A Víz Keretirányelv hazai megvalósítása

VÍZGYŰJTŐ-GAZDÁLKODÁSI TERV

Felszín alatti vizek mennyiségi állapotának meghatározása

6-5-2 háttéranyag

Az alföldi termál víztesteken kialakult süllyedések szakértői elemzése

Projektvezető: Gondárné Sőregi Katalin (SMARAGD-GSH Kft)

Készítette: Szanyi János cimzetes egyetemi docens (Szegedi Tudományegyetem)

TARTALOM

1 TERMÁL VÍZKIVÉTELEK 3
2 AZ ALFÖLDI HÉVÍZTÁROLÓ KÉPZŐDMÉNYEK HIDROGEOLÓGIÁJA 3
3 AZ ALFÖLD ÁRAMLÁSI RENDSZEREI 6
4 VÍZTERMELÉS HATÁSA 7
4.1 Helyzetértékelés 8
4.2 A Szentesi termálvízadó rendszer 8
4.2.1 A szentesi hévíztároló rezervoár energiaviszonyainak változása 9
4.3 A Szegedi termálvízadó rendszer 14
4.3.1 A szegedi hévíztároló rezervoár energiaviszonyainak változása 15
4.4 A tartós süllyedésű területek lehatárolása 18
4.4.1 Az Alföldi porózus termál vízadók mennyiségi lehatárolása 18
4.4.2 A lokális süllyedések 19
4.4.3 Tartós vízszint süllyedések keletkezési ideje 21
4.4.4 A termelés vízkémiára, hőmérsékletre gyakorolt hatása 21

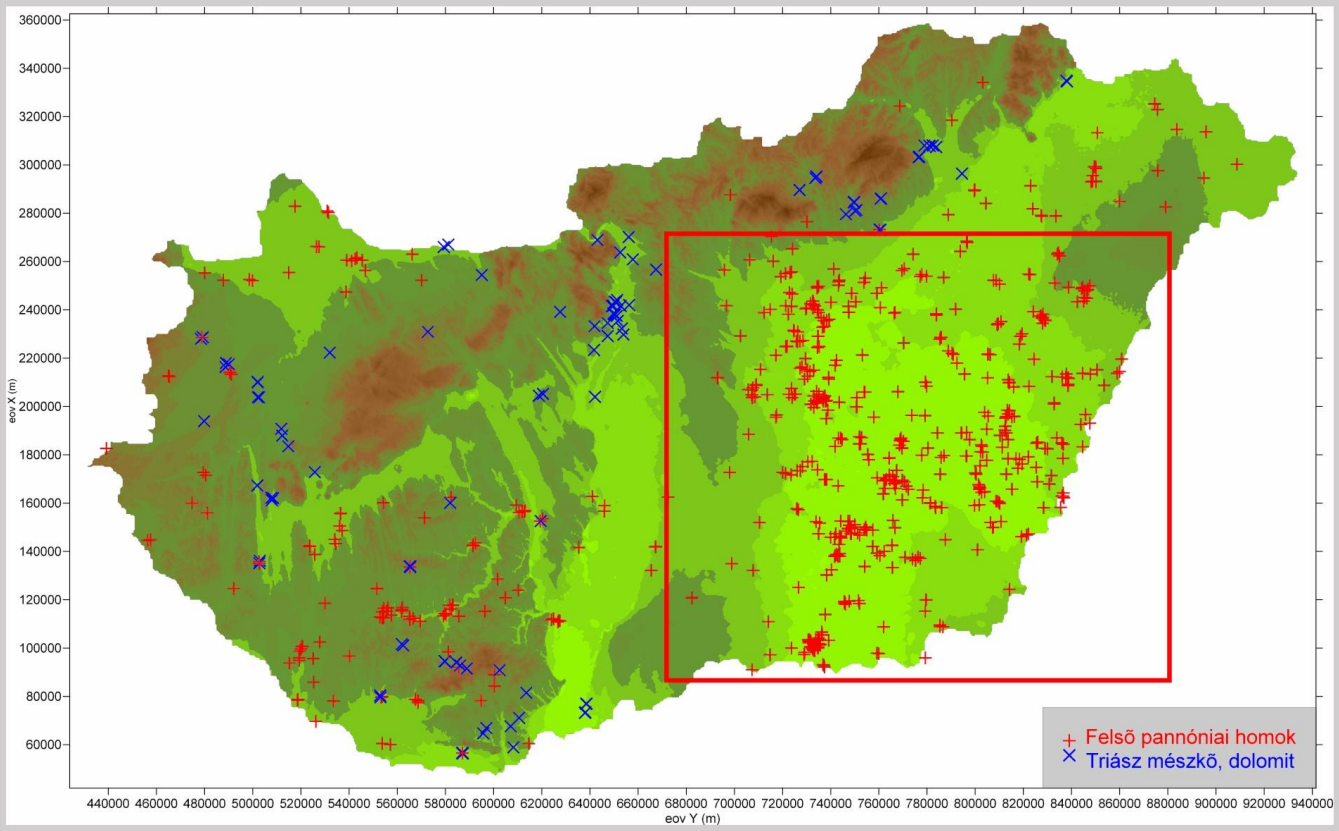
Ábrák

1. ábra Termálkutak Magyarországon, piros keret az Alföldi porózus tároló fő tömegét mutatja, (a 2. és 4. ábra területe) 3
2. ábra A felső-pannon üledékek fekütérképe a Dél-Alföldön 4
3. ábra Az Alföld sematikus sztratigráfia szelvénye (ALMÁSI, 2000) 5
4. ábra A felső-pannon üledékek vastagsága a Dél-Alföldön 6
5. ábra Vízszintváltozás a Székelysori kútban különböző hozamok mellett (bal oldali tengely, illetve a Magyarországon termelt becsült termálvíz mennyisége (jobb oldali tengely) (SZANYI, KOVÁCS 2010) 8
6. ábra Nyomásemelkedési görbe a Szentesi K-586 termálkútban 2000 m-es mélységben a kút létesítésekor illetve 2010-ben 11
7. ábra: Vízhozam és mélységi nyomásadatok az V-ös kúcsoport kútjaiban (1. Árpád V/1; 2. Árpád V/2 kút) 12
8. ábra Vízhozam és mélységi nyomásadatok a VII-es kúcsoport kútjaiban (1. Árpád VII/1; 2. Árpád VII/3 kút 12
9. ábra Kútfejnyomás változása az Árpád-I jelű kútban az idő függvényében, különböző hozamok mellett 13
10. ábra: A leszívás értéke 2000-ben az Árpád Agrár Zrt. környezetében lévő porózus rezervoárban, illetve a vízszintek dekádonkénti alakulása 14
11. ábra A vizsgált kutak hidraulikus emelkedési magassága (zárójelben a kutak szűrözött szakaszainak tető illetve talp értékei mBf-ben) 15
12. ábra A székelysori termálkút (B-384) vízhozam görbéi különböző időpontokban 16
13. ábra A város gazdálkodás termálkútjának vízhozam görbéi különböző időpontokban 17
14. ábra Nyomás-mélység profil Szegeden a felsőpannon rétegre kiképzett kutak 1970 előtti (piros) és 1980 utáni (kék) nyomás adataival 18
15. ábra Porózus termál víztestek módosított felosztása 19
16. ábra Szentes térségében a 20 m-nél nagyobb vízszintsüllyedéssel érintett terület (piros 20

17. ábra Lokális vízszintsüllyedések helyei a porózus termál víztestekben (kék), illetve a Szentes környéki tartósan süllyedéssel érintett terület kontúrja (piros) 21

1 Termál vízkivételek

Magyarországon a ténylegesen üzemelő hévízkutak száma – a 2008-ban történt felmérés szerint – 971 db, helyszíneléssel nem ellenőrzött nyilvántartások alapján. Azóta évi 4-6 termálkút létesült, tehát jelenleg közel 1000 üzemelő termálkútról beszélhetünk. Ezek 60%-a porózus képződményeket csapol meg (1. ábra). Az üzemelő hévízkutak harmada balneológiai célokat szolgál, de csak egy részük, mintegy150 kút, vizét nyilvánították gyógyvízzé. A hévízkutak körülbelül 40%-a szolgál kommunális, mezőgazdasági, ipari fűtési és használati melegvíz-ellátási célokra. A maradék vízműkútként működik. Utóbbiak többnyire 500-700 m-es mélységet szűrőznek. Az 1000 kútból körülbelül 20 működik visszasajtoló kútként.

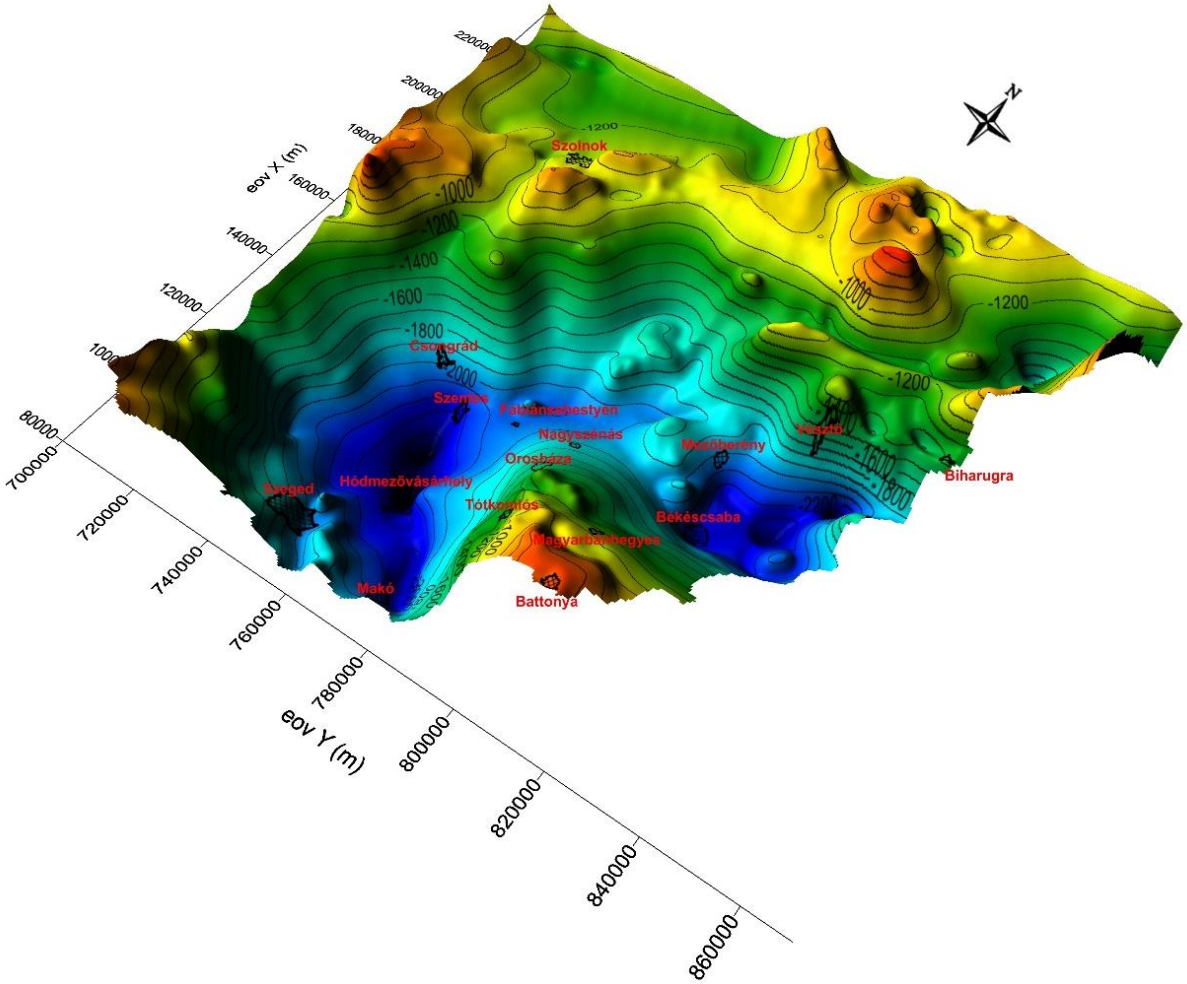


1. ábra Termálkutak Magyarországon, piros keret az Alföldi porózus tároló fő tömegét mutatja, (a 2. és 4. ábra területe)

2 Az Alföldi hévíztároló képződmények hidrogeológiája

A Dél-Alföld medencealjzatát különböző mértékben lesüllyedt medencék és sasbércszerű kiemelkedések tagolják, melyek szintkülönbsége az 5000 m-t is elérheti. A Dél-alföld két legjelentősebb süllyedéke a miocénben kialakult helyenként 6000 m-t is meghaladó Makó-Hódmezővásárhelyi-árok és a Békési-medence, melyeket, a felszínt csak néhány 100 m-re megközelítő, Battonya-Pusztaföldvári-hát különít el egymástól. A Makó-Hódmezővásárhelyi

árokból Szarvas felé, a Békési-medencéből pedig Vésztő felé ágazik ki egy-egy viszonylag sekélyebb árok. (2. ábra).

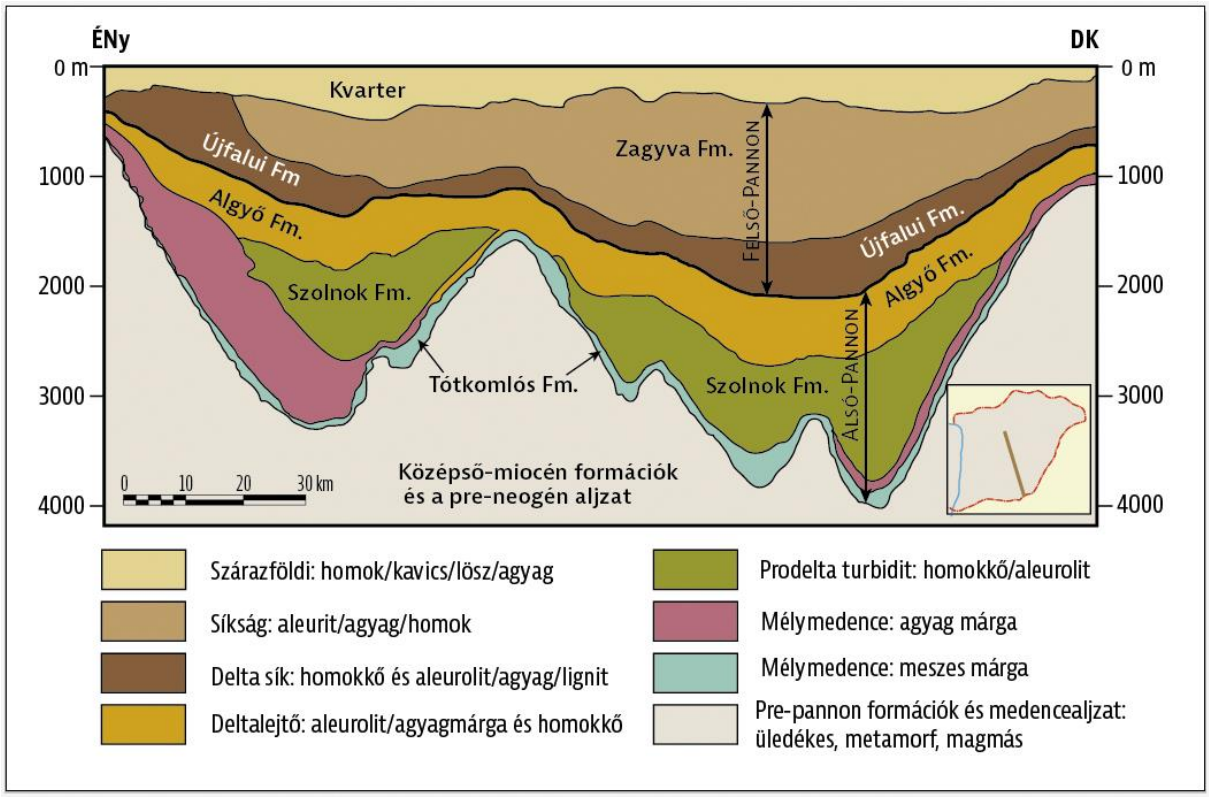


2. ábra A felső-pannon üledékek fekütérképe a Dél-Alföldön

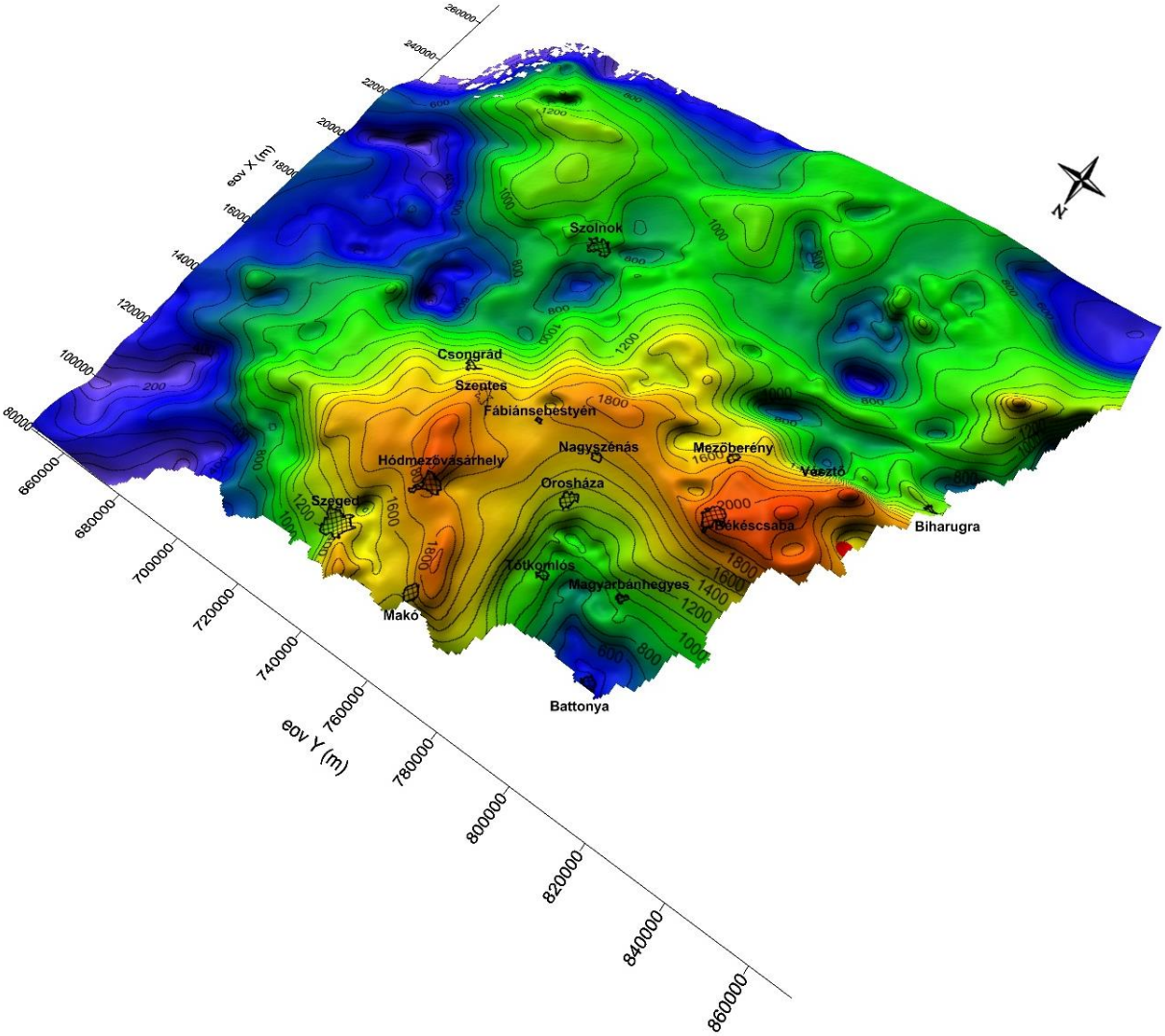
A földtörténeti események során kivékonyodott és süllyedő medencealjzatra nagy vastagságban települtek porózus üledékek, melyek a pannon korban rakódtak le a területen. Az üledékek fő behordási iránya ÉNy-i és ÉK-i, illetve DK-ről egy alárendelt behordási irány is felismerhető. A Makó-Hódmezővásárhelyi árkot elsősorban az ÉNy felől érkező deltarendszerek töltötték fel, míg a Békési-medencében a különböző behordási irányú deltarendszerek találkoztak. Az üledékképződési környezetek a mélymedencebelitől a prodelta és delta lejtő – delta fronton át a delta síkságig változnak (3. ábra).

Hévízföldtani szempontból legjelentősebb felső-pannon üledékek a deltafront és delta síkság fáciesű Újfalui Formáció üledékes összletei, valamint a delta háttér és alluviális síkság fáciesű Zagyvai Formáció üledéksorai. A felső-pannon üledékek vastagsága a Dél-alföldön különösen nagy, a Makó-Hódmezővásárhelyi-árokban elérheti az 1800 m-t, a Békési-medencében pedig a

2000 m-t is meghaladhatja. Ezzel szemben a Battonya-Pusztaföldvári-hát, Észak-Bácskai hátság és a Közép-Tiszántúli kristályos vonulat térségében a felső-pannon üledékek kivékonyodnak, hozzávetőleg 200-1000 m-es vastagságban jelennek meg (**4. ábra**). A rétegek inhomogenitása miatt a felső-pannon üledékek víztároló és vízadó képessége nagyon eltérő lehet, még viszonylag kisebb területen is. Szakirodalmi adatok és saját számításaink alapján Szentes-Szegvár térségében a felső-pannon rezervoár permeabilitása 100-1200 mD között változik, míg Hódmezővásárhelyen a jól vezető homokrétegek permeabilitása a 2000 mD-t is elérheti. Települési mélységtől függően a felső-pannon üledékek lehetnek jó hévizes vagy hideg vizes tárolók. Az Alföldön a hévízkutak 95%-a a felső pannon rétegeket csapolja meg.



3. ábra Az Alföld sematikus sztratigráfia szelvénye (ALMÁSI, 2000)



4. ábra A felső-pannon üledékek vastagsága a Dél-Alföldön

3 Az Alföld áramlási rendszerei

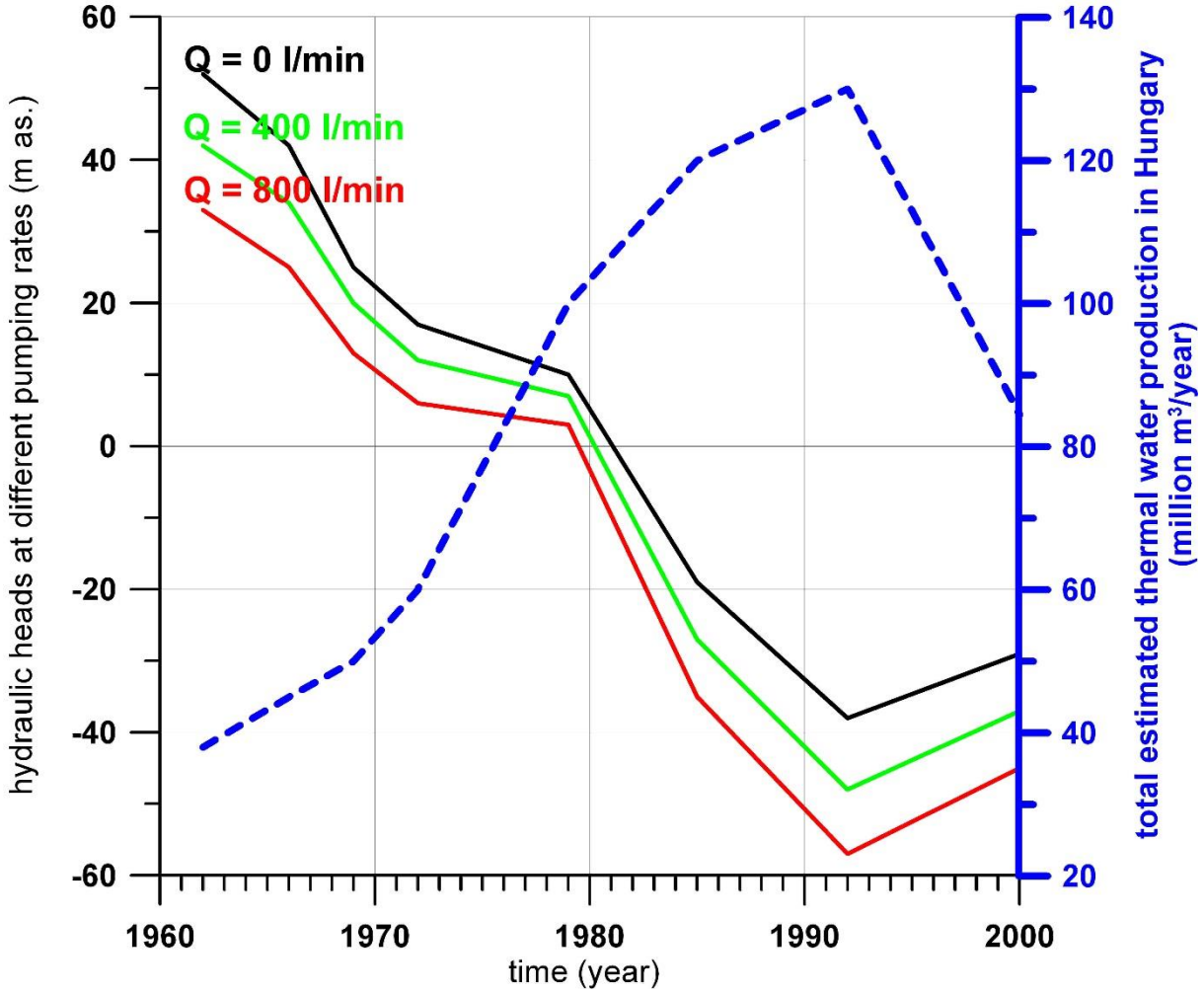
Az Alföld hidrodinamikai szempontból egy sekélyebb és egy mélyebb helyzetű áramlási rendszerre osztható fel. A felsőbb helyzetű – felső pannóniai korú jó permeabilitással és porozitással rendelkező – vízadók egy kiterjedt gravitációs áramlási rendszert alkotnak (ERDÉLYI 1979). Ezzel szemben a mélyebb régiókban – az alsó pannóniai korú képződményekben – jelentős túlnyomással rendelkező hidrodinamikai egységek alakultak ki elsősorban a regionális kompressziónak (TÓTH, ALMÁSI 2001) köszönhetően. E rendszer fedőjében található tavi kifejlődésű agyagos és márgás képződmények miatt a két rendszer közötti átmenet gyakran élesen jelentkezik, 10-20 m-en akár 15-20 MPa nyomásemelkedés is előfordulhat (ALMÁSI, 2000). Az aljzat repedezett metamorf tárolóinak jelentős része is ebbe a túlnyomásos áramlási rendszerbe tartozik. A két hidrodinamikai rezsim között pedig jól ismert hidraulikai kapcsolat van, ami elsősorban az aktív, vezető vetők és repedésrendszerek révén valósul meg (TÓTH, ALMÁSI

2001, ALMÁSI, 2001). Azok a kiemelt helyzetű metamorf hátak, melyek fedőjéből hiányoznak a vízrekesztő tavi üledékek, fontos szerepet játszhatnak az összeköttetés fenntartásában. Meg kell jegyezni, hogy a két áramlási rendszer között a fluxus kicsi, elsősorban a nyomás-terjedésnek van nagyobb szerepe.

4 Víztermelés hatása

Az Alföld hévíztermeléssel érintett zónájában a felszín alatti vizek mozgása alapvetően a gravitáció által meghatározott (ERDÉLYI, 1979; MARTON, 1982; TÓTH ÉS ALMÁSI, 2001). Leegyszerűsítve, a magaslatokon a víz beszivárog, a mély részeken a felszín felé áramlik. A közbetelepülő agyagos rétegek lassítják a vízadó rétegek közötti szivárgást, de nem gátolják meg. Így mikor hévízkutat létesítünk, lokálisan lecsökkentjük a víznyomást, ennek következtében mind rétegirányból, mind vertikálisan a felső és alsó rétegekből a víz a kút irányába áramlik. Az áramlás sebessége annál nagyobb, minél nagyobb nyomáscsökkenést (depressziós teret) idézünk elő. Ennek következtében az egész víztest lefelé mozdul el, (a nyomáscsökkenés terjedése nagyságrendekkel gyorsabb, mint a víz szivárgási sebessége). Azaz a vízmérleg elemeit mesterségesen megváltoztatjuk, több víz szivárog a mélybe, mint a víztermelés előtt. Így a vízkivétel helyétől felfelé haladva, csillapítottan ugyan, vízszint csökkenést tapasztalunk. A kérdés az, milyen vízszintcsökkenést tartunk elfogadhatónak, azaz fenntarthatónak.

Ennek megválaszolása hiteles méréseken alapuló számításokkal lehetséges. Nézzük meg, milyen adatokkal rendelkezünk. Magyarországon 1879, a Széchenyi fürdő közel 1000 m mélységű kútjának lefúrása óta, több mint 10 000 mélyfúrású kút létesült, elsősorban szénhidrogén kutatási célból. Amíg a szénhidrogéniparban a kutatás-termelés adatai jól dokumentáltak, addig a hévízkutak termelési adatai hiányosak. A kutak termelése a 80-as évek végéig emelkedett, majd a rendszerváltást követően 15-30 %-kal csökkent. 2010 óta a kivett termálvíz mennyisége a hivatalos nyilvántartás szerint 49-56 millió m^3 között mozgott – elsősorban klimatikus hatásra (hidegebb teleken nagyobb volt a vízkivétel) – amit a szakértők, hitelesített vízórák hiányában 80-85 millió m^3-nek becsülnek. Hasonló bizonytalanságok jellemzik a nyugalmi vízszint, vagy másképpen megfogalmazva a mélységi nyomás csökkenését is. A mérések hiánya elsősorban a porózus vízadók kútjaira jellemzők. Ezt ellensúlyozza egy-egy kampány szerű, kútcsoportokra kiterjedő mérés. A bizonytalanságot fokozza, hogy nincs szabványosítva a hévízkutak nyugalmi vízszintjének mérési metodikája sem, ami ugyanannál a kútnál, akár 30 m-es eltérést is jelenthet! Ugyanakkor, mivel a méréseket végző cégek általában rögzítették a mérések körülményeit, ezek a hézagosan gyűjtött adatok jelentős információval bírnak és esélyt adnak a várható termelési szcenáriók hatásainak becslésére. Az eddigiekből is látszik, a geotermikus energia hasznosítás fenntartható növelése érdekében nagyon sok intézkedés szükséges a rendezett, kiszámítható vízkészlet-gazdálkodáshoz.



5. ábra Vízszintváltozás a Székelysori kútban különböző hozamok mellett (bal oldali tengely, illetve a Magyarországon termelt becsült termálvíz mennyisége (jobb oldali tengely) (SZANYI, KOVÁCS 2010)

4.1 Helyzetértékelés

Az Alföldi termálvíz termelés súlypontja a Dél-alföldön van. A korábbiakban ismertetett okok miatt a vízszintekre vonatkozóan hiányos adatbázissal rendelkezünk, a két legnagyobb rendszeren keresztül mutatom be a vízszintek alakulását. A Szentesi rendszer esetében 2012-ben zárult le egy 20 kútra kiterjedő 4 éves vizsgálat, míg Szegeden egy új geotermikus projekt keretében 2014-ben történtek mérések. Ezen eseteket, mint legjelentősebb termálvíztermelő kútcsoportokat, veszem alapul a mennyiségi becsléshez.

4.2 A Szentesi termálvízadó rendszer

A szentesi geotermikus mező Magyarország egyik legrégebben és legintenzívebben termelt területe. A szentesi hévíztároló rezervoár termelése 1958-ban kezdődött a Kórház-I termálkút fúrásával, melynek sikere mind a vizsgált területen, mind Magyarország területén új termál kutak fúrását ösztönözte. A szentesi geotermikus mezőn a fábiánsebestyéni és szegvári területekkel együtt napjainkra 42 termálkút található, melyek közül 35-öt 1980 előtt fúrtak.

A szentesi geotermikus mezőn 1600-1800 m vastagságban megjelenő felső-pannon üledékösszlet egy sokszintes, sokréteges, rendkívül heterogén, anizotróp tulajdonságú rezervoárt alkot. A hévíztároló képződmények alakja, kiterjedése, megjelenése rendkívül változékony; homok, aleurolit és agyagos rétegek sűrű váltakozása jellemző, a rétegek nem szintállóak. A homokos kifejlődés leggyakoribb megjelenési formája a területen a lepelhomok, melyet 1-20 m–es vastagság és nagy oldalirányú kiterjedés jellemez. Ugyancsak gyakoriak a lencsés homoktestek, illetve a több homokréteg összefonódásából kialakuló 50-150 vastagságú és horizontális kiterjedésű multilaterális képződmények. Az önálló rétegek viszonylag megbízható korrelációja csak geofizikai adatok segítségével lehetséges.

A felső-pannon hévíztároló rezervoárt szokás 4 rétegcsoportra bontani:

- Legfelső rétegcsoport: 500-1300 m között (kutakkal nem termelt)
- Felső rétegcsoport: 1300-1800 m között
- Középső rétegcsoport: 1800-2000 m között
- Alsó rétegcsoport: 2000-2500 m között

A fenti egyszerűsített felosztás vélhetően a kutak több mélységközben megnyitott szakaszainak csoportosítása alapján született és független a geológiai információktól, ellenben könnyű kezelhetősége miatt napjainkig használatban maradt.

A rétegek áteresztőképességét nyomásemelkedési görbék értékelésével határoztuk meg. Az értékelési módszerek közül a geotermikus gyakorlatban leginkább elterjedt BÉLTEKY ET AL. (1965) által bemutatott Horner-módszert alkalmaztuk. A kapott értékek mellett feltüntettük a KORIM ÉS LIEBE (1973) munkájában ajánlott értékeket:

- 1600-1800 m közötti szakaszon: $K_{átlag(1973)}$ = 400 mD; $K_{átlag}$: 465 mD
- 1800-2000 m közötti szakaszon: $K_{átlag(1973)}$ = 265 mD; $K_{átlag}$: 355 mD
- 2000 m alatti szakaszon: $K_{átlag(1973)}$ = 220 mD; $K_{átlag}$: 280 mD

A számított permeabilitás értékek az alsó vízadó rétegcsoportban viszonylag szűk határok között mozognak, ellenben a középső és felső vízadó rétegcsoportban ahol az eltérés akár az 1000 mD-t is meghaladhatja. A vizsgált területen szerkezeti diszkontinuitások, vetődések nem jellemzők, a termálvíz tárolási feltételeket az üledékképződési folyamatok alakították ki.

A szentesi termálvizek széleskörű hasznosítását és a termálkutak nagy számát a kiváló geotermikus adottságok és hőmérsékleti viszonyok alapozták meg. A kifolyó víz hőmérsékletek 17 kút esetében haladták meg a 90 ^{0}C-ot és néhány sekélyebb mélységű kút kivételével mindenhol 70 ^{0}C felettiek voltak.

4.2.1 A szentesi hévíztároló rezervoár energiaviszonyainak változása

A különböző hévíztároló rezervoárok rétegenergia viszonyait a rétegnyomáson kívül számos tényező befolyásolja, úgymint a réteghőmérséklet, a rétegek gáztartalma, a víz és a kőzetek összenyomhatósága, a víz sótartalma, illetve a rezervoárok nagysága, alakja, heterogenitása. Mivel a szentesi hévíztároló rezervoár esetében a hőmérséklet és a sótartalom gyakorlatilag nem változott, ezért a rétegnyomás és a folyamatosan csökkenő gáztartalom játszik döntő szerepet a jelenlegi rétegenergia viszonyok kialakításában. A rétegnyomás változásait mélységi

nyomásemelkedés, valamint mélységi vízhozam-görbékkel és felszíni nyomás-görbékkel elemeztük BÁLINT ÉS SZANYI (2015) alapján.

A mélységi nyomásemelkedési görbék a hévíztároló rétegek paramétereiről, kútkiképzési jellemzőiről és rétegenergia viszonyairól nyújtanak információkat. A görbék első, gyorsan emelkedő szakasza a közvetlen kútkörnyezetről, a második – általában egyenes vonalú – szakasza a tárolórétegek permeabilitásáról, porozitásáról, a tároló típusáról ad információt, harmadik szakaszából pedig a tároló kiterjedésére, peremfeltételeire következtethetünk.

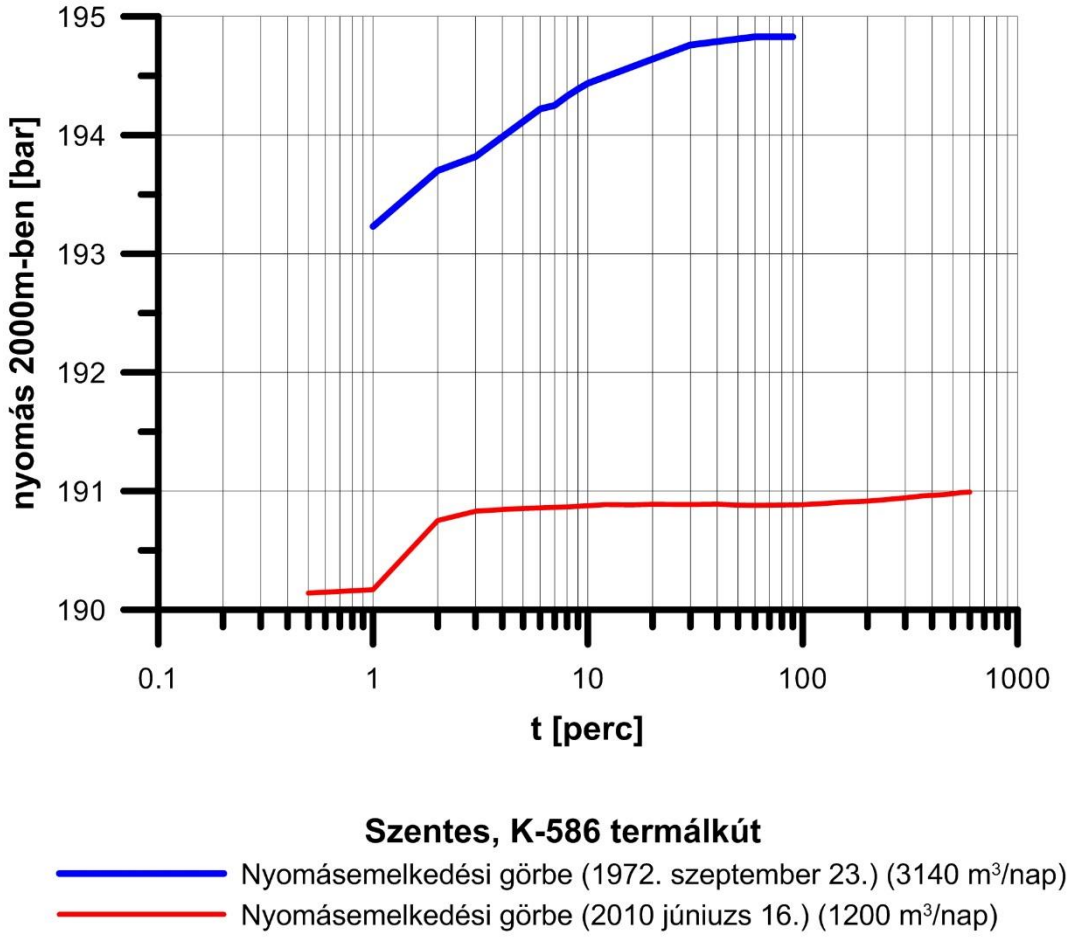
A szentesi geotermikus mező hévíztároló rezervoárjainak első átfogó kúthidraulikai és egymásrahatás vizsgálata alapján Korim és Liebe megállapítja, hogy kapcsolat van a különböző hévízadó rétegcsoportok között. Adataik szerint 1972-ben az ekkor működő 19 termálkút víztermelése 7,58 millió m3/év volt és a nyomáscsökkenést kutanként 0.2-0.5 att/millió m3-re becsülték, továbbá megállapították, hogy a kutak létesítése óta eddig az időpontig 40,89 millió m3 vízkivétel történt.

Ezt követően 1991-ben Korim összegzi, a 90-es évek végéig végbement változásokat. Ekkora már nyilvánvalóvá válik, hogy a visszasajtolás nélküli intenzív termelés, illetve ezzel együtt az oldott gáztartalom jelentős csökkenésének hatására a rezervoárok rétegenergiája jelentősen csökken. Az 1991. év elejéig az összes kitermelt vízmennyiséget kb. 250 ± 10 millió m3-re becsüli. A termálkutak többség a természetes állapottal szemben ekkorra már negatívvá vált, vagy olyan mértékben csökkent a szabad kifolyással termelhető vízmennyiség, hogy búvárszivattyús termelésre kellett áttérni.

A rendszerváltást követő évtizedekben a korábbi „rendszeres” mélységi nyomásmérések, kúthidraulikai vizsgálatok megszűntek, átfogó, megbízható kútvizsgálatokra nem került sor egészen 2009-2010-ig. Az ekkor végzett méréssorozat lehetőséget teremtett az elmúlt közel fél évszázados intenzív termelés hatásának elemzésére, a rezervoárok jelenlegi állapotának vizsgálatára. Sajnos a méréseket csak a kutak közel felére, az Árpád Agrár Zrt. kútjaira, az Alkotmány kútcsoportra és a Szegvári kútcsoportra végezték el. Az elvégzett méréssorozattal is kutanként általában 3-4 mélységi kútvizsgálattal rendelkezünk, sok esetben a mérések időpontja között több mint 30 év telt el!

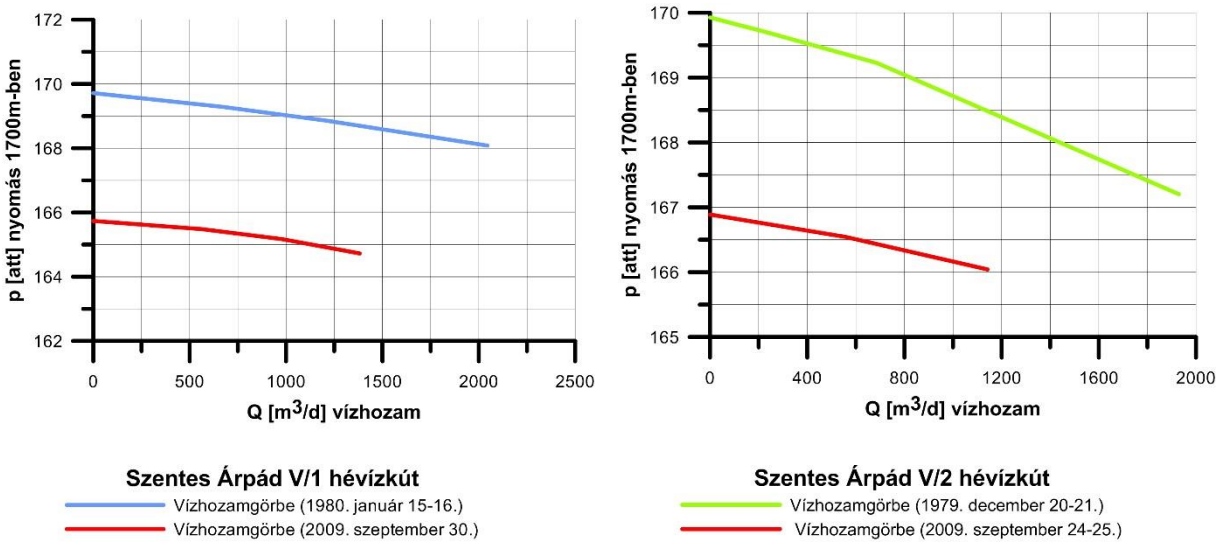
A szentesi geotermikus mező mélységi nyomásemelkedés görbéinek elemzésénél általános problémát jelent, hogy még a mélységi vízhozam méréseknél is kevesebb adatsorral rendelkezünk, valamint a mérések csak ritkán voltak 100-120 percnél hosszabbak, ezért a nyomásemelkedési görbék a harmadik szakaszt nem vagy csak részben tartalmazzák. Ugyancsak nehezíti az értelmezést, hogy a mélységi nyomásgörbék felvétele a régi és az új mérések során csak néhány esetben történt ugyanabban a mélységben. Az említett nehézségek miatt a nyomásemelkedési görbéket elsősorban a rétegenergia változásának és a tároló rétegek permeabilitásának meghatározására használtuk.

A mélységi nyomás csökkenése azt is eredményezte, hogy egyre kevesebb vízhozam kitermelése ugyanakkora vagy nagyobb nyomásesést eredményezett a termálkutakban, illetve csekélyebb vízhozamok kitermelése mellett sem tudott a statikus nyomás visszaállni a korábbi mérések szintjére. Ezt példázza az Árpád-IV-es (K-586 jelű) termálkút, ahol 1972-ben a létesítéskor maximálisan kitermelhető 3140 m3/d vízhozam mellett a statikus nyomás 198.67att volt, míg 2010-ben 1200 m3/d mellett már csak 194.75att körül állt be.

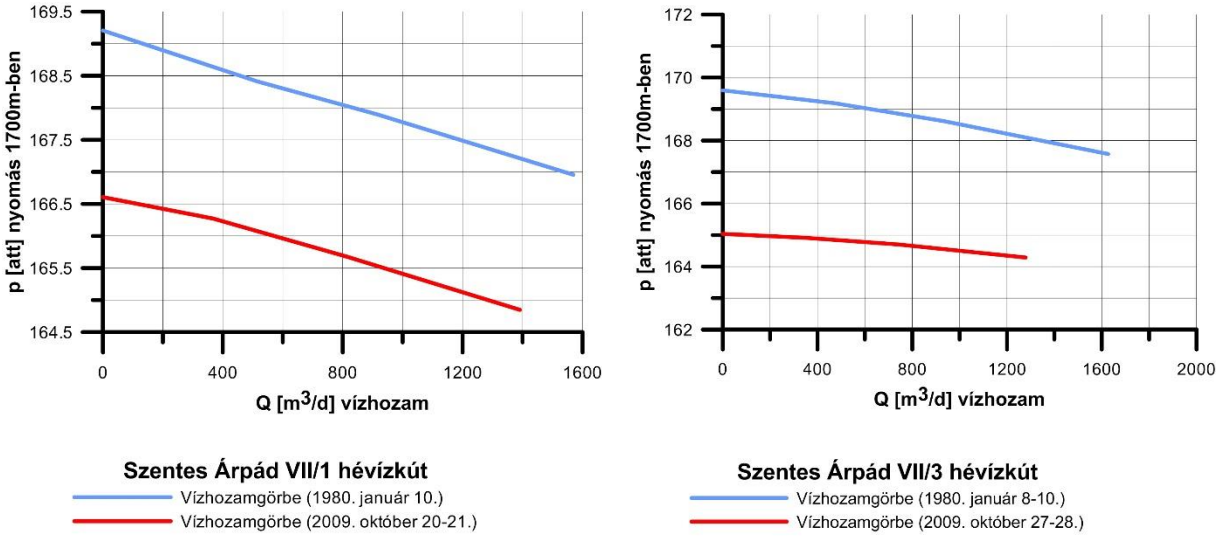


6. ábra Nyomásemelkedési görbe a Szentesi K-586 termálkútban 2000 m-es mélységben a kút létesítésekor illetve 2010-ben

A legjelentősebb nyomáscsökkenések a legintenzívebben termelt 80°C fölötti kifolyó hőmérsékletű 1800-2200 m közötti hévíztároló rétegben alakultak ki. Például Az Árpád-V kútcsoport 2240 m-es mélységű kútjában több mint 4 bar, míg a 2000 m-es talpmélységű kútjában 3 bar (**7. ábra**) nyomáscsökkenést regisztráltak. Az Árpád VII-es kútcsoportban is hasonló a kép, a 2260 m-es talpmélységű kútban 2,7 bar, míg a 2000 m-es kútban több mint 4,5 bar a csökkenés értéke. A kialakult nyomáscsökkenéshez az alsó rétegcsoportban a gáztartalom több 100 l/m^3-es csökkenése is hozzájárult.

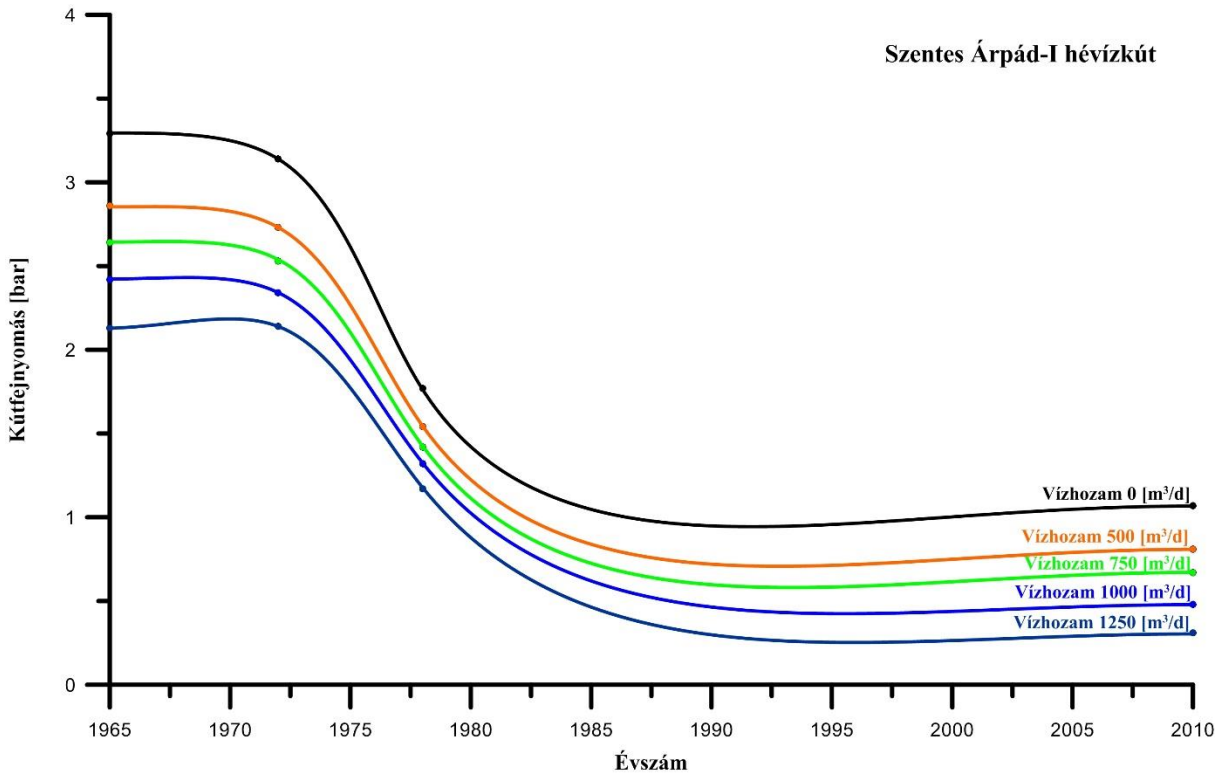


7. ábra: Vízhozam és mélységi nyomásadatok az V-ös kúcsoport kútjaiban (1. Árpád V/1; 2. Árpád V/2 kút)



8. ábra Vízhozam és mélységi nyomásadatok a VII-es kúcsoport kútjaiban (1. Árpád VII/1; 2. Árpád VII/3 kút

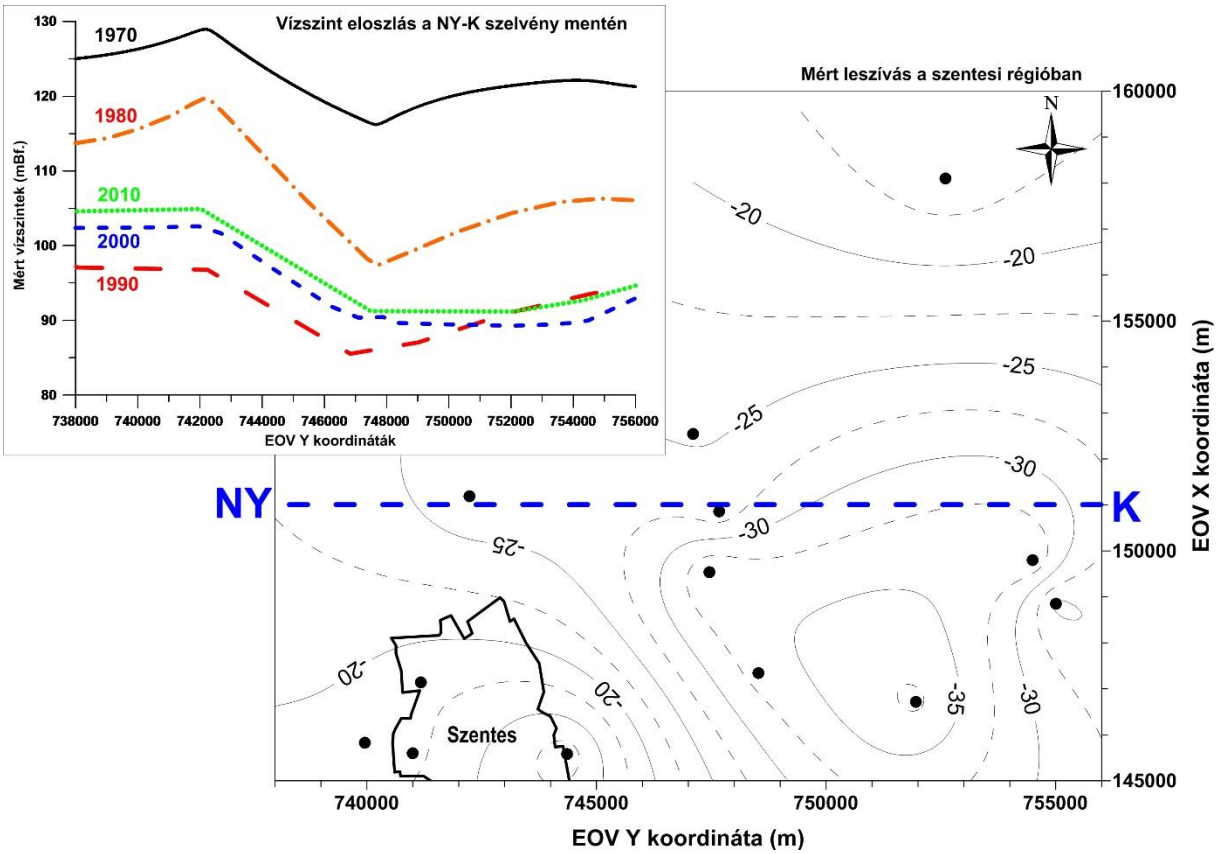
A csökkenés folyamatáról teljesebb képet kapunk, ha a felszíni nyomásmérések adatait használjuk, ugyanis ezeket gyakrabban regisztrálták, így több adattal rendelkezünk. A felszíni vízhozam-kútfejnyomás görbék alapján megállapítható, hogy a nyomásszintek csaknem mindenhol 1.5-4 barral csökkentek az 1990-es évek közepéig, majd ezt követően a nyomás enyhe néhány tized bar-os emelkedése, 2005-től stabilizációja következett be. Ezt mutatja az Árpád-I jelű kút felszíni nyomásemelkedési görbéje.



9. ábra Kútfejnyomás változása az Árpád-I jelű kútban az idő függvényében, különböző hozamok mellett

Ha a hézagosan rendelkezésre álló adatokat felhasználva a kutak tömeges létesítésétől, 1970-től kezdve 10 évenként ábrázoljuk a kialakult vízszinteket, majd egy Ny-K –i szelvény mentén kirajzoljuk a különböző időponthoz tartozó vízszint-görbéket, akkor láthatóvá válik a vízszintek időbeli változása (**10. ábra**). Ezek alapján 1990-ig tartós, átlagosan 30 m-es vízszintcsökkenés, majd 1990 után 5-7 m-es emelkedés volt tapasztalható. Jelen állapotban, szóbeli közlés alapján az emelkedés megállt, a vízszint stagnál.

Összefoglalva, a szentesi geotermikus rezervoár példája bizonyítja, hogy a hosszútávú, visszasajtolás nélküli termelés regionális nyomáscsökkenéshez vezet a felső-pannon rétegekben. A negatívvá vált, lecsökkent nyomású kutakból a természetes állapothoz képest csak korlátozott termelés lehetséges. Megfigyelések alapján a kutak őszi időszakban történő újraindítása során általában 5-10 m-es vízszintemelkedést tapasztaltak a fűtési szezon végi adatokhoz képest, a kutak pihentetése a nyári időszakban nem elegendő a megbontott rétegenergia viszonyok teljes regenerációjához Habár a takarékosabb vízhasználat és néhány kút tartósabb pihentetése a rétegnyomások stabilizációjához, illetve mérsékelt emelkedéséhez vezetett, a geotermikus mező további fejlesztése és intenzívebb termelés esetén a felhasznált termálvíz visszasajtolása elengedhetetlen.



10. ábra: A leszívás értéke 2000-ben az Árpád Agrár Zrt. környezetében lévő porózus rezervoárban, illetve a vízszintek dekádonkénti alakulása

4.3 A Szegedi termálvízadó rendszer

Szeged térsége a Makói-ároknak nevezett szerkezetföldtani egység peremi részébe tartozik. Földtani felépítése nagyban hasonlít a Szentes térségének földtani felépítéséhez. A felsőpannóniai összlet alsó határa a területen kb. 2100 m mélységben van. A legfőbb hévíztároló rendszert a felső-pannóniai korú homok-homokkőrétegek alkotják, amely hidrodinamikailag összefüggnek a felette lévő hidegebb ivóvizes rendszerekkel. A felső-pannóniai homok-homokkőrétegek két rétegcsoportra oszthatók fel:

A felső rétegcsoport 750-1035 m mélységközben található laza homokrétegeket tartalmazó összlet. A vízadó rétegek aránya átlag 30 %, jellemzően 1000-1500 l/perc 50-70 °C-os hévíz termelhető belőlük. Ide sorolható az Anna kút.

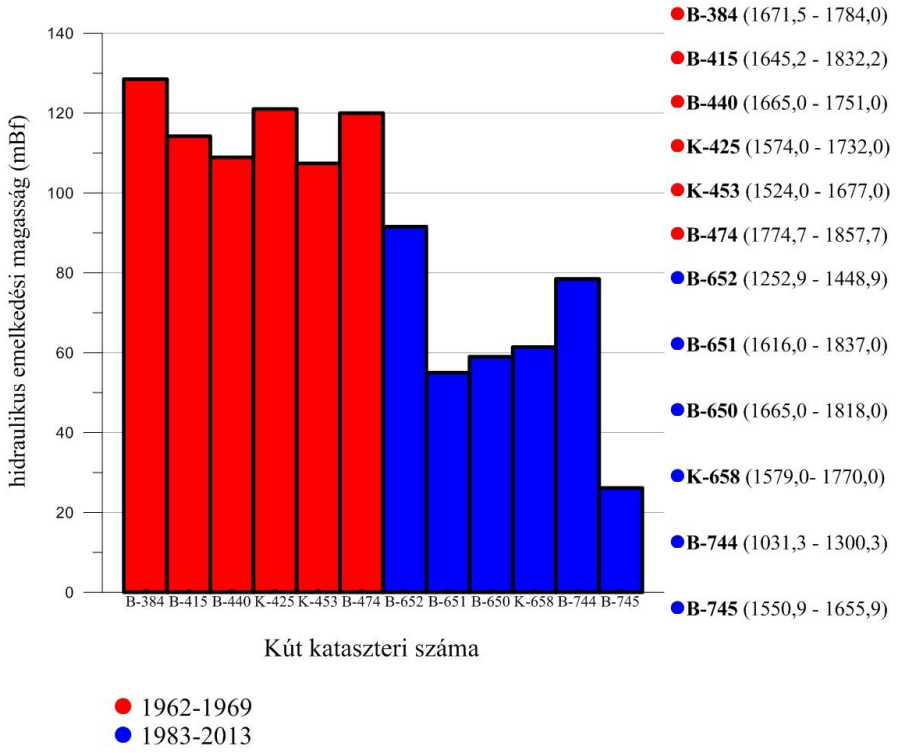
Az alsó rétegcsoport 1100-2000 m mélységben kialakult 40-50 %-ban vízadó rétegeket tartalmazó, homokköves kifejlődésű összlet. A homokkőrétegekből 1500-2000 l/perc 70-100 °C-os hévíz biztosítható. A jól vezető homokrétegek permeabilitása 1000-2000 mD között változik. A Szeged környéki hévízkutak adatai alapján a felső-pannóniai üledékösszlet homokossága északnyugatról-délkeleti irányban a mélység felé haladóan növekvő részarányú, ami a szerkezeti árok fokozatos süllyedésével magyarázható. Legjobb kifejlődésű vízadó homok-homokkő rétegek 1400-1900 m-es mélységközben találhatók.

Azonban Szeged térségében az olajipar termelése jelentősen befolyásolta, befolyásolja a hidrodinamikai viszonyokat, amire a Vízgyűjtő Gazdálkodási Terv készítésekor is figyelemmel kell lenni.

4.3.1 A szegedi hévíztároló rezervoár energiaviszonyainak változása

A Szeged térségi porózus termálvízadó rétege nyomásviszonyainak vizsgálata 13 kút adatai alapján készült, felhasználva Ágoston Gábor szakdolgozatát (ÁGOSTON, 2015). A kutak mindegyike felsőpannon rétegekre lett szűrőzve, 1300-2000 m mélységtartományban. Az 1960-1970 évek között létesített kutak nyomásadatai még az eredeti, érintetlen rétegnyomást tükrözik, így az ezt követő években fúrt kutak nyomásadataival összevetve átfogó képet kaphatunk a termelés nyomásváltoztató hatásáról, és annak következményeiről. Az Algyői olajmező felfedezése 1965-ben történt és a termelés felfutása is csak az 1970-es évektől kezdődött, így ez az időszak még hidrodinamikailag természetes állapotnak tekinthető.

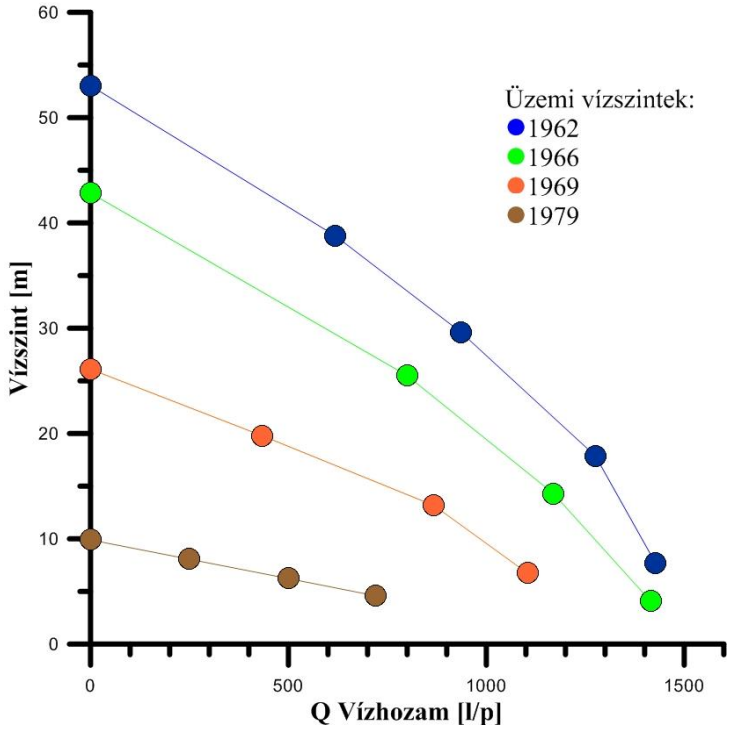
A rétegnyomás változás kimutatásának alapja a kutak potenciometrikus szintjének meghatározása a létesítéskori nyugalmi vízszintek és a térszín adatok felhasználásával. A kapott értékek alapján megállapítható, hogy az 1960-as években létesített kutak hidraulikus emelkedési magassága átlagosan 55 m-rel haladja meg a hasonló mélységben szűrőzött 1980 után fúrt kutakét. A következő ábra mutatja, hogy a kezdeti potenciametrikus szintek 110-130 mBf tartományba estek, majd drasztikus csökkenés tapasztalható az 1980-as évek után kiképzett kutakban. A változás legjobban a B-651-es kút vízszintjén látszik, aminek a létesítési nyugalmi vízszintje -25 m.



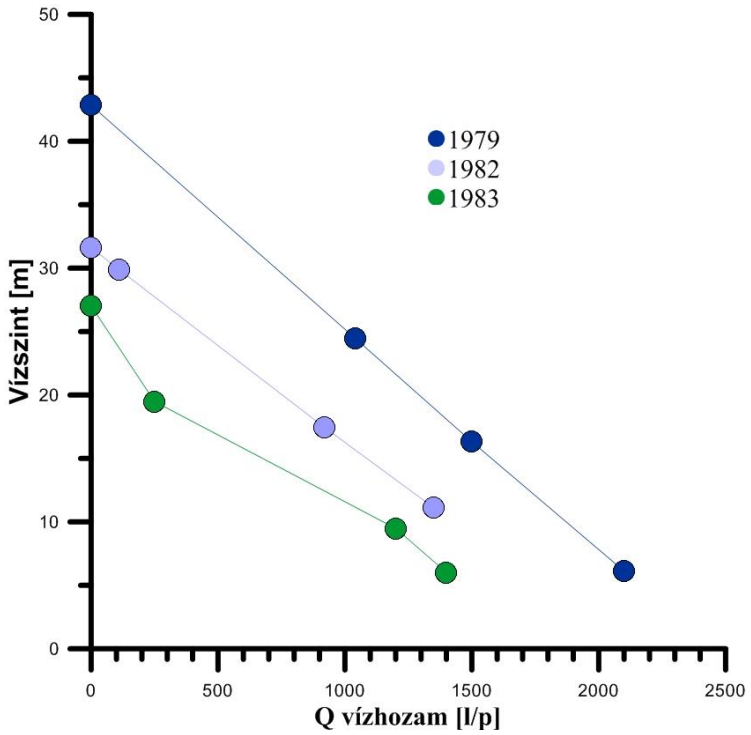
11. ábra A vizsgált kutak hidraulikus emelkedési magassága (zárójelben a kutak szűrözött szakaszainak tető illetve talp értékei mBf-ben)

A folyamatos termelés nyomás és vízszint csökkentő hatása természetesen az 1960-as évek elején fúrt kutakban is megfigyelhető a kutak vízhozam görbéi alapján. Az időbeli változás kimutatása azonban csak 2 kútban volt lehetséges a mérések gyakorisága miatt. A **12. és 13. ábra** a korábban is tárgyalt B-384-es kataszteri számú kút és a városi gazdálkodás 1978-ban fúrt kútjának vízhozam görbéit mutatják különböző években.

Látható, hogy mindkét kút esetében csökkent a vízoszlop általi nyomás. A B-384 jelű kút esetében 20 év alatt 40 m-et csökkent a nyugalmi vízszint, ami miatt csökkent kitermelhető hozam is. Napjainkban ebben a kútban a nyugalmi vízszint -25 m-en áll! Azonban valószínűsíthető, hogy a jelentős nyomás esés a kútkörnyezet kolmatációjának is eredménye. A város gazdálkodás kútjában mért kezdeti 40 m fölötti nyugalmi vízszint és a hozzáköthető 2200 l/p -es hozam 3 év alatt több mint 10 m-t és 700 l/p -et csökkent. Ez a kút jelenleg nem üzemel.



12. ábra A székelysori termálkút (B-384) vízhozam görbéi különböző időpontokban

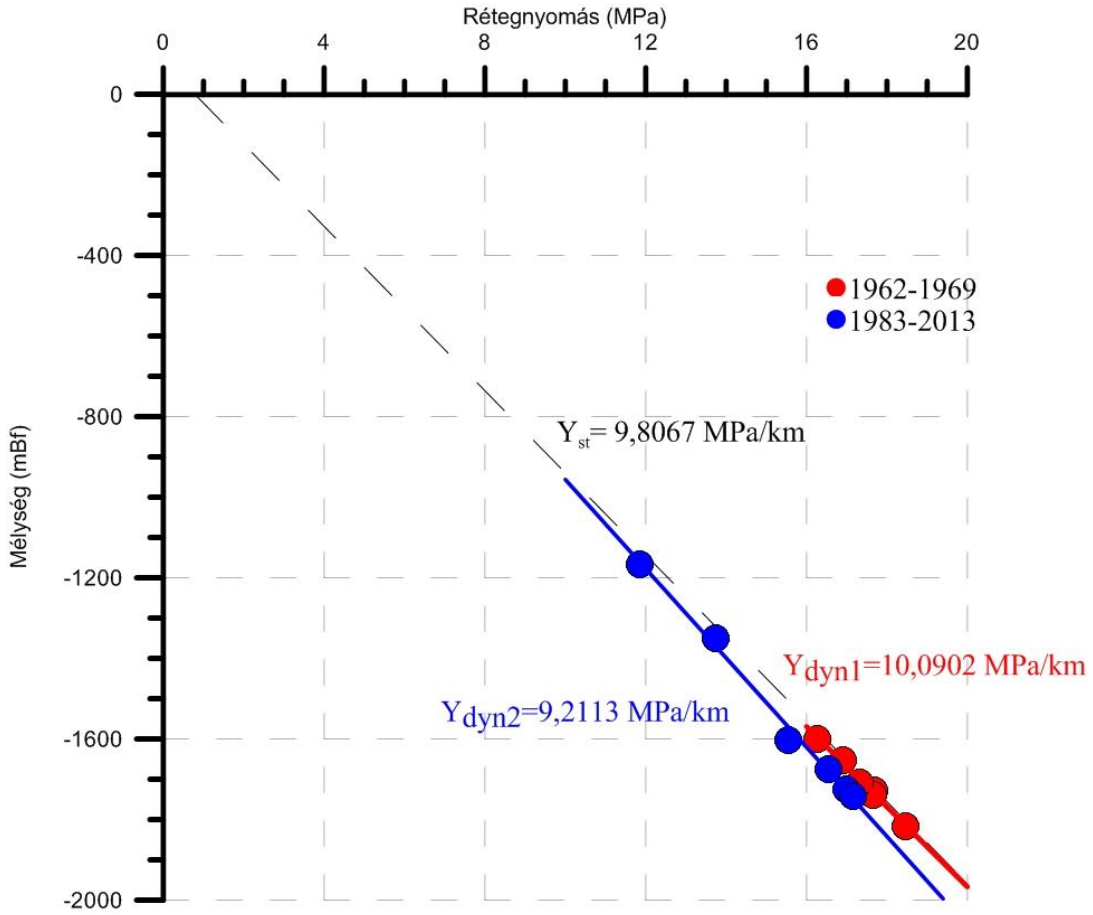


13. ábra A város gazdálkodás termálkútjának vízhozam görbéi különböző időpontokban

A 13 kút létesítési adataiból – nyomás (p) függvényében ábrázolva a mélységet (z) – megszerkeszthető a nyomás-mélység profil, külön-külön az 1970 előtti és utáni adatokra. Az ábrázolt pontokra illesztet egyenes meredekségéből kapott nyomás gradiensek alapján megállapítható miként változtak a felsőpannon rétegben a nyomásviszonyok (**14. ábra**).

Az 1960 és 1970 között fúrt kutak nyomás értékei a hidrosztatikus értéknél 0,28 MPa-al nagyobbak, ami felfelé áramlást jelent, vagyis a felsőpannon réteg, termelés előtti állapotban, táplálta a felette lévő pleisztocén vízadókat. A vízkitermelés negatív hatása mutatkozik az 1980 után létesített kutak értékein. Ezek az 1960-as évek alatt fúrt kutakkal közel azonos mélységben lettek szűrőzve, de az ábrázolt nyomásértékek már a hidrosztatikusnál 0,56 MPa-al kisebbek azaz szubhidrosztatikusak, emiatt a negyedidőszaki ivóvizet szolgáltató rétegekből lefelé áramlik víz.

Ha a két időszak nyomásgradiensei közötti különbséget összesítjük közel 0,9 MPa értéket kapunk, ami hozzávetőleg 90 m vízoszlopkülönbséget takar. Meg kell jegyezni, hogy a város ivóvízkútjainak közel harmada, 23 db kút 460-660 m közé van szűrőzve, azaz közvetlenül a pannóniai korú összlet legfelső szintje közelébe. Ezért 30°C-nál melegebb vizet termelnek hozzávetőleg 4 millió m^3/év hozammal. Ugyanakkor a 90 m vízoszlopkülönbség elvi számítás eredménye, a kutak vízszintátlagaiból hozzávetőleg 55 m-es különbség adódott. Ez azonban így is hatalmas érték, önmagában a termálkutak működésével nem magyarázható, ebben az olajipar 50 éves termelésének is szerepet kellett játszani. Mivel a teljes üledékes medence hidraulikus kapcsolatban van, azaz ha egy pontjában megváltoztatjuk a pórusokban lévő víznyomást, akkor az egész medence területén nyomásváltozások mérhetők, bármilyen fluidum termelése az egész medencére hatással van.



14. ábra Nyomás-mélység profil Szegeden a felsőpannon rétegre kiképzett kutak 1970 előtti (piros) és 1980 utáni (kék) nyomás adataival

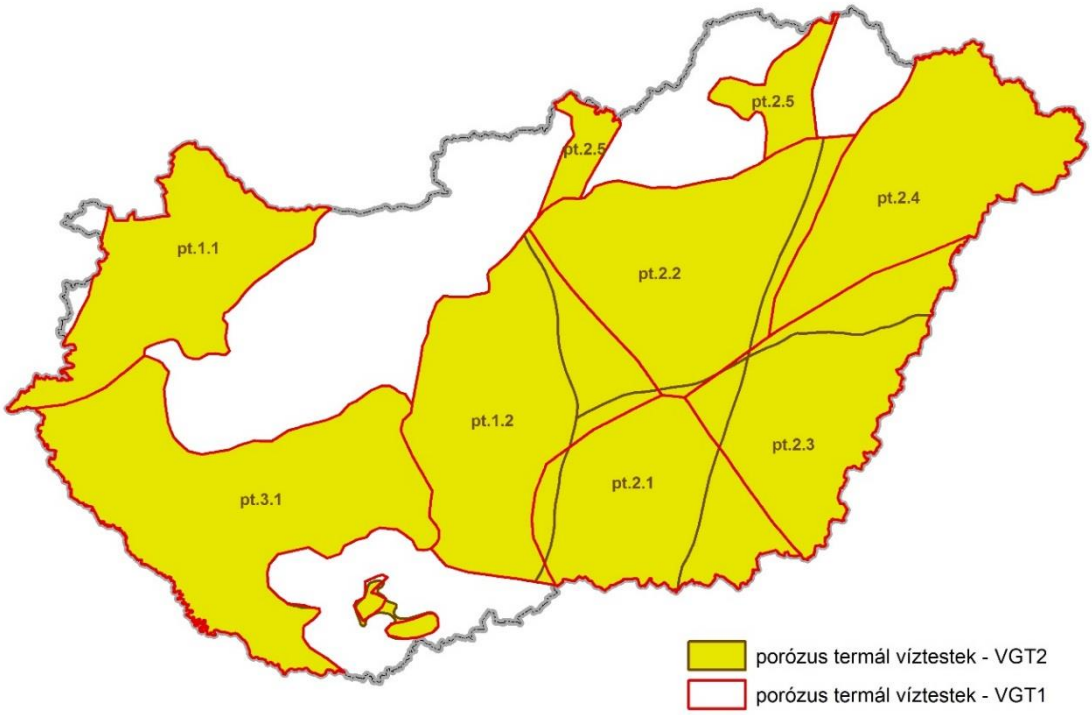
4.4 A tartós süllyedésű területek lehatárolása

4.4.1 Az Alföldi porózus termál vízadók mennyiségi lehatárolása

Az Alföldi Porózus Termál Vízadók az alábbi 5 víztestet foglalják magukba a VGT2-ben meghatározott módosított határokkal: pt.1.2; pt.2.1.; pt.2.2.; pt.2.3.; pt.2.4.; pt.2.5. (**15. ábra**).

Az Alföldi porózus termál víztesteket az alábbi szempontok szerint vizsgálom:

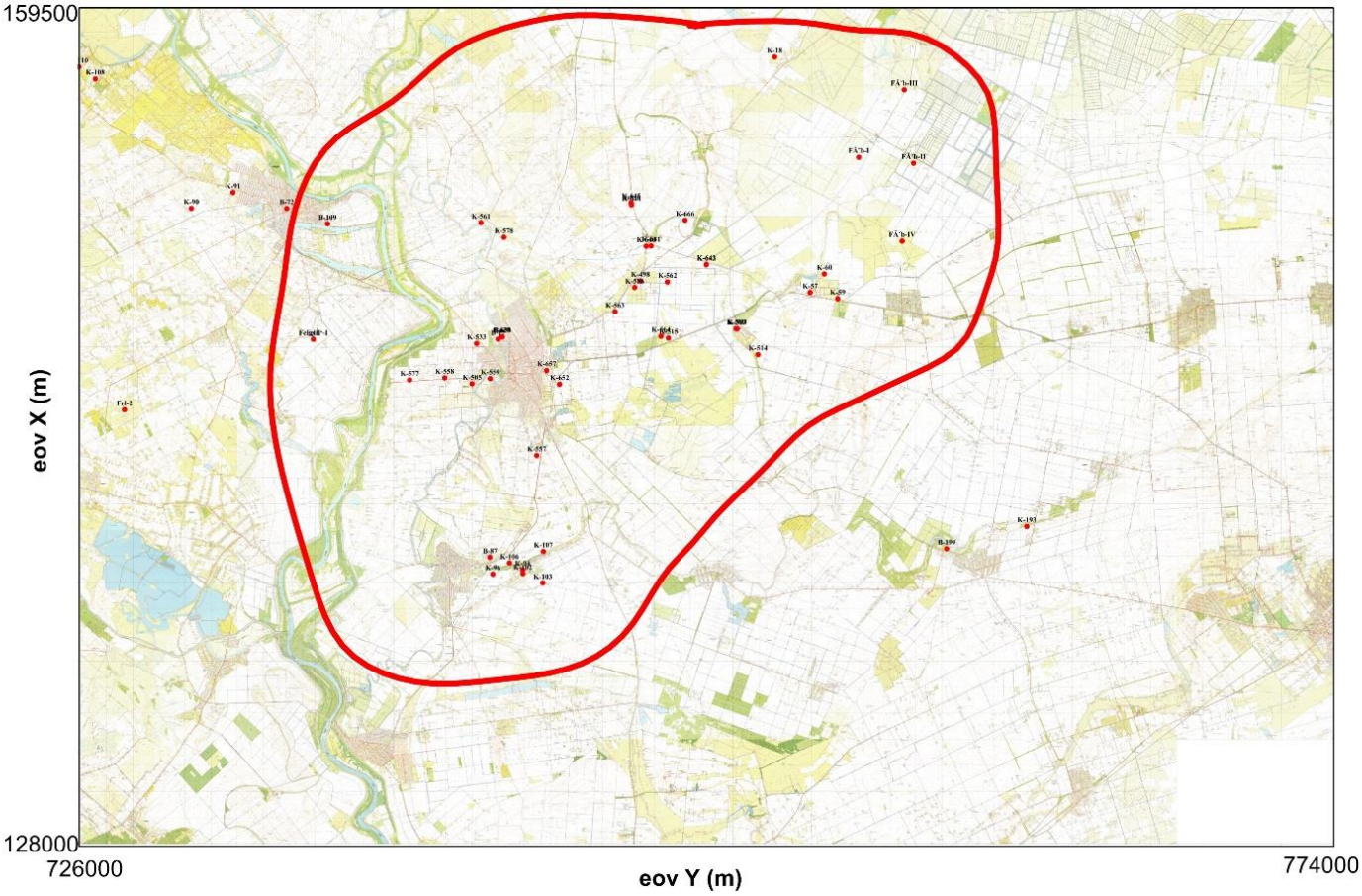
1. Lehatárolható-e a víztestek területénél nagyobb, mint 20 %-nyi területen tartós süllyedéssel jellemezhető terület.
2. Ha van ilyen terület az mikor jött létre jellemzően, elmúlt évtizedekben, vagy a VGT2 elemzési periódusában (2007-2013).
3. A termelés (túltermelés) hatására változott-e termálkútban vízkémiai összetétel vagy hőmérséklet?
4. Hogyan határozható meg a kitermelhető készletet?
5. Javaslatok a jogi és gazdasági szabályozás terén.



15. ábra Porózus termál víztestek módosított felosztása

4.4.2 A lokális süllyedések

Tartós süllyedés kialakulásához jelentős mennyiségű víztermelésre vagy folyamatos termelésnövekedésre van szükség. Az előző fejezetekben részletesen tárgyaltuk Szentes és Szeged térségét. Mindkét város környezetében hozzávetőleg 5 millió m^3 termálvizet termelnek évente, amit összeadva Magyarország éves termálvíz termelésének mintegy ötödét jelenti. Ezek alapján víztermeléssel leginkább igénybevett porózus termál víztest a pt.2.1 jelű víztest. A két említett város térségén kívüli területek termeléseit is hozzáadva 15 millió m^3/év víztermelést kapunk ebben a víztestben. A Szentesi adatokból látható, hogy 1990-et követően a vízszintsüllyedés megállt majd kismértékű emelkedés következett be, ami az utóbbi 5-6 évben stagnáló vízszintet eredményezett. Ugyanakkor ez még mindig 25-30 méterrel alacsonyabb, mint a létesítéskori vízszint. Ezért meghatároztam azt a területet, ahol 20 m-nél alacsonyabb vízszintet mérnek a fűtési szezon elején is. Ezen a területen belül további vízkivétel csak visszasajtolás esetén engedélyezhető (16. ábra).

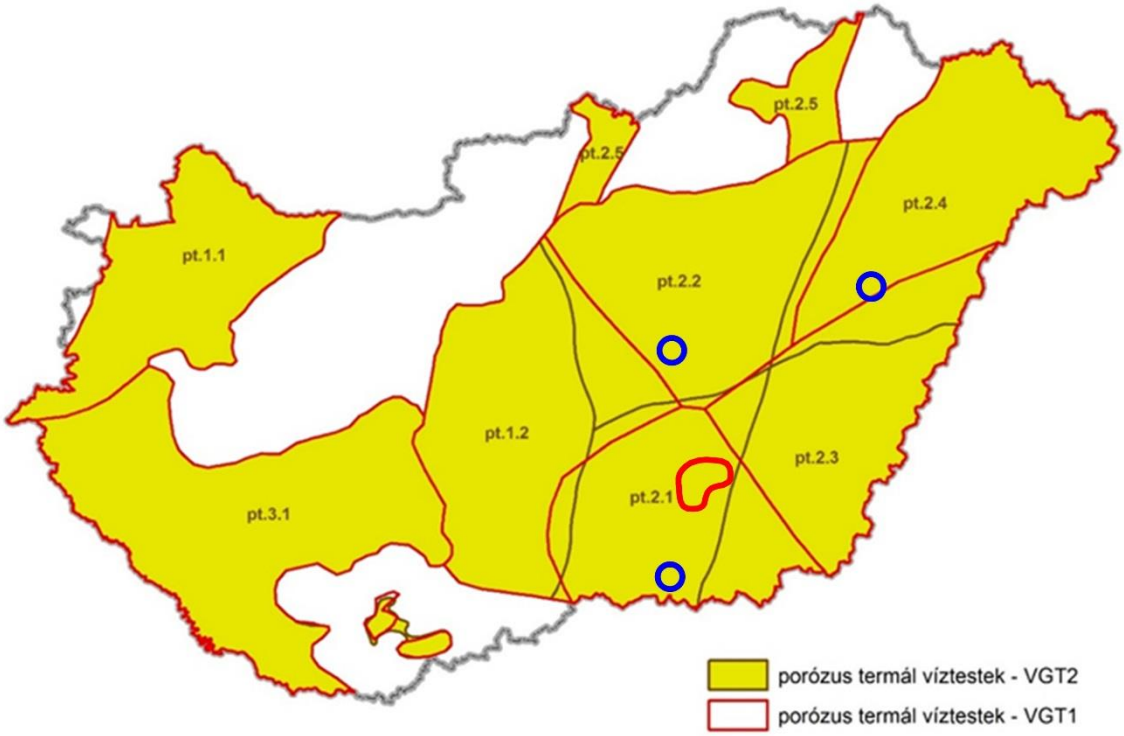


16. ábra Szentes térségében a 20 m-nél nagyobb vízszintsüllyedéssel érintett terület (piros

Szeged térségében még nagyobb mértékű vízszintsüllyedés tapasztalható, azonban az utóbbi években itt is stagnáló értékeket mértünk. A kialakult vízszintekben a szénhidrogén termelés is szerepet játszik. Azonban nincs elég adatunk, hogy ennek kiterjedését meghatározzuk, az olajiparhoz tartozó kutak adatai pedig nem hozzáférhetőek. Az ugyanakkor kijelenthető, hogy a két jelentős depresszió nem kapcsolódik össze, így összterületük valószínűsíthetően nem érik el a víztest 20%-át. Ennek ellenére Szeged térségében is csak visszasajtolás mellett javasolt az új kutak létesítése.

A következő jelentősebb koncentrált vízkivétel A pt.2.4 jelű porózus termálvíztest területére, Hajdúszoboszló térségébe esik. Itt éves szinten hozzávetőleg 1,8 millió m^3 vizet vesznek ki. Ennek következtében a tartós vízszintsüllyedés megközelíti a 20 m-t, de adatok hiányában nem határolható le pontosan.

Az utolsó jelentősebb porózus vízkivételi centrum Szolnok térsége, valamivel több, mint évi 1 millió m^3 vízkivétellel a pt.2.2 jelű víztestben. A tartós vízszintsüllyedés itt is megközelíti a 20 m-t. A többi porózus termál víztestben hasonló volumenű koncentrált termálvíz termelés nem történik. A **17. ábra** a kockázatosnak tekinthető lokális vízszintsüllyedések helyeit mutatja be.



17. ábra Lokális vízszintsüllyedések helyei a porózus termál víztestekben (kék), illetve a Szentes környéki tartósan süllyedéssel érintett terület kontúrja (piros)

4.4.3 Tartós vízszint süllyedések keletkezési ideje

Mindegyik porózus termál víztestről elmondható, hogy a süllyedés az elmúlt évtizedekben alakult ki, nem az VGT2 elemzési időszakának (2007-2013) eredménye. A Szeged környéki jelentős süllyedés az elmúlt 2-3 évben mélyített kutak adatai alapján vált egyértelművé, de az sem a VGT2 elemzési periódusában következett be. Mivel az elmúlt időszakban lényegében stagnált a porózus termálvíz termelés a víztestek mennyiségi megítélése nem romlott.

4.4.4 A termelés vízkémiára, hőmérsékletre gyakorolt hatása

Több évtizedes idősor adatunk elsősorban Szentes térségéből van. Ezek alapján megállapítható, hogy a vizek nátrium-hidrogénkarbonátosak, az összes oldott sótartalom gyakorlatilag nem változott. A felső és középső rétegcsoportban az összes oldott anyag tartalom általában nő a mélységgel, ugyanakkor a Szentes városi és szegvári területen az alsó rétegcsoportban alacsonyabb a sótartalom, mint ugyanazon terület sekélyebb kútjainál. De kémiai összetételben időbeli változás lényegében nem mutatható ki. Ugyanezt tapasztaltuk Hódmezővásárhelyen 25 éves idősort vizsgálva.

A kutak gáztartalma már lényegesebben változik. Gyakran egy fűtési időszakon belül is előfordul 5-15%-os eltérés, különösen Szeged térségében, amiben a szénhidrogén bányászatnak is szerepe lehet. Szentesen a létesítéskori adatokhoz képest az alsó rétegcsoportban a gáztartalom több 100 l/m^3-rel csökkent.

A hőmérsékletben még ekkora eltérés sincs, lényegében nem tapasztaltunk hőmérséklet változást. Ezt elsősorban a visszasajtolás okozhatná, de egyrészt alig van visszasajtoló kút, másrészt mérésekkel igazoltuk, hogy 2 millió m^3 víz visszasajtolása után sem mutatható ki hőmérsékletváltozás a visszasajtoló kúttól 300 m-re.