és Szendrői egységek tektonikus határvonalai.

Számítási háló

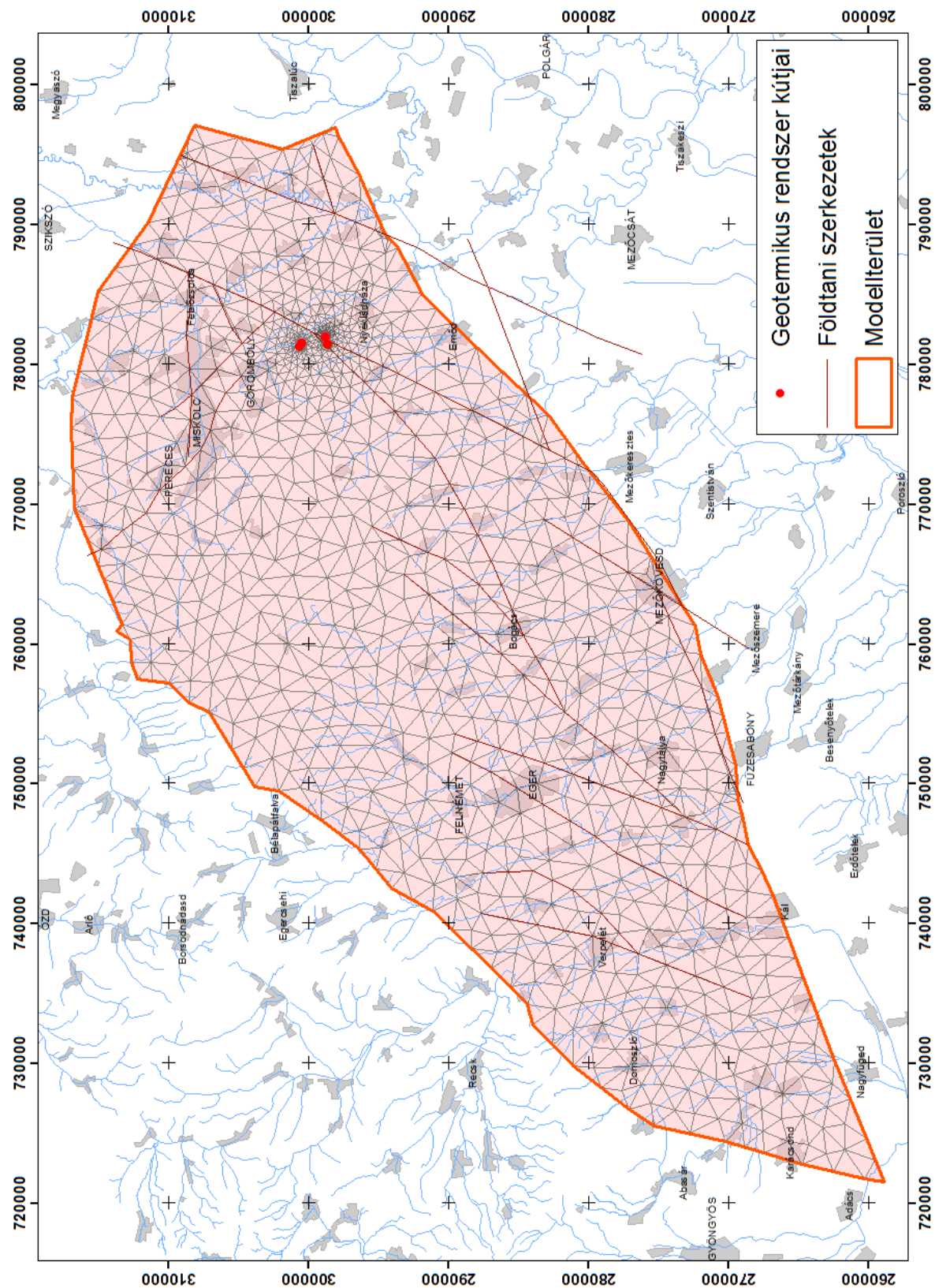
A modellezés első lépése a számítási háló felépítése. A modellezett terület lefedéséhez a végelem módszer háromszöghálóját használtuk fel. Mivel a kijelölt modellterület a korábbi hasonló jellegű számítások alapján becsülhető hatásterülethez képest igen nagy kiterjedésű - 90 x 40 km-, a geotermikus kutak 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 10. ábra mutatja.

Vertikális felosztás

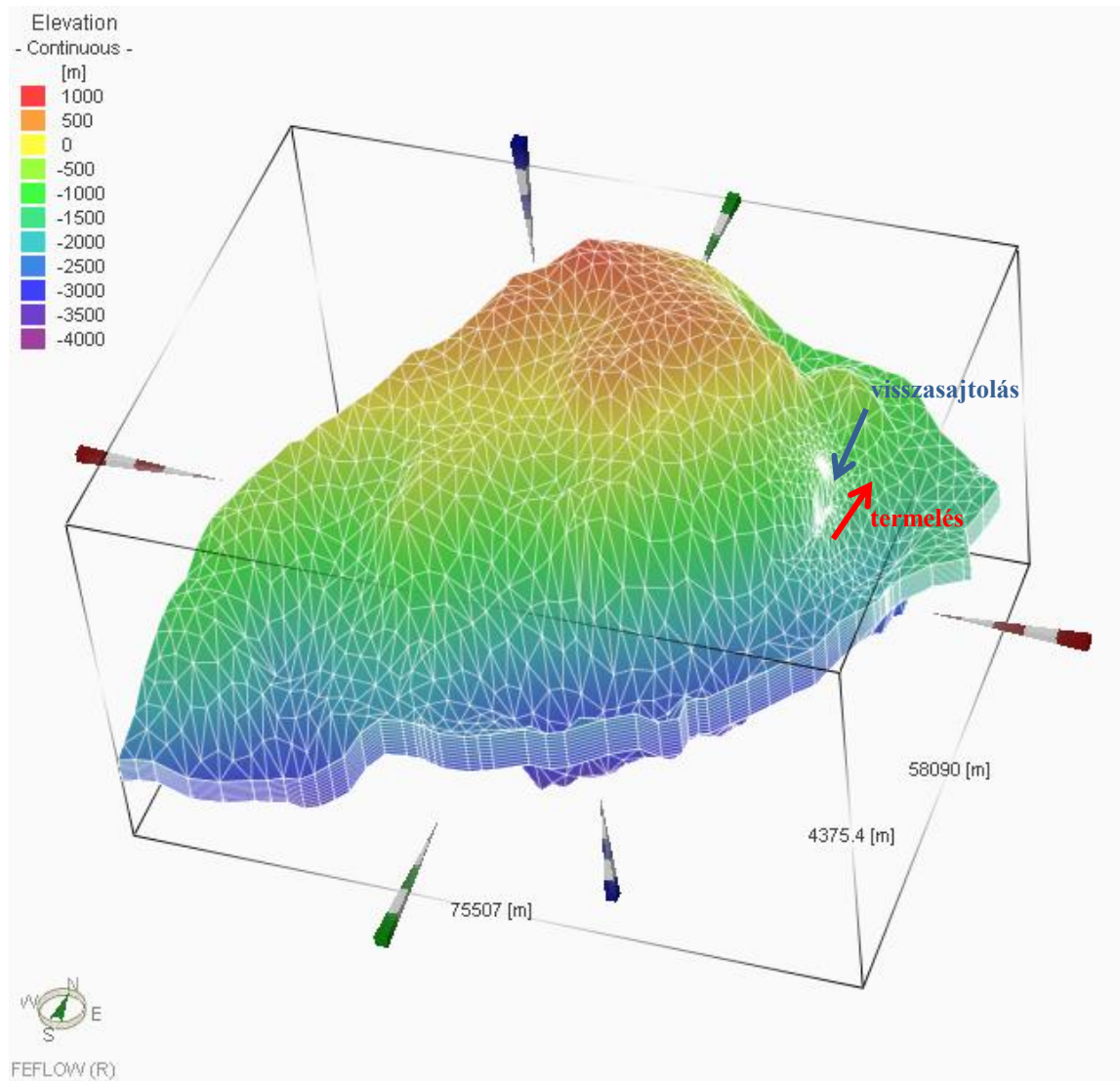
A modell vertikális felosztása is azonos a korábbival, vagyis a triász képződmények teljes vastagsága modellezésre került.

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

A számítási háló térbeli felépítését a hévíztermelés és visszasajtolás helyének feltüntetésével a 11. ábra mutatja.



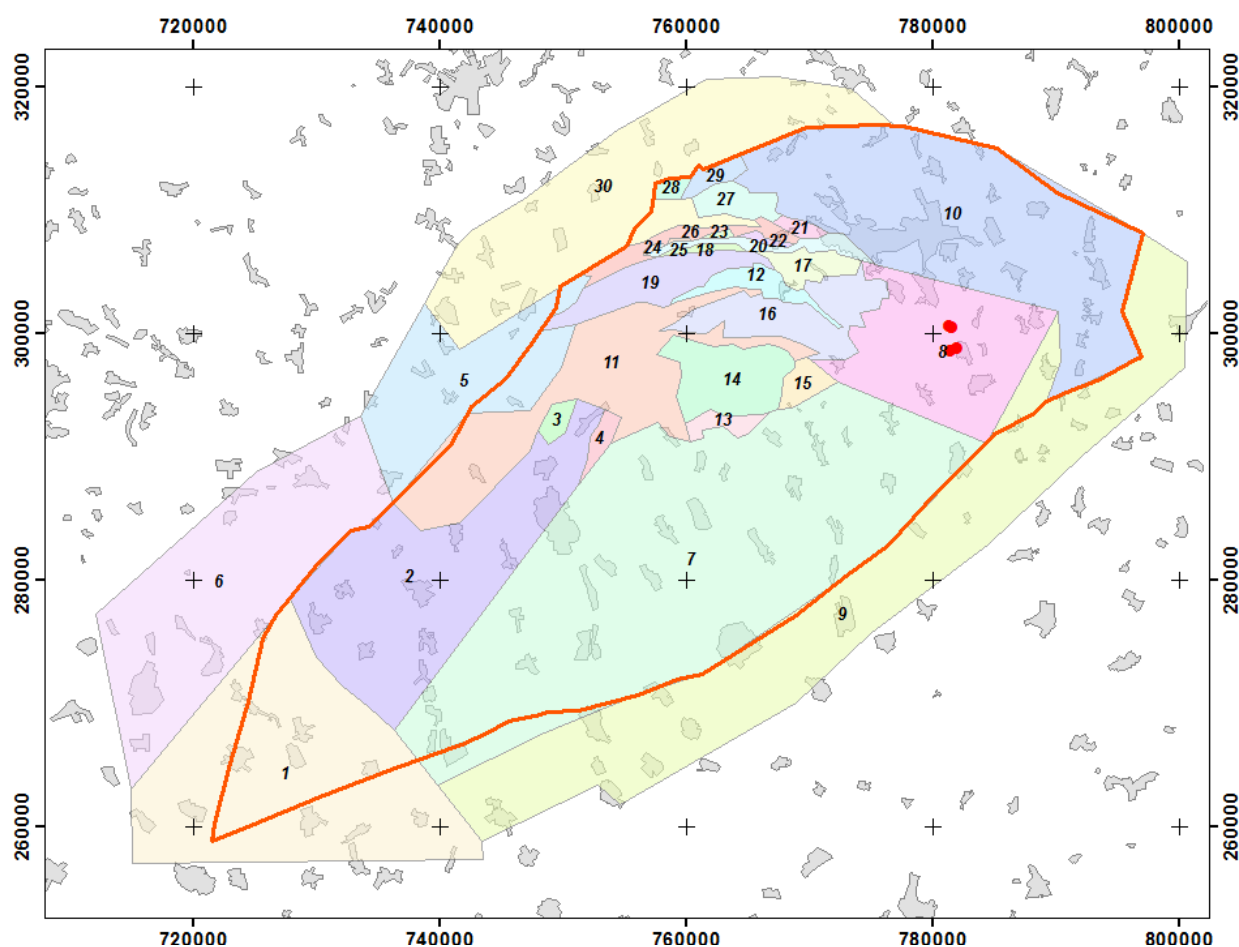
10. ábra: Modellezett terület számítási hálójával



11. ábra: Modell vertikális felépítése

3.3 Modell paramétere

A FEFLOW szoftver felhasználásával felépített modell összes szivárgási és geotermikus paraméterét a 2012-évi modell alapján határoztuk meg. A paraméterezés alapját a 3.1. fejezetben röviden hivatkozott vízvezető, illetve vízzáró kőzettestek lehatárolása adja. A különböző típusú kőzettestek elhelyezkedését az 12. ábra mutatja. Az egyes kőzettestek néhány fontosabb paraméterét a képződmények vízforgalom szempontjából fontosabb felső 100 méterére vonatkozóan az 1. táblázat foglalja össze.



12. 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

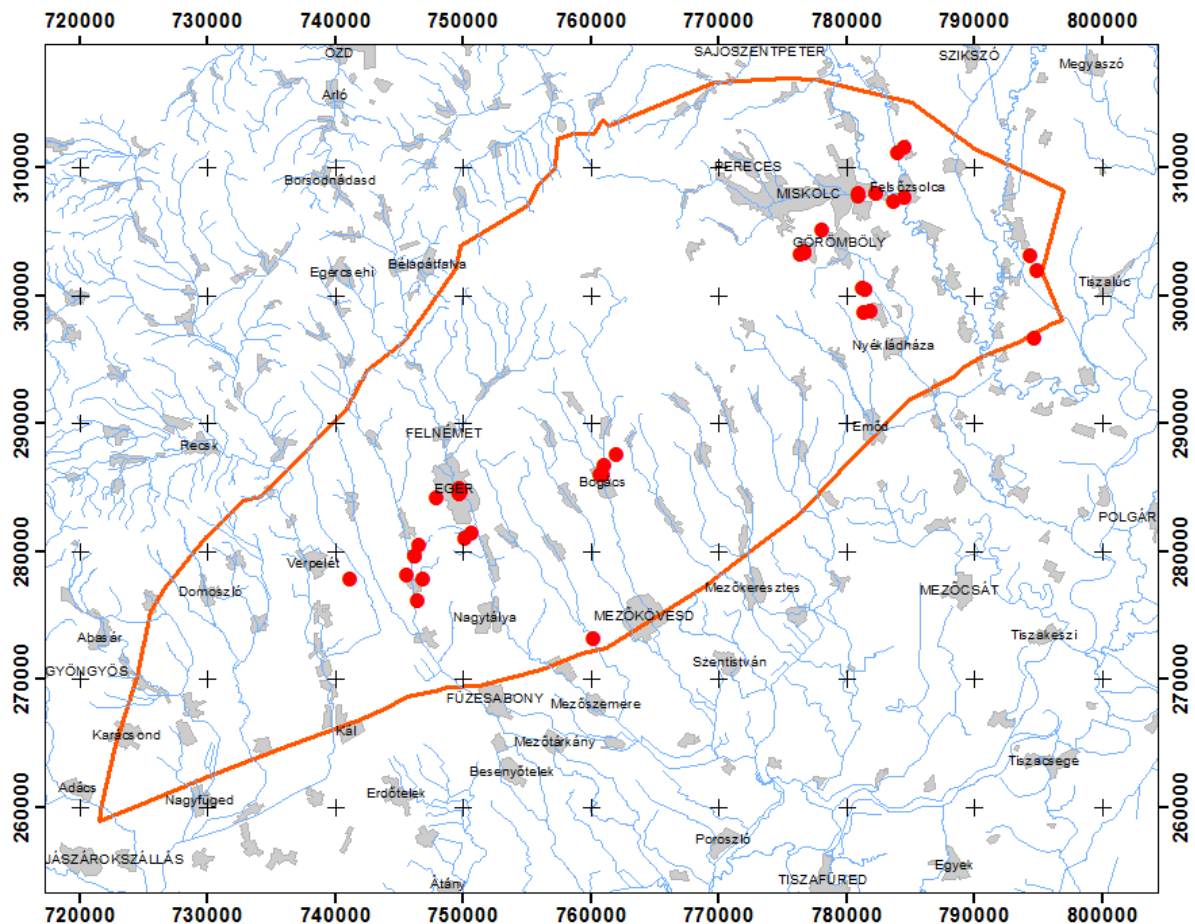
1. táblázat: Triász képződmények felső 100 m-en jellemző szivárgási paraméterek

3.4 Víztermelési adatok

A térség karsztvíz termelési adatait a korábbi modellezési munkához a területileg illetékes Hatóság megadta. Ezeken most nem változtattunk, feltételezve hogy az elmúlt két évben érdemben nem változott a térség karsztvíz termelése.

A víztermelések terén alkalmazott közelítést azért is tehattük meg, mert a Geotermia Zrt. méréseinek feldolgozása (2. fejezet) csak lokális hatások megjelenését mutatja, így a modell paramétereit is csak lokálisan tudjuk pontosítani.

A vízkivételi helyeket a 13. ábra mutatja.



13. ábra: Karsztvíz termelések a modellezett területen

A geotermikus rendszer üzemelésének termelési visszasajtolási adatait a tényleges üzemelési adatok alapján meghatározott közel féléves időszakokra, az átlagos hozamértékekkel vettük figyelembe a modellezés során. Az adatokat a 2 táblázatban adjuk 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	2015.09.30-2016.01.29	122	10 671	9 039	10 164	9 546

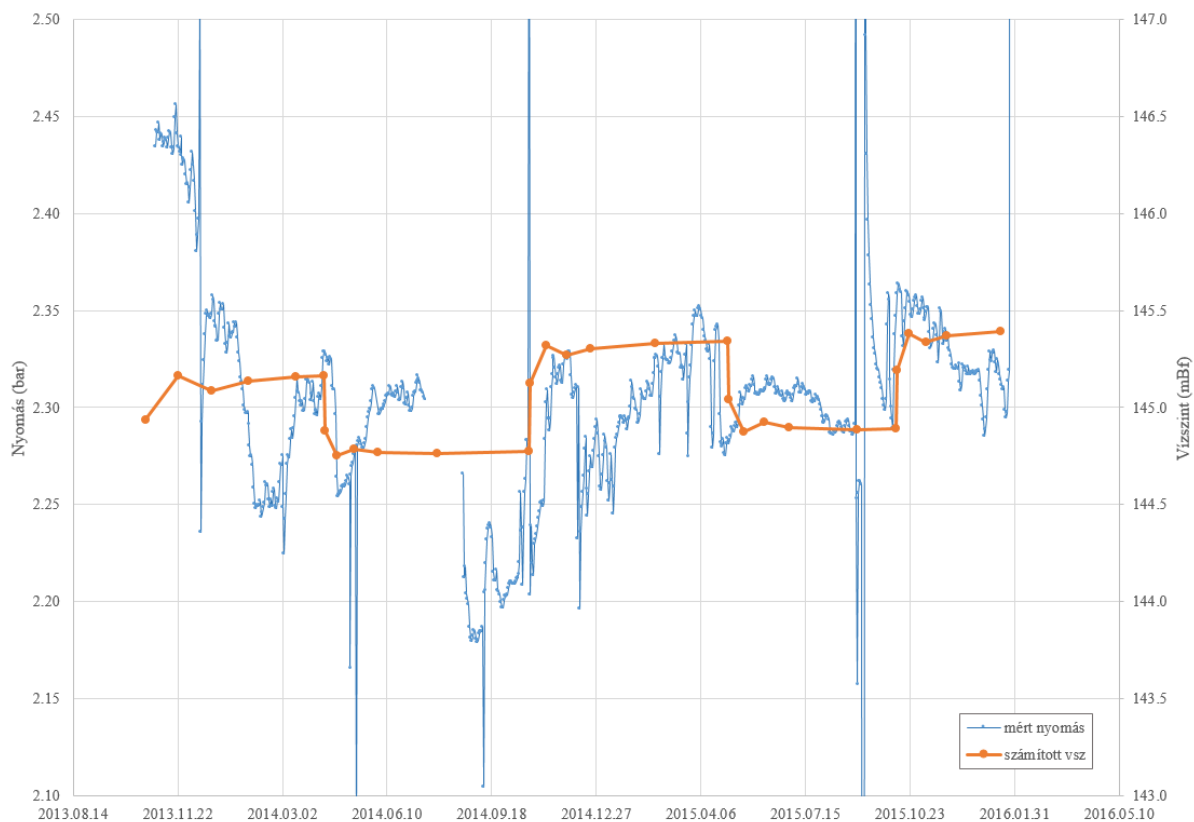
2. táblázat: Geotermikus kutak átlagos hozama időlépcsőnként (m³/nap)

3.5 Modell kalibrációja

A regionális modell paraméterei egy korábban kalibrált és elfogadott modellből származnak, ezért ezeket további kalibráció nélkül elfogadtuk. Kalibrációt a geotermikus kutak környezetére végeztünk, mivel ezen a területen keletkeztek érdemi új ismeretek, mérési eredmények.

A KIS-PE-01 kút mérési eredményeiből (9. ábra) látható hogy a télinyári üzem ciklusos termelés ingadozása az aktív besajtoló kutaktól 20 illetve 250 m távolságra található üzemen kívüli kútban 0,03-0,04 bar átlagos nyomásváltozásként jelenik meg. Ez a modell számítási eredményeire vonatkoztatva 30-40 cm-es ingadozást jelent. A lokális kalibráció eredményét a 14. ábra mutatja. Az ábrán a bal tengelyhez rendelt a KIS-PE01 kútban mért nyomások, míg a jobb tengelyhez a számítási eredmények vannak feltüntetve. A grafikon két tengelye úgy van léptékeztve, hogy a két görbe összevethető legyen (egy osztásköz bal oldalon 0,5 bar azaz 0,5m ill. a jobb tengelyen 0,5 mBf).

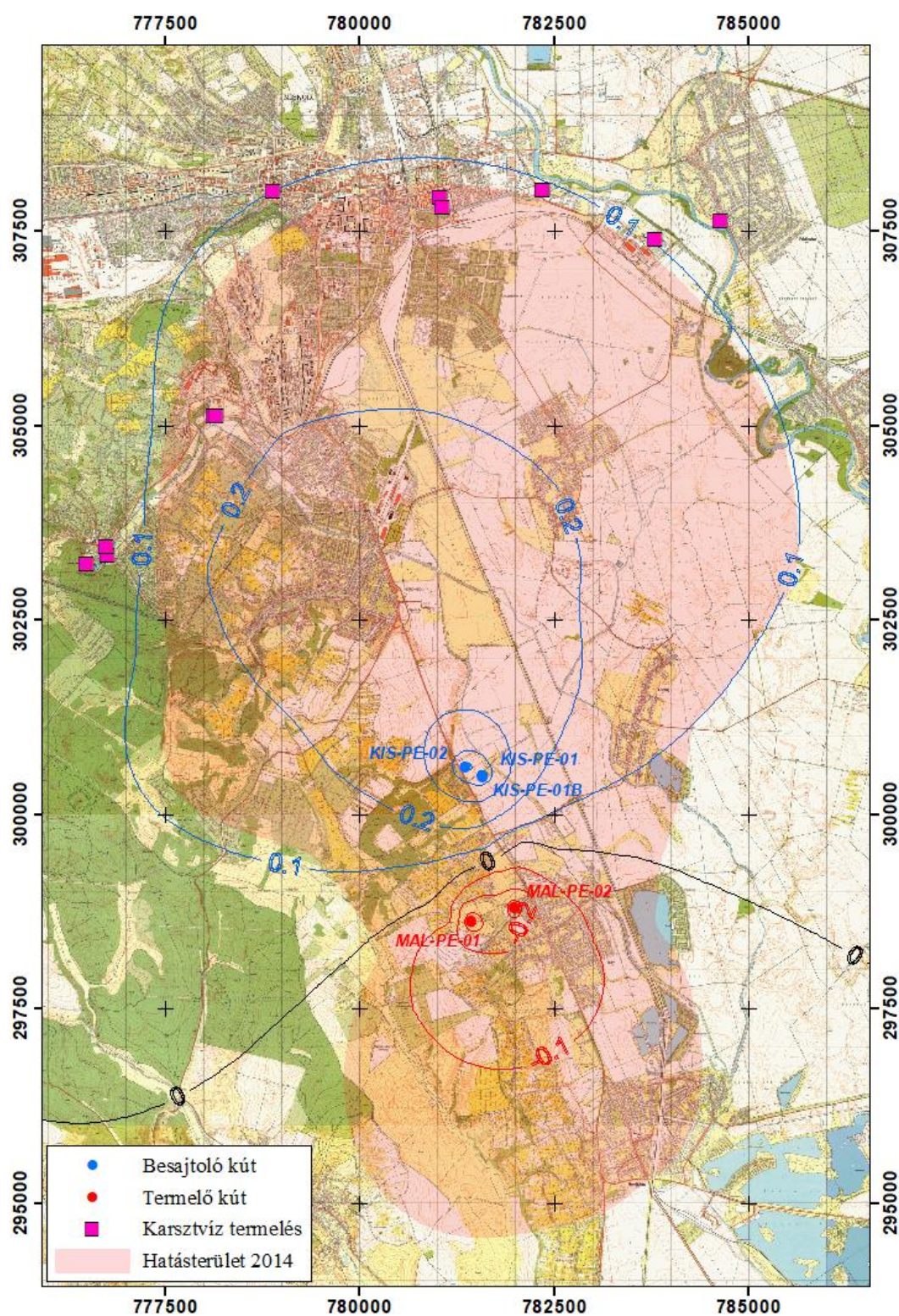
Az eredményről megállapítható, hogy a számított hatás jellege, nagyságrendje a jelenlegi ismeretek szintjén elfogadható pontosságú.



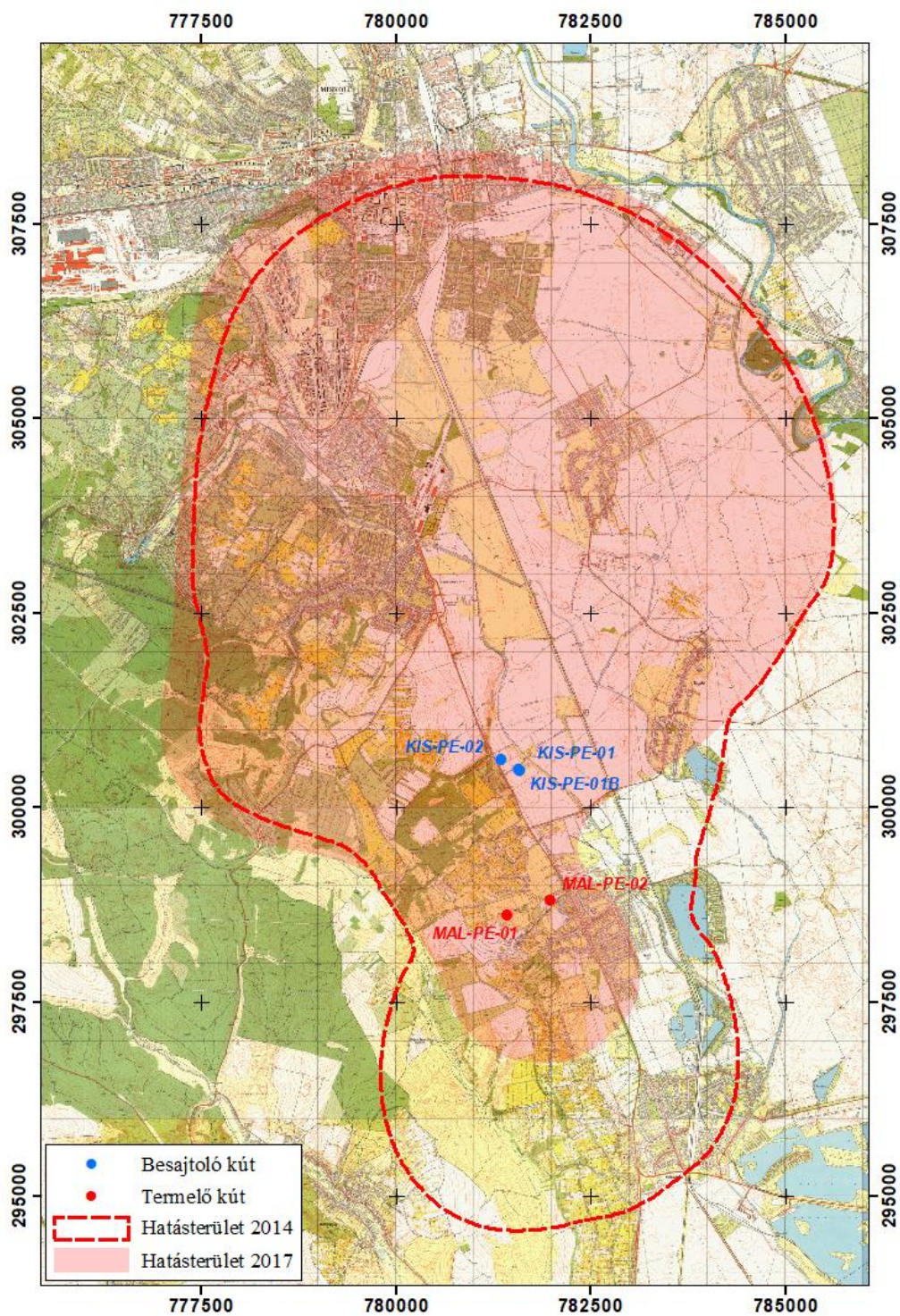
14. ábra: Tranziens kalibráció eredménye a KIS-PE-01 kútra

A fenti kalibrációs eredmény eléréséhez a geotermikus kutak környezetében a korábbi szivárgási tényező javítására volt szükség. Az újra kalibrált modellel meghatároztuk az engedélyezett 4,95 Mm³/év termelés esetén a térségben kialakuló vízszintváltozásokat (15. ábra), majd a számítási eredmények alapján frissítettük a tevékenység hatásterületének lehatárolását (16. ábra).

A javított lokális szivárgási jellemzők következtében a kutak környezetében a korábbinál kisebb vízszintváltozások jellemzőek, ezzel együtt északi irányban az utánpótlódás fő irányában a teljes hatás kismértékben elnyújtottabban jelentkezik.



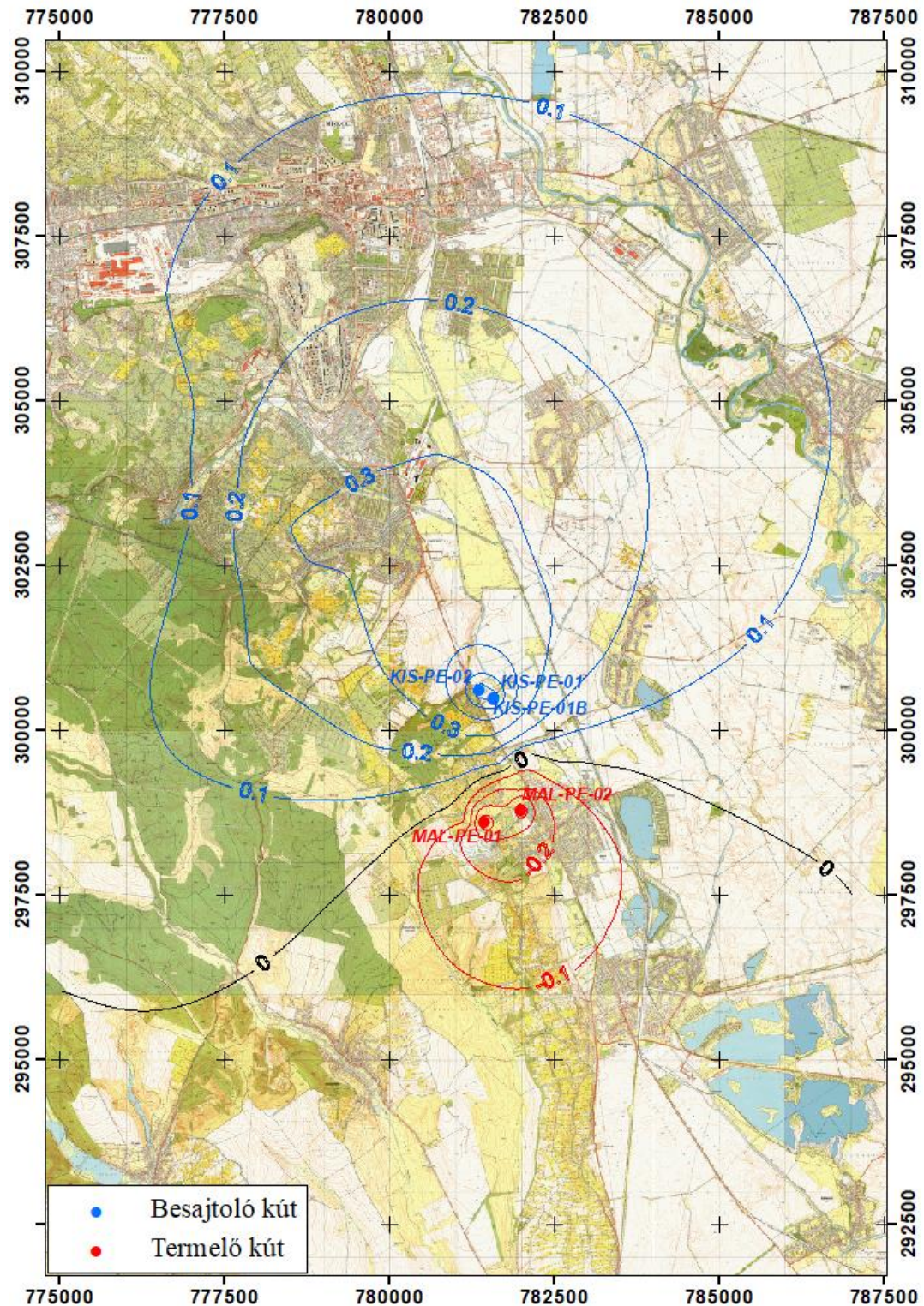
15. ábra: Számított vízszintváltozás 4,95 Mm³/év termelés esetén (m)



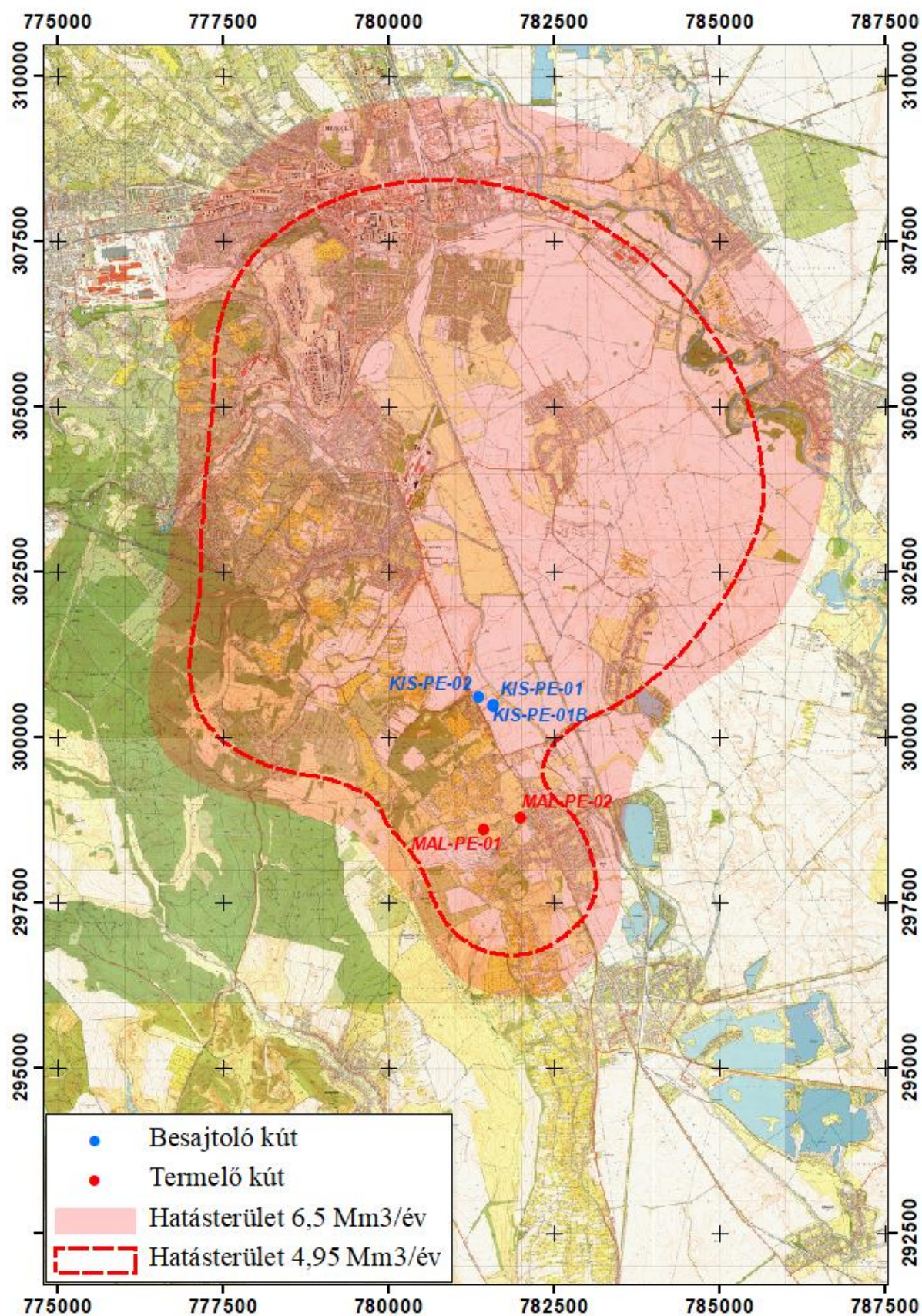
16. ábra: Hatásterület módosulása az ismételt kalibráció eredményeként

4 A BŐVÍTETT TERMELÉS HATÁSVIZSGÁLATA

Az üzemeltetők a rendszer kapacitásának bővítését tervezik, ezért $6.5 \text{ Mm}^3/\text{év}$ víztermelését/visszasajtolását szeretnék engedélyeztetni. Az újra kalibrált modellel megvizsgáltuk a tervezett bővítés karsztvíztárolóra gyakorolt várható hatását. Az eredményeket a 17., 18. ábrák mutatják.



17. ábra: Számított vízszintváltozás $6,5 \text{ Mm}^3/\text{év}$ víztermelés esetén



18. ábra: Hatásterület 6,5 Mm³/év víztermelés esetén

A bővített kapacitású tevékenység hatásterülete az engedélyeztetni kívánt $6,5 \text{ Mm}^3/\text{év}$ termelt vízmennyiség feltételezésével a 0,1 m-nél nagyobb vízszintváltozással érintett terület. Kiterjedése É-D irányban 13,5 km, míg K-NY-i irányban 9,7 km mérettel jellemezhető. A rezervoárra telepített más termelőkutak továbbra is a hatásterület peremi részén helyezkednek el.

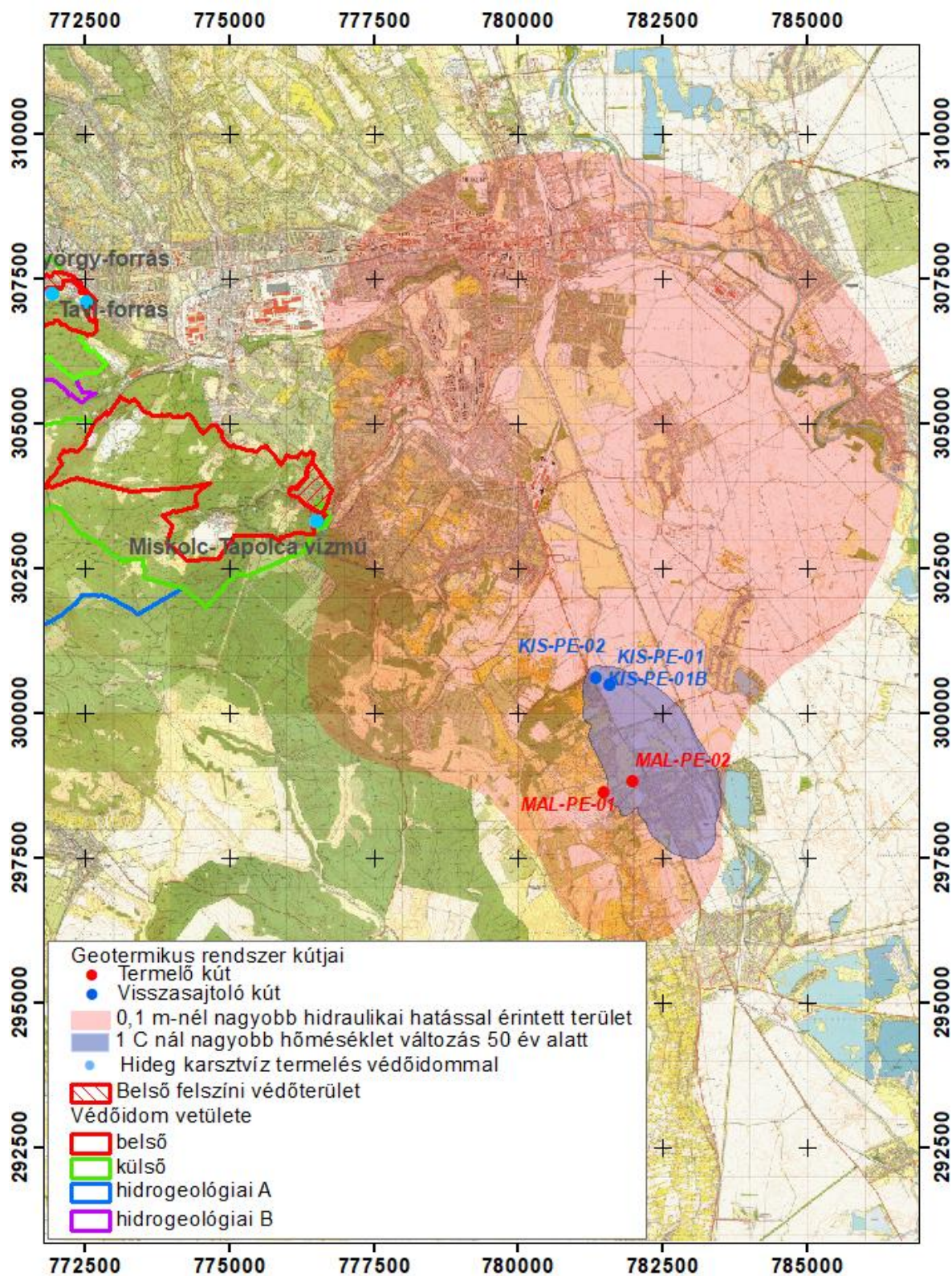
A 19.-20. ábrákon látható, hogy a környező vízhasználatok közül melyek védőövezeteit érinti a geotermális tervezett üzemelése.

A tevékenység hatásterületének környezetében a Miskolc ivóvízellátását biztosító hideg karszt források és kutak rendelkeznek kijelölt védőidom rendszerrel. A tervezett tevékenység hatásterülete a vízbázis kijelölt védőterületeit, védőidomait nem érinti. (19. ábra).

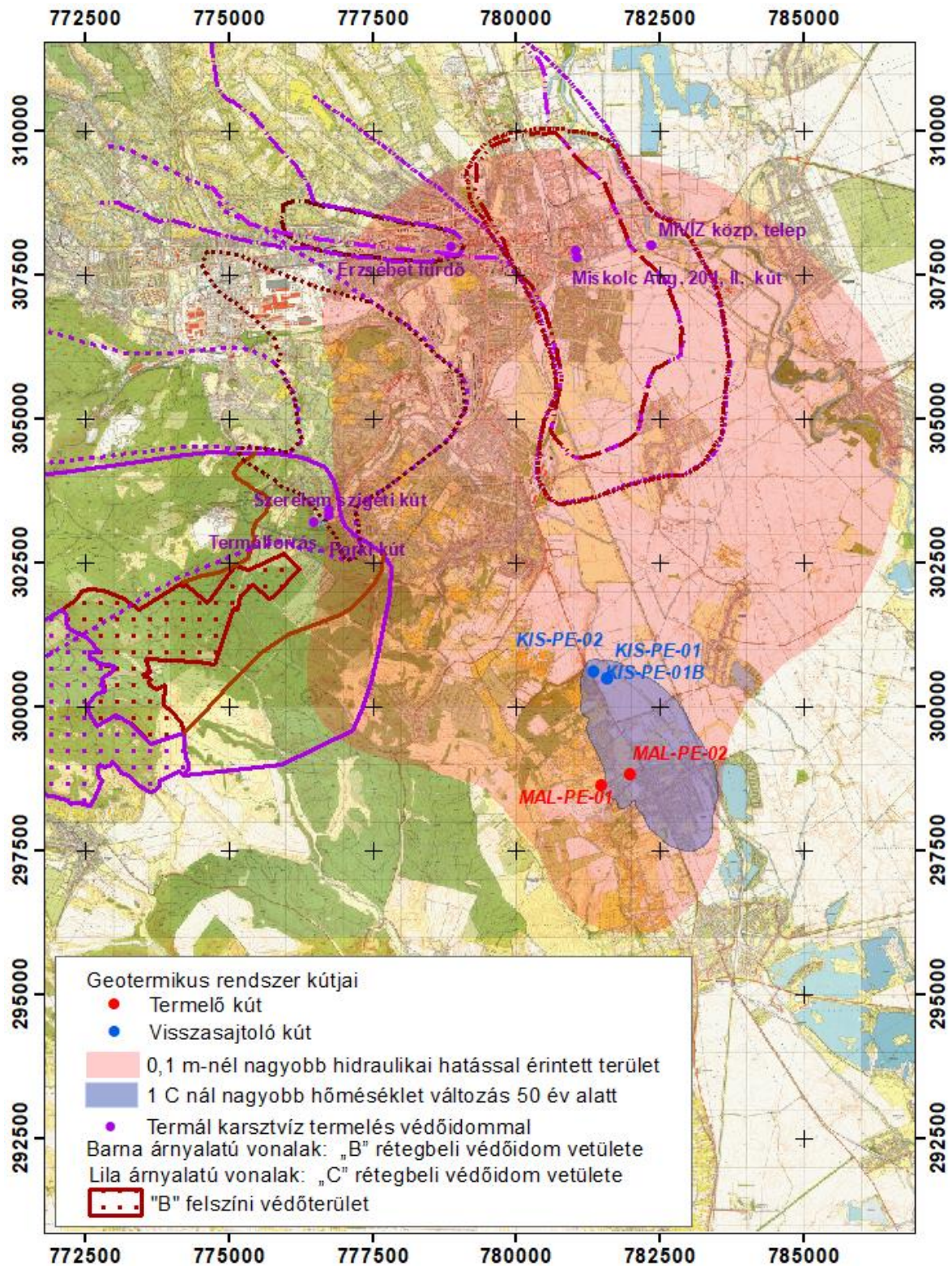
A termál karsztvizet hasznosító objektumok védőterület/védőidom rendszerét a geotermikus kutak megnövelt kapacitásához tartozó hatásterületével közösen a 20. ábra mutatja. Látható, hogy a tevékenység maga – a termelő és visszasajtoló kutak – a termálrendszer lehatárolt védőövezetein kívül esik, de a tevékenység együttes hatásterülete érinti a lehatárolt védőövezetek egy részét. A hatások minden esetben hidraulikai hatások,

A Miskolc-Tapolcai Termál-forrás, Parki kút és Szezelem-szigeti kút érintettsége átlagosan 0.1 m-es nyomásemelkedés, míg az Erzsébet fürdő, Aug. 20. Strand és a MIVÍZ kút esetében 0.1-0.2 m. A karsztvíz kutak természetes vízjárására a számított hatásoknál jóval nagyobb ingadozás jellemző, így a kutakon a tevékenység okozta ténylegesen kimutatható, mérhető hatás nem várható.

Hangsúlyozni kell, hogy a számításokat mindössze bő három éves időszak méréseire alapozva tudtuk elvégezni. Ezen idő alatt a kimutatható hatás a termelés/visszasajtolás közvetlen környezetében lévő KIS-PE01 kútban is igen kicsi, és sok csak közelítéssel becsülhető. Fontosnak tartjuk a teljes tevékenység további folyamatos monitorozását, ezzel együtt lehetőség szerint a KIS-PE-01 kút hosszabb időszakokra monitoring kútként történő mérését. Javasoljuk a mérési eredmények alapján az elvégzett számítások rendszeres újraértékelését.



19. ábra: A bővített kapacitású geotermikus rendszer hatásterülete és a hideg karsztvíz termelések védőövezetei



20. ábra: A bővített kapacitású geotermikus rendszer hatásterülete és a meleg karsztvíz termelések védőövezetei

A tanulmányt készítette:

Davideszné Dömötör Katalin

okl. hidrogeológus, vezető tervező

(MK azonosító: 13-6818)

Budapest, 2017. szeptember

Révi Géza
ügyvezető