

# **Összefoglaló jelentés a visszatáplálások lehetőségeiről, hatásairól és korlátairól, a visszatáplálások vizsgálati rendszeréről; javaslat a termálvizek monitoringjára**

*"Termálvizek speciális monitoring-fejlesztési  
feladatainak ellátása a visszasajtolás folyamatának  
nyomon követésére az érintett rétegek  
meghatározására" című, K13 projektrészhez*

*VKI monitoring KEHOP-1.1.0-15-2016-00002 számú projekt  
keretében kutatási - módszerfejlesztő - adatgyűjtő program*

Készítette:

Kun Éva, Gál Nóra, Szűcs Andrea, Szócs Teodóra, Tóth György, Tolmács Daniella,  
Tihanyiné Szép Eszter

Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat (MBFSZ)

Lektorálta:

Király Edit

Budapest, 2021. február 28.

## Tartalom

1. Bevezetés.....	1
2. Irodalmi összefoglalás a termálvíz visszasajtolásával kapcsolatban.....	2
2.1. Magyarország vízgyűjtő-gazdálkodási tervei .....	3
2.2. Korábbi pilotprojektek a monitorozás témakörében.....	7
3. A termálvizek hasznosításához kapcsolódó jogszabályok .....	14
4. A visszatáplálás célja, hatásai, lehetőségei és korlátai .....	18
5. A projekt keretében végzett hidrodinamikai és transzportmodellezések, valamint a vízgeokémiai értékelések összefoglalása.....	26
5.1. A vizsgálatba bevont térrészek főbb vízgeokémiai jellemzőinek, a bennük lejátszódó víz-kőzet kölcsönhatásoknak, valamint az áramlási rendszerben elfoglalt helyzetük értékelése .....	31
5.1.1. A víztartó rendszer jellege és főbb földtani kifejlődései szerinti vízmintavételi vizsgálati eredmények .....	31
5.1.2. A termelő és visszasajtoló „kútpárok” vízösszetételének összehasonlítására vonatkozó vizsgálati eredmények.....	37
5.1.3. A hidrogeológiai és vízkémiai vizsgálatok eredményei az egyes mintaterületek szerint .....	40
5.1.4. A szerves kémiai komponensek értékelése .....	44
6. Monitoringjavaslat.....	51
6.1. Az energetikai célú termálkutak .....	54
6.2. A termálvízkezelőket érintő szénhidrogénipari vízlikvidálások .....	60
6.3. Néhány jó gyakorlat a hévízhasznosításoknál .....	61
7. Összefoglalás .....	64
Hivatkozások .....	65

## Ábrajegyzék

1. ábra A felszín alatti monitoring szervezeti rendszere.....	5
2. ábra A DARLINGE magyar-szerb-román pilotterület benchmark-értékelésének eredménye .....	11
3. ábra Porózus termálvíztestek visszatáplálásra való alkalmassága (Tóth Gy. 2011 után).....	24
4. ábra Karsztos és repedezett termálvíztestek visszatáplálásra való alkalmassága (Tóth Gy. 2011 után).....	25
5. ábra A fő ivóvízadó és a felső-pannóniai fő termálvízadó rétegvizek potenciálszintjei közötti különbségek [m], természetes, termelések előtti állapotban .....	27

6. ábra A fő ivóvízadó és a felső-pannóniai fő termálvízadó rétegvizek potenciálszintjei közötti különbségek [m], a 2013-18 közötti termelések hatására.....	28
7. ábra A vizsgált K13 mintavételi pontok, a mintázott víztartó képződmények kora szerint jelölve és a K13 mintaterületek elhelyezkedése a porózus termálvíztestek (ferde vonalakkal sraffozott) illetve a karsztermál-víztestek (halványlila) elterjedésével, a dél-dunántúli szénhidrogénipari mintavételi helyek feltüntetése nélkül .....	31
8. ábra A mintázott K13 objektumok vízkémiai jellege a főalkotó kationok és anionok alapján, Piper-diagramon ábrázolva .....	32
9. ábra A kifolyóvíz hőmérséklete és az összes oldottanyag-tartalom a mélység függvényében az egyes víztartó képződmények szerint.....	33
10. ábra A főalkotó $(\text{Na}^+ + \text{K}^+)/(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$ kationarányok és a $\text{Cl}^-$ , valamint $\text{HCO}_3^-$ kapcsolata a vizsgált vizekben, víztartó képződmények szerint ábrázolva (a termelő-visszasajtoló mintapárokban – melyek a K13-0701-0801, K13-1201-1301, K13-1401-1501, K13-2101-2201, K13-2301-2401-2501 – a visszasajtolandó vízminták bekarikázva jelöltek).....	33
11. ábra A $\text{Br}^-$ -és a $\text{Cl}^-$ tartalom kapcsolata (A) és a $\text{Cl}^-/\text{Br}^-$ arány és a Cl-tartalom kapcsolata (B) a vizsgált mintákban (a visszasajtolandó vízminták bekarikázva jelöltek).....	36
12. ábra A K13 projektem keretében mintázott objektumok különböző korú és típusú víztartók szerinti $\delta^{18}\text{O}$ és $\delta\text{D}$ (A), valamint $^{14}\text{C}$ és $\delta^{18}\text{O}$ eloszlása (B).....	37
13. ábra (A) A kén körforgásának elvi sémája a Cinder tavacska alapján (Xu et al. 2020); (B) A Battonyai-hátság és árokrendszerének elvi áramlási modellje (Kun et al. 2020).....	40
14. ábra Termelő és visszasajtoló kutak BTEX szerves mikrokomponens koncentrációinak összehasonlítása (a termelő-visszasajtoló mintapárok a K13-0701-0801, K13-1201-1301, K13-1401-1501, K13-2101-2201, K13-2301-2401-2501).....	46
15. ábra Termelő és visszasajtoló kutak PAH szerves mikrokomponens koncentrációinak összehasonlítása .....	47
16. ábra Termelő és visszasajtoló kutak fenol és összes fenol szerves mikrokomponens koncentrációinak összehasonlítása .....	48
17. ábra Az összes fenoltartalom és a TOC- illetve a terepen mért $\text{HCO}_3^-$ -tartalom kapcsolata a vizsgált vizekben .....	49
18. ábra Termelő és visszasajtoló kutak metán- víz és gáz-víz viszonyainak grafikonja .....	50

## Táblázatjegyzék

1. táblázat Termálvíztestek VGT3 szerinti összesített minősítése (2021.február 28-i állapot)...	6
2. táblázat Az egyes benchmark típusokhoz tartozó indikátorok, az adatgyűjtés és adatértékelés szintjeivel.....	11

3. táblázat A mintaterületek és vizsgálati szempontjaik .....	28
4. táblázat A további vizsgálati objektumkörzetek kiválasztási és vizsgálati szempontjai .....	29
5. táblázat A K13 projekt során vizsgált termelő és visszasajtoló kutak kútkataszter szerinti azonosítója és a feldolgozás során alkalmazott minta jelei (VS – a visszasajtoló kutat jelöli a termelő kúttal egy mezőben) .....	38

## 1. Bevezetés

A „Termálvizek speciális monitoringfejlesztési feladatainak ellátása a visszasajtolás folyamatának nyomon követésére az érintett rétegek meghatározására” (VKI monitoring KEHOP-1.1.0-15-2016-00002 számú projekt) című feladat záróakkordjaként készítettük el ezt az összefoglaló jelentést. A K13 projektrész korábbi jelentéseiben részletesen ismertettük a termálvíz és visszasajtolásuk hazai és nemzetközi tanulmányait (Tóth Gy. et al. 2020a, b; Kun et al. 2020a, b), a mintavételi koncepciókat és a mintavételeket (Kun et al. 2020a; Szűcs et al. 2020a, b, c, d), illetve alaposan körbejártuk a visszasajtolás problematikáját (Kun et al. 2020b). A mostani jelentés a visszatáplálásra és a monitoringjavaslatra fókuszál; áttekintést ad a visszatáplálás lehetőségeiről, hatásairól, korlátairól, valamint részletesen tárgyalja a termálvizek monitoringjára tett javaslatainkat, de tartalmazza a korábbi eredmények komplex (víz- és gázmintavételek alapján végzett részletes szerves, szervesetlen geokémiai és izotópos vizsgálatokból, áramlási, hőtranszport-, és víz-kőzet kölcsönhatás-modellezésekből együttesen levonható) értelmezését is.

Mind Magyarországon, mind a Pannon-medence egészében az utóbbi két évtizedben jelentősen megnőtt a különböző (balneológiai, szabadidő, mezőgazdasági, fűtési, stb.) célú termálvíz-hasznosítás mértéke, a hosszútávon fenntartható hévíztermelések biztosítása érdekében elengedhetetlen e vízkészletek szakszerű észlelési programjának kialakítása. Az ehhez szükséges értékelések között kiemelt fontosságú a magyarországi termálvizek speciális, kutatási, módszerfejlesztő, adatgyűjtő program monitoringfejlesztési koncepciójának kidolgozása. A K13 részprojekt központi feladata volt az energetikai célú hasznosítások visszasajtolásaival és a szénhidrogénipari vízlikvidálásokkal kapcsolatos monitoringfejlesztésekre vonatkozó javaslatok megfogalmazása.

A különböző termálvíz-hasznosítások igényei eltérőek. Más a geotermikus energia kinyerésére szolgáló kútpár vagy a balneológiai célú termelő és visszasajtoló kutak igényei és megint más a szénhidrogén-termelő és visszasajtoló kutak iránt támasztott igény. Megint más a helyzet, ha egy-egy termálvíz-rezervoárt több típusú felhasználás is hasznosítana. Ebben az esetben komplexebb gondolkodást igényel, hogy mindegyik hasznosításnak legyen garanciája a hosszútávú működésre, sőt akár kölcsönösen segítsék is egymást a különböző hasznosítások, de ne okozzunk se mennyiségi se minőségi kárt a termálvíztartóban, illetve a termálvízben. Ezért modelleztünk termálvíz-keveredést, különböző hasznosítású kutak (geotermikus, szénhidrogénes, fürdő) egymásra hatását, a hozamnövekedés lokális és regionális hatásait, esetleges szennyeződés terjedését, fiktív szénhidrogéntelep működését, és végeztünk határon átvéelő rétegszerű térbeli feldolgozást.

A visszatáplálási folyamat szerves és markáns része a mélységi póruster-hasznosításnak. Maga az eljárás meglehetősen komplex, mind műszaki mind jogi mind környezetvédelmi szempontból. Sikeres visszasajtolás esetén megelőzhető a nagy területet érintő nyomáscsökkenés, és a póruster-hasznosítások élettartama is jelentősen megnő. Más esetekben a cél a vízlikvidálás, amikor a visszasajtolás a felszíni elszennyeződés (vízkémiai és hő) elkerülését szolgálja.

A póruster-hasznosítás rendszerszintű kezelését a közelmúlt és a jelenkor igényei hívták életre. A póruster, mint (nemzeti, helyi) vagyon gondolata szakmai körökben kezd gyökeret eresztetni, és a nemzetközi tendenciák alapján már látni, hogy a mélységi pórushasználatok térfogati végességükből kifolyólag jövőbeni konfliktusok, érdekellentétek ütközőzónájává válhatnak. Az időben és körültekintően megfogalmazott és koherens jogi háttér szakmailag megtámogatva, megfelelő kutatásokon alapuló pórus- és üregtér-gazdálkodással a konkurens használatokat kölcsönösen előnyös helyzetűvé teheti.

Más cégekkel és intézményekkel együttműködve, szakértőkkel konzultálva jutottunk el a végső verzióig, amit utólag is hálásan köszönünk. A szénhidrogén-termeléssel összefüggő visszasajtolások megismerésében több olajos cég is közreműködött, de elsősorban a MOL Nyrt. nyújtott lehetőséget a többszöri párbeszédre, és adott számos szakmai segítséget. A szénhidrogénipar involválása nagy mérföldköve volt a projektnek, melynek jelentősége a közös platform, szóhasználat kialakítása és egyes módszerbeli eltérések egyeztetése volt, pl. a vízlíkvidálások terén.

## **2. Irodalmi összefoglalás a termálvíz visszasajtolásával kapcsolatban**

Hazánk kedvező geotermikus adottságokkal rendelkezik, különösképpen a Dél-Alföldön. Mind a negyedidőszaki, mind a hagyományos értelemben vett felső-pannoniai vízadó képződmények itt érik el legnagyobb vastagságukat, ezért az ország legjelentősebb hévíztároló területének tekinthető. Magyarország hévízkútataszterében a 2019. év végi adatok szerint az 1699 kataszterezett termáلكútból 1204 kút üzemel, ebből 250 kút energetikai célú termeléshez kapcsolódik, amiből 62 van visszasajtolóként kataszterezve.

A termálvizet, vagyis a 30 °C-nál melegebb felszín alatti vizet, Magyarországon gyógy- és rekreációs fürdőket tápláló vízként és fűtési célra nagy mennyiségben használják. Termelése, felhasználása és használata utáni elhelyezése, visszasajtolása során fellépő környezeti, ill. technológiai problémák (pl. gyógyhatású komponensek koncentrációjának csökkenése, a visszasajtoló víz és a tároló kőzet közötti kölcsönhatás) megelőzése, mérséklése megköveteli a termálvíz geokémiájának ismeretét, megértését (Horváth et al. 2004).

A nemzetközi gyakorlat alapján meghatározhatóak (Nádor et al. 2000) a fluidumbesajtolás általános követelményei:

- nem veszélyeztetheti a felszín alatti környezeti elemek különösen a felszín alatti vizek jelenlegi és jövőbeli mennyiségi és minőségi viszonyait;
- nem járhat kockázatos anyag, vagy annak lebomlása esetén ilyen keletkezésű kiváltó közeg bevezetésével a felszín alatti kőzetekbe;
- adott szennyezettségi határértéknél kedvezőbb földtani közeg esetén csakis annak állapotmegőrzésével végezhető; nem eredményezheti a felszín alatti befogadó rendszer (befogadó rezervoár) által már meghatározott szennyezettségi határértéknél kedvezőtlenebb állapot létrehozását;
- csak ellenőrzött körülmények között, hatósági engedély birtokában, monitoring és jelentési kötelezettség mellett folytatható;

- a bekövetkezett, határértéket meghaladó szennyezettség esetén kármentesítést, illetve rekultivációt kell végezni;
- a kármentesítési kötelezettség elmulasztása, vagy határidőre való teljesítésének elmaradása esetén a kötelezett bírsággal sújtható.

A geotermikusenergia-hasznosítások egy része EGS-technológiát (Enhanced Geothermal System) használ a földkéreg hőtartalmának elektromos árammá alakítására. Ezt korábban a természetes, vízbázist nem érintő HDR-technológia (Hot Dry Rock) alapozta meg. Az EGS-rendszerben a besajtoló kúton keresztül lejuttatott fluidumot forró komplexumban, mesterségesen kialakított repedésrendszeren keresztül cirkuláltatjuk, majd termelő kúttal felszínre hozzuk.

Az EGS-technológiához szorosan fűződő hidraulikus rétegrepsztes felszín alatti hatásainak vizsgálatát (Nádor et al. 2015) végezte, amelyben 2 pilotterületet (Derecskei-árok, Battonyai-hát) vizsgált részletesen. Megállapította, hogy a repesztési tartományból történő eláramlás (szennyező anyag terjedésének kockázata) kicsi, mivel egyrészt a megrepesztett réteg záródásra hajlamos, másrészt a víztestek és a repesztéssel érintett térrészek között jelentős a vertikális távolság.

Az indukált szeizmicitás kockázata szintén elhanyagolható, mert a több kilométer vastagságú üledék tompítja/elnyeli (Nádor et al. 2015). A pilotterületeken kívül, más geológiai felépítésű területen azonban a szeizmikus monitoring kiépítésének vizsgálata indokolt lehet. A geotermikus védőidomhoz hasonlóan javasolta a „repesztési védőidom” bevezetését, amely az érintett réteget mind horizontális, mind vertikális irányban lehatárolhatóvá teszi.

## 2.1. Magyarország vízgyűjtő-gazdálkodási tervei

A vízkészlet-gazdálkodási tervek 6 évente készülnek a teljes ország felszíni valamint felszín alatti víztestekre. A 2000/60/EK Víz Keretirányelv (VKI) 2000. december 22-i hatályba léptetésével a VKI előírásai jogi keretet adnak az Európai Unió tagállamainak a szárazföldi felszíni és felszín alatti vizek, valamint az átmeneti vizek védelméhez. A VKI végrehajtásának első lépéseként Magyarország első vízgyűjtő-gazdálkodási terve (VGT1) 2010 áprilisában készült el. A 2015. év végére elkészült ennek első, korszerűsített, felülvizsgált változata, a VGT2. Jelenleg a VGT3, azaz a második felülvizsgálat vitaanyagának közzététele történt meg. Ez nyilvános, bárki által véleményezhető dokumentum, melyből kiemelünk pár információt a monitoringrendszerekkel kapcsolatosan mind a felszíni, mind a felszín alatti vizek tekintetében. (A VGT-k keretében elvégzett tanulmányoknak és térképi, illetve táblázatos mellékleteknek, függelékeknek a gyűjtőhelye a [www.vizeink.hu](http://www.vizeink.hu) honlap, melyről letölthetőek az anyagok.)

*„Magyarországon a felszíni és felszín alatti vizek mennyiségi és minőségi állapotának nyomon követését, és a gyűjtött adatok szolgáltatását több szervezet végzi (Vízügyi Szolgálat, MBFSZ, kormányhivatalok) Ezen adatok létfontosságúak a lehetséges vízkáresemények előrejelzéséhez, értékeléséhez, minimalizálásához, a vízi környezet megóvásához és szükség esetén a védekezés és a megfelelő javító intézkedések meghozatalához.*

*A magyarországi **felszíni** mennyiségi (vízrajzi) mérési, mintavételi-hálózatot eredetileg a*

vizek különböző célú – általában a hálózat nevében foglalt, pl. árvízi, üzemi, országos, regionális, törzs, havária, stb. – jellemzésére alakították ki. A Felszíni Vízirajzi Monitoring hálózat által gyűjtött mennyiségi adatok:

- Vízállás
- Vízhőmérséklet
- Vízsebesség
- Vízhozam
- Jégviszonyok
- Hordalékviszonyok
- Csapadék (szilárd és folyékony halmazállapotú)
- Párolgás.

A VKI szerinti vízminőségi monitoring-rendszer 2007-től lett bevezetve. Az alapvetően fizikai, kémiai és hidrológiai orientáltságú hagyományos rendszer kibővült a VKI szerinti biológiai vizsgálatokkal is. A VKI monitoring keretében végzett biológiai vizsgálatok a következő élőlénycsoportok minőségi és mennyiségi viszonyaira terjednek ki:

- lebegő életmódot folytató algák (fitoplankton),
- makroszkopikus (szabad szemmel látható) vízi lágyszárú növényzet (makrofita),
- aljzaton, vagy egyéb szilárd felületen bevonatot képző algák (fitobentosz),
- fenéklakó makroszkopikus vízi gerinctelenek (makrogerinctelenek, makrozoobentosz),
- halak.

A biológiai mérések módszertana érvényes szabványokon, valamint nemzetközi és hazai szakértői módszerek alapján lett kidolgozva. Ezen túlmenően a teljesség igénye nélkül még hidromorfológiai, a biológiai monitoringot támogató fizikai-kémiai monitoring is történik. A felszíni monitoring szétkülönül feltáró, operatív és vizsgálati monitoringra.

A felszín alatti vizek monitoringjának kiemelt fontosságát az adja, hogy ivóvizünk 93%-a – ha a parti szűrésből eredő készleteket is ide számoljuk – felszín alatti vízből származik.

A **felszín alatti vizek** vízügyi igazgatási szervek által végzett mennyiségi monitoringját 2011.XII.31-ig „a vízügyi igazgatási szervezet vízrajzi tevékenységéről” szóló 22/1998. (XI. 6.) KHVM rendelet, ezt követően közel három évig „a vízrajzi feladatok ellátásáról” szóló 146/2011. (XII. 23.) VM rendelet szabályozta, majd 2014. októberi hatálybalépésétől napjainkig, a 45/2014. (IX. 23.) BM rendelet határozza meg a mennyiségi monitoring főbb elemeit és elvárásait.

Az egyes vízrajzi elemek észlelésének és mérésének szabályait (a felszín közeli és a felszín alatti vizek szintjének és hőmérsékletének országos szintű egységes elveken nyugvó és azonos módszerek alkalmazásával történő mérését) egy műszaki előírás-sorozat (ME-10-231-xx) tartalmazza. A mérendő elemek köre döntően a hazai vízkészlet-gazdálkodási igényeken alapszik (pl. források vízhozama, belvizes területeken talajvíz kutak vízszintje, vagy termálvíz kutak nyomásszintje, valamint hidrometeorológiai mérések).

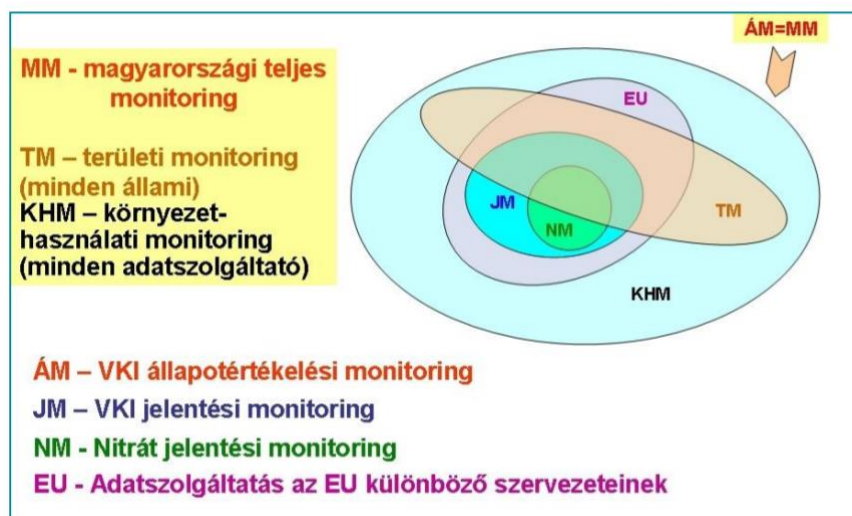


A hálózat kialakítása, a mérések gyakorisága is e fent említett céloknak megfelelően történt. A felszín alatti mennyiségi monitoring hálózat a vízkészlet meghatározásához szükséges törzsállomásokból, helyi jelentőségű üzemi állomásokból, és a távlati vízbázisok megfigyelőkútjaiból tevődik össze.

Vízszintet több mint 5000 ponton, vízhozamot pedig összesen 66 forráson mérnek az országban. Az állami monitoring hálózat jelentős részét a VIZIG-ek üzemeltetik, míg a Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat (MBFSZ) 136 kút észlelését végzi. A felszín alatti készletből kitermelt víz mennyiségére vonatkozó adatok szolgáltatása külön törvényi háttér és rendszer alapján az „engedélyes” üzemi adatszolgáltatók feladata. Az „üzemi adatszolgáltatók” által beküldött termelési és megfigyelési információk számban is jelentősek. 2019-ben közel 1300 adatszolgáltató több mint 12000 adatlapot küldött be központi feldolgozásra.”

A felszín alatti vizekre vonatkozó VKI monitoring követelményeket a felszín alatti vizek vizsgálatának egyes szabályairól szóló 30/2004 (XII. 24.) KvVM rendelet foglalja össze. E szerint a felszín alatti monitoring rendszer két alrendszerből épül fel. Az egyik az állami és önkormányzati felelősségi körbe tartozó, a közérdek mértékével arányban álló részletességű és sűrűségű, ún. területi (feltáró) monitoring, a másik a környezethasználók által végzett mérésekre épülő környezethasználati monitoring.

A felszín alatti monitoring komplex rendszerét mutatja be az 1. ábra.



1. ábra A felszín alatti monitoring szervezeti rendszere

Jelen K13 feladatrészen a termálvíztestek monitorozási lehetőségének fejlesztését vizsgáljuk, melyhez prioritást adhat a VGT-minősítés, azaz első körben a problémás térségek monitoringját szükséges fejleszteni.

Az alábbi táblázat (**Hiba! A hivatkozási forrás nem található.**) még véglegesnek nem tekinthető víztestminősítéseket mutatja a VGT3-ban. Gyengébb minősítést kapott: a túltermelés jeleit mutató két alföldi porózus termálvíztest, míg a karsztos termálvíztestek közül az elzárt, közvetlen utánpótlással nem rendelkező Büki és Szabadbattyáni víztestek.

1. táblázat Termálvíztestek VGT3 szerinti összesített minősítése (2021.február 28-i állapot)

VIZIG kód	Víztest jele	Víztest neve	Víztest típusa	VGT3 a víztest összesített minősítése MENNYISÉGI	VGT3 a víztest összesített minősítése KÉMIAI	A VÍZTEST MINŐSÍTÉSE
NYUDU	kt.1.10	Sárvári termálkarszt	kt	jó	jó	jó
NYUDU	kt.1.11	Büki termálkarszt	kt	gyenge (vízmérleg)	gyenge (intrúzió)	gyenge
ÉDU	kt.1.2	Észak-dunántúli termálkarszt	kt	jó	jó	jó
KDV	kt.1.3	Budapest környéki termálkarszt	kt	jó	jó	jó
ÉDU	kt.1.4	Esztergomi termálkarszt	kt	jó	jó	jó
KDV	kt.1.5	Nógrádi termálkarszt	kt	jó	jó	jó
KDT	kt.1.6	Szabadbattyáni termálkarszt	kt	gyenge (süllyedés)	jó	gyenge
NYUDU	kt.1.7	Közép-dunántúli termálkarszt	kt	jó	jó	jó
DD	kt.1.8	Mecseki termálkarszt	kt	jó	jó	jó
DD	kt.1.9	Dél-Baranya, Bácska termálkarszt	kt	jó	jó	jó
ÉM	kt.2.1	Bükki termálkarszt	kt	jó	jó	jó
ÉM	kt.2.3	Sárospataki termálkarszt	kt	jó	jó	jó
ÉM	kt.2.5	Recsk-Bükkszék termálkarszt	kt	jó	jó	jó
DD	kt.3.1	Harkány és környezete termálkarszt	kt	jó	jó	jó
NYUDU	kt.4.1	Nyugat-dunántúli termálkarszt	kt	jó	jó	jó
ÉDU	pt.1.1	Északnyugat-Dunántúl porózus és hasadékos termál	pt	jó	jó	jó
ADU	pt.1.2	Nyugat-Alföld porózus és hasadékos termál	pt	jó	jó	jó
ATI	pt.2.1	Dél-Alföld porózus és hasadékos termál	pt	jó, de fennáll a gyenge állapot kockázata (süllyedés)	jó	jó, de fennáll a gyenge állapot kockázata
KÖTI	pt.2.2	Észak-Alföld porózus és hasadékos termál	pt	jó, de fennáll a gyenge állapot kockázata (süllyedés)	jó	jó, de fennáll a gyenge állapot kockázata
KÖ	pt.2.3	Délkelet-Alföld porózus és hasadékos termál	pt	jó	jó	jó
TI	pt.2.4	Északkelet-Alföld porózus és hasadékos termál	pt	jó	jó	jó
ÉM	pt.2.5	Északi-középhegység medencéi porózus és hasadékos termál	pt	jó	jó	jó
DD	pt.3.1	Délnyugat-Dunántúl porózus és hasadékos termál	pt	jó	jó	jó

A nagy kiterjedésű porózus víztestek esetében fontos lenne a regionális hatásokra reprezentatív észlelőkutak létesítése, melynek mentesnek kellene lennie a lokális termelési hatásoktól.

Az elzárt, forrással nem rendelkező termálkarsztokon sok esetben nem remélhető önálló észlelőobjektum telepítése, viszont ebben az esetben szükséges a termelőobjektumok nyugalmi és üzemi vízszintjeit felhasználni, valamint egyes esetekben a nem javítható állapotot is el kell fogadni. Ez utóbbi esetben vízbányászatról beszélünk.

## 2.2. Korábbi pilotprojektek a monitorozás témakörében

Szlovénia és Magyarország közös, határon átnyúló, geotermális rendszer jellemzéséhez geológiai, hidrogeológiai, geotermális, hidrogeokémiai és numerikus áramlási vizsgálatok és tanulmányok (Prestor et al. 2011; T-JAM) alapján elkészült a határon átnyúló porózus termálvíz áramlási modellje és a közös felszín alatti termálvíztest lehatárolása, melyek alapján javaslattétel történt a közös Mura–Zala felszín alatti termálvíztest készletgazdálkodására és monitorozására.

A Mura–Zala, határokkal osztott termálvíztestre vonatkozó környezeti célkitűzés a határ mindkét oldalán, annak jó állapotának fenntartása, azaz a jelenlegi állapot romlásának megakadályozása. Ennek érdekében az alábbi javaslatok fogalmazódtak meg:

- Körültekintő magatartás a további vízjogi engedélyek kiadásakor (pl. kölcsönös jelentési kötelezettség, kritikus vízszintérték és kritikus vízkivételi érték meghatározása); Közös tudásplatform fenntartása, információcsere, felek tájékoztatása a határ 20 km-es körzetén belüli Mura–Újfalu/Zagyva víztartót érintő fúrásokról, míg a meglévő kutak esetében jelentős hozamnövelésről.
- Monitoringjavaslatok és annak megosztása az érintett felekkel.
- A jelenlegi jelentős vízkivételek 10-15 km-es körzetében további vízkivételek engedélyezése nem ajánlott, ezt “korlátos terület”-ként javasolt kijelölni;
- A korlátos területen belül a maximális kivehető vízmennyiséget az igénybevételi határérték (“Mi”) figyelembevételével kell meghatározni, és/vagy néhány reprezentatív (a termelő kúttól távol) vízszintfigyelő kutat kell létesíteni, és tranziens vízföldtani modellezés segítségével meghatározni a kritikus vízszint értékét.

A TRANSENERGY (Transboundary Geothermal Energy Resources of Slovenia, Austria, Hungary and Slovakia) projekt (Rotár-Szalkai et al. 2013) a felsorolt négy ország geotermikusenergia-forrásait vette számba – hasonlóan a KEHOP K13 munkafázisához – pilotterületi modellezésekkel, vízgeokémiai és hidrodinamikai elemzésekkel. A vizsgálat sorozat mind a porózus, mind a karsztos vízáradókat figyelembe vette hidrodinamikai vizsgálataiban illetve modellezéseiben. A pilotterületek Komárom-Sturovó (karsztos), Bükfürdő–Lutzmannsburg–Zsira–Sárvár (karsztos repedezett vízáradók), Kisalföld (porózus), Bécsi-medence (porózus és karsztos, alaphegységi) és Bad Radkersburg–Hódos (termálkarszt) voltak. Ezen felül egy térségi szupramodell is készült, amelyben mind a két fő áramlási rendszer (karsztos-repedezett alaphegységi és a medenceüledékek (porózus)) benne foglaltatott.

A hidro-geotermális rendszerek monitoringja környezeti célok teljesítésére összpontosít: a vízigények fenntartható kielégítésére anélkül, hogy hosszan tartó minőségi és mennyiségi változások következzenek be a víztartókban. A méréseknek megbízható adatokat kell szolgáltatniuk a geotermikus létesítmények energia-hozzájárulásáról, például a tömegáramról és a hőmérsékletről, amelyek különböző koncepciókat és más típusú paramétereket igényelnek.

A geotermikusenergia-hasznosítás szempontjából készült monitoring a rezervoár fizikai változásait méri, míg a környezeti mérések információt szolgáltatnak a természetes rendszer reakciójáról a vízkivétel és az emisszió stresszére, valamint a hasznosítás hatékonyságáról. Mindkét monitorozási típus a következő méréseket tartalmazza:

- a termelő kutak üzemelési múltja,
- a termelt fluidum entalpiája vagy hőmérséklete,
- a termelő kutak kútfejnyomása (vízszintje),
- a termelt víz/gőz kémiai összetétele,
- a visszasajtoló kutak működésének előzményei,
- a visszasajtoló víz hőmérséklete,
- a visszasajtoló kutak kútfejének nyomása (vízszint),
- a rezervoár nyomása (vízszintje), hőmérséklete a megfigyelő és visszasajtoló kutakban és
- a kút állapota kútgeofizikai mérések alapján.

A mennyiségi és minőségi monitoring általában nemzeti szinten jól szabályozott, különféle jogszabályokon keresztül részletes rendelkezésekkel a paraméterekről, a mérések gyakoriságáról és a jelentéstételi kötelezettségekről. Ennek ellenére jelentős a különbség mind osztályozásban mind terminológiában a TRANSENERGY országokban, ami még a szakértők körében is különböző értelmezésekhez vezet. Például Magyarországon a „területi monitoring” országos szintű ellenőrzésre utal, amelyet az állam, az önkormányzatok vagy más állami szervezetek irányítanak. Sűrűsége és a mérések részletei arányosak a közérdek mértékével. A felhasználók által végzett ellenőrzést „környezeti hatás monitoringjának”, míg Szlovéniában ezt „operatív megfigyelésnek” nevezik. Az EU vízügyi keretirányelve és a magyar szabályozási keretrendszer szerint azonban az „operatív monitorozás” olyan monitoring, amelyet a veszélyeztetettnek minősített víztestek állapotának meghatározására és az intézkedési program eredményeként bekövetkezett változások nyomon követésére használnak.

Megállapították, hogy a termálvízkészletek monitorozása nem elégséges a résztvevő országokban. Csak néhány (ha egyáltalán van) megfigyelő kút része a „nemzeti” megfigyelőrendszereknek, amelyek megbízható információkat szolgáltatnának a tározó tényleges statikus állapotáról. Az aktív, termelő kutak üzemeltetői általi monitoring működik ugyan, de ezeknek hiányzik a regionális szintű integrált értékelése.

Nádor et al. 2015-ben foglalkozott a rétegrepszítés kérdéskörével, különös tekintettel a biztonsági kérdésekre. A rétegrepszítés környezeti hatásai kapcsán külön fejezetben került szó a vízföldtani, szeizmikus, mikroszeizmikus monitoringtevékenységek fontosságáról.

Külön tárgyalja a visszatermelt repesztő folyadék monitoringját, mely során természetes komponensek (hidrogén-szulfid, nitrogén, hélium, nyomelemek: higany, arzén, ólom, radioaktív elemek: rádium, tórium, urán) –az adott közettípustól függően – a repesztő folyadékba beoldódva, a felszínen környezeti kockázatot jelenthetnek. A szennyeződés potenciálisan az alábbi útvonalakon érheti el a sekély vízáradókat (ivóvíz):

- fúrás mentén (béléscső, vagy cementpalást mentén),
- felszínről (tárolt repesztő folyadék),
- gáz/szennyező anyag migrációja természetes törésvonalak mentén,
- gáz-/szennyezőanyag-migráció indukált törésvonalak mentén.

Jelen vizsgálataink és az akkori tanulmánykötet fontos pontjaiban átfedések vannak, így indokolt hosszabban idézni: *"A hagyományos szénhidrogén-tároló környezetében található víztározó rétegek (vízbázisok) szempontjából maga a szénhidrogén-termelvény veszélyes szennyező anyagnak számít. A szénhidrogének vízbázisbeli megjelenésén azt a szénhidrogént értjük, amely bekerülhet a fúrás termelvényébe, vagy a csövezés körül lévő gyűrűstérbe, ezért a harántolt rétegekben tárolt, vagy azzal hidrogeológiai összefüggésben levő rezervoárookban található szénhidrogén vízbeszerzési szempontból potenciális szennyező forrás. Nem konvencionális szénhidrogének esetében minderről nem beszélhetünk, hiszen a nem-hagyományos szénhidrogének előfordulási mélységében és a jellemzően alacsony áteresztőképességű kőzetekben (tipikusan 3500 m alatt) vízbázisok már nincsenek. Általánosságban a szénhidrogéntelepek felett kialakuló geokémiai szóródási udvar tartalmaz szulfidokat is. A telep feletti részek arzénszennyeződése kialakulhat a hibás cementpalást miatt, mivel rövidzárlat jön létre a víztartó rétegek és az arzént tartalmazó záró kőzetek, agyagpalák között. A rosszul palástcementezett fúrás felszíni eredetű szennyezéseket is lejuttathat az ivóvíz tározó rétegekbe, így azok fokozott veszélyforrásnak számítanak. A letermelt szénhidrogén-telepekben, az ipari szempontból meddő rétegekben is lehet annyi gáz, hogy ezt a területen létesítendő vízfúrások kútkiképzése során figyelembe kelljen venni. A felszíni szennyezések a mezőgazdasággal, bányászati tevékenységgel, kommunális szennyvizekkel, közlekedéssel vagy egyéb talajszennyező tevékenységgel kapcsolatosak lehetnek. Magyarországon hidrogeológiai szempontú diagnosztikai vizsgálat a rétegrepesztés esetleges káros hatásainak detektálására még nem készült. A szakirodalmi szerzők egyöntetű állásfoglalása szerint a rétegrepesztés legnagyobb biztonsági kockázatát az elhanyagolt, tönkrement palástcementezésű mélyfúrású kutak, kutatófúrások jelentik. Ebből következően a vízföldtani monitoring fontos eleme a területen található fúrások, kutak számbavétele (indokolt esetben akusztikus cementpalást - CBL vizsgálata, ami ismételt is lehet) és mintavételre történő alkalmasságuk tisztázása.*

*A nagy felszíni kiterjedésű szénhidrogén-termelő telepek esetében, különösen vizes élőhelyek környezetében, ahol jelentős építési, felvonulási munkálatok zajlanak, ill. a szilárd vagy folyékony szennyezőanyagok tárolása jelentős és időben elhúzódóan megy végbe, a sekély, talajvízre orientált vízföldtani monitoring indokolt. Ehhez felhasználhatóak a magyarországi talajvíz-észlelőhálózat kútjai is, esetenként újak kiképzése (tekintve egy talajvízkút kiképzésének fajlagos költségét) az áramlási viszonyok figyelembe vételével.*

*Tekintve a mélyfúrású kutak (> 1500 m) kiképzésének nagy fajlagos költségét többlet kút fúrása monitoring céljából csak eseti döntésként fogadható el, általános érvényűként nem. A megfontolás tárgya elsősorban a legközelebbi vízáadó közelsége, a repesztendő térrész és a víztest közötti összletek vízzárósága, a bennük esetlegesen felújuló vetőrendszer kialakulásának kockázata stb.*

*A biztonsági értékelés és a monitoringhálózat kialakítása során szükséges számba venni a lehetséges áramlási útvonalakat is. A maximum  $10E-7$ – $10E-8$  m/s vertikális szivárgási tényezővel rendelkező rétegösszletekben rendkívül lelassult áramlással számolhatunk, így a rétegrepesztések földtani védelme általában biztosított, viszont a helytelen kiképzésű vagy tönkrement palástcementezésű kutak közvetlen kapcsolatot hozhatnak létre. Objektum szempontú diagnosztika a kutatási területen, a repesztés előtt felvett vízkémiai háttér, majd a repesztést követő repesztőfolyadék-specifikus vízkémiai monitoring indokolt.*

*A hidraulikus rétegrepesztés Magyarországon az eddigi gyakorlat szerint az ivóvíz és termálvíz víztartók-víztestek alatt jelentős mélységben történt. A vízkészlet-gazdálkodási tervben a mélységi víztestek mélység felé történő lehatárolása nem egyértelműsített és nem tekinthető egzaktnak. Általános szabályként érvényes, hogy a hideg mélységi (porózus, karszt) víztestek alsó határa a 30 °C-os izoterma. Ezek alatt a porózus és karszt termálvíztestek húzódnak, amelyek azonban nem fedik le az egész országot (pl. a hideg karsztos víztestek alatt nincs kijelölt termálvíztest és repedezett termál víztest sem került lehatárolásra, kismértékű relevanciája okán).”*

Összefoglalva megállapítható, hogy a felszín alatti térrészbe való beavatkozásokat alapvetően földtani gát megléte mellett szükséges végezni a szomszédos ivó- és termálvízbázisok védelme érdekében. A vertikális kapcsolat gyorsított pályán való létrejöttének lehetséges oka a fúrások, kutak palástcementezésének meghibásodása, mely monitorozható, illetve ellenőrizhető folyamat.

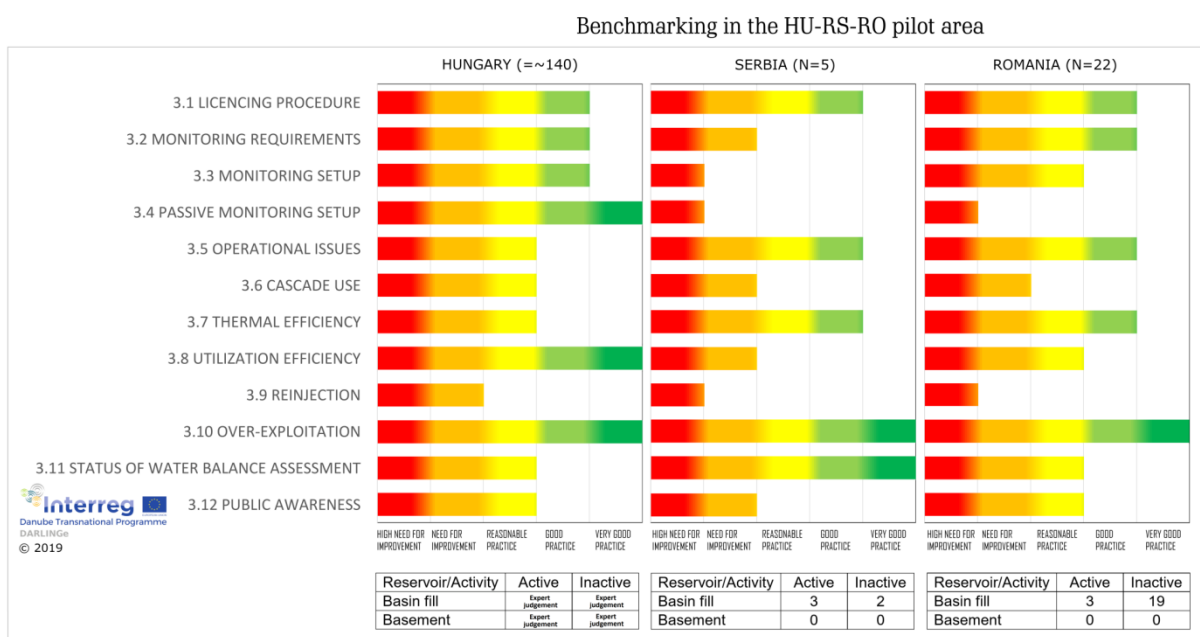
A DARLINGE projekt (Nádor 2019) során a dél-magyarországi (és a kapcsolódó határon túli területekkel kiegészített) térrész geotermikus hasznosításának és potenciáljának az értékelése történt meg. Ennek része volt a geotermikus adatok mélységszint szerinti vizsgálata, a hasznosítások számbavétele. A geotermikus értékelés *Benchmarking*-módszerrel történt. A módszer a geotermikus célú, felszín alatti víz menedzsmentállapotának számszerűsítésére, és különböző szintű, egységes és harmonizált módon történő összehasonlítására is alkalmas. Alkalmas több, egymással akár konkurens – felszín alatti víztermeléssel járó – póruster-hasznosítás és/vagy szomszédos országok azonos víztartóinak vízhasznosításának elősegítésére, az engedélyezési eljárások segítéséhez. Összesen négy indikátortípus és 12 indikátor került kijelölésre. Az egyes benchmark-típusokhoz tartozó indikátorokat, az adatgyűjtés és adatértékelés szintjét a 2. táblázat ismerteti.

Az értékelés egyszerű képletek, pontszámok, konkrét értékek vagy metaadatok alapján végezhető el, indikátoronként 5 kategóriába (a leggyengébbtől a legjobbig) csoportosítva.

2. táblázat Az egyes benchmark típusokhoz tartozó indikátorok, az adatgyűjtés és adatértékelés szintjeivel

Benchmark indikátor típusa	Benchmark indikátor neve	Adatgyűjtés legkisebb szintje	Adatértékelés szintje
Menedzsment	Engedélyezési eljárás	Ország	Ország
Menedzsment	Monitoring követelmények	Ország	Ország
Menedzsment	Monitoring működése	Objektum (kút)	Site
Menedzsment	Megfigyelőkutak	Objektum (kút)	Vízartó/Régió
Technológia & energia	Üzemelési kérdések	Objektum (kút)	Telep
Technológia & energia	Kaszád hasznosítás	Telep	Telep
Technológia & energia	Hőhasznosítási hatékonyság	Objektum (kút)	Telep
Technológia & energia	Hasznosítási hatékonyság	Objektum (kút)	Telep
Környezet	Visszatáplálás	Objektum (kút)/ Telep	Telep
Környezet	Túltermelés	Telep	Telep
Környezet	Vízháztartás számítás típusa	Objektum (kút)/Site	Telep
Társadalom	Társadalom tudatossága	Telep	Telep

A battonyai mintaterületet is magába foglaló magyar-szerb-román pilotterület benchmark-értékelésének eredményét a 2. ábra szemlélteti.



2. ábra A DARLINGe magyar-szerb-román pilotterület benchmark-értékelésének eredménye

Az értékelés eredményeként megállapítható volt, hogy a menedzsment alapvetően jónak tekinthető Magyarországon és Romániában, míg Szerbiában fejlesztendő. Az engedélyezési eljárások jellemzően jók, viszont időigényesek, és a hatóságok gyakori átszervezése nehezíti, lassítja a folyamatokat. Úgy a monitoringkövetelmények, mint a monitoring üzemeltetése Szerbiában fejlesztést igényelnek. Az is kirajzolódott, hogy ugyan Magyarországon és Romániában is meglehetősen rendszeres a monitoring üzemeltetése, szigorúbb megfigyelésekre lenne szükség, ahol a túltermelés előjelei tapasztalhatóak. Jó példa a romániai eljárás, ahol a hatóságok nem csak begyűjtik, hanem el is kell, hogy fogadják a benyújtott monitoringjelentéseket. Kiemelhetjük, hogy nagyon jó működési gyakorlat jellemzi a magyarországi felszín alatti víz megfigyelőhálózatait, míg a két szomszédos országban jelentős fejlesztés szükséges e területen.

A technológia- és energiaindikátorok összegző értéke a közepes–elfogadható gyakorlat kategóriájába esett. Az üzemeltetési kérdések általában rendben vannak, mivel azok a tulajdonos érdekében állnak. Ugyanakkor megjegyezzük, hogy például gyakran további, a víztermelés melletti gázhasznosítási lehetőségek lennének. A romániai és szerbiai felmérések során a gáztartalom tekintetében nem-hasznosíthatónak minősítették a termelt vizeket, ezért látszólag jobb indikátorértékek álltak elő. A kaszkádkasznosítás Magyarországon lassan terjed, de jelentős fejlesztési lehetőségek vannak mindhárom országban. Jelenleg nemzeti, vagy Európai Unió források nem állnak rendelkezésre több szektoron átívelő kombinált termálvíz-hasznosításra. A hőhasznosítási hatékonyság a magyar mintaterületen körülbelül 51%-ra becsülhető. Ez az érték 80 °C kifolyóvíz-hőmérséklet és 45 °C használt, kibocsátott víz-hőmérséklet alapján értendő, szemben a hivatalos 35 °C-os kibocsátási hőmérsékletértékkel. Utóbbival számolva, 66% lenne a hőhasznosítási hatékonyság értéke, hasonlóan a romániai és szerbiai mintaterületi értékekhez. Sokat javítana a hőhasznosításon a fűtési rendszerek modernizálása, mivel akkor a jelenleginél alacsonyabb bemenő hőmérsékletekkel is lehetne működtetni azokat, gazdaságossá téve ezen elengedett termálvizek további hasznosítását. A hazai hasznosítási hatékonyság (engedélyezett és kitermelt mennyiség viszonya) nagyon jó gyakorlatot mutat, míg a két szomszédos országban fejlesztendő. A hazai jó gyakorlatot segíti, hogy a be nem tartás büntetést von maga után.

A környezeti indikátorok összegző értéke közepes, elfogadható gyakorlatot mutat. A visszasajtolás Magyarországon nem kötelező, ami a kisebb, mint 60%-os indikátorértékben is megmutatkozik. Megjegyezzük, hogy a visszasajtolás mélysége, mennyisége nem ellenőrzött ott sem, ahol működik. A romániai és szerbiai mintaterületen nem volt üzemelő visszasajtolás. Ugyan jelentős termelések vannak a mintaterületen, mindhárom országban nagyon jónak ítélték ezt az indikátort a termálvizek tekintetében. Az Alföld délkeleti részén koncentrált és jelentős termálvízkivételek vannak, ami a VGT3 nyilvános vitára kitett anyagában is tükröződik. A vízháztartás-számítás állapotát a szerbiai mintaterületen nagyon jónak, míg a magyarországi és romániai mintaterületen elfogadhatónak ítélték meg. Egy-két kivételtől eltekintve nincsenek mennyiségi igénybevételi határértékek, a kitermelhető maximumokra szivattyúteszteket alkalmaznak.

A társadalom tudatosságára jellemző, hogy a nagyobb termálvíz-hasznosítók általában nyitottak az adat és információközlésre. A hőmérséklet, vízösszetétel általában közölt a



fürdőknél. Ugyan van néhány jó gyakorlat, mindhárom országban fejlesztendő a társadalom tudatossága.

A DARLINGe projektben, továbbá, közös magyarországi, szerbiai és romániai részterületen fiktív geotermikus kúthármasokon keresztül végzett hasznosítások hatását vizsgáltuk a receptorokban ún. indikatív eredmények által. Termálvíz-monitoringnál mind az észlelőkutak mind a termelő kutak hatásviselő objektumoknak, azaz receptoroknak tekinthetők. A modellvizsgálat lehetővé tette a felszín alatti víztermelés és a hőhasznosítás hatásainak regionális illetve helyi előrejelzését, és válaszokat adott a hasznosítható termálvíz maximális mennyiségére, a várható környezeti következményekre a termelés különböző szintjein (visszasajtolással vagy anélkül) és a határokon átnyúló hatásokra. Elősegíti a konkrét, potenciális, geotermikus helyszín ideális kiválasztását, és kidolgozott módszertanokat (kockázatsökkentés, „decision tree”) a gazdasági szempontok mérlegelésére.

Összegzésül közlünk néhány megfogalmazott elvet a T-JAM projektből a monitoringjavaslatok kapcsán, mely a fent említett projektek mindegyikében többé-kevésbé megfogalmazódott:

*„A határon átnyúló közös monitoring rendszernek túlnyomórészt már meglévő objektumokra kell épülnie. Ennek legfontosabb elemei a már működő monitoring kutak. A létező nemzeti vízmegfigyelő hálózatok azonban csak kevés, a vizsgálni kívánt termálvíztestre vonatkozó megfigyelési helyet tartalmaznak, így a működő termálkutakból származó rendszeres mérések fontos adat- és információforrást jelentenek. A monitoring mérések összehasonlítása és közös kiértékelése csak harmonizált adatfeldolgozás és értelmezés alapján lehetséges. Ez az azonos módszerek alapján végzett megfigyelések alapján lehetséges, amelyet harmonizált jogszabályok írnak elő. Ezért a jogszabályi harmonizáció a közös monitoring egyik alapvető feltétele.*

(...)

*A vízszintek, hidraulikus potenciálok, illetve hőmérséklet mérése során mindezt elősegíti a napjainkban igen elterjedt elektronikus vízszintregisztráló-műszerek alkalmazása. A méréseket a nemzetközi szabványban (ISO5667-22:2010 Guidance on the design and installation of groundwater monitoring points) előírtaknak megfelelően kell végezni.*

*A termálvizek minőségi vizsgálata során a nemzetközi szabványban (ISO 5667-11:2009 Guidance of sampling of groundwaters) előírt, akkreditált vízmintavétel alkalmazása javasolt. A rendszeres mintavételekből származó vízminták elemzését akkreditált laboratóriumban kell végeztetni (ISO/IEC 17025:2005 General requirements for the competence of testing and calibration laboratories). Az akkreditált mintavétel és vízelemzés lehetőséget nyújt az egyidőben–különböző helyeken, illetve az azonos helyen–különböző időpontokban történő vizsgálatok összehasonlítására, a jelentkező változások felismerésére, jellegének és tendenciájának meghatározására.*

*A mérési adatok egyszerűen nyilvánossá tehetőek az internetes portálok és honlapok segítségével, azonban ezek folyamatos karbantartása és üzemeltetése a hiteles tájékoztatás*

*feltétele. Az internet alkalmazásával naprakész információk biztosíthatók nemcsak a szakemberek és döntéshozók számára, hanem a közvélemény részére is elérhetővé és átláthatóvá teszi a termálvíztestek állapotának alakulását.*

(...)

*A közös monitoring rendszernek reprezentatívnak kell lennie.*

(...)

*A közös megfigyelő hálózatot javasoljuk a meglévő monitoring kutakból, illetve a nem-működő termálkutakból kialakítani. A monitoring állomásoknak egyenletes területi eloszlásban kell elhelyezkedni figyelembe véve a vízáramlási irányokat, valamint azokat a területeket, ahol legintenzívebb a hasznosítás, illetve amelyek a legkedvezőbb adottságokkal rendelkeznek.”*

### **3. A termálvizek hasznosításához kapcsolódó jogszabályok**

A jogszabályok áttekintése során két szempontot veszünk figyelembe: egyfelől a felszín alatti víz, mint „receptor” állapotának védelmére vonatkozó szabályok áttekintése, másrészt a felszín alatti vízre nézve potenciálisan szennyező anyagok – mint „pressure” szennyezés megelőzése céljából való – korlátozására vonatkozó szabályok. Ebben a megközelítésben a geotermikus és szénhidrogénipari hasznosítások, a vízvisszasajtolás, mint „driverek” tekinthetők. A hazai jogrendben alkalmazott, a felszín alatti vizek minőségi és mennyiségi állapotát, szennyezéssel szembeni védelmét szabályozó – ennél fogva a termálvizeket érintő hasznosítások, visszatáplálások és a monitoringkövetelmények szempontjából is releváns – jogszabályok a következőkben foglalhatók össze.

A felszín alatti vizek tekintetében az alapvető jogszabályi környezetet az Európai Unió által megalkotott, a vízpolitika egészére kiterjedő Víz Keretirányelv (VKI, 2000/60/EC) jelenti. A Víz Keretirányelv általános rendelkezései megfogalmazzák a környezeti célkitűzéseket a vizek jó ökológiai állapotának elérése és megőrzése céljából. Ennek megvalósításához a felszíni és a felszín alatti vizek mennyiségi és minőségi állapotértékeléseinek (4. cikkely és az V. melléklet), a felszín alatti vizek mennyiségi és minőségi állapotának megfigyelésének (monitorozását) (8. cikkely és az V. melléklet) az irányelveit fogalmazza meg a direktíva.

További meghatározó uniós szabályozó dokumentum a felszín alatti víz szennyezés és állapotromlás elleni védelme (2006/118/EC). A VKI és a felszín alatti víz szerinti tennivalók – úgymint a víztestek kijelölése, a monitoring kialakítása, a mennyiségi és minőségi állapotértékelések, a koncepcionális modellalkotás és kockázatelemzés, a felszín alatti vizektől függő ökoszisztémák vizsgálatai – megvalósítását a VKI és a felszín alatti vizekről szóló irányelv szerint elkészített tematikus, útmutató dokumentumok segítik.

A felszín alatti vizek tekintetében az irányelvek hazai jogrendbe illesztését és harmonizációját *a felszín alatti vizek védelméről* szóló 219/2004 (VII. 21.) Korm. rendelet látja el. A rendelet bevezeti a felszín alatti vizek állapotával, vízkészletével kapcsolatos fogalmakat, úgymint,

természetesháttér-koncentráció, szennyezettségi határérték, Mi igénybevételi határérték, közvetlen bevezetés a földtani közegbe, felszín alatti víz mennyiségi és minőségi állapota (az erre vonatkozó küszöbértékek meghatározása), megfordítási pont, a monitoringpont és monitoringrendszer, szennyező anyag, veszélyes anyag fogalmai. A földtani közeg és a felszín alatti vizek állapotát érintő tevékenységre vonatkozóan a kormányrendelet rendelkezései kiterjednek a felszín alatti vizek mennyiségi védelmére (Mi) és minőségi védelmére (közvetlen szennyező anyagok bevezetésének tilalma, tevékenységek engedélyhez kötése) (10-11. §). A tevékenységek engedélyezésére vonatkozó rendelkezések között a szennyező anyagok elhelyezésére bevezetésére vonatkozó (13. §) feltételeket a Korm. rendelet 4. és 5. mellékletei tartalmazzák. A kormányrendelet szabályozza az adatszolgáltatást, a kármentesítéshez kapcsolódó előírásokat, nyilvántartásokat. Az 1. melléklet tartalmazza a fő szennyező anyagok indikatív listáját, a szennyező anyagok két besorolás szerinti K1 és K2 veszélyességi minősítését. A további mellékletek tartalmazzák a felszín alatti vizek állapota szempontjából érzékeny területek besorolását, az engedélyezésre vonatkozó adatigényeket (törzs és kiegészítő adatok).

*A felszín alatti vizek vizsgálatának egyes szabályairól* kiadott 30/2004. (XII. 30.) KvVM rendelet, a 219/2004 (VII. 21.) kormányrendelet végrehajtási rendelete a hazai jogrendben. A rendelet a felszín alatti víztestek kijelölésével, állapotának jellemzésével értékelésével és változások vizsgálatával, monitorozással, valamint a fentiek felülvizsgálatával, a feladatok végrehajtásához szükséges adatgyűjtéssel, adatfeldolgozással és adatszolgáltatással kapcsolatos kötelezettségeket. A rendelet mellékletei a víztestmonitoring kialakítására vonatkozó szempontokat tartalmazzák, a monitoringpontok kijelöléseinek szempontjait, a mennyiségi és minőségi jellemzésekhez szükséges azon megfigyelési paraméterek körét és vizsgálatuk gyakoriságát, melyek a felügyeleti (alap) monitoring illetve az operatív monitoring részét képezik.

A 219/2004 (VII. 21.) Korm. rendelet szerint a földtani közeg és a felszín alatti víz szennyezéssel szembeni védelméhez szükséges határértékekről és a szennyezések méréséről megalkotott 6/2009. (IV.14.) KvVM-EüM-FVM rendelet tartalmazza a szennyezettségi határértékeket az egyes szennyező anyagokra és anyagcsoportokra vonatkozóan.

*A felszín alatti vizek minőségét érintően további rendeletek tartalmazzák a kötelezettségeket, ezek az ivóvíz minőségi követelményeiről és az ellenőrzés rendjéről* szóló 201/2001. (X. 25.) Korm. rendelet, az *ásvány és gyógyvizek tekintetében a természetes gyógytényezőkről* alkotott 74/1999. (XII. 25.) EüM rendelet valamint a *természetes fürdővizek minőségi követelményeiről, valamint a természetes fürdőhelyek kijelöléséről és üzemeltetéséről* a 78/2008. (IV. 3.) Korm. rendelet.

*A felszín alatti vízbe történő beavatkozás és a vízkútúrás szakmai követelményeiről* a 101/2007. (XII.23.) KvVM rendelet rendelkezik. E rendelet tartalmazza a felszín alatti vizek kitermelésével, visszatáplálásával, dúsításával, továbbá megfigyelésével kapcsolatos vízilétesítményekre (így pl. kutakra, foglalt forrásokra, hévízművekre), valamint vízimunkákra, különösen azok tervezésére, kivitelezésére, üzemeltetésére és megszüntetésére vonatkozó kötelezettségeket. Az elkészült létesítményre vonatkozó dokumentálás és

adatszolgáltatás céljából a rendelet mellékletében meghatározott forma és tartalom szerint kell a kutakról vízföldtani naplót készíteni, melyek alapján a Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat országos kútkatasztert és hévízkútkatasztert vezet. E rendelet tartalmazza a hévíz- és geotermikusenergia-hasznosítást szolgáló vízi létesítményekkel kapcsolatos egyes rendelkezéseket a 10. § és 11. § szerint.

A termálvizek energetikai hasznosítása, valamint a használt termálvizek visszasajtolása során, *a vizek hasznosítását, védelmét és kártételeinek elhárítását szolgáló tevékenységekre és létesítményekre vonatkozó általános szabályokról szóló 147/2010. (IV. 29.) Korm. rendelet az irányadó.* A rendelet kimondja, hogy a kizárólag energetikai célra kitermelt felszín alatti vizet a hasznosítást követően ugyanazon vízadóba lehet csak visszatáplálni. A visszatáplálással engedélyezett vízhasznosítást a hasznosításból kikerülő termálvíznek a visszatáplálástól eltérő ártalommentes elvezetésével, elhelyezésével is folytatni lehet, de figyelembe kell venni a befogadó terhelhetőségét és a legkisebb környezeti terhelésre kell törekedni.

A termálvíz hasznosításához kapcsolódóan, a vízgazdálkodási terv (VGT2) felülvizsgálata során intézkedési javaslatok kerültek megfogalmazásra az alábbiak szerint. A javaslatok kitérnek (1) új kutak fúrásának mennyiségi szabályozására, (2) a termálvizek felhasználására vonatkozó specifikus szabályozási elemekre, mint amilyen az energetikai kihasználtság és hatékonyság (fűtési, fürdő, gyógyászati felhasználás esetén is), (3) a vízkészlet rendelkezésre állása esetleges hozamnövelés esetére, valamint (4) a monitoring céljából beszerzésre és felszerelésre kerülő mérőeszközök kérdésére, ahol további kiegészítések szükségesek. A VGT3 időszakában kitűzött, elérendő célkitűzés a termálvizek energetikai hasznosítása esetén a 40%-os visszatáplálás. Mivel a fürdővizek esetében a felhasználás után a víz kémiai összetétele megváltozhat, bakteriális szennyezettsége nőhet, így a vízadó rétegbe történő visszasajtolást a jelenlegi szabályozás nem engedi. A visszasajtolás így csak a geotermikus rendszerekre vonatkozhat. A geotermikus rendszerek esetében a hő és a nyomáshatások közül a legkedvezőtlenebb folyamat a rétegnyomás csökkenése. Ezért a VGT2 javaslata szerint célszerű lenne a lehetőségek figyelembevételével, a visszasajtolás előírása. A használt termálvizek visszasajtolása egyúttal a felszíni vizek terhelését is jelentősen csökkenti (hő, só és veszélyes szennyezőanyag-terhelés). A termálvíz felszínen történő hasznosítása, különösen a sekélyebb, alacsony sótartalmú vízadókából származó termálvíz esetén folytatható, de alapelv kellene, hogy legyen a visszasajtolás előírása energetikai hasznosítású termálvíz esetén. A VGT2 intézkedési javaslatai alapján, a felszíni vizekbe történő vezetést csak két esetben szabad engedélyezni. Mindkét esetben a termálvíz minőségének meg kell felelnie a befogadóba történő bevezetésre: (1) ha a visszasajtolás műszakilag nem megoldható, vagy aránytalanul költséges, vagy (2) ha a kitermelt termálvíz egy részének műszaki, környezeti és gazdasági szempontokra is tekintettel a felszíni vízkészletként történő hasznosítása kedvezőbb, pl. termálvíz felszíni hasznosítása túltermelt felszíni vagy felszín közeli víztesteket mentesít, például öntözés vagy tavak vízpótlása. Ahol a használt vizek visszasajtolása nem lehetséges, másodlagos hasznosításra kell törekedni, valamint fokozni kell a belső felhasználás (többlépcsős visszaforgatás, vagy kaszkádrendszer) hatékonyságát az energiahatékonyságról szóló törvénnyel összhangban.

A zárt területen történő hasznosítások – mind a fluidumbányászat, mind pedig az energetikai célú, geotermikus hasznosítások – esetében a *bányászatról szóló* 1993. évi XLVIII. törvény (Bt.) és annak végrehajtásáról szóló 203/1998. (XII. 19.) Korm. rendelet az irányadó. A geotermikus energia vonatkozásában zárt területnek minősül az ország egész területén a természetes felszíntől mért 2500 m alatti földkéregrés, illetve meghatározott ásványi nyersanyag – esetünkben a szénhidrogén – kutatása, feltárása, kitermelése céljából lehatárolt, vizsgálati pályázatra kijelölhető terület is. A koncesszióra kijelölt potenciális hasznosításokra vonatkozóan, a koncesszióit megelőzően érzékenységi és terhelhetőségi vizsgálatok szükségesek a 103/2011. (VI. 29.) Korm. rendelet (az ásványi nyersanyag és a geotermikus energia természetes előfordulási területének komplex érzékenységi és terhelhetőségi vizsgálatáról) alapján. A kutatási fázis lezárását követően a bányafelügyelet geotermikus védőidomot jelöl ki.

A *környezeti hatásvizsgálati és az egységes környezethasználati engedélyezési eljárásról* szóló 314/2005. (XII.25.) kormányrendelet (Kvt) 1. sz. melléklete felsorolja a környezeti hatásvizsgálat köteles tevékenységek megnevezését és a hatásvizsgálat küszöbértékét illetve feltételét, többek között a kőolaj-, földgázkitermelés, a felszín alatti vizek igénybevétele vagy a felszín alatti vízbe történő vízbesajtolás tekintetében. A jogszabály alapján a vizekbe történő beavatkozással járó tevékenység esetén a környezeti hatásvizsgálati eljárásban kell igazolni a külön rendeletben rögzített *a vízgyűjtő-gazdálkodás egyes szabályairól* szóló 221/2004. (VII. 21.) Korm. rendelet 10. §-ában és 11. §-ában előírt feltételek teljesülését. A környezetvédelmi felülvizsgálatra vonatkozó szabályozást, — különös tekintettel a dokumentáció tartalmi követelményeire, a 12/1996 (VII.4.) KTM rendelet tartalmazza.

A Víz Keretirányelv a tagállamokban kialakítandó intézkedési programok alapintézkedéseinek részeként (11. cikkely) kimondja a szennyező anyagok felszín alatti vízbe történő közvetlen bevezetésének tilalmát; azonban, lehetővé teszi a geotermikus célokra használt víz visszasajtolását ugyanabba a víztartóba. Feltételek meghatározása mellett, lehetővé teszi a szénhidrogének feltárásából és kitermeléséből származó anyagokat tartalmazó víz visszasajtolását, valamint műszaki célból víz visszasajtolását azokba a földtani közegekbe, ahonnan a szénhidrogéneket kitermelték, vagy olyan földtani közegekbe, amelyek természeti okokból tartósan alkalmatlanok más hasznosításra. A visszasajtolt víz csak a tevékenységekből származó anyagokat tartalmazhatnak.

A 219/2004 (VII.21) Korm. rendelet tartalmazza a visszasajtolásra vonatkozó előírásokat, azonban a VGT2 intézkedési javaslatok a rendeletben foglaltak biztosítására, további előírásokat is szükségesnek tartanak a visszasajtolás, besajtolás tekintetében:

- szénhidrogén-tárolóba, vagy alkalmatlan zárt tárolóba történik,
- az adott tevékenységből származik, és nem tartalmaz az adott tevékenységből származótól eltérő anyagot,
- a felszín alatti vizek szennyezésének megelőzése az elérhető legjobb technika alkalmazásával történik, és
- nem veszélyezteti a környezeti elemek – különösen a felszín alatti vizek – mennyiségi és minőségi viszonyait, a környezeti célkitűzések teljesülését.

#### 4. A visszatáplálás célja, hatásai, lehetőségei és korlátai

A visszatáplálás célja a rétegenergia fenntartása, a felszíni vizek és a felszín alatti vízáadó rétegek szennyeződésének elkerülése, továbbá a hévízgazdálkodás és geotermikusenergia-gazdálkodás hatékonyságának hosszú távú biztosítása, és ezeknek, mint mélységi pórustereknek minél előnyösebb kihasználása. Ezek alapján fontos követelmény az azonos hidraulikai rendszerű és az azonos vízösszetételű vízáadóba való visszajuttatás. Maga az eljárás is meglehetősen komplex feladat mind műszaki, jogi és környezetvédelmi szempontból, de jelentős gazdasági és szocioökonómiai kérdéseket is felvet.

A visszatáplálás szükségességét alátámasztó érvekről általában egyetértés van a szakértők, ágazati jogszabály-előkészítők és az alkalmazók között, azonban azok megvalósíthatóságában, ütemezésükben már eltérőek a vélemények és az érdekek. Ennek oka részben gazdasági, részben technikai, részben földtani-hidrogeológiai.

Jelen összefoglalás a földtani-hidrogeológiai szempontok szerint tekinti át a visszatáplálás lehetőségeit és korlátait a sekélytől a legmélyebb rendszerekig egyaránt, figyelembe véve (a 147/2010. (IV. 29) kormányrendeletet (lásd 3. fejezet). A fentebb leírtak alapján a jogalkotó célja, hogy az energetikai hasznosítás során alapvetően csak a felszín alatti víz hőmérséklete változhat úgy, hogy a kapcsolódó mennyiségi és minőségi változásokat, valamint a hőmérséklet változását a lehető legkisebb térrészre korlátozza. Sikeres visszasajtolás esetén megelőzhető a geotermikus rezervoár hasznosításakor a káros mértékű, nagy területet érintő nyomáscsökkenés, ezáltal fenntartható a rétegenergia. Más esetekben vízlikvidálás történik, amikor a visszasajtolás a felszíni elszennyeződés (vízkémiai és hő) elkerülését szolgálja.

A visszasajtolási folyamat szerves és markáns része a mélységi póruster-hasznosításnak. A póruster-hasznosítás rendszerszintű kezelését a közelmúlt és a jelenkor igényei hívták életre. A póruster, mint (nemzeti, helyi) vagyon gondolata szakmai körökben kezd gyökeret ereszteni, és a nemzetközi tendenciák alapján már látni, hogy a mélységi pórushasználatok térfogati végességükből kifolyólag jövőbeni konfliktusok, érdekellentétek ütközőzónájává válhatnak. Az időben, körültekintően megfogalmazott és koherens jogi háttér szakmailag megtámogatva, megfelelő kutatásokon alapuló pórus- és üregtér-gazdálkodással a konkurens használatokat kölcsönösen előnyös helyzetűvé teheti.

A mélységi pórustereket a következő hasznosítások érinthetik:

- szénhidrogén-kutatás, -termelés, felhagyás, vízlikvidálás, rétegserkentés stb.;
- geotermikus hasznosítás visszatáplálással vagy anélkül; meglévő vagy kialakított, javított (pl. EGS-rendszer) póruster esetében;
- hévízhasznosítás, közvetlen vagy kaszkádos, részben visszatáplált vizekkel (csatolt geotermikus hasznosítással);
- geotermikus, vagy hévízhasznosítás, a vízben lévő vagy a munkafolyadék segítségével oldatba vitt hasznosítható anyagok bányászatával vagy termelésével (ideértve a különleges gyógyvízalkotókat, iparilag hasznosítható anyagokat, sókat, fémeket, pl. lítiumot);
- szénhidrogén-tárolások;

- a CO<sub>2</sub> geológiai tárolásai;
- tisztaszén-technológia pórustereteket érintő folyamatai;
- felhagyott bányászati üreghrendszerek tárolási, hő- és ásványi anyag kinyerési esetei;
- felhagyott bányászati és más mélyépítési üreghrendszerek általi veszélyeztetések, öregségi vizek szennyeződése, védelmi, tisztítási, hasznosítási kérdései.

A visszasajtolási folyamat leggyakoribb esetei a szénhidrogéniparban és a geotermikus hő hasznosításánál jelentkeznek. A pórusterrel történő gazdálkodás jelentősége akkor nyilvánul meg, amikor nem egyszerű vízkivétel történik, hanem a művelet az energiatartalom kinyerésére irányul, ami a rétegyomlás fenntartását, vagyis visszasajtolást igényel.

A Víz Keretirányelv szerinti felszín alatti vizek mennyiségi és minőségi védelme előírja, hogy az abba való beavatkozások ne idézzenek elő tartós vízszintsüllyedést, az ökoszisztémák ne károsodhassanak, a tevékenységek ne idézzék elő kedvezőtlen összetételű vizek térnyerését. Ebből a szempontból a visszatáplálás során nevesített „ugyanazon vízadó” akár tágabban is értelmezhető, mint az ugyanazon litológiai, közettani, rétegtani egység vagy vízgeokémiai zóna. Azonban kérdéses, hogy a további, újabb és újabb vízhasználatok összegző hatása hogyan jelentkezik, amennyiben a visszatáplálás az adott víztermelési helytől távolabbi, és ettől hidraulikailag korlátozottabb kapcsolatban lévő rétegekbe történik, amivel akár a visszatáplálás nélküli helyzetet idézhetik elő. Ez alapján célszerű az „ugyanazon vízadót” úgy értelmezni, hogy az érintett vízadó rétegek (termelt és visszasajtoló vizet befogadó) jó hidraulikai kapcsolatban legyenek.

Az energetikai célú víztermelés követelménye, hogy a kitermeléshez és a visszatápláláshoz szükséges energiabefektetés minél kisebb mértékű legyen. A felszín alatti vizek termelésével felszínre hozott hő egy része a földi hőáramból, más része a kőzetvázban és a vízben tárolt hőkészletből származik. Kedvező hőmérsékletű és jó vízvezető-képességű rezervoárok esetén a cél a tárolt hőkészlet minél jobb hatásfokú hasznosítása a megfelelő távolságra elhelyezett termelő és visszatápláló kútpárok, kútcsoportok telepítésével. A megfelelő távolság azt jelenti, hogy elkerüljük a hasznosítás során a termikus rövidzárat, ugyanakkor kihasználjuk a rendszerben lévő jó hidraulikai kapcsolatot. Egy ilyen, megfelelően optimalizált rendszer kialakítása az állami geotermikusenergia-gazdálkodás alapvető érdeke, hiszen a felszín alatti hővagyonot ily módon lehet a legteljesebb módon kiaknázni. Mindaddig, amíg csak kisszámú és egymástól távoli hasznosítókról van szó, az ugyanazon vízadóba való visszatáplálás alapkövetelmény. Amennyiben a visszatáplálás térben távoli, vagy hidraulikailag korlátozott kapcsolatú vízadóba történik, a kitermelés helyén nem tudja minimalizálni a rétegenergia, azaz a nyomás csökkenését, illetve a betáplálási helyen nem jelentkezik a kitermelés depressziós hatása, így a visszasajtoláshoz többletenergia befektetése szükséges.

A használt termálvizek nem megfelelő módon történő visszasajtolásának, illetve visszatáplálás hiányában okozott környezeti kárának mind minőségi mind mennyiségi hatása is van. Az egyre növekvő mennyiségben kitermelt hévíz hasznosítása után szennyvízzé válik, melynek kezeléséről és elhelyezéséről gondoskodni kell. Az elhelyezés legkörnyezetkímélőbb módja a víz kitermelési rétegbe való visszasajtolása, ez azonban csak abban az esetben

oldható meg, ha a termálvíz zárt körös energetikai hasznosítás után, a külvilággal történő érintkezés nélkül kerül visszainjektálásra. Mivel ez a megoldás balneológiai célú hasznosításkor nem lehetséges, foglalkozni kell a használt hévíz elhelyezési lehetőségeivel és annak hatásaival is. A magas hőmérsékletű, és nagy összes oldottanyag-tartalmú, és egyéb termelt vizek felszíni vízáradókba való elvezetése jelentős károkat okoz a felszíni víztől eltérő vízminőségű hőmérsékletű és ökotoxikológiai határértékeket meghaladó komponenseivel. A szennyvízelvezetéssel kapcsolatos döntéseknél a fejlett európai országoknál a szennyvíz biológiailag lebontható szerves, szennyező anyagait kifejező ún. ötnapos biológiai oxigénigény (BOI<sub>5</sub>) lakosegyenértékben (1 LE = 60 g/fő/nap BOI<sub>5</sub>) meghatározott nagyságát veszik figyelembe. Az eutrofizáció következménye a vizek nagymértékű algásodása, hínárosodása, az iszap rothadása, amelyek miatt a víz oxigéntartalma csökken. Ez az oxigénigényesebb vízi élőlények kipusztulásához vezet. Leginkább a peszticidek, a kőolaj és származékai, a mosószerek, a higany és kadmium veszélyesek. A felszíni vizek fizikai szennyeződése közül leginkább a hőszennyezés emelhető ki, melyet erőművek, ipari létesítmények, valamint termálvíz-hasznosítások okozhatnak. A víz hőmérsékletének emelkedése a biokémiai folyamatok felgyorsulását és a víz oxigénoldó képességének csökkenését eredményezi (Hárs 2006).

A használt hévizek kezelése komplex feladat. A termálvizek sok esetben a magas összes oldottanyag-tartalmuk miatt élővízbe nem vezethetőek, kivéve abban az esetben, ha a bevezetett víz mennyisége a befogadó vízkészletéhez képest elenyésző. Az ideiglenes tárolás a talajban és a talajvízben okozhat szikesedést, a víz kezelése túlságosan drága. A termálvíz felszíni vizekbe történő vezetését vagy ideiglenes tároló és hűtőtavakon keresztül vagy a csatornahálózaton keresztül a szennyvíztisztítón át engedik vissza a természetes vízfolyásokba (Hanz és Garnier 2017).

A megfelelő hatásértékeléshez nemcsak a használt víz minőségi és mennyiségi állapotának ismerete, hanem a befogadó minőségi, mennyiségi és ökológiai ismerete is szükséges. A termálvíz-elhelyezéssel kapcsolatos probléma csökken, ha a víz hőenergiája hasznosításra kerül, és csak lehűlt állapotban kerül a felszíni vízbe, illetve, ha visszasajtolják a mélybe.

A felszín alatti térbe vezetett vizeknél a visszasajtolás során különféle problémák léphetnek fel: tartós rétegyomás-csökkenés, vízminőség-változás, átfertőzés, kolmatáció, termális áttörés vagy a víz, kőzet és gáz közötti kölcsönhatások.

Tartós rétegyomás-csökkenés mutatkozott például Csongrád-Szentes területén (Mátrahalmi, 2011), amelynek oka a termálvíz-utánpótlódás üteménél intenzívebb termelés. Ráadásul az utánpótlódás mintegy 8-10%-a nem rétegirányból, hanem felülről érkezett. Az 1990-ben kezdődő gazdaságosabb víztermelésnek köszönhetően azonban több helyen 4-20 méteres vízszintemelkedés volt tapasztalható. A visszasajtoló kutak számának növekedése elengedhetetlen feltétele a geotermikusenergia-felhasználás növelésének (Szanyi et al. 2009). Bükfürdő és környezetében Csepregi et al. (2006) megállapították, hogy a devon rögben tárolt hévíz nem pótlódik, statikus a vízkészlet, ez okozta a termelés során bekövetkező változást a víz minőségében.



Számos, régóta üzemelő geotermikus mező (Geysers, Larderello, Matsukawa, Cappetti, et al. 1995, Richter 2009, Mineyuki et al. 1991) esetében a visszasajtolással megfordították a csökkenő kitermelési tendenciát. Egy gőzkút hozama 67%-kal növekedett meg a besajtolás hatására.

Káros hatást okozhat, ha a víz, a besajtoló rétegbeli vizek összetételétől jelentősen eltér. Ezek a káros hatások származhatnak a visszatáplált víz határértéket meghaladó komponensei (például magas összes oldottanyag-, nátrium-, klorid-, ammónium-, arzén-, fenol- vagy egyéb szervesanyag-tartalma) miatt, de a gáztalanított, lehűlt víz bakterológiai hatása is káros lehet.

A termelés és visszatáplálás esetleges hatásai nehezítik az idealizált rendszerekről való kép kialakítását. Szegvár és Szentés térségében például, 20 db termálkút vizsgálata alapján (Szongoth 2013; Nagygál 2017) derült ki, hogy a rétegek közötti átfejtődés miatt a nyugalomban lévő kútban is van fluidummozgás a vízáadó rétegek nyomáskülönbsége miatt.

A geotermikus kutak különféle belső áramlási hatásokat mutathatnak, amelyeket a víz, gőz vagy mindkettő áramlása a kútban megnyitott különálló áteresztőképességű zónák között történhet (Grant et al. 1983). Alapvetően kétféle áramlás fordulhat elő: a gyakoribb az interzonális áramlás, amelyben a folyadék egy mélységben belép a kútba, felfelé vagy lefelé áramlik a kútfuratban, és kilép egy második mélységben; vagy a folyadék a kútfuratban kering (belső konvekció). Ezeket a belső áramlási hatásokat leginkább fúróluk nyomás- és hőmérsékleti profiljai alapján lehet kimutatni. Ha egy kútnak egynél több jelentős belépési pontja van, akkor sok esetben folyadék áramlik az áteresztő zónák között. Az ilyen áramlás a kútban felfelé vagy lefelé torzítja a hőmérsékleti profilokat, tehát a mért mélyedési adatok nem a rezervoár hőmérsékleteit tükrözik.

A lezárt kút lehetőséget ad statikus hőmérsékletszelvényezésre, ha már beáll a kútkörnyezet statikus hőmérséklete. Ez a hőmérsékletmérés a termelés mellett mért hőmérséklet-szelvénnyel összehasonlítva rendkívül sok információt ad esetleges átfejtődésekről (Szanyi et al. 2013). Például termelésmentes állapotban átfejtődés van egy magasabban levő (hidegebb) rétegből egy mélyebben levő (melegebb) réteg felé, ami egy hosszabb termelésmentes szünet során megváltoztatja a vízminőséget.

A visszatáplálás során történő kőkiválás, illetve a befogadó rétegben történő kolmatáció is káros hatásként értelmezhető, hiszen csökkenti a visszatáplálás sikerességét. A termálvízben a  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  és  $\text{CO}_2$  mennyiségétől, a nyomás- és hőmérséklet-viszonyoktól függően képződik vízkő (Tonkó és Pátzay 2012). A kiválás mértéke a kútfejnél és környékén a legelőrehaladottabb az intenzív nyomáscsökkenés miatt. A vízkőkiválás gyakran rontja a szállító-elosztó rendszer elemek minőségét is. Ezen hatások mértéke minimalizálható, ha a visszatáplált víz összetétele gyakorlatilag megegyezik a befogadó vízével.

A visszasajtolás során – ha például a visszasajtoló kút túl közel van a termelő kúthoz – a visszasajtoló kutak a víz hőmérsékletének csökkenését okozhatják. Ez a termális áttörés többnyire repedezett rezervoároknál jellemző, mivel itt gyors fluidummozgást lehetővé tevő áramlási utak találhatóak. A termelő és a visszasajtoló kutak közötti kommunikációra kúthidraulikai vizsgálatokból, nyomjelző tesztekkel valamint hidrodinamikai és

hőtranszportmodellek készítéséből következtek. A termális áttöréshez szükséges idő általában 1-2 nagyságrenddel nagyobb, mint a kémiai áttörésé (Stefánsson 1997).

A korrekt hatásértékeléshez nemcsak a használt víz minőségi és mennyiségi állapotának, hanem a befogadó vízkémiai, közettani és hidraulikai ismerete is szükséges. A hatások felmérésére és minimalizálására a folyamatok áramlási, hőtranszport- és víz-közet kölcsönhatás modellezése, energetikai hasznosításoknál, a geotermikus védőidom meghatározása szükséges. Ez utóbbihoz alapvetően a kitermelő és visszasajtoló objektumok által létrehozott áramlási mező figyelembevétele létfontosságú. Ennek a módszernek az az előnye, hogy ugyanazon modell segítségével jelölhető ki a védő- és a hatásidomok és ezek egyidejűleg be is mutathatóak. A geotermikus- vagy nyomás hatásidomot gyakran maga a hasznosítás által előidézett változás (T, P) is megadhatja.

A 2500 méter alatti térrészre vonatkozó geotermikus hasznosításoknál minden esetben fluidumtermelés és visszasajtolás együttes alkalmazásával kell számolni.

Termelő-visszasajtoló kútpárok esetén a védőidomot többek között a hidraulikus hatásidom jelöli ki. A hidraulikus hatásidom nagyságát pedig alapvetően – de nem kizárólag – a termelés átlagos volumene, a vízáadó réteg transzmisszivitása és a termelő és visszasajtoló kút közötti hidraulikus kapcsolat határozza meg. Kedvező a hidraulikus kapcsolat a kutak között, ha a kutak közti távolság kicsi, és/vagy jó vízvezető „csatornák”, vetők kötik össze a kutakat. Egy ilyen kapcsolat jelentősen csökkentheti a hidraulikus hatásidomot, ugyanakkor esetenként a kifolyóvíz lehűlését is okozza, ugyanis a hőtermelés az áramlási csatornákra és azok közvetlen környezetére korlátozódik. A védőidom kijelölésnél a legnagyobb bizonytalansági faktor a rezervoár vízvezető-képességét leíró paraméterek (permeabilitás, másodlagos porozitás stb.) értékének és térbeli elhelyezkedésének meghatározása. A rezervoár regionális víztestekkel való kapcsolata szintén fontos tényező.

A sós vizes formációk, a hidrosztatikusnál magasabb nyomású, magas, vagy „túlnyomásos” rezervoárok és a forró száraz kőzetek mesterségesen létrehozott tárolói esetében a védőidom kijelölése (és a hozzá tartozó intézkedések megfogalmazása) nagyjából azonosak a szénhidrogén-termeléseknél alkalmazott eljárásokkal. Azokon a területeken, pontosabban térrészekeken, ahol a 2500 méter alatti potenciális rezervoár „édesvizet” (azaz alacsony oldottanyag-tartalmú vizet) tartalmaz, és hidrosztatikus nyomásállapotok uralkodnak, ott mindenképpen figyelembe kell venni azt a hasznosításoknál és azok engedélyezésénél is, hogy a rezervoárnak olyan térbeli kapcsolatai lehetnek, melyeknél már alaposan vizsgálni szükséges a 2500 méter feletti hasznosításokkal való kölcsönhatásokat. Azokon a termálkarsztos területeken pedig, amelyek jelentősebb termálkarsztforrásokkal rendelkeznek, ott a termálkarsztvíztest egészét is valamilyen módon figyelembe kell venni, tehát nemcsak a konkurens vízkivételeket és geotermikus hasznosításokat, de a forrásokat is, mint felszín alatti víztől függő ökoszisztémákat.

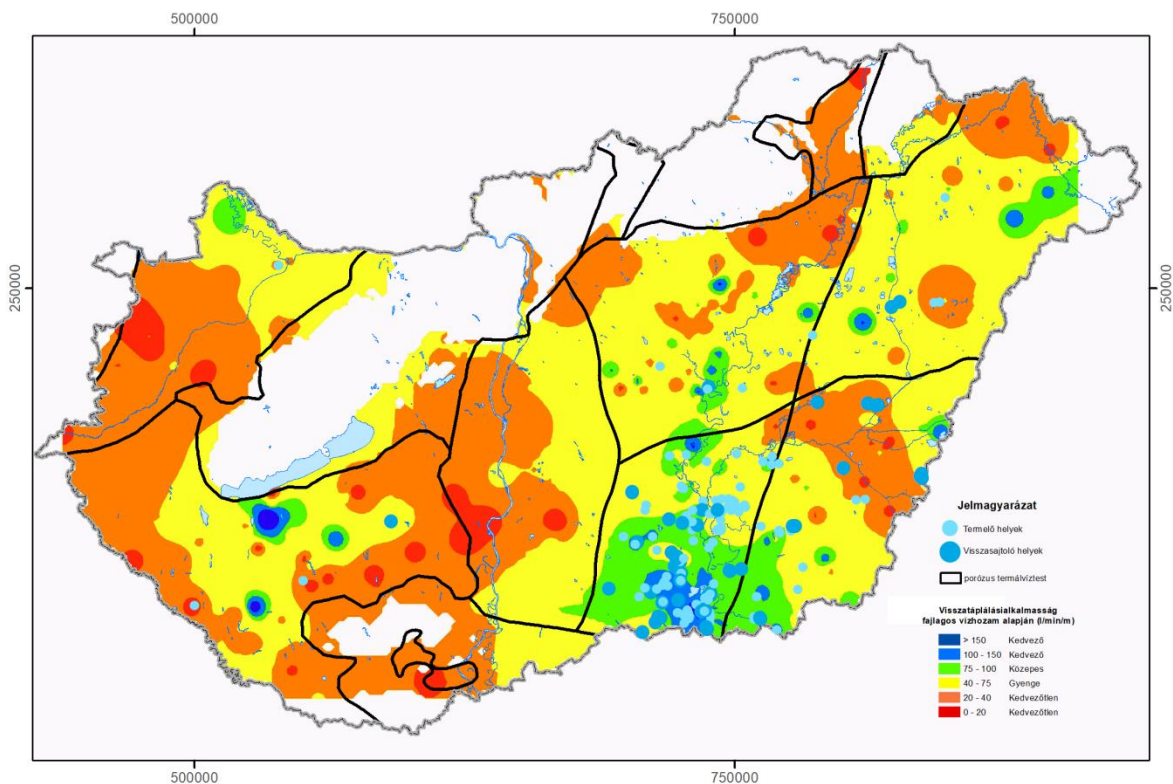
A kijelölésre kerülő védőidomok gyakran olyan felszín alatti termálvíztestekhez kapcsolódhatnak, melyeknél a regionális hatások vizsgálata is szükséges lehet. Ilyenek a már említett regionális áramlásokkal jellemezhető termálkarsztok.

A visszatáplálás mennyiségét és ütemét a célréteg, annak földtani és hidraulikai tulajdonsági határozzák meg. Eddigi tapasztalatok alapján a hosszantartó visszatáplálást a konszolidált kőzetek repedésrendszereibe, üregrendszerébe lehet legkönnyebben megvalósítani, melynek oka a réteg jó vízvezető-képessége, és a visszatáplálással együtt járó, finomabb szemcsék és kémiai kiválások által okozott eltömődés hatása nem vagy alig jelentkezik. Az elsődleges porozitású homokkővek esetében a kis pórusméret a legfőbb oka a visszatáplálást kísérő eltömődésnek, mely egyre nagyobb beszajtolási nyomást, és az ezt előállító egyre nagyobb energiát igényli. Különösen erősen jelentkezhet ez a hatás a kevésbé konszolidált homokrétegek esetében. A konvektív karbonátos és/vagy repedezett rendszerek esetén a termelő–visszasajtoló kútpáros jelentősen befolyásolhatja az áramlási rendszert.

Ezek alapján más vizsgálatot igényelnek a repedezett, karsztosodott, illetve a laza vagy konszolidált porózus rendszerek. Magyar viszonylatban az előbbinek megfelelő a karbonátos és/vagy repedezett alaphegység, míg az utóbbinak a medencekitöltő porózus üledékek felelnek meg. Az előző esetben a kőzettani információk már tájékoztatnak a várható hidraulikai visszatáplálhatóságról, a formációk regionális és lokális áramlásokat jellemző hidrogeológiai, vízgeokémiai és nyomásviszonyai mellett. A porózus rendszerekben a pórustérfogat, a kőzet agyagásvány-tartalma, kompaktiója, a pórustér vizeinek összetétele tájékoztat a visszasajtolás sikeréről és energiaigényéről.

A vízadókba való visszatáplálhatóságról nem lehet jó vagy rossz megállapításokat tenni, csak kedvezőtlenebb, közepesen kedvező, és kedvezőbb kategóriák határozhatóak meg. A hasznosítások értékelése a termelés-visszatáplálás hidraulikai helyzete szerinti csoportosításban történik.

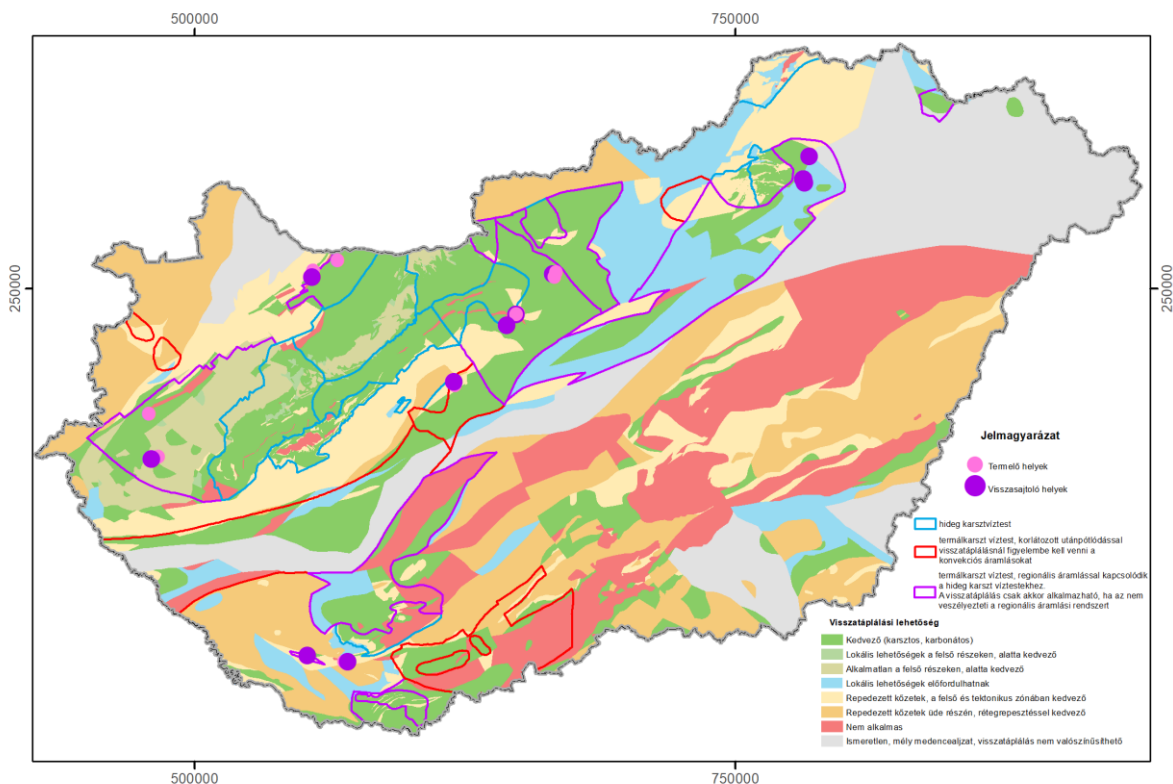
A porózus üledékek esetében az eddig lefűrt nagyszámú termelő kútban megismert hidraulikai tulajdonságok térbeli alakulása biztosít megfelelő osztályozási, tipizálási lehetőséget. A mélyebb, porózus termálvízadók kedvezőbb adottságú térrészei a meglévő mélyfűrésű kutak fajlagos vízhozam adatai alapján határozhatóak le. Ezek alapján készült el a porózus termálvíztestek alkalmassági térképe (Tóth Gy. 2011), amelyet a 3. ábra ismertet.



3. ábra Porókus termákvíztestek visszatáplálásra való alkalmassága (Tóth Gy. 2011 után)

Energetikai hasznosítású termelő–visszasajtoló rendszerek jellemzően a délkelet-alföldi régióban gyakoriak, de Barcs és Debrecen térségében is alakítottak ki geotermikus kútpárokat az elmúlt évtizedben. A regionális elterjedésű, pannóniai, porókus termálrendszer energiahasznosításainak többsége más formációba, magasabb helyzetű rétegekbe táplálja vissza a termelt víz egy részét, vagy egészét. Ezáltal kérdésessé válik a rétegenergia fenntarthatósága, és lehetőséget teremt a vízszennyezésre. Például, a Dél-Alföld legkedvezőbb hidraulikai adottságokat mutató térségében a termelő kutak rendszerint az Újfalu Formáció, illetve kisebb mértékben a Zagyva Formáció rétegeiből termelnek, míg a visszasajtolás főleg a Zagyva Formáció összleteibe történik. Ebben a térségben a hódmezővásárhelyi, vagy mórthalmi rendszer több évtizede működik, de például Orosháza visszasajtoló rendszerének működését ásványkiválás korlátozza (Szócs 2017), amely az egyik leggyakrabban fellépő és megoldandó probléma a visszasajtolás során.

A karsztos termákvíztestek és más alaphegységi egységek visszatáplálási lehetőségeit a 4. ábra ismerteti (Tóth Gy. 2011). A karbonátos/repedezett rendszerek a litológiai ismeretek és a geofizikai mérések alapján határozhatóak le. A konvektív karbonátos és/vagy repedezett rendszerek esetén a termelő–visszasajtoló kútpáros jelentősen befolyásolhatja az áramlási rendszert. Kerülni kell egy termikus rövidzárlat kialakítását, amikor is a lehűtött visszatáplált víz hatása a közeli termelő kútra is kiterjed, illetve a „hőkémények” környezetében történő visszasajtolást, amely leállítja a termákvíz feláramlását, például, Budapest, Hévíz és Eger környezetében. Az áramlási rendszer ismerete segíti a megfelelő visszatáplálási helyszín meghatározását.



4. ábra Karsztos és repedezett termálvíztestek visszatáplálásra való alkalmassága (Tóth Gy. 2011 után)

Az utóbbi évtizedben számos sikeres geotermikus rendszer létesítése történt az alaphegységi rezervoároakra, amelyek többsége megfelelően működik, mint például Miskolc, Győr, Bóly, Szigetvár és Budapest térségében kialakított rendszerek. Azonban előfordul nem megfelelő hidraulikai rendszerre kialakított visszasajtoló kút is, például a Hévízi-tavat is tápláló áramlási rendszerben Zalaegerszeg térségében.

Az energetikai felhasználású termálvizek esetében a visszasajtolás világviszonylatban közelíti a 100%-ot (Diaz et al. 2016), amely egyben azt is mutatja, hogy ezekben az esetekben zárt rendszerekről van szó. Csak a nagy entalpiájú rendszereknél kisebb, mint 60% a visszasajtolás. A 2020 során vitára bocsátott Magyarország VGT3 3.9 mellékletében ismertetett adatok alapján a termálrendszerekből energetikai célú hasznosítással termelt víz többszöröse a visszatáplált víz mennyiségének. Azonban megfigyelhető, hogy míg 2013 során a termálkarsztrendszerekbe nem történt visszasajtolás, addig 2018-ra az energetikai célú kitermelés közel megtízszereződött, és a visszasajtolás aránya meghaladja a 75%-ot. A porózus termálvíztesteknél az energetikai célú kitermelés 40%-át visszasajtolták 2013-ban. 2018-ra a kitermelés 25%-kal nőtt, amelynek azonban csak 10%-át sajtolják vissza. Ebben a víztartó típusban tehát az elmúlt időszakban, a hivatalosan közölt adatok alapján, csökkent a visszatáplálás mértéke.

## 5. A projekt keretében végzett hidrodinamikai és transzportmodellezések, valamint a vízgeokémiai értékelések összefoglalása

A munkacsomag keretében a 2020-as év során egyrészt országos léptékben modelleztük a felszín alatti víztermelés hatására bekövetkezett nyomásváltozásokat, valamint 5 pilotterületre helyszínspecifikus hidrodinamikai és hőtranszport-modellezést, vízgeokémiai – szerves, szerves és izotóp-geokémiai – adatfeldolgozást és értékelést, valamint víz-kőzet kölcsönhatás-vizsgálatokat végeztünk.

E feladatok keretében vízmintavételeket végeztünk, amelyek kiterjedtek a fő komponensek, a szerves mikrokomponensek, a szerves komponensek és az izotópok elemzésekre is. Összesen 25 mintavételre került sor, melyek egy része a modellezett mintaterületek vizeit, míg másik része azokon kívüli termálvíz-hasznosítási területekre fókuszált. A modellezett területeken található mintázható reprezentatív kutak vizsgálata az adott térrészek általános vízkémiai jellemzésén kívül a modellezés értelmezését is segítette, illetve adatokat szolgáltatott a víz-kőzet kölcsönhatásmodellekhez. A modellezett területeken kívül olyan kutak, kútpárok vízösszetételét vizsgáltuk, ahol jellemzően vagy geotermikus hasznosítás, vagy vízlikvidálás miatti vízvisszasajtolás is zajlik. Több esetben lehetőségünk nyílt mintát venni közvetlen a visszasajtolás előtt, az elhelyezéshez tárolóban összegyűjtött használt termálvízből, illetve szénhidrogénipari likvidált vízből. A K13 projekt részben mintázott termálvizek vizsgált vízkémiai komponenseit, illetve a vizsgáló laboratóriumokat a Kun et al. (2020) zárójelentés melléklete tartalmazza.

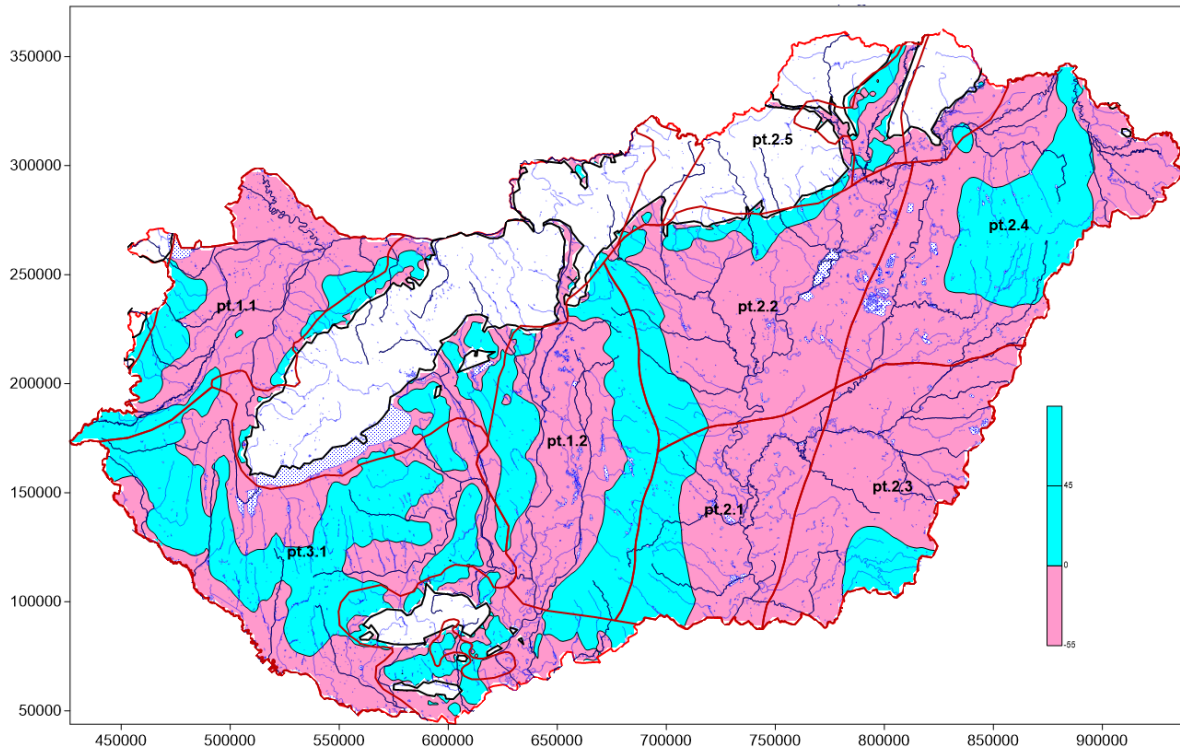
A víz-kőzet kölcsönhatás modellezését a PHREEQC-3 program segítségével végeztük (Parkhurst and Appelo 2013). A modellezés módszertanát a Kun et al. (2020) jelentésben ismertettük.

Az értelmezést komplex módon, a koncepcionális, numerikus (véges elemes és véges differenciál) és víz-kőzet kölcsönhatás-modellezések, a víz- és gázkémiai adatok, és izotóp-geokémiai elemzések együttes értelmezése alapján, az áramlási helyzetkép megértésével végeztük. A póruster különböző hasznosításai során a víztartókban és a felszín alatti objektumokban kémiai változások mehetnek végbe, amelyek befolyásolhatják a póruster viselkedését. Ezeket a lehetséges változásokat víz-kőzet kölcsönhatási modellezésekkel költséghatékonyan lehet előre jelezni, leírni. Összhangban a projekt célkitűzéseivel, az elvégzett modellezések és értékelések segítséget nyújtanak a termálvizek speciális monitoringfejlesztési feladatainak ellátásához, a visszasajtolás folyamatainak megértéséhez, és a visszasajtolással érintett rétegek vizsgálatához.

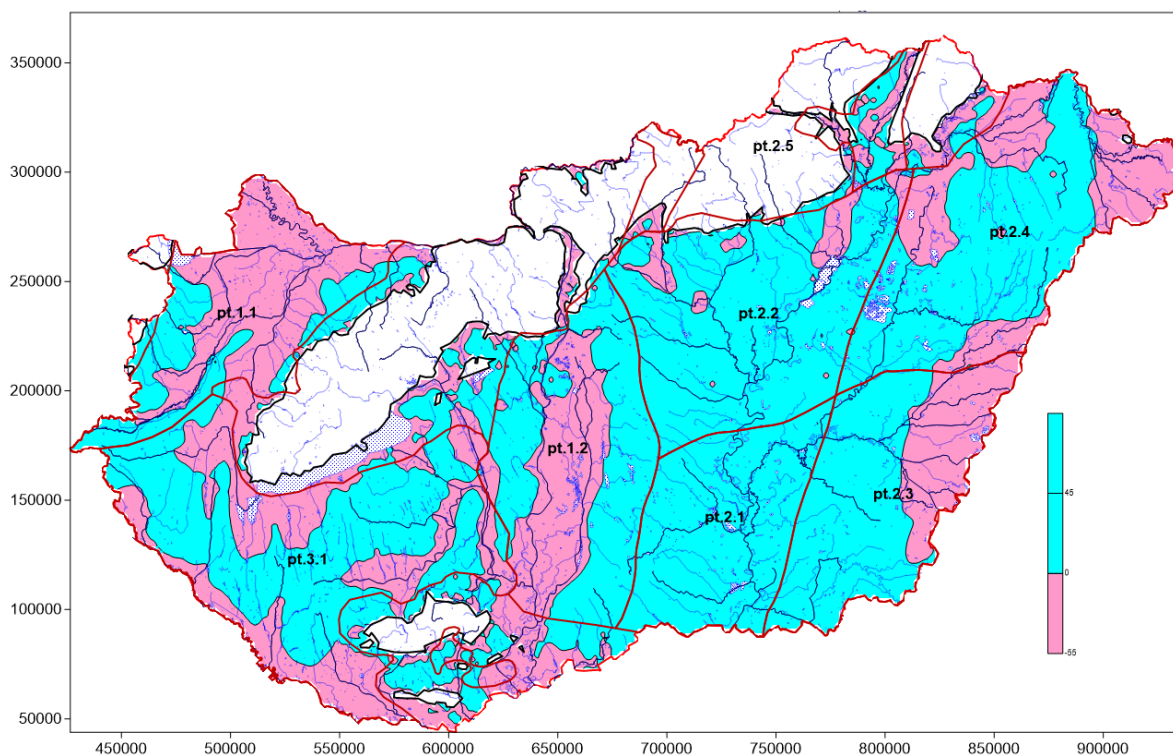
A országos léptékű modellezéshez az MBFSZ, illetve jogelőd intézetei által kifejlesztett Pannon XL modellből indultunk ki. Ez a modell többek között fürdőfejlesztésekkel kapcsolatos feladatokhoz lett kifejlesztve, és az idő előrehaladtával számos céllal lehetett alkalmazni, természetesen minden esetben az adott feladat által megkövetelt célirányos fejlesztésekkel. Ez a modell alkalmasnak bizonyult a sekély porózus, (hideg) porózus és porózus termál víztestek VGT-k által előírt állapotértékelésénél, a határokkal osztott felszín alatti víztestek értékelésénél, az öntözésfejlesztési, belvíz-gazdálkodási és a klímaváltozással kapcsolatos vízgazdálkodási előrejelzéseknél is.



A 2020-as vizgálatsorozatunkban modelleztük a fő ivóvízadó és a felső-pannóniai fő termálvízadó rétegvizek potenciálszintjei közötti különbséget a termelés nélküli állapotra (5. ábra) és a 2013–2018 közötti termelések alapján (6. ábra), annak érdekében, hogy képet kapjunk a víztermelések áramlási viszonyokra kifejtett hatásáról. A modell alapján végeztük el a VGT3 mennyiségi állapotértékelési keretében a Pannon medence porózus víztesteire vonatkozó „Vízmerlegeszt”-et (Kun et al. 2020).



5. ábra A fő ivóvízadó és a felső-pannóniai fő termálvízadó rétegvizek potenciálszintjei közötti különbségek [m], természetes, termelések előtti állapotban



**6. ábra A fő ivóvízadó és a felső-pannóniai fő termálvízadó rétegvizek potenciálszintjei közötti különbségek [m], a 2013-18 közötti termelések hatására**

Megjegyzés: a világoskék színek a leáramlások, a rózsaszínűek feláramlások területeit mutatják. (Különbségek a Pannon XL modell 5. és 10. rétegében modellezett potenciálszintek között).

A potenciálszintek közötti eltérésekben szignifikáns változás látható az Alföldön a feláramlási és leáramlási zónák elterjedésében. Ez a viszonylag nagy területet érintő változás azt jelzi, hogy a korábbi feláramlási területek jelentős részén megváltozott az áramlás iránya, és a feláramlás helyett a mélyebb víztartók felé történő leáramlás a jellemző. Ez mindenképpen körütekintést igényel a felszín alatti vizek, illetve a póruster fluidumainak jelenlegi és jövőbeli hasznosításai során, és jelzi a takarékos felhasználás és monitoringhálózat szükségességét mind a rétegvizek, mind a termálvizek esetében.

A kijelölt mintaterületek – Igal, Tamási, Szolnok, Görbeháza–Hajdúnánás, Battonya–Pusztaföldvári-hát egy része – vizsgálati szempontjait az 3. táblázat ismerteti.

**3. táblázat A mintaterületek és vizsgálati szempontjaik**

Pilotterület / objektumkörzet	Vizsgálati szempontok:
1. Igal	Sekély mélységű, nagy hőmérsékletű, geotermikus rendszer, valamint eltérő összetételű vizek egymásrahatásainak vizsgálata.
2. Tamási	A meglévő geotermikus rendszerek bővítésének, valamint újonnan telepített visszasajtoló kutak hatásainak vizsgálata.
3. Görbeháza–Hajdúnánás	Földgáztermelő–visszasajtoló rendszer lokális és regionális hatása, új termálvízkút, illetve kútpár telepítésének vizsgálata.
4. Szolnok belterület	A termelés megnövekedésének és a visszasajtolás lokális és regionális hatása.



Pilotterület / objektumkörzet	Vizsgálati szempontok:
5. Battonya–Pusztaföldvári-hát	Egy szénhidrogéntelep hasznosítási variánsainak hatása a környező térségre további monitoringjavaslat céljából (hidrodinamikai- hőtranszport-modellvizsgálat)

A fenti pilotterületek mellett további vizsgálandó objektumkörzeteket jelöltünk ki Bőny, Veresegyháza–Vácrátót, Szigetvár, Dél-Dunántúl és Dévaványa térségében a különböző földtani környezetek és hasznosítások további reprezentálása céljából, melyeket a 4. táblázat foglal össze.

4. táblázat A további vizsgálati objektumkörzetek kiválasztási és vizsgálati szempontjai

Vizsgálati térségek	Kiválasztási és vizsgálati szempontok:
1. Bőny–Pér	Meglévő energetikai célú, termelő–visszatápláló kutakkal rendelkező, geotermikus hasznosítás mezozoos karbonátos aljzatra (2-2 db kútpár)
2. Veresegyháza–Vácrátót	Budapest környéki termálkarsztrendszer, mely termálforrással rendelkezik, sérülékeny, történelmi fürdőhasznosításokkal (számos hasznosítóval)
3. Szigetvár	Felső-pannóniai porózus és mezozoos karsztos víztartó többcélú hasznosítása
4. Dél-Dunántúl	Szénhidrogénipari hasznosítás
5. Dévaványa	Szénhidrogénipari hasznosítás

Mint látható, az egyes pilotterületek és további vizsgálati objektumkörzetek kiválasztási szempontjai között, a különböző célú, esetenként egymás mellett történő hasznosítások lehetséges hatásainak vizsgálata mellett, külön gondot fordítottunk a visszasajtolás vagy a visszasajtolási potenciál kérdéskörére a monitoringjavaslat minél differenciáltabb kidolgozása céljából.

A termelő–visszasajtoló rendszerek modellezési mintapéldái a felszín alatti tér három leggyakoribb esetére az alábbiak:

- alaphegységi, felső, repedezett, mállott, esetenként karsztosodott zónájára – repedezett rendszer,
- egy tisztán porózus rezervoártípusra – porózus rendszer, és
- az előző kettő kombinációjaként jelentkező – vegyes rendszer.

A vegyes rendszerek megnevezés kapcsán megjegyezzük, hogy a domináns áramlási rendszer jellemzőjeként sok esetben kialakul az eltérő rendszerek között is kommunikáció (pl. a mállott zóna határán a termálkarszt átfejtődik a porózus rendszerbe és viszont), amelyet vegyes rendszernek is lehet nevezni. Főbb altípusai a következők:

- 1.) porózus termálvizek, melyek döntően a gravitációs mélyáramlási rendszerek részei;
- 2.) gravitációsan és geotermikusan vezérelt konvekciós rendszerrel jellemzett, langyos vagy termálforrással rendelkező termálkarsztok („mixed convection systems”);
- 3.a.) zártabb, csekélyebb utánpótlódású vagy anélküli termálkarsztok;

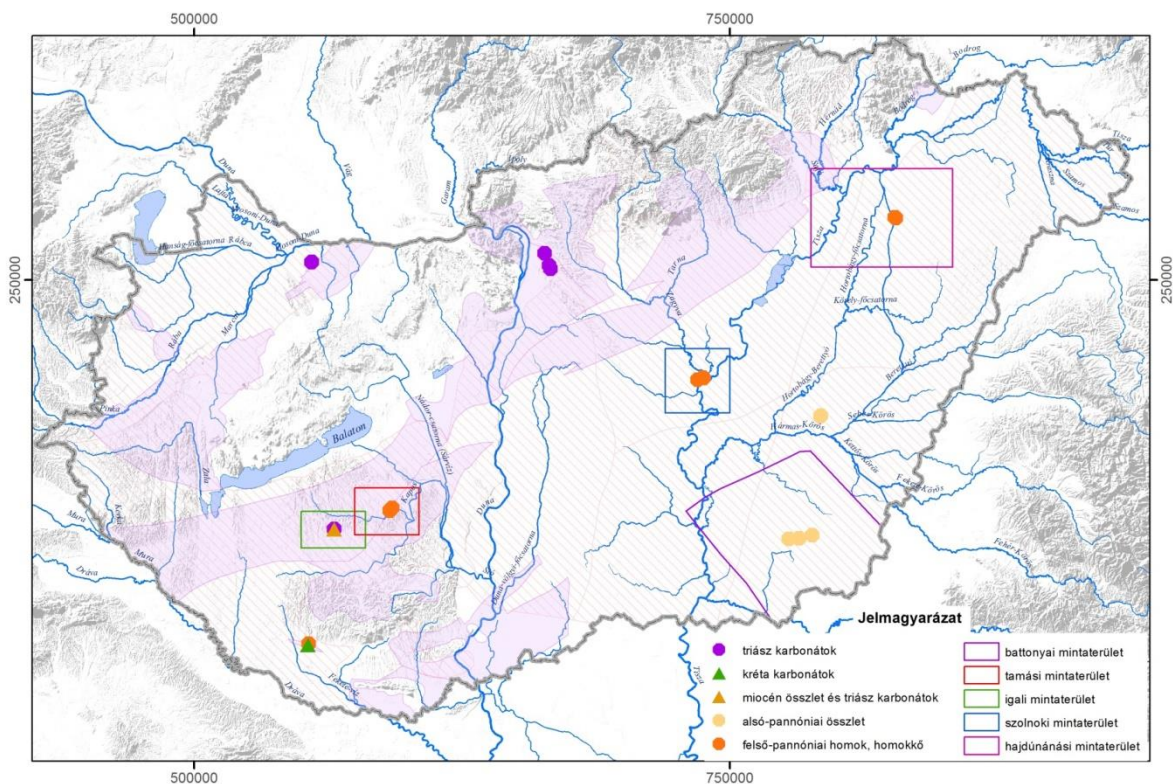
3.b.) zártabb, csekélyebb utánpótlódású vagy anélküli repedezett kőzetekben lévő rezervoárok.

A 3.a.) és a 3.b.) típusoknál a legtöbb rezervoárrendszernek része az alaphegység mállott felszínére települő első üledékes réteg, melyek alapkonglomerátumok, vagy karbonátos zátonyképződések. Ezeket ily módon lehet egyes rendszereknek is nevezni (alaphegység felső repedezett, vagy karsztosodott zónája a vízvezető főregszem formációval együtt).

A monitoringfejlesztés lehetőségeinek tanulmányozásához a vízgeokémiai vizsgálatok rendkívül széles spektrumát végeztük el. A rutinszerűen vizsgált főalkotó kémiai komponensek és általános vízkémiai paraméterek mellett nyomelemek, szerves mikrokomponensek, gáz- és izotópvizsgálatok tették a méréseket teljes körűvé. Ezek általában hiányosak vagy teljességgel hiányoznak az archív adatokból, hiszen egyfelől korábban nem volt lehetőség ilyen jellegű vizsgálatokra, másrészt az akkori vizsgálatok célja is más volt. Azonban a felszín alatti vízáramlási rendszerek, utánpótlódási viszonyaik, a póruster komplex hasznosítása igénylik az általános vízkémiát kiegészítő nyomelem-, gáz- és izotóp-mintavételeket is. A nyomelemek a fő kémiai folyamatok indikátorai lehetnek, de jól alkalmazhatók egy adott víztartó elzártágának, esetleg más víztartók vizével való keveredéseknek a vizsgálatára, monitorozására a kitermelő–visszasajtoló tevékenység során. A felszín alatti víz áramlási rendszereinek és a különböző víztartók elkülönítése és jellemzése érdekében, a meteorikus- vagy bezárt pórsvíz eredetvizsgálata céljából stabil oxigén- és deutériumizotóp-vizsgálatokat végeztünk. A vízkor meghatározására radiokarbon kormeghatározást alkalmaztunk, figyelembe véve a mintázott vizek hidrogénkarbonát-tartalmának  $\delta^{13}\text{C}$ -értékeit is. A kénizotópokat a felszín alatti vizeket érintő bakteriális és termikus folyamatok szempontjából értelmeztük. A vizek gáztartalmának ismerete a víztartók, rezervoárok jellemzésén túlmenően, információval szolgál az üvegházhatású gázok kibocsátására, a geotermikus hasznosítás mellett lehetséges további hasznosításokhoz, a jövőbeli visszatáplálások előtti „alapállapotra” vonatkozóan. Vizsgálataink tehát jól használhatóak bármely vízhasználatot érintő tevékenység monitoringja során a változások nyomonkövetésére.

A mélységi vizek általános jellemzéséhez a víz hőmérséklete, nyomásviszonyai, összes oldottanyag-tartalma és vízkémiai jellege a legalapvetőbbek. A főalkotó komponensek kation- és anionegyenérték-arányai alapján a jelentősebb földtani–geokémiai folyamatok közül az ioncsere, hígulás, karbonátoldódás és -kiválás, diffúzió és membránhatás, valamint a víz-kőzet kölcsönhatások körvonalazódtak. A nyomelem-, gáz- és izotópadatok ezeknek a folyamatoknak a pontosításában játszanak szerepet.

A K13 projektrészben a vízgeokémiai, izotóp-hidrológiai vizsgálatokba bevont termálvizek, illetve azok visszasajtolásra összegyűjtött vizének mintavételi helyeit az 7. ábra mutatja be. A mintázások során vizsgált objektumok és a mintavétel módszerének leírását a korábbi K13 részjelentések tartalmazzák (Szűcs et al. 2020a, b, c, d). A mintavételi eredmények területenkénti szerves, szerves és izotóp-geokémiai feldolgozását, az egyes területek numerikus hidrogeológiai áramlásmo­delljét és víz-kőzet kölcsönhatás modelljeit a K13 zárójelentés tartalmazza részletesen (Kun et al. 2020).



7. ábra A vizsgált K13 mintavételi pontok, a mintázott víztartó képződmények kora szerint jelölve és a K13 mintaterületek elhelyezkedése a porózus termálvízestek (ferde vonalakkal sraffozott) illetve a karsztermál-vízestek (halványlila) elterjedésével, a dél-dunántúli szénhidrogénipari mintavételi helyek feltüntetése nélkül

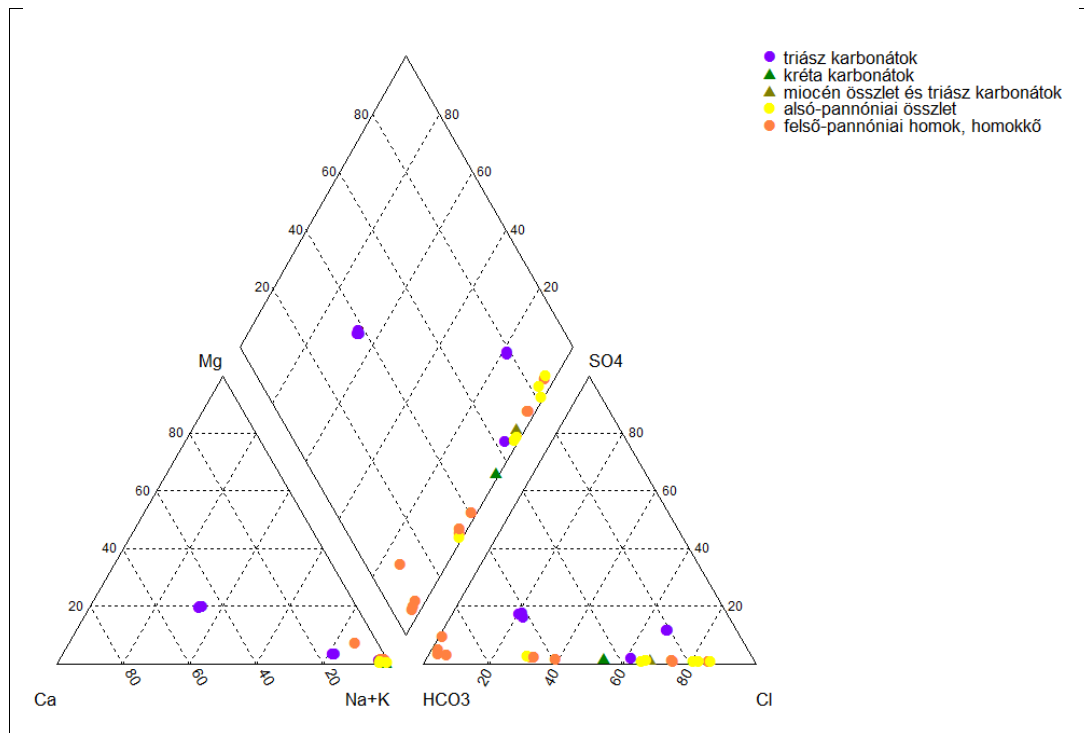
## 5.1. A vizsgálatba bevont térrészek főbb vízgeokémiai jellemzőinek, a bennük lejátszódó víz-kőzet kölcsönhatásoknak, valamint az áramlási rendszerben elfoglalt helyzetük értékelése

A vizsgálatunk során gyűjtött vízminták nagy része a Pannon-medence területén hévízhasznosítás szempontjából jelentős, regionális elterjedésű triász és kréta karbonátos víztartó képződményekből, valamint a szintén regionális jellegű, termálvizadó felső-pannóniai homok és homokkő képződményekből származnak. A felszín alatti póruster fluidumainak minél átfogóbb jellemzése érdekében, további vízmintákat, a mezozoos karbonátos víztartóhoz lokálisan közvetlenül kapcsolódó miocén víztartó összletből, illetve a főként szénhidrogén-hasznosítás által érintett alsó-pannóniai törmelékes összletből gyűjtöttünk (7. ábra).

### 5.1.1. A víztartó rendszer jellege és főbb földtani kifejlődései szerinti vízmintavételi vizsgálati eredmények

A vizsgált vizek vízkémiai jellegét Piper-diagram segítségével ábrázolva (8. ábra), a főalkotó kationok és anionok alapján a vizek jellemzően Na–HCO<sub>3</sub>-os, Na–HCO<sub>3</sub>–Cl-os, Na–Cl–HCO<sub>3</sub>-os és Na–Cl-os kémiai jellegűek. A triász karbonátokban találunk Na–Ca–HCO<sub>3</sub>-os jellegű vizet is. A nagyobb mintaszámmal rendelkező alsó-pannóniai összletek vizei inkább

Na–Cl(–HCO<sub>3</sub>)-os, míg a felső-pannóniai homokkőből és homokból származó sekélyebb vizek inkább Na–HCO<sub>3</sub>(–Cl)-os jellegűek.



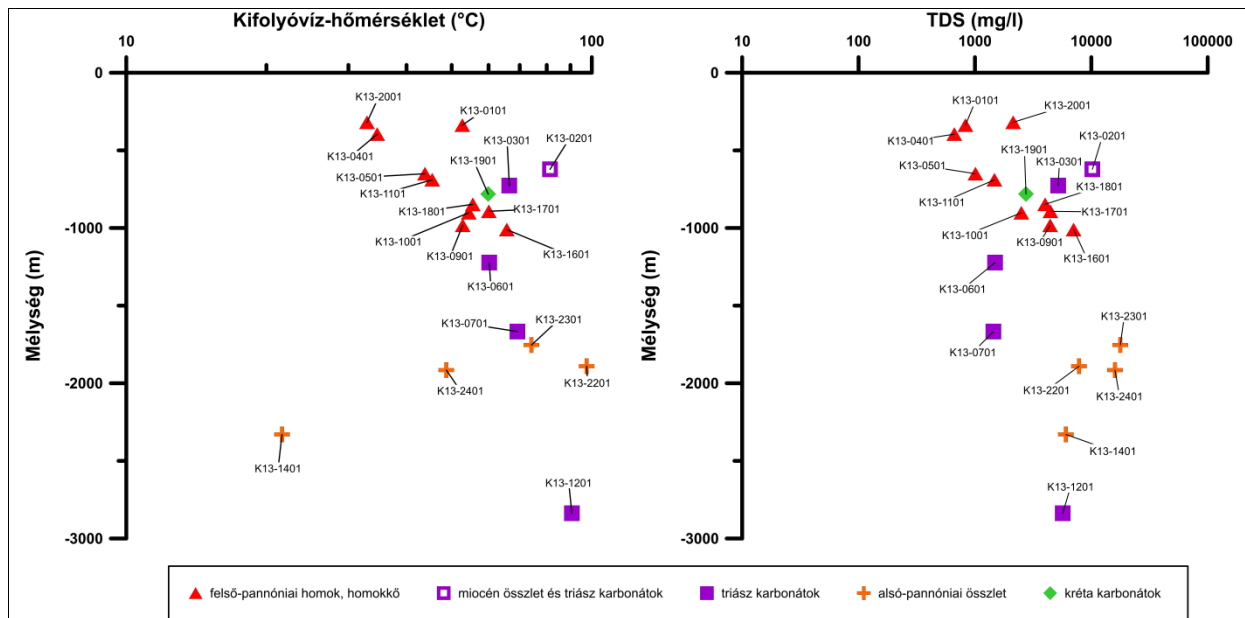
8. ábra A mintázott K13 objektumok vízkémiai jellege a főalkotó kationok és anionok alapján, Piper-diagramon ábrázolva

A termásvíz-hasznosítás monitorozása során a hőmérséklet és összes oldott anyag (TDS) fontos indikátorparaméterek, hiszen az eltérő hőmérséklet és összes oldottanyag-tartalom (illetve jellemzően az eredetitől eltérő nyomás) mellett történő vízvisszatáplálás vízkémiai változásokat eredményezhet a kútban és a rezervoárban, ezáltal kedvezőtlen hatással lehet a hasznosításra. A K13 projekt eredményeképpen rendelkezésünkre álló kifolyóvíz hőmérsékletadatainak alapján a kifolyóvíz hőmérséklete – mélység, illetve az összes oldottanyag-tartalom (TDS) – mélység összefüggéseit megvizsgáltuk a különböző típusú víztartó képződményekben (9. ábra). A felső-pannóniai képződményből származó minták többnyire a medenceüledékek felszínétől számított kb. 300–1 000 m mélységintervallumból származnak, melyeknél megfigyelhető, hogy a mélység növekedésével a kifolyóvíz hőmérséklete és a TDS többnyire egyaránt növekszik.

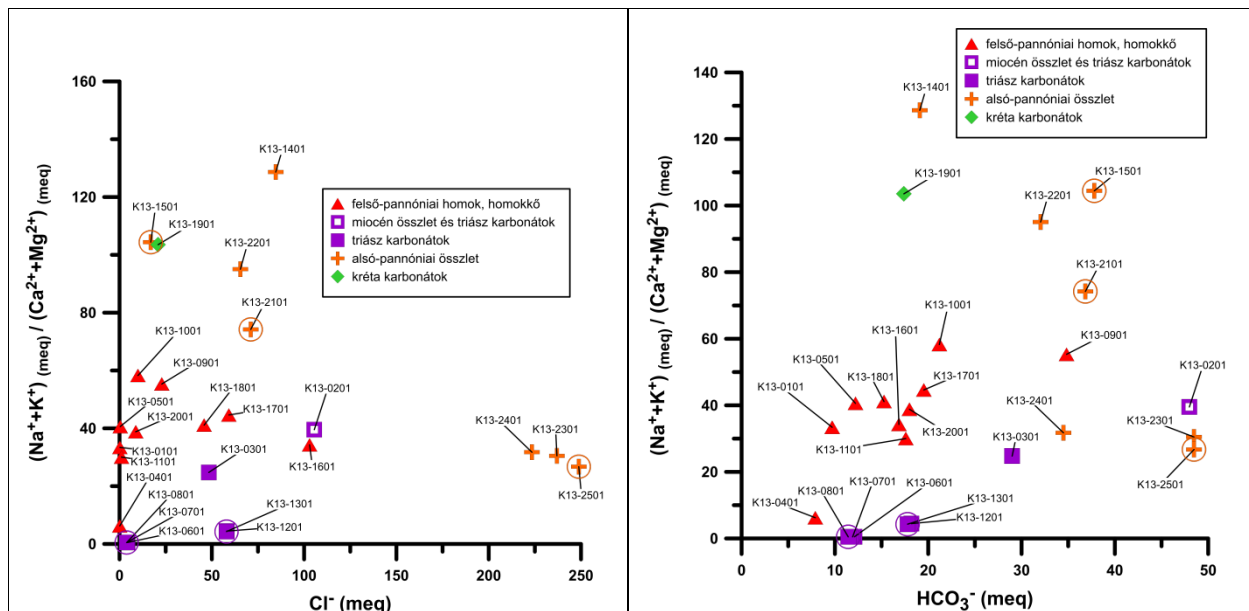
Az alsó-pannóniai összletben tárolt vizek nagy mélységből, viszonylag szűk mélységtartományból származnak (1 700–2 000 m), viszont a minták kifolyóvíz hőmérséklete (50–100 °C) és a TDS-értékek (6 800–18 000 mg/l) ennek ellenére relatív széles tartományban változik.

A mezozoos, karbonátos víztartók vízmintái nagyon változatos mélységtartományokból származnak – a legkisebb mélység átlagosan 700 m körüli (Igal (K13-0203), Szigetvár (K13-1901)), a legnagyobb mélység körülbelül 2 500 m (Böny (K13-1201)). Míg az igali B-1 kút (K13-0203) miocén és triász karbonátos rétegeket is összeszűrőzött vizet termel, addig a szigetvári K-23 kút (K13-1901) kréta karbonátokat-, a bönyi K-25 kút (K13-1201) triász karbonátokat tár fel. Az 1 000 m felett található mintáknál nem, 1 000 m alatt azonban

megfigyelhető a kutak összes oldottanyag-tartalmának a mélységgel növekvő tendenciája. Általánosságban a karbonátos víztartókból származó kifolyóvíz-hőmérsékletek nagyobbak, 60–90 °C közöttiek, a felső-pannóniai mintáknál tapasztalhatóknál, míg a felső-pannóniai összlet mélyebb vizeinek és a karbonátos vizeknek a TDS-értéke hasonló.



9. ábra A kifolyóvíz hőmérséklete és az összes oldottanyag-tartalom a mélység függvényében az egyes víztartó képződmények szerint



10. ábra A főalkotó  $(Na^+ + K^+) / (Ca^{2+} + Mg^{2+})$  kationarányok és a  $Cl^-$ , valamint  $HCO_3^-$  kapcsolata a vizsgált vizekben, víztartó képződmények szerint ábrázolva (a termelő-visszasajtoló mintapárokban – melyek a K13-0701-0801, K13-1201-1301, K13-1401-1501, K13-2101-2201, K13-2301-2401-2501 – a visszasajtolandó vízminták bekarikázva jelöltek)

A vizek áramlási rendszerben elfoglalt helyéről gyakran az ionarányok segítségével kaphatunk képet. A vizsgált  $(Na^+ + K^+) / (Ca^{2+} + Mg^{2+})$  kationarányok és a konzervatív  $Cl^-$ -ion

alapján (10. ábra) elkülöníthetőek az áramlási rendszer intenzívebb áramlással és hosszabb áramlási pályával jellemezhető részei, víz-kőzet kölcsönhatással jellemezhető regionális, köztes és feláramlási zónák, valamint az áramlástól viszonylag elzártabb részek.

A finomszemcsés, törmelékes alsó-pannóniai turbidites homokkőből álló víztartók általában rosszabb áramlási viszonyokkal jellemezhetők. A (10. ábra) alapján az alsó-pannóniai képződményekből származó vízminták két csoportra különülnek el, a kisebb kationarányú és ugyanakkor magasabb kloridtartalommal jellemezhető, főként a battonyai szénhidrogén-termelés területén előforduló vizek, valamint a nagyobb kationarányú és kisebb kloridtartalommal jellemezhető, dél-dunántúli és dévaványai szénhidrogén-termelés térségében található vizek. A magasabb kloridtartalom az elzárt vizekre jellemző, míg a nagyobb kationarány az ioncsere-folyamatok szerepét jelzi a vízkémiai folyamatok között.

Az intenzív áramlási viszonyokat és az utánpótlódást a nagyobb  $\text{Ca}^{2+}$ -koncentráció és ebből adódó, kisebb kationarány, valamint kisebb kloridtartalom jelzi. Ezek a sekélyebb felső-pannóniai homokos vízadókat és a Budapest környéki – Vác, Veresegyháza – termálkarszt-vízadóból származó mintákat jellemzik. A felső-pannóniai nagyobb mélységből származó vízminták esetében már hosszabb áramlási pályával és ioncsere-folyamatokkal számolhatunk.

A bőnyi triász karbonátos képződményekből származó minták zártabb áramlási rendszerre utalnak, csakúgy, mint az igali aljzat vízmintája is. A kevert, miocén-triász képződményből származó vízminta (igali minta) és az agyagosabb kifejlődésű felső-pannóniai képződményből származó vízminta (hajdúnánási minta) magasabb kloridtartalma és kationaránya az áramlási pálya mentén a mélyebbről feláramló vízzel való keveredést jelezheti.

A vizsgált felső-pannóniai és utánpótlódással rendelkező karbonátos víztartóknál fontos szerepe van a regionális áramlási pályák mentén végbemenő víz-kőzet kölcsönhatásoknak, a különböző felszín alatti vízáramlási pályák mentén történő keveredéseknek. Utóbbira lásd a bemutatást később, az igali mintaterület ismertetésénél.

A mélységi vizek kloridtartalmának forrása származhat a beszivárgó csapadékvízből, a múltban beszivárgott paleo-csapadékvízből, vagy tengervízi környezetben keletkezett üledékek póruszvízéből. A leggyakoribb sókőzet, a halit oldódásából származó nátrium, vagy klorid, viszonylag állandó 1:1 Na/Cl molarányt eredményez, amely jellemző viszonyítási érték a vizek vizsgálatakor. A  $\text{Na}^+$ -tartalom a diagenizáló fluidumok hatására is megnövekedhet a vizekben. A legalacsonyabb összes oldottanyag-tartalmú vízminták esetében, melyek főként a felső-pannóniai üledékek mintái, a  $\text{Na}^+$  és  $\text{Cl}^-$  aránya eltérő folyamatokat jelez, ezeknél a vizeknél az ioncsere-folyamatokhoz kapcsolódóan, és a szilikátok (leginkább földpátok) kongruens és inkongruens oldódásából származhat a víz Na-tartalma. A vizsgált minták Na-koncentrációi a tengervíznél jelentősen hígabb vizeket indikálnak, ugyanakkor a minták nagy részénél jól látható a  $\text{Na}^+$ - és  $\text{Cl}^-$ -tartalom közötti lineáris kapcsolat. A molarányok eltérését a halit oldódásból várható aránytól, víz-kőzet kölcsönhatások és ioncsere-folyamatok eredményezhetik.

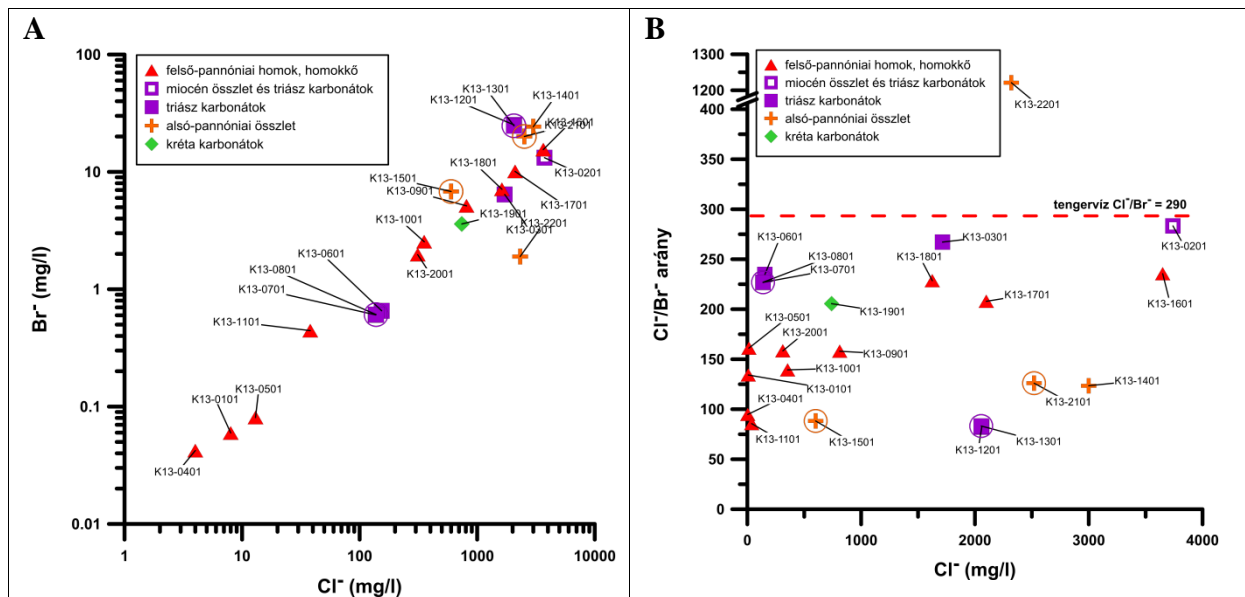
A Na- $\text{HCO}_3$  jellegű felső-pannóniai üledékek, valamint a karbonátos víztartók egy részének vizei csapadékeredetűek, melyet a stabil oxigén- és deutériumértékeik is alátámasztanak



(ismertetést lásd később). A hidrogénkarbonát-tartalom a felső-pannóniai üledékek vizeiben az áramlási pálya mentén nő, mely a karbonátok beoldódását jelzi. E növekedéshez a  $(\text{Na}^+ + \text{K}^+) / (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$  kationarány növekedése is társul az ioncsere-folyamatok eredményeként. Amíg az alsó-pannóniai összlet vizei két csoportra különülnek el a  $(\text{Na}^+ + \text{K}^+) / (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$  kationarány és a kloridtartalom alapján, addig a  $(\text{Na}^+ + \text{K}^+) / (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$  kationarány és a hidrogénkarbonát-tartalom kapcsolatának vizsgálata alapján nem figyelhető meg ilyen éles két csoportra történő szétválás. A dévaványai szénhidrogén-termelés térségében található termelő kút (K13-1401) vizének hidrogénkarbonát-tartalma a legkisebb, melyhez nagyobb kationarány társul, jelezve a karbonátkiválást, valamint az ioncsere-folyamatok szerepét. Ez a kút egyben a vizsgált alsó-pannóniai kutak közül a legmélyebb. A legnagyobb hidrogénkarbonát-tartalom a battonyai szénhidrogén-termelés területén található pusztaföldvári termelő kút és a visszasajtolásra kerülő víz összetételére jellemző. Érdeemes megjegyezni, hogy amíg a kationarány és a kloridtartalom alapján a battonyai szénhidrogén-termelés területén előforduló vizek egységes vízkémiai típust mutatnak, addig a hidrogénkarbonát alapján a csanádapácai termelő kút a dél-dunántúli szénhidrogén-termelés térségében található vizekhez hasonló, a dévaványai és a pusztaföldvári értékek közé eső hidrogénkarbonát-tartalommal jellemezhető. Felszín alatti mélységük hasonló, a dévaványai és a pusztaföldvári közötti (10. ábra).

A főalkotó kationok és anionok mellett, amelyek a víz jellegét alakítják ki, a vizek eredetére, a víz-közet kölcsönhatások jellegére a nyomelemek is specifikusak lehetnek. Bizonyos mikroelemek szintén konzervatívan viselkednek, így ezen mikroelemek és a  $\text{Cl}^-$  aránya is állandónak tekinthető a tengervízben, ezért a  $\text{Na}/\text{Cl}$  arány vizsgálata mellett a mikroelemek, vagy kloridhoz viszonyított arányuk ( $\text{Cl}^-/\text{Br}^-$ ) és a  $\text{Cl}^-$ -tartalom kapcsolata alapján, a vizek genetikájára vonhatunk le következtetéseket. Ezeket a komponenseket az archív adatokban csak alárendelten találjuk meg, és a mérési adatok megbízhatósága sem egységes. Ezért a jelenlegi kevés mérési eredmény csak további mérésekkel való kiegészítéssel teheti lehetővé a monitoring során az alkalmazhatóságukat.

Több mintában is a Br, I, Li, Sr esetében magasabb koncentrációkat tapasztalhatunk. Mivel a  $\text{Br}^-$  viszonylag konzervatív módon viselkedik, a  $\text{Br}^-$ -koncentrációkat a  $\text{Cl}^-$ -koncentrációkhoz viszonyítva vizsgálhatjuk. Hasonlóképpen, a Li, és a szerves anyaggal való kapcsolata miatt a B és a I vizsgálata is fontos információkat adhat a vizek eredetére vonatkozóan. A vizsgált vízmintákra több nagyságrendben változó  $\text{Br}^-$ -koncentrációk jellemzőek. A bromid  $\text{Cl}^-$ -tartalomhoz viszonyított aránya kisebb a tengervízben várható aránytól, mely arány 290. Az alacsonyabb arányok vagy csapadékvíz eredetre, vagy az eredeti pórúsvíz paleo-csapadékvízzel való hígulására utalhatnak, míg az eltérő arányok részben a szerves anyag jelenlétét jelölhetik. Ilyen nagyobb eltérés figyelhető meg a  $\text{Br}^-$ -koncentrációkban és a  $\text{Cl}^-/\text{Br}^-$  arányokban például az igali, tamási, kisebb mértékben a szolnoki, dévaványai, szigetvári területen.

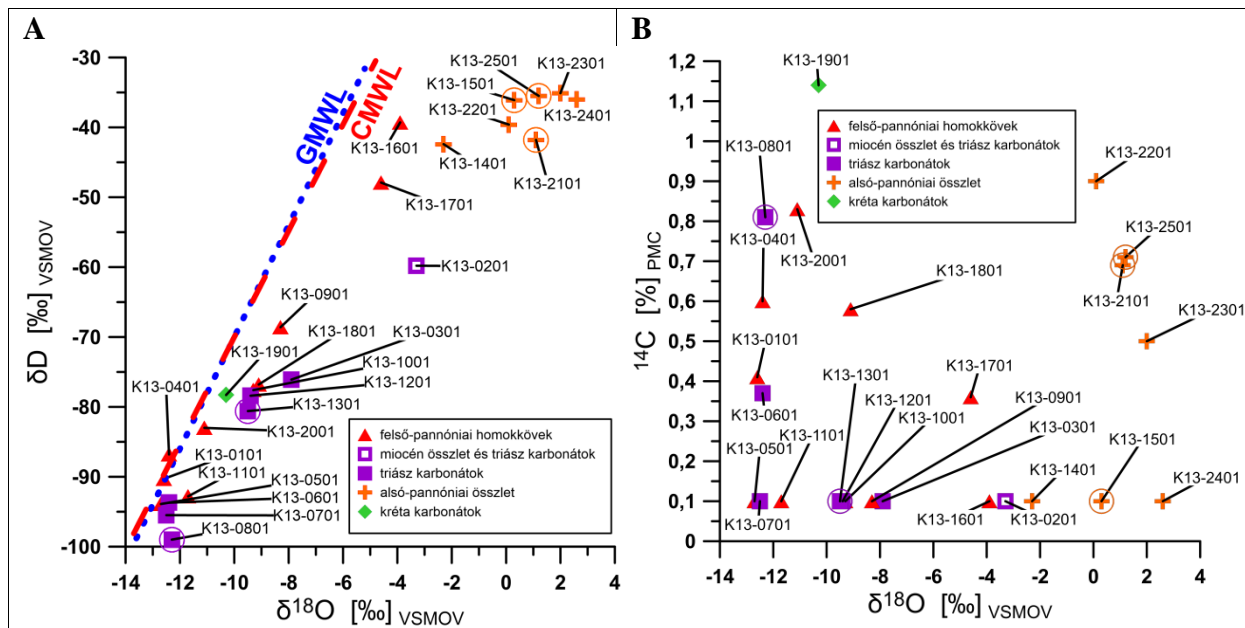


11. ábra A  $\text{Br}^-$ -és a  $\text{Cl}^-$ - tartalom kapcsolata (A) és a  $\text{Cl}^-/\text{Br}^-$  arány és a  $\text{Cl}^-$ -tartalom kapcsolata (B) a vizsgált mintákban (a visszasajtolandó vízminták bekarikázva jelöltek)

A vízminták  $\text{Cl}^-/\text{Br}^-$  arányának és kloridtartalmának összefüggéseit vizsgálva a vízösszetétel kialakulásában szerepet játszó folyamatokra következtethetünk (Hobbs et al. 2011; Sanjuan et al. 2019). Valamennyi vízminta esetében a tengervíz összetételére jellemző kloridtartalomhoz (19 g/l) képest alacsonyabb koncentrációkat találunk (11. ábra). A tengeri környezetben leülepedett kőzetben tárolt vizek esetében az alacsony kloridtartalom az eredeti pórusvíz-összetétel hígulását jelzi. A bromidkoncentráció több nagyságrendben változik a vizsgált vízmintákban. A tengervízre jellemző 67 mg/l bromidkoncentrációhoz viszonyítva azonban lényegesen alacsonyabb koncentrációkat tapasztalunk. Az egyik alsó-pannóniai, dél-dunántúli szénhidrogént termelő kútból származó minta a tengervízre jellemző értéknél nagyobb  $\text{Cl}^-/\text{Br}^-$ -arányal rendelkezik, mely a sókőzet oldódásából származó pórusvizekre jellemző. A vizsgált, triász karbonátos kőzetekből származó vizek elkülönülnek egymástól a  $\text{Cl}^-/\text{Br}^-$ -arány alapján. Igal, Vác és Veresegyháza vízmintáiban az arány a tengervízhez közeli, hasonlóképpen, mint a miocén-triász kevert kőzetekből származó igali minta, míg a bonyi (K13-1201, K13-1301) minták alacsony  $\text{Cl}^-/\text{Br}^-$ -arányt mutatnak.

A stabil oxigén- és deutériumizotópok adatai a mintázott felső-pannóniai homokkövekben, a kréta karbonátokban és a triász karbonátokban tárolt vizek egy részében a globális csapadékvonalon, vagy annak közelében helyezkedik el (12. ábra). Ezzel szemben a triász karbonátokban tárolt vizek másik része, a neogén összlet és a triász karbonátokban, valamint az alsó-pannóniai összletben tárolt vizek adatai a nehézionotópok dúsulását jelzik. Míg előbbieket csapadékeredetre, utóbbiak a pórusokba bezárt tengervíz, vagy szénhidrogéntelepekkel való (potenciális) kapcsolat jelenlétére utalnak.





12. ábra A K13 projektlem keretében mintázott objektumok különböző korú és típusú víztartók szerinti  $\delta^{18}\text{O}$  és  $\delta\text{D}$  (A), valamint  $^{14}\text{C}$  és  $\delta^{18}\text{O}$  eloszlása (B)

A radiokarbon kormeghatározás alapját képező  $^{14}\text{C}$ -aktivitások nagyon kicsik, 1,2 pmC alattiak, ráadásul a minták körülbelül felében alsó mérési határ alattiak (12. ábra). Ez arra enged következtetni, különösen utóbbi esetekben, hogy nagy valószínűséggel 40 000 évnél idősebb látszólagos korról számolhatunk, azaz a mintázott vizek zömének beszivárgása több mint 40 000 évvel ezelőtt történt. Mérési határ alatti  $^{14}\text{C}$ -értékek előfordulnak úgy a felső-pannóniai, mint az alsó-pannóniai és triász víztartók vizeiben. Fontos megjegyezni, hogy a nagyos kis aktivitásoknál az adatokat körültekintően kell értelmezni a látszólagos vízkor számításoknál, mert mintavételi és mérési bizonytalanságot is hordozhatnak magukban. Hidrodinamikai modellezésekkel és más vízkémiai paraméterekkel történő együttes értelmezésük javasolt. Annak eldöntésére, hogy bezárt pórsvíz-e a meghatározó ezeken a mintavételi helyeken, szintén komplex, egyéb paraméterekkel (pl.  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Br}^-$ ,  $^{81}\text{Kr}$ ) történő együttes értelmezésükre van szükség.

Nagyobb szulfátkoncentrációkkal jellemezhetőek a mezozoos karbonátos képződmények, míg kisebb értékkel a felső-pannóniai öszlet vizei. A kettő között helyezkednek el mintázott alsó-pannóniai öszlet vizeinek szulfátkoncentrációi. A triász és neogén képződményekből termelt vizek szulfátjának 32–38% közötti  $\delta^{34}\text{S}$ -értékei termikus szulfátredukcióra utalnak, míg az ennél kisebb értékek a szulfát feltehetően triász kőzetek anhidritjéből történő kioldódását jelzi. Az alsó-pannóniai öszletek vizeiben mért 6–8% közötti  $\delta^{34}\text{S}$  a szulfát késődiagenetikus eredetére utal.

### 5.1.2. A termelő és visszasajtoló „kútpárok” vízösszetételének összehasonlítására vonatkozó vizsgálati eredmények

A vízvisszasajtolásra vonatkozóan, mind a geotermikus, mind pedig a szénhidrogén-termeléshez kapcsolódóan történt mintavételezés a K13 projektben. A termelő és visszasajtoló kútpárok a geotermikus hasznosítások esetében a nagy mélységű karbonátos víztartókhoz kapcsolódnak (Bőny, Veresegyháza). A szénhidrogén-termelés esetében (Dél-Dunántúl,

battonyai mintaterület, Dévaványa) a vizsgált vizek termelése és visszasajtolása az alsó-pannóniai rétegekbe történik.

5. táblázat A K13 projekt során vizsgált termelő és visszasajtoló kutak kútkataszter szerinti azonosítója és a feldolgozás során alkalmazott minta jelei (VS – a visszasajtoló kutat jelöli a termelő kúttal egy mezőben)

Kút jele	Minta jele	Megjegyzés
Veresegyháza K-26	K13-0701	K-26 Kertészet, mintázáskor ez ment a legnagyobb arányban a visszasajtoló kútba
Veresegyháza K-23 VS	K13-0801	K-25 külvárosi és a B-15 belvárosi fűtés és használati meleg víz a mintázáskor elhanyagolható arányban kerültek visszasajtolásra
Bőny K-25	K13-1201	Bőny-24, -25, -26 kutak vizét összekeverve sajtolják vissza, a kevert vizet megosztva a Pér-8, -9 kutak között
Bőny K-25 VS	K13-1301	
HHE Déva-1	K13-1401	A Déva-1 jelű fűrés vízfrakciójához hozzákeveredik más kutak vize is a visszasajtolás során
HHE Déva-1 VS	K13-1501	
Dél-Dunántúl 2	K13-2201	Kettő termelő kút vizét sajtolják vissza, ebbe a visszasajtoló kútba és még néhány további visszasajtoló kútba
Dél-Dunántúl 1 VS	K13-2101	
Pf-214	K13-2301	A PfT-7, PfT-5, PfT-6, PfT-2 gyűjtők vize mind ide érkezik be (pusztaföldvári és csanádpusztai rezervoárok) Az engedéllyel rendelkező vízikiváló kutak: Pf-20, Pf-30, Pf-43, Pf-90, Pf-50/A. (MOL tájékoztatása alapján)
Csa-23	K13-2401	
PfT-3 főgyűjtő VS	K13-2501	

A termelő–visszasajtoló kútpárok tekintetében ugyancsak megfigyelhető a mintázott víz összetételének változása. Az alsó-pannóniai képződményekből származó dél-dunántúli (K13 2201-2101) és dévaványai (K13 1401-1501) termelőkutak és visszasajtolandó vizek eltérő kationaránytal, a dévaványai minták különböző kloridtartalommal jellemezhetők. A battonyai minták egy részében a hidrogénkarbonát-tartalom alapján különülnek el a minták (K13-2401-2501) (10. ábra). A dél-dunántúli (K13 2201-2101) és dévaványai (K13 1401-1501) termelt és visszasajtolandó vizek a  $Cl^-/Br^-$ -arány (11. ábra) alapján is elkülönülnek egymástól. Ezzel szemben a vizsgált geotermikus hasznosítások esetében a kútpárok vizei hasonlóak (karbonátos víztartók). Ennek valószínűsíthető oka a visszasajtolásra kerülő víz kevert vízösszetétele. A karbonátos visszasajtoló kútpároknál (bőnyi és veresegyházi geotermikus hasznosítások) nincs számottevő különbség a kationarány és a klorid- vagy hidrogénkarbonát-tartalom alapján. Ez utóbbiak a termelő kúttal azonos vízösszetételű visszasajtoló víz és/vagy zárt termelő–visszasajtoló rendszer meglétére utalnak.

A visszasajtolásokra gyakorta jellemző, hogy míg a geotermikus vízvisszatáplálások esetében a termelő kútból kitermelt vizet a visszasajtoló kútpárba sajtolják vissza, addig a szénhidrogén-termeléseknél több termelő kút összegyűjtött, esetleg távolabbról szállított, kevert vize kerül visszatáplálásra.

A magyarországi nagy – pár száz  $\mu g/l$  – arzéntartalmú felszín alatti vizekre vonatkozóan több publikáció is ismert (Csanády et al., 1985; Varsányi et al., 1991.; Csalagovits, 1999; Varsányi és Ó.Kovács, 2006; Szöcs et al., 2008), ugyanakkor a projekt keretében vizsgált alsó-pannóniai dél-alföldi arzénkoncentrációk ezekhez képest egy nagyságrenddel nagyobbak. A

battonyai szénhidrogénipari mintaterület vizsgált termelő kútjainak arzénkoncentrációja 1450–2150 µg/l, míg a PFT-3 főgyűjtő kifolyó vizében (mely nem csak e kutak, hanem más termelő kutak vizét is tartalmazza) további egy nagyságrenddel volt nagyobb az arzéntartalom. A visszasajtolásra kerülő vízben 13.460 µg/l As-koncentrációt határoztak meg.

Megjegyezzük, hogy a dévaványai visszasajtolásra kerülő kút vizében két nagyságrenddel nagyobb az arzén koncentrációja, mint a termelő kútban. Míg utóbbi kimutatási határ alatti, addig a visszasajtolásra kerülő víz As-koncentrációja 103 µg/l. A visszasajtolmány ebben az esetben is több termelő kút vizét tartalmazza. A többi vizsgálati területen, az arzénkoncentrációk zömmel 10 µg/l alattiak, négy esetben 10 és 36 µg/l közötti koncentrációértékekkel.

A kiugróan nagy battonyai szénhidrogénipari mintaterület arzénkoncentrációinak értelmezése érdekében áttekintettük a rendelkezésre álló adatokat, információkat, felhasználva a nemzetközi irodalom adatait is.

Megállapítható, hogy mély, nagy hőmérsékletű termálvizekben, valamint a szénhidrogéntelegek környezetében nagyon nagy As-koncentrációk fordulnak elő világszerte, megerősítve hazai tapasztalatainkat.

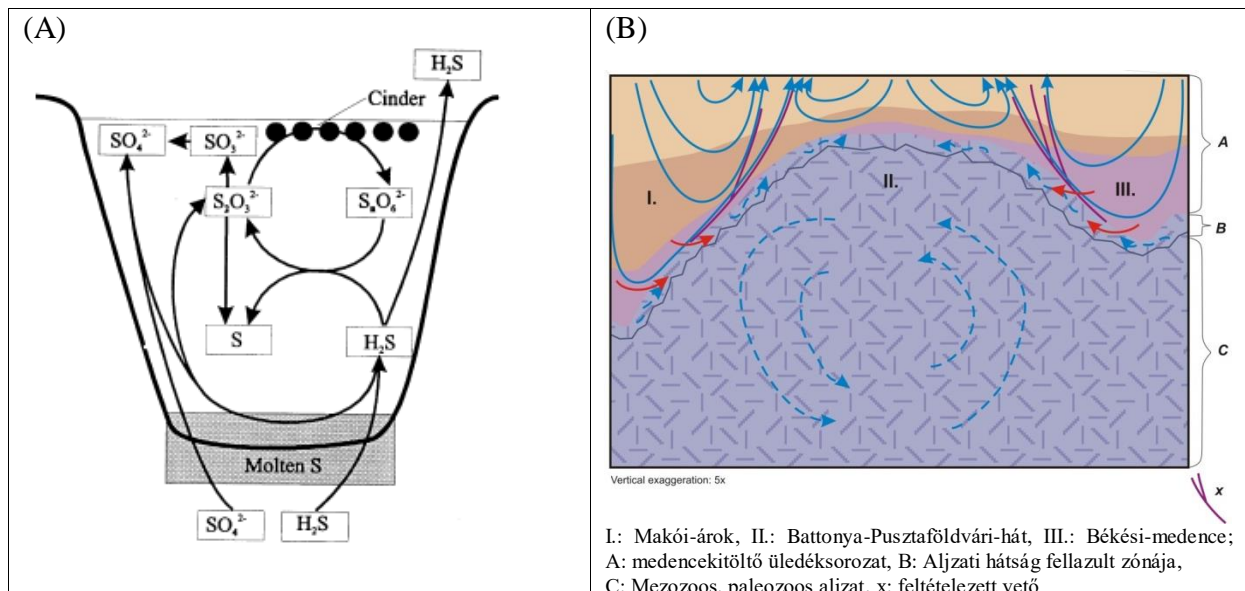
A nyers kőolaj és folyékony szénhidrogének arzénkoncentrációi széles tartományban változnak, a néhány tíz µg/l-től a több mint 500.000 µg/l értékekig (Davis, 1968; Hitchon et al. 1975; Puri és Irgolic 1989). Mivel a nagy arzéntartalmú talajokon és arzénes vizek környezetében a növények felveszik és akkumulálják az arzént (US National Academy of Sciences 1977), ezért a szénhidrogénekben történő felhalmozódásuk természetes folyamat része (Valkovic 1978). A kőzetek arzénkoncentrációja támpontot ad arra vonatkozóan, hogy hol várható elméletileg nagy arzéntartalmú felszín alatti víz, ugyanakkor az előfordulás szempontjából meghatározó kritérium a domináns geokémiai környezet (Smedley és Kinniburgh 2002). Az üledékek nagy arzéntartalma nem feltétlenül eredményezi a felszín alatti vizekben történő nagy arzéndúsulást (Erickson és Barnes 2005; Thomas et al. 2008).

A szénhidrogénekben megjelenő természetes eredetű nagy arzéntartalom mellett, a termelés során arzéntartalmú adalékanyagok alkalmazása is bevett gyakorlat volt (Barrett 2015) az Egyesült Államokban. Annak érdekében, hogy választ lehessen adni az adalékanyagok esetleges szerepére, javasolt azok arzéntartalmának megvizsgálása, illetve a történelmi adatok áttekintése.

Mindezek mellett, a geotermikus rezervoárok vizeinek nagy arzénkoncentrációit a latin-amerikai rendszerektől az Egyesült Amerikai Államokon keresztül Kínáig és a világ más részein is dokumentálták. A Transz-mexikói vulkanikus övben 49,6–73,6 mg/l tartalmú termálvizeket dokumentáltak (Birkle et al. 2010). A Yunnan-Sichuan-Tibeti geotermikus térség vizeinek arzénkoncentrációja széles tartományban mozog, a kimutatási határ (1 µg/l) alatti értéktől 125,6 mg/l-ig (Guo 2019). Nordstrom et al. (2019) a Yellowstone Nemzeti Park termálvizeinek 24 éven át tartó vizsgálata alapján megállapították, hogy e vizek arzéntartalma kimutatási határ alatti (0,5 µg/l) értékektől 15 mg/l-ig terjedő koncentrációtartományban változik. A mérési adatok többsége 100 és 3.000 µg/l közötti.

Utóbbi kutatások érdekes geokémiai folyamatokat tártak fel a kén körforgása és az arzén dúsulására vonatkozóan, amelyekhez részben hasonló áramlási-dúsulási elvek mentén is dúsulhat elméletileg az arzén a battonyai mintaterület vizeiben. Ez azt jelenti, hogy a szerves anyag bakteriális és termikus bomlásához kapcsolódó arzéndúsuláson túl a Battonya-Pusztaföldvári-hát aljzati képződményeiben előálló saját áramlási rendszer (Kun et al. 2020) is elősegíti az arzéndúsulást. A két folyamatot 13. ábra szemlélteti.

Ugyanakkor fontos megjegyezni, hogy a rendelkezésünkre álló adatok alapján több ezer, vagy akár 10.000 illetve 200.000  $\mu\text{g/l}$  fölötti As-koncentrációt is mértek más hazai szénhidrogénipari körzetekben is, az ország egészen más földrajzi pontjain és földtani közegeiben is. Mivel a vizsgált battonyai termelő kutak nem fedték le a teljes termelő kúthálózatot és a főgyűjtőből további termelő kutak vize is visszasajtolásra kerül, ezért egy komplex értelmezéshez meg kell vizsgálni az alaphegységi kőzetek és a felettük települő üledékek ásványos és kémiai összetételét, valamint a főgyűjtőbe kerülő összes termelő kút vízösszetételét.



13. ábra (A) A kén körforgásának elvi sémája a Cinder tavacska alapján (Xu et al. 2020); (B) A Battonyai-hátság és árokrendszerének elvi áramlási modellje (Kun et al. 2020)

### 5.1.3. A hidrogeológiai és vízkémiai vizsgálatok eredményei az egyes mintaterületek szerint

Az **igali pilotterület** numerikus modellezés eredményei azt mutatták, hogy egy olyan földtani környezetben, ahol a földtani felépítés és az egyes víztartókban zajló vízáramlások hajtotta hőáramlás és eltérő vízösszetételek esetében nem csak azt kell szem előtt tartani, hogy a visszasajtolás által segítsük a rétegenergiát fenntartani, hanem azt is, hogy egy nem megfelelő helyre telepített visszasajtoló kút akár a konvektív áramlás fűtő hatását is képes kiiktatni. Az aljzati termálvíztartóra telepített visszasajtoló kutak hűtő hatása megjelenik az aljzati kiemelkedés felett települő porózus összlet vízhőmérséklet csökkenéseiben is, és a korábbi aljzati fűtő hatás el is ényészhet hosszútávon.

A víz-kőzet kölcsönhatások vizsgálatával rámutattunk arra, hogy amíg a termelő kútban a nagyobb összes oldottanyag-tartalmú víz beáramlása ásványkiválásokkal jár, addig a vízáadó közegben beoldódás tapasztalható, amely a pórustér megváltozását eredményezi.

A főalkotó kationok és anionok alapján a vizek jellege eltérő a felső-pannóniai, a kevert vízü és az aljzati víztartókban. Az igali aljzati kiemelkedés területén, egymáshoz közel, de különböző mélységből származó vízminták hőmérséklete és TDS-e jelentősen eltér egymástól. A LiCl-geotermométer a kevert vízü és az aljzati víztartókban minimum 150-180 °C-os környezetből, azaz 2,5–3 km-es mélységből származó eredetre utal, mely alátámasztja az aljzati termálvíztartó vizeinek nagy mélységből való származását. A nyomelem-összetétel és az ionarányok alapján a felső-pannóniainál idősebb képződményekből származó vizek esetében az elzártabb pórusvíz eredet feltételezhető, melyet a stabil oxigén- és deutériumizotóp adatai vagy arányai is alátámasztanak. A  $\delta^{18}\text{O}$ - és  $\delta\text{D}$ -arány a felső-pannóniai összlet vizében csapadékeredetre, a triász, valamint a neogén és triász képződményeket együtt szűrőzött kút vizében mélységi komponens jelenlétére utal. A víztartóktól függetlenül, mindhárom minta  $\delta^{34}\text{S}$ -értéke 30‰-nél nagyobb, ami a szulfát közös eredetével kapcsolatos. Valószínű, hogy a termelt vizek áramlásuk során érintkeztek olyan kőzetekkel, amelyekben termikus szulfátredukció történt vagy történik napjainkban is. A  $^{14}\text{C}$ -aktivitás a triász, valamint a neogén és triász képződményeket együtt szűrőzött kútban 40 000 évnél idősebb látszólagos vízkort jelez, míg a felső-pannóniai összlet vize – alsó mérés határ közeli  $^{14}\text{C}$ -értékkel – is legalább több tízezer év.

A **tamási pilletterületen** történt modellezések eredményei azt mutatták, hogy nem elegendő azt a szempontot szem előtt tartani, hogy a termelt rétegek nyomása kedvező irányba változzon, de azt is figyelembe kell venni, hogy a visszasajtoló kutak elhelyezése ne okozzon káros hatást a termelő kutak vízhőmérsékleteiben. Vagyis egy olyan rendszer esetében, amikor a termálvíztartó teljes vertikumát érintik víztermelések, a visszasajtoló kút (vagy kutak) megfelelő elhelyezése kiemelt fontosságú. Általánosan is kiterjeszthető, hogy a visszasajtoló kutak helyszínének kijelölésekor sok esetben a rendelkezésre álló telek elhelyezkedése és az építendő vezeték nyomvonalának problémái, telepítési költségei elsődleges szerepet játszanak és a szakmai szempontok emiatt a háttérben maradnak. Emiatt különösen fel kell hívni a figyelmet arra, hogy a rendszer üzemelésének hosszú távú fenntarthatósága érdekében a legfontosabbnak a kutak megfelelő elhelyezésének kell lennie. Egy olyan geotermikus rendszerben, ahol a termelt víz hőfoka alig éri el az 55 °C-ot, még egy "viszonylag" jó helyre telepített visszasajtoló kút is okozhat akár 3 °C-os hőmérséklet-csökkenést. Ez nem csak a felszín alatti termálvíztartók vízföldtani jellemzőire gyakorol kedvezőtlen hatást, de egy rendkívül költséges beruházás hosszú távú üzemelését is veszélybe sodorhatja.

Víz-kőzet kölcsönhatás modellezés segítségével kimutattuk, hogy a sekélyebb kútba áramló magasabb oldottanyag-tartalmú víz hatására a sekélyebb kútban a vízből kalcit, dolomit, goethit, kvarc válhat ki, korlátozva a termelést.

Bár mindhárom mintázott objektum felső-pannóniai homokkővet termel, különböző mélységeket tárnak fel. A kationarányok és a kloridtartalom kapcsolata alapján, valamint a nyomelemek ionarányai figyelembevételével a mélyebbről származó tamási vízminta esetében feltételezhető az elzártabb pórúsvízzel való keveredés. A főkomponensekhez és vizsgált nyomelem arányokhoz hasonlóan, a mintázott termálvizek stabilizotóp-aránya is eltér. A két sekélyebb kút csapadékeredetű beszivárgásra, a mélyebb kút a mélységi vizekkel történő keveredésre utal. A  $^{14}\text{C}$ -értékek 40 000 évnél idősebb látszólagos vízkort jeleznek. A mélyebb kút az oldott hidrogén-karbonát  $^{13}\text{C}$ -ben való dúsulását mutatja, hasonlóan az igali mintaterületen tapasztaltakhoz. A bakteriális bomlás kinetikus frakcionációt eredményezhet, ami felelős lehet a vízben oldott hidrogén-karbonát  $^{13}\text{C}$ -ben történő dúsulásáért.

A **szolnoki pilotterület** modellvizsgálata kapcsán a nyílt és zárt geotermikus rendszerek üzemelésekor előfordulható problémákat és lehetséges konfliktushelyzeteket vizsgáltuk. Nyílt geotermikus rendszereknél a többlettermelések által bekövetkező változásokat és azok területi megjelenését vizsgáltuk. Ezen rendszereknél a vízszintsüllyedés okozza az elsődleges problémát, mely megelőzése, megakadályozása fontos és nehéz feladat. A terület beépítettsége nehezíti a megfelelő monitoringrendszer kialakítását és kiépítését, a legoptimálisabb az, ha a meglévő kutak megfelelő időközönkénti vizsgálatát célozzuk meg. A (térben és időben) megfelelő sűrűségű monitoring-hálózat kiépítése hozzájárulhat a termelés növelésének, új termelések engedélyezésének folyamatához, mely biztosítja a területen előforduló termálvizek megfelelő minőségét és mennyiségét. A nyílt geotermikus rendszerek másik problémája a lehűlt víz elhelyezésében rejlik. Fontos megismerni a termálvíz elhelyezések típusait és helyszíneit, hogy a felszíni befogadók terhelését korlátozni és csökkenteni lehessen. Ez elősegítheti a termálvíz felhasználás hatékonyságának növelését, a kaszkádszisztemek fejlesztését.

A víz-kőzet kölcsönhatásokat vizsgálva megállapítható, hogy egy több céllal hasznosított pórusterben például  $\text{CO}_2$ -besajtolásából esetlegesen bekövetkező havária során a beoldódó ásványok megváltoztatják a vízáradó pórusterét, és a víz megnövekedett  $\text{Na}^+$ - és  $\text{K}^+$ -tartalma alkalmatlanná tenné azt emberi fogyasztásra és öntözésre.

A szolnoki mintaterületen mindhárom objektum felső-pannóniai homokkőre szűrőzött. Ugyanakkor a sekélyebb termelő kút kisebb, míg a mélyebb termelő kutak lényegesen nagyobb klorid-koncentrációval és kationarányal jellemezhetők. A sekélyebb kútnál intenzívebb vízáramlás, a mélyebb kutaknál a kationarányok alapján ionsere folyamatok és elzártabb vizekkel való keveredés feltételezhető. A sekély kút és a mélyebb kutak eltérő nyomelem-koncentrációkkal jellemezhetőek. A nyomelemekben megfigyelhető nagyságrendi különbségek és a főalkotók különbségei eltérő kialakulásra vagy hatásokra utalnak. Stabilizotóp-arányuk alapján is különböző áramlási rendszereket, keveredési zónákat reprezentálnak. A sekélyebb kút  $\delta^{18}\text{O}$ - és  $\delta\text{D}$ -aránya csapadékeredetűt mutat, míg a mélyebb kutakban kimutatható a mélységi komponens.

A víz-kőzet kölcsönhatásokat vizsgálva megállapítható, hogy egy több céllal hasznosított pórusterben például  $\text{CO}_2$ -besajtolásából esetlegesen bekövetkező havária során a beoldódó

ásványok megváltoztatják a vízáadó pórusterét, és a víz megnövekedett  $\text{Na}^+$ - és  $\text{K}^+$ -tartalma alkalmatlanná tenné azt emberi fogyasztásra és öntözésre.

A **Görbeháza–Hajdúnánás pilotterület** esetében a szénhidrogén- és termálvíztermelés egymásra hatását vizsgáltuk. Bemutattuk, hogy a gáztermelés kísérővizének visszasajtolásakor a bejuttatott szennyező anyag nem veszélyezteti a legközelebb eső, hajdúnánási strandfürdő termelő kútját, a legrosszabb esetet feltételezve sem terjed a bejuttatott szennyező anyag 600 méteres sugarú körön túlra. Tanulmányoztuk azt az esetet is, hogy milyen hatással lenne (pro- és kontra) a szénhidrogén-termelő és visszasajtoló rendszerre egy új termálvízkivétel beépítése. A modelleredmények azt mutatták, hogy a gáztermelő kutak környezetében kisebb, 0,5–1,5 méter körüli depresszió várható, és a gáztermelés során keletkező kísérővíz koncentrációja ugyancsak nem éri el 50 év alatt sem a fiktív termálvíztermelő kút környezetét. A modelleredmények rámutattak arra, hogy egy kalibrált hidrodinamikai és transzportmodell alkalmas a monitoringpontok kijelölésére, a modell folyamatos aktualizálása mellett a felszín alatti termálvizes közegben végbemenő, várható hatások kellő biztonsággal nyomon követhetők.

Az alkalmazott szerves anyag lebomlását vizsgáló kinetikus modell alkalmas egy esetleges pillanatszerű szennyeződés hatásának, időtartamának (1-2 hónap) vizsgálatára, azonban hosszútávú hatás modellezésére nem megfelelő.

A mintázott felső-pannóniai összletre szűrőzött kutak fő-és nyomelem koncentrációi eltérőek, azonban az ionarányok hasonló eredetre utalnak, lehetséges a mélyebbről feláramló vízzel való keveredés. Izotópos összetételük is hasonló, amely rokon eredetet és hatásokat feltételez. Stabil oxigénizotóp és deutérium összetételeik mélységi pórúsvíz jelenlétét vagy hozzákeveredését jelzik. A nehéz oxigénizotóp dúsulásához hasonlóan, a nehéz szénizotóp dúsulása figyelhető meg mindkét mintában.

A **Battonya–Pusztaföldvári-hát pilotterületen** a kardoskúti szénhidrogéntelep példáján egy félszintetikus modellvizsgálatot végeztünk. Vizsgálatunk tárgya egy szénhidrogéntelep és a környező termálvíz-hasznosítás lehetséges interakciója volt. A rezervoárok esetünkben leginkább hidrosztatikus, vagy annál valamivel alacsonyabb nyomásviszonyokkal jellemezhetőek. A felső-pannóniai rétegekben kialakult szénhidrogén-rezervoárok földgázt tárolnak, mely rezervoárok általában függetlenek egymástól. Az alsó-pannóniai olajtelepek a vizsgált térségben már nagyrészt elviesedtek, de izolációjukra a legnagyobb bizonyíték épp maga a csapdázódás megléte. A bányászati termelés és visszasajtolás által a termálvíztest nyomásszintjét érintő változásoknak a hasznosítás engedélyben meghatározott körzetén belül kell maradnia. Egy 'worst case' szcenárió keretében egy kút tönkremenetelét is szimuláltuk, ezáltal szemléltetve, hogy előállhat a termálvíztartókra nézve egy ilyen kedvezőtlen hatás. Fontos kiemelni, hogy amíg a geotermikus koncesszió a 2500 m felszín alatti mélységtartományra vonatkozik, addig a szénhidrogén-koncessziók lehatárolható kutatási területe a földfelszíntől, azaz 0 m-től definiált. A kutatást követően kijelölt bányatelek is e



térrészre esik, tehát a lehetőség adott a termálvizes rétegekre való ráhatásra, de mint a vizsgálatsorozatban láttuk erre leginkább a kút tönkremenetelekor lehet számítani, ami viszont a műszerezett és folyamatosan megfigyelt kutak esetében rögtön detektálható folyamat. A jogi háttér, a szabályozott tartalmú és engedélyezési eljáráson átesett MÜT alapvetően garancia a hosszútávú és érdeksérelem nélküli üzemelésre.

A visszasajtoló vízből történő ásványkiválások nyomás- és hőmérsékletfüggését modellezve megerősítést nyert, hogy a kitermelt víz eredeti hőmérséklet és nyomásviszonyaihoz hasonló, magasabb hőmérsékletű, magasabb nyomáson történő visszasajtolás csökkenti a valószínűségét a visszasajtoló rendszerben történő kiválásoknak, biztosítja annak hatékonyabb működését.

A Battonya–Pusztaföldvári-hát mintaterületén a termelő kutak vizének vízkémiai jellege hasonló. Az alsó-pannóniai képződményekből származó vízminták kisebb kationarárnyal és ugyanakkor magasabb kloridtartalommal jellemezhető elzártabb vizek. A Battonya–Pusztaföldvári-hát mintaterületén a termelő kutak vizének magas  $\text{Br}^-$ -tartalma és alacsonyabb  $\text{Cl}^-/\text{Br}^-$ -arányai a vizek elzártabb jellegére utalnak, valamint magas szervesanyag-tartalmú rétegekkel való kapcsolatára, melyek összhangban állnak a szerves-geokémiai és izotóp-geokémiai eredményekkel. A mintázott fluidumokban jelentősen dúsul a nehéz oxigén- és deutérium izotóp, ami bezárt pórusvizet feltételez, nem csapadékeredetűek. A szulfát kénizotóp-tartalma alapján középső-triász dolomitok, dolomitos kőzetek anhidritjéből oldódhatott ki, annak ellenére, hogy a perforált szakaszok alsó-pannóniai összletben létesültek. Az alacsony, vagy alsó mérési határ alatti  $^{14}\text{C}$ -aktivitások alapján csak azt lehet biztonsággal megállapítani, hogy minimum sok tízezer éves látszólagos vízkorokról beszélhetünk. Természetesen ez jelentheti azt is, hogy jóval idősebb, üledékbezáródáshoz köthető pórusvizek a dominánsak. A  $\delta^{13}\text{C}$ -értékek az oldott hidrogén-karbonát jelentős mértékű  $^{13}\text{C}$ -ben való dúsulását mutatják, mely úgy a bakteriális, mint a szerves anyag termogén bomlásához köthető kinetikus frakcionáció eredményeképpen jött létre.

#### 5.1.4. A szerves kémiai komponensek értékelése

A szerves mikroszennyezők vizsgálata magába foglalta az illékony és nem illékony GC-MS screen, fenolindex, TPH, BTEX, PAH, illékony halogénezett szénhidrogének (VOCl), valamint a fenolok GC-vizsgálatait. A szerves mikroszennyezők vizsgálatát a nem természetes eredetű komponensek (pl. metanol), oldott és szeparált gázalkotók, valamint a környezeti izotópok vizsgálata teszi teljessé.

A K13 mintavétel során a szénhidrogénipari és geotermikus tevékenységek során alkalmazott, a felszín alatti vizek állapotát potenciálisan veszélyeztető adalékok megismerése is célunk volt. Ezek olyan, többnyire szerves vegyületekből/komplexekből előállított anyagok, amelyek gátolják a vízkőképződést, a korróziót, megelőzik az olaj-víz emulziók kialakulását illetve lebontják a már meglévő emulziókat a termelés hatékonyságának növelésére illetve a berendezések állapotának védelme céljából. Ezek a vízkezelő szerek, tehát olyan specifikus/aktív komponenseket tartalmazhatnak, melyeknek a monitorozását az engedélyező hatóságok kötelezően előírhatják.



Az adalékanyagok alkalmazásáról nehéznek bizonyult részletes információt kapni, azok pontos összetételére és mennyiségére vonatkozóan. Az egyik mintavétel során, az üzemeltető által megismertetett emulzióbontó adalék jellemző összetételére a gyártó (NALCO) oldalán található információt. Ez alapján az adott adalékanyag esetében toluol- (10-30%), kis molekulású alifás (10-30%) és aromás (10-30%) nafta- (szénhidrogének), metanol- (5-10%), trimetil-benzol- (5-10%), nagy molekulású aromás nafta- (5-10%) (szénhidrogének) és naftaléntartalommal (0,1-1%) számolhatunk. Azonban, az adalékanyag használata terület/mező specifikus. Arra vonatkozóan, hogy az alkalmazott adalék milyen mennyiségben és adagolásban kerül (időben is változóan) alkalmazásra, általánosságban nem rendelkezünk dokumentációval és adatokkal.

A vizsgált, szerves mikrokomponensek közül néhány, potenciálisan az adalékanyagok jelenlétét jelző alkotó vizsgálatát foglaljuk össze, melyek egyidejűleg a jogszabályozásban a K1 besorolású veszélyes szennyező anyagok kategóriájába tartoznak. Ezek a BTEX szerves mikrovegyületek közül a toluol, (benzol, etilbenzol, xilol), az egyéb alkilbenzolok közé sorolt trimetil-benzol, ezeken felül a metanol, továbbá a naftalének (PAH-ok). E munkacsomag keretében mintázott vizek szervesanyag-tartalmának részletesebb szerves geokémiai értékelését az előző évi jelentésünkben ismertettük (Kun et al. 2020).

### **A BTEX szerves mikrovegyületek eloszlása a vizsgált vizekben**

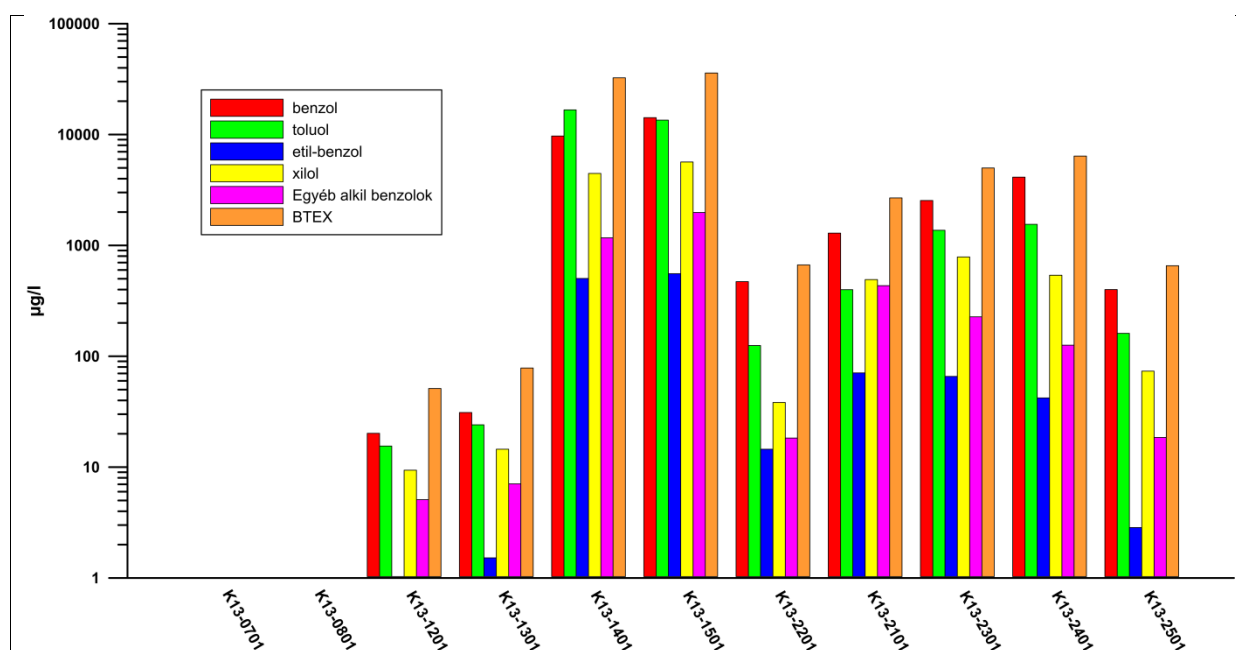
A termelő és visszasajtoló kutak BTEX komponenseinek összehasonlítását az 14. ábra szemlélteti. A BTEX egyik főalkotója, a toluol, melynek a felszín alatti vizekben a szennyezettségi határértéke 20 µg/l. A veresegyházi termelő és visszasajtoló kútpár kivételével valamennyi K13 visszasajtoló kútpár mintájában jóval a határérték feletti mennyiségben kimutatható. Az alföldi és a dél-dunántúli porózus alsó-pannóniai képződmények szénhidrogén-termelő kútpároknál nagyságrendekkel magasabb az értéke, mint a geotermikus hasznosítások esetében. A minták között kiemelkedik a Dévaványa K13-1401 gáz és gazolin termelő kút és K13-1501 visszasajtolandó toluol tartalma (16 700 és 13 500 µg/l). A Pusztaföldvári mező termelő kútjaiban (K13-2301 és K13-2401) 1 000 µg/l feletti koncentráció mérhető (1 370 és 1 550 µg/l), míg a Pft-3 főgyűjtőben (K13-2501) levő visszasajtolandó víz toluol-koncentrációja kisebb, de szintén határérték feletti, 160 µg/l. Mivel a toluol illékony szerves mikrokomponens, ezért feltételezhető, hogy a visszasajtolásra kerülő vízben detektált kisebb koncentrációja a főgyűjtőben bekövetkező elillanásának eredménye. A mintázott szénhidrogén-hasznosítási területek között a Dél-Dunántúl 1 gyűjtő és 2 termelő kút (K13-2101 és K13-2201) esetében, bár a többi területhez képest kisebb mennyiségben, azonban szintén jóval a határérték feletti a toluol koncentrációja (399 és 125 µg/l). Ezen alsó-pannóniai kutakon kívül még a felső-pannóniai homokkövekből körülbelül 1000 m felszín alatti mélységben szűrőzött Hajdúnánás K-202 hévíz termelő kút (K13-1601) tartalmaz nagy koncentrációban toluolt (167 µg/l).

A toluol mellett, a fenti objektumok vizeiben a benzol, illetve a dévaványai mintákban a xilolok mennyisége is jelentős (lásd. 14. ábra) az összes BTEX mennyiségét illetően,

határérték feletti. A benzol esetében a szennyezettségi határérték 1 µg/l, az összes többi komponens esetében 20 µg/l.

A mezozoos karbonátok és a sekélyebb felső-pannóniai összlet vizeiben nem volt kimutatható BTEX, kivéve az igali triász karbonátból és kevert miocén és triász karbonátokból termelő kutak (K13-0201 és K13-0301) vizét, valamint a felső-pannóniai Tamási (K13-1801) kút esetében. Ezen adatok összhangban vannak az előzőekben ismertetett vízgeokémiai értékelésekkel.

A BTEX csoporton belül elkülönített egyéb alkil-benzolok is megjelennek a legtöbb objektumban. Például, az 1,3,5-trimeti-benzol, több szénhidrogént termelő kút és visszasajtolandó vízmintában is megtalálható határérték feletti, akár nagyságrenddel különböző mennyiségben.



14. ábra Termelő és visszasajtoló kutak BTEX szerves mikrokomponens koncentrációjának összehasonlítása (a termelő-visszasajtoló mintapárok a K13-0701-0801, K13-1201-1301, K13-1401-1501, K13-2101-2201, K13-2301-2401-2501)

### A metanol eloszlása a vizsgált vizekben

A metanol koncentrációja kimutatási határ alatti a legtöbb mintavételi pont esetében. Jelentős metanol-koncentrációkat Dévaványa esetében tapasztalhatunk, több ezer mg/l-es nagyságrendben, jóval a felszín alatti vízben megengedett 1 mg/l szennyezettségi határérték felett. Ez a koncentráció a K13-1401 gázt és gázolint termelő kútban alacsonyabb (4890 mg/l) míg a K13-1501 visszasajtolandó víz esetében magasabb (7140 mg/l). Szintén szennyezettségi határérték feletti mennyiségben (2,47 mg/l) még a Dél-Dunántúl 1 (K13-2101) főgyűjtő vizében figyelhetünk meg metanolt.

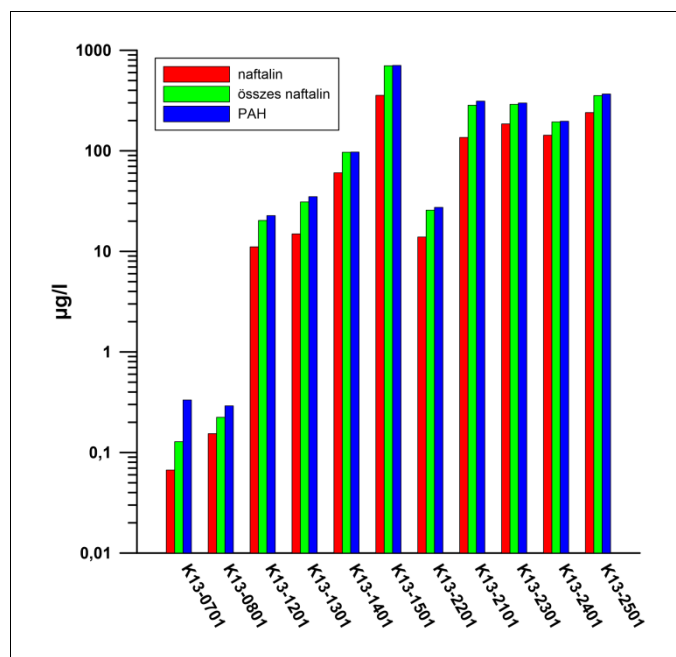
### A policiklusos aromás szénhidrogének (PAH) eloszlása a vizsgált vizekben

A naftalin és az összes naftalin teszi ki a PAH gyakorlatilag teljes hányadát. Dévaványa K13-1401 gázt és gázolint termelő kút és K13-1501 visszasajtolandó víz esetében 60,5 µg/l illetve

a visszasajtolmányban ennek az 5-szöröse, 356  $\mu\text{g/l}$  koncentráció volt mérhető, mely szintén jelzi, hogy nem csak a termelő kút vize, hanem több, és eltérő koncentrációjú policiklusos aromás szerves szénhidrogéneket is tartalmazó víz kerül visszasajtolásra. Továbbá a Dél-Dunántúl 1 (K13-2101) főgyűjtő vizében 136  $\mu\text{g/l}$  a PAH koncentrációja. A Pusztaföldvár mező Pf-214, Csa-23 vizében 185 és 143  $\mu\text{g/l}$ , míg a PFT-3 főgyűjtő visszasajtolandó vizében magasabb, 240  $\mu\text{g/l}$  koncentráció volt mérhető.

A triász karbonátok vizét hasznosító bőnyi és veresegyházi geotermikus termelő–visszasajtoló rendszerek vízösszetételére a szénhidrogénipari kútpároknál lényegesen kisebb PAH-koncentrációk jellemzőek.

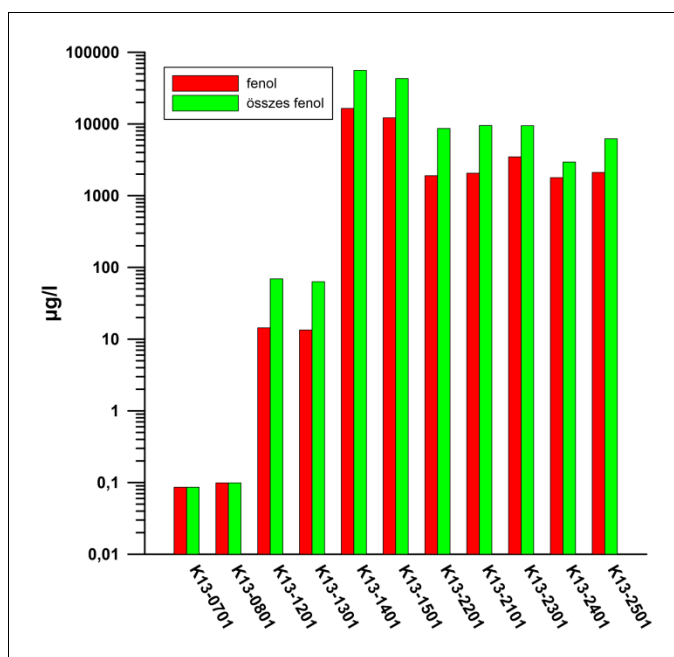
A vizsgált vizek mindegyikében kimutatási határérték fölött volt a PAH-koncentráció. Érdeemes megjegyezni, hogy a 6/2009. (IV. 14.) KvVM-EüM-FVM együttes rendelet 2  $\mu\text{g/l}$ -ben határozza meg a naftalinok és ugyancsak 2  $\mu\text{g/l}$ -ben a naftalin nélkül vett összes PAH szennyezési határértékeit a felszín alatti vizekben. A bőnyi (K13-1201-1301), dévaványai (K13-1401-1501), dél-dunántúli (K13-2101-2201), battonyai (K13-2301-2401-2501) termelő és visszasajtoló kutakban a szennyezettségi határérték feletti koncentrációkat tapasztaltunk, a visszasajtoló kutakban minden fenti esetben nagyobb koncentráció volt megfigyelhető. A veresegyházi termelő- és visszasajtoló kutak koncentrációi a szennyezési határérték alattiak. A 201/2001. (X. 25.) Korm. rendelet 0,1  $\mu\text{g/l}$ -ben határozza meg az ivóvizekre a határértéket. Ez felhívja a figyelmet arra, hogy visszasajtolás esetén nagyon fontos a megfelelő – a termelt réteggel azonos – rétegbe történő visszasajtolás. A termelő és visszasajtoló kutak PAH-koncentrációit a 15. ábra szemlélteti.



15. ábra Termelő és visszasajtoló kutak PAH szerves mikrokomponens koncentrációinak összehasonlítása

## A fenol- és az összesfenol-tartalom eloszlása a vizsgált vizekben

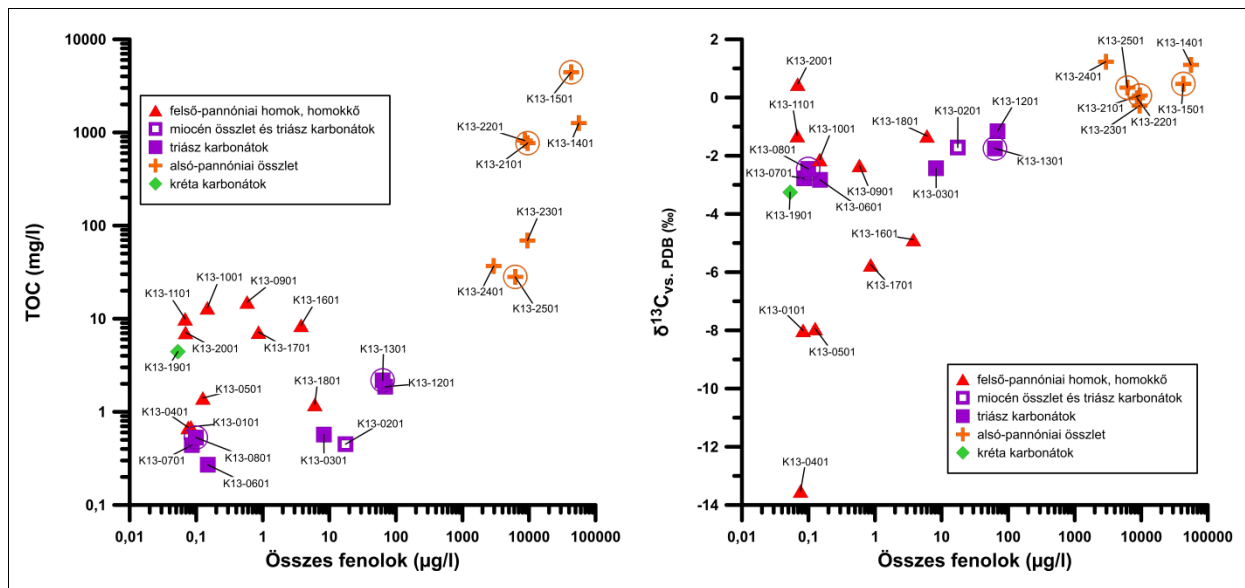
A fenol- és az összesfenol-tartalom kizárólag a szénhidrogénipari hasznosítású termelő és visszasajtolandó vízminták esetében haladta meg a 20 µg/l szennyezési határértéket, melyet a 16. ábra segítségével mutatunk be. A vereasegyházi mintaterület esetében nem számottevő, míg a bőnyi mintaterület esetében, a termelő és a visszasajtolandó vízminta fenoltartalma határérték körüli, az összes fenol tartalma azonban itt is határérték felett van. A többi, vizsgált hévíztermelő kút esetében nem számottevő a fenol koncentrációja.



16. ábra Termelő és visszasajtoló kutak fenol és összes fenol szerves mikrokomponens koncentrációinak összehasonlítása

Az összes fenol tartalmát az összes szerves szén tartalmával (TOC) vizsgálva (17. ábra), jól elkülöníthetők a nagyobb összesszéntartalommal jellemezhető alsó-pannóniai összletből származó vizek csoportja, az alacsonyabb TOC-tartalommal rendelkező karbonátos és a felső-pannóniai képződmények vizeitől. A kb. 10 µg/l és afeletti összesfenol-tartalommal egyidejűleg növekvő TOC-tartalmat figyelhetünk meg. A felső-pannóniai és a mezozoos karbonátok vizeiben a fenolok megjelenését a hőmérséklet határozza meg. A közel hasonló TOC-tartalmú vizeknél azokban jelenik meg fenol, amelyek kifolyóvíz hőmérséklete ~70 °C-os hőmérsékleti küszöbérték feletti. Utóbbi megfigyelhető volt korábbi vizsgálatok során is (Fekete J., 2013).

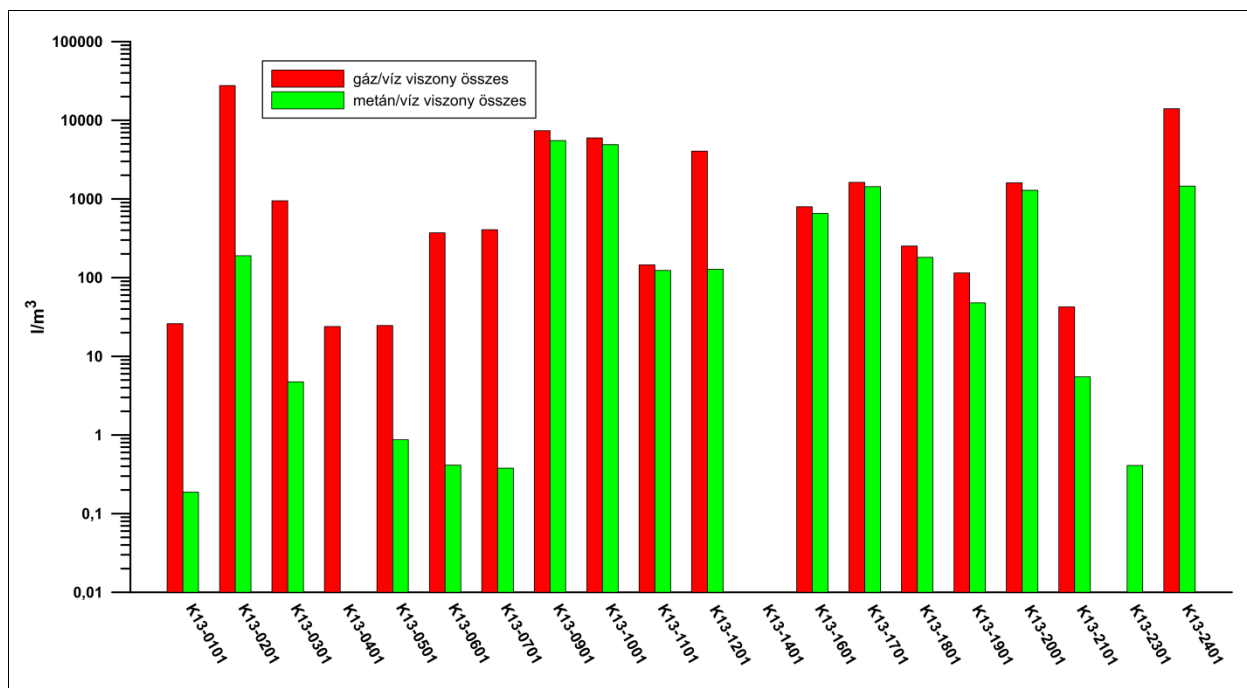
Az alsó-pannóniai összletben és a szigetvári felső-pannóniai összlet vizeiben a  $\delta^{13}\text{C}$  értékek -0,28 és +1,23‰ között változnak, ami az oldott hidrogén-karbonát jelentős mértékű  $^{13}\text{C}$ -ben való dúsulását mutatja. A bakteriális bomlás kinetikus frakcionációt eredményezhet, ami felelős lehet a vízben oldott hidrogén-karbonát  $^{13}\text{C}$ -ben történő dúsulásáért. Hasonló dúsulást dokumentáltak a Pannon-medencében, úgy a dél-alföldi (Varsányi et al. 2002), mint a zalai térségben (Szócs et al. 2013). A felső-pannóniai és az alsó-pannóniai üledékek vizeiben a  $^{13}\text{C}$ -ben való dúsulás növekedésével, jellemzően a fenoltartalom növekedése is megfigyelhető a vizsgált területek nagy részén.



17. ábra Az összes fenoltartalom és a TOC- illetve a terepen mért HCO<sub>3</sub>-tartalom kapcsolata a vizgált vizekben

### A vizgált vizek metán-víz és gáz-víz viszonyainak eloszlása

A K13 projekt során elvégzett gázvizsgálatok az oldott és szeparált fázisban található metán, oxigén, nitrogén, szén-dioxid, etán, propán, bután vizsgálataira terjedtek ki. Mivel a metántartalom a termálvizek és fluidumok kitermelése során veszélyességi kockázatot jelenthet – külön jogszabályi kötelezettség is vonatkozik rá – ugyanakkor hasznosítás szempontból is fontos szerepük lehet, az alábbiakban ismertetjük a mintázott vizekben mért összes metán gáz-víz viszony ( $l/m^3$ ) és az összes gáz-víz viszony ( $l/m^3$ ) összehasonlítását (18. ábra). Valamennyi minta esetében a gáz-víz viszony nagyobb, mint  $10 l/m^3$ . A legmagasabb gáz-víz viszonyal rendelkező kutak az igali, kevert vizű termelő kút, a csanádapácai szénhidrogént termelő kút, a bőnyi termelő kút és a szolnoki mintaterület mélyebb kútjai, ahol a gáz-víz viszony nagyobb, mint  $10\ 000 l/m^3$  illetve többes nagyságrendű. Ezek közül a kutak közül az igali kútban a metán-gáz-víz arány a gáz-víz arányhoz viszonyítva kisebb, a bőnyi mintánál szintén, míg a szolnokiaknál a metán meghatározó a gázösszetételben. Az alföldi, minták esetében a hajdúnánási mintáknál is a gázösszetétel jellemzően metános. Hasonlóképpen, a tamási mélyebbről származó vízében és szigetvári, Újfalui Homokkő Formációból származó képződmények vízmintáiban is a gázösszetételben meghatározó a metán. A kisebb mélységből származó minták, kisebb gáz-víz viszonyal jellemezhetők, és ezen belül kisebb a vízmintákra jellemző metán-víz viszonya is (pl. Igal, Tamási).



18. ábra Termelő és visszasajtoló kutak metán- víz és gáz-víz viszonyainak grafikonja

## 6. Monitoringjavaslat

A projekt célja a VGT3 intézkedések elősegítése volt, különös tekintettel a felszíni és felszín alatti vizek monitoringjának kidolgozására és összehangolására. A felszíni víztestek állapotának meghatározásához mind a felszíni, mind a felszín alatti víz monitoringjának felülvizsgálatára, illetve újragondolására szükség van. Egy optimális monitoringrendszernek „robosztusnak, megbízhatónak és a Bizottság előtt védhetőnek kell lennie, ugyanakkor az erőforrásokat a leghatékonyabban kell használnia” (VGT2). A Víz Keretirányelv (2000/60/EK; VKI) V. melléklete meghatározza a víztestek állapotának értékeléséhez szükséges vizsgálatok körét, a minimális vizsgálati gyakoriságot és az értékelési rendszer alapjait, de ezen felül a monitoring kialakítása az adott országra van bízva. Az eddigi gyakorlat szerint csak a 6 évenkénti VGT-k során kerülnek értékelésre és értelmezésre a jogszabályban előírt adatszolgáltatási kötelezettségek során bejövő vízkémiai és hidrogeológiai adatok. Az adatok minősítését követően használhatóak fel további értelmezésekhez, például hidrogeológiai modellekhez.

A projekt további célkitűzése, hogy a jövőre vonatkozólag monitoring- és esetlegesen jogszabályi módosítási javaslatokat fogalmazzon meg. A változtatásokra sokszor az alkalmazás során megszerzett többlettudás, gyakorlati tapasztalatok, ritkább esetben káresemények, gyakrabban negatív tendenciák bekövetkeztében van szükség. Hasonlóan a monitoringkutakra kialakított rendszerekhez a termelő kutak hozam és vízszintregisztráló műszereinek online adatszolgáltatása is fontos része kell, hogy legyen a monitoringrendszernek. A fenntartható gazdálkodás érdekében, célszerű, hogy egy-egy térség mennyiségi igénybevételi határértékének (Mi) megállapításakor, a 3D regionális vízföldtani modellezésre épülő Mi-tanulmányokban a monitoringhelyszínek javaslatai is megjelenjenek. Különösen fontos az országghatárral osztott felszín alatti termálvízkészletek esetében a megfelelő, harmonizált monitoring kialakítása, és a szomszédos országokkal az adatok kölcsönös, rendszeres cseréje egy kijelölt határsávra vonatkozóan. Megfelelő kutatás alapján ezen monitoringot, akár közösen, összehangoltan lehet kialakítani, a szomszédos ország (adott esetben több) közreműködésével, ezáltal is csökkentve a költségeket, és megteremtve a fenntartható felszín alatti póruster-gazdálkodás alapjait.

A monitoringra, visszasajtolásra és adatszolgáltatásra vonatkozó jogszabályi háttérnél fontos szempont, hogy megfeleljen a kor technológiai szintjének, miközben nem okoz indokolatlan többletköltséget. A közelmúlt eseményei rámutattak, hogy a túlságosan szigorú és rugalmatlan szabályok, könnyen átválthatnak ellenkező tartalmúvá, így a korábbi és szakmailag jogos érvek teljes mértékben lesöprésre kerülnek. A visszasajtolás mennyiségének növelését a nem túl távoli jövőben a hidrodinamikai szükségszerűség fogja indukálni, és várhatóan egészséges konszenzus fog kialakulni a termálvíz-hasznosítók és a jogalkotók között.

Mint azt a különböző visszatáplálási formákra vonatkozó jogszabályi előírásoknál bemutattuk, a vizes és a bányászati jogszabályok jórészt megfelelően kezelik az engedélyezéseknél a hatásokat, az üzemeltetéseknél és monitorozásoknál a mérendő adatokat. Jelen ismereteink alapján azonban a vagyonkezelőkhöz, azaz a vízügyi igazgatóságokhoz,

vagy bányahatóságokhoz beküldött adatok és értékelések megfelelő feldolgozása és a gazdálkodási rendbe való átvezetése hiányzik. Márpedig az egyre sűrűsödő hasznosítások, különösen az egymással kölcsönhatásban lévő rendszerek esetében már naprakész, jól ellenőrizhető monitoringadatokat igényelnek. Az ilyen központi kezeléssel adatbázisok a velük kapcsolatban lévő modellrendszerrel képezhetik a megfelelő szintű víz- és/vagy geotermikusenergia-gazdálkodást.

Mind a geotermikus hasznosítás, mind a szénhidrogénipari vízlikvidálások esetében, a költséges kútkiképzések, és más okok miatt, a termelő és visszasajtoló objektumok képezik a megfigyelési lehetőségeket. Ezeket a mérésre is használt objektumokat a hasznosítók kezelik, míg a kapott adatokból a vagyongekezelőknek kell gazdálkodniuk. Ebből adódóan, célszerű lenne beépíteni a rendszerbe a vagyongekezelők általi megfelelő ellenőrzés feltételét, az ehhez szükséges jogszabályi, humánerőforrás és pénzügyi lehetőségek kialakításával. A vagyongekezelők közreműködésével érdemes kialakítani az adatok feldolgozási és modellbe építési formáit, úgy ahogy azt a vagyonnal való gazdálkodás megköveteli.

Álláspontunk szerint, indokolt az adminisztráció könnyítése, de nem szabad lemondani az információról, mert az szó szerint a jövőbeni vízgazdálkodásunk alapja. Tehát a formai előírások könnyítéseinek, ill. liberalizációjának nem szabad ismerethiánnyal párosulnia. Fontos kitérni a klímaváltozás komplex hatására a felszín alatti vízkészletre, amelyet már nem lehet a múlt adataiból statisztikai módszerekkel előre jelezni, hanem klímamodellek használata szükséges. A Nemzeti Energiastratégia (2030) állásfoglalása szerint 2030-ig – a fenntarthatóság érdekében – a megújuló energia aránya a primerenergia felhasználásban várhatóan a mai 7%-ról 20% közelébe emelkedik. Ebből kifolyólag a geotermikus energia térnyerése várhatóan tovább növekszik a jövőben, melyben a kiegyensúlyozott környezethasználat, jogszabályi háttér és a támogató monitoringrendszer egyaránt meghatározó szerephez jut.

A mélységi vízbetáplálásokkal kapcsolatos jogi szabályozások, előírások, intézkedési tervek áttekintése segít eligazodni az energetikai termálvíz-hasznosításokra, illetve a szénhidrogénipari vízlikvidálásokra vonatkozó, jogszabályokban is megfogalmazott előírások érvényesülésében és megvalósulásukban, azok gyakorlatban történő alkalmazásaiban. Célunk, hogy a feltárt problémák alapján megfelelő megoldási javaslatot tegyünk. Sorra vesszük a termálvíz-hasznosításokra vonatkozó joggyakorlatot, az előírások teljesítését, a létesítést megelőző, létesítési, üzemeltetés alatti fázisban, illetve az oknyomozói feladat során.

A szénhidrogénipari vízlikvidálások elsősorban a kitermelési műszaki üzemi tervek (MÜT) alapján értékelhetők, hogy a visszasajtolások üzemeltetésével kapcsolatos, előírások szerinti információk, hogyan támogathatják az adott térség vízgazdálkodási rendszerét.

A balneológiai hasznosítások vize nem kerülhet visszasajtolásra, ezért azok likvidálását más módon kell megoldani. A legfontosabb környezeti szempont, hogy a felszíni vizek állapota és az ökoszisztéma ne sérüljenek.

Minden esetben azt vizsgáljuk, hogy az előírt rendszeres monitoring és időszakos, vagy esetenkénti vizsgálatok adatai és azok értékelése hogyan épülnek, vagy épülhetnek be a



hatóságok és vagyonkezelők ismereteibe, a térségi, regionális és az országos, vízgazdálkodási és vízgyűjtő-gazdálkodási tervekbe. Ez a megközelítésmód megköveteli, hogy a hasznosítók, hatóságok, vagyonkezelő igazgatóságok, országos háttérintézmények, valamint a kapcsolódó tervezőcégek és egyetemek illetékes szakértőinek releváns gyakorlati tapasztalataira támaszkodjunk. Ezért áttekintésünkönél interjúkat készítettünk a szakértők egy részével, ügyelve arra, hogy reprezentálják a vízgazdálkodás viszonylag teljes vertikumát, valamint hogy az ismereteik biztosítsák valamennyi fontosabb hidrogeológiai, hévízföldtani típus értékelését.

A meginterjúvált szakértők között megtalálhatók voltak a hévízföldtani szakvélemények készítői, a kutak létesítésével és vizsgálataival foglalkozók, területi vízügyi hatóságok, vízügyi igazgatóságok, bányafelügyelet szakértői, vízügyi dokumentációk készítői, vízügyi adattárak működtetői, továbbá minisztériumi szakértők. Hathatós segítségüket ezúton is köszönjük. Mindemellett támaszkodtunk a vízgyűjtő-gazdálkodási tervek releváns részeire, a témakörben eddig készített háttéranyagokra és intézkedési tervekre, valamint a felszín alatti vizek EU VKI jelentési monitoring rendszerére kidolgozott Üzemeltetési Útmutatóra is.

A vízminőségi monitoring részeként – mind az energetikai célú felhasználás, mind a szénhidrogénipari vízlikvidálás során – javasolt az „online–realtime” hőmérséklet és fajlagos elektromos vezetőképesség-mérések (utóbbi megfeleltethető az összes oldottanyag-tartalomnak) előírása, mivel ezek kis költségűek, ugyanakkor előrejelző információval szolgálhatnak az esetlegesen más víztartókba történő intrúziók időbeli detektálására. A további vízminőségi monitoring előírásait az üzemelési, működési engedélyekhez hasonlóan, az egyes hasznosításokra specifikusan javasolt meghatározni. Ezt az elvet követi például a nyugat-ausztráliai útmutató is a szénhidrogénipari és geotermikus hasznosításokra vonatkozó felszín alatti vizek monitoringja is. Mindenképpen javasolt a vízminőségi monitoring kialakítása során azon szerves és szervetlen, makro- és mikroparaméterek monitorozása, amelyeket a termelés, illetve üzemeltetés során az esetlegesen használt adalékanyagok tartalmaznak. A széntartalom eredetének meghatározása, illetve esetleges változásának szempontjából szintén előre mutatónak tartjuk a felszín alatti vizekkel kitermelt metán  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta\text{D}$  és széndioxid-tartalmának  $\delta^{13}\text{C}$  és  $\delta^{18}\text{O}$  vizsgálatát, valamint az esetleges intrúziók nyomkövetésére a  $\delta^{18}\text{O}$ -  $\delta\text{D}$ -,  $\delta^{13}\text{C}$ -izotópok meghatározását.

A komplex monitoringfejlesztésnek illetve javaslatételnek természetesen számtalan aspektusa van: gazdasági-finanszírozási, jogi, szervezeti-struktúrabeli, továbbá módszertani, mind az adatgyűjtés mind a felhasználás szempontjai szerint. Jelen tanulmányban nem törekedhetünk mindezen kategóriák teljeskörű feltárására, javaslatunk, megállapításaink leginkább az irodalmi kutatómunka, a mintavételezés, a modellalkotás folyamata köré csoportosult, ami számos ágazati szereplővel való szóbeli egyeztetésen finomodott. Javaslatunkban éppúgy helyet kapnak a jelen állapot, a state-of-the art rögzítése, mint a jövőre való reflektálás. További fejlesztési lehetőség még a monitorozáshoz a szondák technikai lehetőségeinek optimalizálása, illetve maximalizálása, esetleg többszörös regisztráló szondák installálása, és online adatszolgáltatás kialakítása. A nagy költség miatt a termálvíz-monitoring kúthálózatának bővítését, nemzeti és/vagy helyi összefogásból, támogatási pénzekből (is) javasolt finanszírozni.

Számos jó gyakorlati példa, esettanulmány került bemutatásra különböző hazai és EU finanszírozású projektekben, továbbá a komplex érzékenységi és terhelhetőségi vizsgálatok nagy száma és a geotermikus védőidom módszertanának megalkotása és gyakorlati alkalmazása jogos reményekkel ruház fel minket jövőbeni pozitív változásokra. Végezetül pedig felhívjuk a figyelmet a reprezentativitásra és a modellalkotásra, mint a monitoring egyik visszacsatoló mechanizmusa.

A következőkben összefoglaljuk az energetikai célú és szénhidrogén-termeléshez kapcsolódó visszatáplálások során szerzett tapasztalatokat, és jó példák bemutatásával mutatjuk meg az irányt a termálvizek monitoringjavaslatai felé.

### 6.1. Az energetikai célú termálkutak

Az energetikai hasznosításra irányuló igény megvalósításához vezető úton az első feladat egy megfelelő hévízföldtani, geotermikus szakvélemény készítése. A szakvélemény akkor megfelelő, ha (1) értékelése a tervbe vett helyszín legfrissebb földtani, vízföldtani, vízgeokémiai és geotermikus ismeretein alapszik; ha (2) figyelembe veszi az adott termálvíztestre, víztestcsoportra a 30/2004. (XII. 30.) KvVM rendelet szerint készített víztestjellemzéseket, mennyiségi és minőségi állapotértékeléseket, valamint a víztestmonitoring kialakításának szempontjait; és (3) a tervezésnél a 30/2008. (XII. 31.) KvVM rendeletben megfogalmazottaknak megfelelően, figyelembe veszi az adott víztestre vonatkozó mennyiségi és minőségi adatokat, lehetőségeket és korlátokat, továbbá megadja a közeli kutakra vonatkozó várható hatásokat.

Mindehhez a tervező nagymértékben támaszkodhat a tervezői gyakorlat szerinti "szokásos" adattári adatgyűjtések, szakirodalmi feldolgozások, előzetes modellezések mellett a kormányhatározattal kihirdetett VGT-k megfelelő fejezeteire, továbbá az ásványi nyersanyag és a geotermikus energia természetes előfordulási területének komplex érzékenységi és terhelhetőségi vizsgálatáról szóló – 103/2011. (VI. 29.) Korm. rendelet szerinti – tanulmányokra. Ezek a dokumentumok az állam vízügyi, bányászati, földtani és természetvédelmi háttérintézményeinek együttműködésében készültek, és széles körben véleményezték szakmai, önkormányzati szervek. A létesítési engedélyezést szakmailag megalapozó tanulmányok egy része nem használja ki ezeket a lehetőségeket, ezáltal ezek a tanulmányok csak kis mértékben gazdagíthatják a vízügyi hatóság és a vagyonkezelő igazgatóság feladatait lehetővé tevő háttéranyagokat. Az a tapasztalat, hogy még a fentebbieknek megfelelően elkészített szakvélemények, tanulmányok sem kerülnek a vagyonkezelőknél megfelelő feldolgozásra.

A vízgazdálkodási hatósági jogkör gyakorlásáról szóló 72/1996. (V. 22.) Korm. rendelet szerint a vagyonkezelő vízügyi igazgatóságok a hatósági eljárásokban ügyfélként minősülnek. Szakmai szempontból a hévízkutakkal kapcsolatos ügyekben a vagyonkezelői hozzájárulás és tudás nélkülözhetetlen, mint a hatósági munka megalapozása, melyhez a beérkező szaktanulmányok folyamatos beépítése is szükséges lenne.

Bizonyos helyzetekben, amikor a térségi, vagy víztestszintű ismeretek alapján kérdéses a létesítés engedélyezése, jogszabályi lehetőség adódik kút helyett kutatófúrás

engedélyeztetésére. Az 53/2012. (III. 28.) Korm. rendelet szerint a bányafelügyelet építésügyi hatósági engedélyéhez kötött kutatóépítmény a 400 méter mélységet meghaladó mélyfúrás. Termálvíz beszerzését eredményező, vagy lehetővé tevő kutató mélyfúrás mélyítése után, annak kúttá történő átképzéséhez már valószínű a vízjogi engedély elérése is. Itt elsősorban a jogszabályok harmonizációja, a bányafelügyelet és a vízügyi hatóság együttműködése lehet a megoldás.

Az előzőekben említett 72/1996. (V. 22.) Korm. rendelet szabályozza a létesítési engedéllyel rendelkező kutakra vonatkozóan az üzemeltetési engedély megkérését. Az energetikai célú termálvíz-hasznosítások üzemeltetési engedélyéhez megfelelő alapul szolgál a felszín alatti vízkészletekbe történő beavatkozás és a vízkút-fúrás szakmai követelményeiről szóló 101/2007. (XII. 23.) KvVM rendelet. A létesítési fázis végén lévő kútkialakítás kapcsán ki kell emelni a rendelet 5/A. § (1) bekezdésében foglaltakat, miszerint *"A hévízkutat a hévízkészlettel való takarékos gazdálkodás érdekében olyan kútfej-szerelvénnyel kell ellátni, amely lehetővé teszi a vízkivétel mértékének igény szerinti szabályozását, a termálvíztestekre meghatározott vízkészleteket figyelembe vevő, fenntartható, dinamikus vízkészlet-gazdálkodást"*. Ugyancsak itt kell kiemelni az 5. § (1) bekezdésében szereplő, termálkutakra is érvényes részt, miszerint *"... a vízjogi engedélyes az 1. melléklet szerinti mélyfúrás-geofizikai és befejező kútvizsgálati méréseket köteles elvégezni."*

A létesítéskori vizsgálatok és mérések – gyakorlatilag már az üzemeltetési fázis részére – a kiindulási alapot jelentik, gyakorlatilag ezek már az üzemeltetési monitoring első méréseinek is felfoghatók.

A 101/2007. (XII. 23.) KvVM rendelet ezt követően előírja a vízföldtani napló elkészítését, megadva annak tartalmi követelményeit is. A vízföldtani naplók a felszín alatti vizekkel való gazdálkodás egyik legfontosabb alapidokumentációját jelentik, melyeket el kell készíteni a termelő kutak mellett, többek között, a visszatápláló kutakra és a területi monitoringkutakra.

A 8. § (9) bekezdése szerint: *"A vízgazdálkodási feladatokkal összefüggő alapadatokról szóló kormányrendeletben meghatározott Vízgazdálkodási Információs Rendszer és a Központi Vízföldtani Adattár részeként, a vízföldtani naplók adatai alapján a Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat országos kútkatasztert és hévízkút katasztert vezet. A Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat és az Országos Vízügyi Főigazgatóság az országos kútkatasztert és hévízkút katasztert évente, a tárgyévet követő március 31-ig honlapján közzéteszi."*

A nyilvános országos kútkataszter és hévízkútkataszter folyamatos fejlesztése, bővítése, aktualizálása nélkülözhetetlen része a megbízható, szakmailag védhető magas szintű vízgazdálkodásnak.

A 101/2007. (XII. 23.) KvVM rendelet *"Az üzemeltetésre vonatkozó egyes szabályok"* című részében 3 paragrafus is rendelkezik a hévíz- és geotermikusenergia-hasznosítást szolgáló vízilétesítményekkel.

A 10. § a hévízművek üzemeltetéséhez üzemeltetési szabályzatáról szól, melyben előírják a termelő és visszatápláló kutakra vonatkozó rendszeres méréseket, megfigyeléseket, melyeket

az üzemeltetőnek el kell végeznie. Miután a hévízkutak és az energetikai célú termálvizes rendszerek esetében gyakorlatilag nem életszerű külön monitoringkutak létesítése, ezért az előírásokat úgy kell kialakítani, hogy biztosítsák a vízgazdálkodási feladatokhoz szükséges adatokat, információkat is. Ez jogszabályi/rendelet szinten részben teljesül is:

*"A termelő-, visszatápláló- és megfigyelő kutakon elvégzett rendszeres üzemi méréseket évente értékelni kell, és azt a működési terület szerinti vízügyi igazgatóságnak, valamint a vízügyi hatóságnak meg kell küldeni."*

Úgy véljük, hogy ennek az előírásnak következetes betartása, betartatása mind az energetikai célú hévízhasznosítások monitorozásának, mind az annak alapján végezhető vízgazdálkodásnak legfontosabb feladata, amellet elemi érdeke magának az üzemeltetőnek is.

Ahhoz azonban, hogy ez a monitoring- és vízgazdálkodási rendszer betölthesse szerepét, a vízügyi területi szerveknél valamennyi üzemeltető által beküldött adatokat és értékeléseket folyamatosan fel kell dolgozni, és ki kell alakítani a megfelelő térségi üzemirányítási rendszert. Ehhez a rendszeres mérések egy részét távjelzős monitoringrendszer kiépítése adhatja („online–realtime”), melynek feldolgozott adatait megfelelő regionális modellbe építve, közvetlenül támogatás lehet a vízgazdálkodók számára. (Ezt a rendszert gyakran 3M rendszernek nevezik az angol Monitoring Modelling Management szakkifejezések alapján.) Ennek első hazai kezdeti változata a Hévízi-tó környezetében valósult meg, és a közeli jövőben várható az ottani üzemirányítási rendszer kialakítása is.

A 101/2007. (XII. 23.) KvVM rendelet 11. §-ának bekezdései az energetikai célú hévízhasznosítások valamint a kapcsolódó monitoringok és gazdálkodások, másik nélkülözhetetlen és kiemelten fontos eleméről, az úgynevezett időszakos vizsgálatokról szólnak. A fontossága miatt ezeket a bekezdéseket teljes egészében idézzük:

*"(1) A rendszeres vizsgálatok mellett az időszakos vizsgálatokat a javítások, átalakítások előtt és után, de legalább négyévenként, egyes vizsgálatok tekintetében (így például: gázvizsgálat) pedig külön jogszabályban rögzített gyakorisággal kell elvégezni.*

*(2) A javítási munkák során figyelembe kell venni a rendszeres és időszakos kútvizsgálatot, értékelésének eredményét, a kútszerkezet változását.*

*(3) Amennyiben a kút felújítása annak műszaki adatainak változásával jár, a változásokat új vízföldtani naplóban is rögzíteni kell.*

*(4) A visszatápláló kutak üzemeltetéséről, karbantartásáról és javításáról az üzemeltetési szabályzatban külön rendelkezni kell."*

Ezek az időszakos vizsgálatok nemcsak az üzemeltetőnek jelentenek fontos adatokat a kutak állapotáról, hanem az adott termálvíztestek, víztestrészek mennyiségi és minőségi állapotáról is, továbbá a megvalósítandó térségi üzemirányításhoz szolgáltatnak lényegi információkat.

Sajnos a rendelet e részénél már nem jelent meg, hogy az időszakos vizsgálatok adataival, értékeléseivel mi történjen, azaz nem rendelkeznek a vízügyi hatóságnak és a vízügyi

igazgatóságnak való szolgáltatásról, mint ahogy a vízügyi hatóságok és/vagy igazgatóságok további adatkezeléséről sem, tehát nem rendelkeznek arról, hogy az adatok milyen feldolgozása és ismertté tétele (a vízügyi szakemberek felé) segítené a monitoringot. A hazai gyakorlatban általában a vízügyi hatóságnak megküldik ezeket az információkat, néha az igazgatóságoknak is. Javasolt a jogszabály kiegészítése azzal, hogy az időszakos vizsgálatok eredményeit, azok elkészültekor a vízügyi hatóságok és igazgatóságok részére is el kell küldeni, egyúttal a meglévő vízföldtani naplók kiegészítésével. Tapasztalatok azt mutatják, hogy az időszakos vizsgálatok adatainak szolgáltatása nem történik meg, vagy sok esetben el sem végzik. A vízügyi igazgatóságok számára biztosítani kell a termálvíz készletek rendszeres mennyiségi és minőségi értékeléséhez szükséges anyagi, szervezeti, személyi feltételeket is, ideértve az értékeléshez szükséges informatikai és modellezési kapacitásokat.

Az energetikai célú termálkutak üzemeltetési engedélyében előírt rendszeres mérések és időszakos vizsgálatok regionális feldolgozásával és értékelésével kapcsolatos tapasztalatokat osztjuk meg az alábbiakban. Az EU Víz Keretirányelve (Directive 2000/60/EC ) alapján készített, és az 1155/2016. (III. 31.) Korm. határozattal kihirdetett, *"Magyarország felülvizsgált, 2015. évi Vízügyűjtő-gazdálkodási Tervé"*-ben, (VGT2-ben) valamennyi hazai, felszín alatti víztestre, és így a porózus és karsztos termálvíztestekre is alapos regionális és országos elemzések készültek. Ezek egyik célja az egyes víztestek egységes rendszerben történő mennyiségi és minőségi állapotának meghatározása volt. Az egységes állapotértékelésekhez az EU útmutatót készített (Groundwater Status and Trend Assessment; CIS Guidance No. 18), melyhez kidolgozta az értékelések alapjául szolgáló monitoringrendszer útmutatóját is (Groundwater Monitoring; CIS Guidance No. 15). Mindezen EU-s jogszabályok, és útmutatók előírásai bekerültek a hazai jogrendbe is, így *a vízügyűjtő-gazdálkodás egyes szabályairól szóló 221/2004. (VII. 21.) Korm. rendeletbe*, és külön *a felszín alatti vizek védelméről szóló 219/2004. (VII. 21.) Korm. rendeletbe*, valamint *a felszín alatti vizek vizsgálatának egyes szabályairól szóló 30/2004. (XII. 30.) KvVM rendeletbe*. Ez utóbbi rendelet mellékletei részletesen szabályozzák azokat a feladatokat, amelyek meghatározzák, magalapozzák azokat az intézkedéseket, melyeket a vizek jó állapotának fenntartása, vagy elérése érdekében kell kidolgozni, majd végrehajtani.

A 30/2004. (XII. 30.) KvVM rendelet mellékletei egyúttal a víztest szintű regionális értékelések fontosabb feladataira utalnak a következőképpen:

Az 1. számú melléklet a 30/2004. (XII. 30.) KvVM rendelethez Az első és a további jellemzés,

2. számú melléklet a 30/2004. (XII. 30.) KvVM rendelethez A víztest állapotának értékelése és minősítése,

3. számú melléklet a 30/2004. (XII. 30.) KvVM rendelethez A víztestmonitoring kialakításának szempontjai.

A víztestek jellemzései biztosítják az adott régió koncepcionális modelljét, mely alapján és a víztestekre kialakított monitoringok alapján kell elkészíteni a víztestek állapotértékeléseit. Amennyiben az első VGT (VGT1) során meghatározott víztest gyenge, vagy kockázatos

állapotminősítést kapott, ott az állapot javítására vonatkozó intézkedéseket kellett meghatározni. A hatévenként elvégzett felülvizsgálatok során (VGT2, VGT3) további jellemzések készülnek a monitoringadatok, és más releváns ismeretek feldolgozása alapján a víztestekre. Az ily módon fejlesztett, pontosabb koncepcionális modellek alapján részletes állapotértékelések készülnek, melyek célszerű eszközei a numerikus hidrogeológia modellek. Ezen modellek kalibrációjához a víztestmonitoring adatait lehet és kell felhasználni.

A hazai termálvíztestek további jellemzésére és állapotértékelésére a VGT2-ben részletes háttér tanulmányok készültek, amelyek az esetek többségében regionális vagy nagy regionális numerikus modellezési eredményeken alapultak, mivel a hazai porózus termálvíztestek nagy regionális összefüggő hidraulikai és áramlási rendszerek részei. Ezek a rendszerek több esetben is határral osztottak. Ennek megfelelően állapotértékeléseknek, előrejelzéseknek lehetővé tévő kalibrált, numerikus hidrogeológiai modellezéseknek elsősorban a vízügyi igazgatóságok és országos háttérintézmények megalapozásával, vagy kivitelezésével kell készülnie, amit a határokkal osztott helyzetek esetében a 30/2004. (XII. 30.) KvVM rendelet elő is ír.

Az energetikai célú termálkutakra, hasznosításokra vonatkozó előírásokban definiált rendszeres mérések adatai, időszakos vizsgálatok eredményei szükségszerűen a vízügyi igazgatóságokhoz, mint vagyongazdálkodóhoz kell eljutnia, illetve azon keresztül a vízgazdálkodásért felelős központi intézménybe. A vízügyi hatóságok közvetlenül nem foglalkoznak vízgyűjtő-gazdálkodással, amit az is dokumentál, hogy a honlapjukon ismertetett jogszabályok között sem a 221/2004. (VII. 21.) Korm. rendelet, sem a 30/2004. (XII. 30.) KvVM rendelet nincs feltüntetve. Ennek az ellentmondásos helyzetnek feloldására szükséges lenne, hogy a vízügyi hatóság által megkapott, és a regionális értékelésekhez nélkülözhetetlen adatok és információk a vízügyi igazgatóságokhoz is eljussanak, amelyek a geotermikus rendszerek esetében a kutak időszakos vizsgálataira vonatkozó anyagok vagy a vízügyi felügyeleti tevékenység során szerzett információk. Ez utóbbiakra vonatkozóan a vízgazdálkodási hatósági jogkör gyakorlásáról szóló 72/1996. (V.22) Korm. rendeletben a következők szerepelnek:

*"21. § (4) A vízügyi hatóság a vízállésmintákat és vízhasználatokat a vízjogi üzemeltetési engedélyezési eljárás, valamint az ellenőrzés során a létesítmény jellegére és a térség vízgazdálkodásában betöltött szerepére figyelemmel, I-IV-ig terjedő felügyeleti kategóriába sorolja. Ennek megfelelően az érintett vízgazdálkodási követelmények szempontjából:*

- a) az I. kategóriába a kiemelkedően fontos,*
- b) a II. kategóriába a nagyobb térséget érintően jelentős,*
- c) a III. kategóriába a helyi jelentőségű,*
- d) a IV. kategóriába a kisebb jelentőségű létesítmények tartoznak.*

*(5) A (4) bekezdésben meghatározott kategóriák megállapításánál figyelembe kell venni különösen:*

*a) a vízilétesítményeknek a vizek hasznosítását – vagy kártételeik elhárítását – szolgáló szerepét, jelentőségét, tekintettel a vízgazdálkodási szempontból egységet alkotó térségre és az egyéb területi adottságokra;*

*b) a létesítmény környezetének meglévő, illetve a vízgazdálkodási vagy egyéb - tervezett fejlesztést is érintő - adottságait, lehetőségeit."*

Az idézett rész egyértelműsíti a hatóság és az igazgatóság kölcsönös egymásrautaltságát, ennek ellenére a jogszabály szerint a vízügyi hatóságnak csak az ellenőrzés során feltárt jogellenes tevékenységről és intézkedéséről kell a vízügyi igazgatóságot értesíteni.

Termásvíz-hasznosítások esetében legalább olyan fontos lenne, ha az igazgatóság a jó üzemeltetési gyakorlatokról is naprakész információkkal rendelkezne. De fordítva is igaz, helyes lenne, ha a vízügyi hatóság felügyeleti munkájához naprakész információkkal rendelkezne a vízgazdálkodási adottságokról, helyzetekről. Bár a hatóság és az igazgatóság a gyakorlatban több esetben kicseréli egymás között az említett információkat, azonban érdemes volna mindezt jogszabályi keretek között is előírni.

A széles körű konzultációk alapján azt a következtetést vontuk le az energetikai célú hévízhasznosításokra vonatkozó jogszabályi előírásokkal kapcsolatosan, hogy mind a vízügyi, mind a bányászati jogszabályok logikusak és áttekinthetőek, az ezekben lévő kötelezések megfelelően teljesíthetőek. Azonban az ezeknek megfelelő adatszolgáltatások és időnkénti értékelések elsősorban a hatóságok részére kerülnek beküldésre, csak részben jut el a vagyonkezelőkhöz, és kerülnek adatrendszerbe és értelmezésre.

Általában a hatóságok a beérkező anyagokat az érintett régiókra vonatkozóan már nem dolgozzák fel, nyilván nem is az ő feladatuk. A hasznosítók részére csak a hiánypótlásokkal kapcsolatban jutnak vissza információk, és nem kapnak visszajelzést a környeztükben lévő vízhasználókkal való együttes hatásokról sem. A beküldött adatokból készített vízügyi igazgatósági, és Országos Vízügyi Főigazgatóság által, vagy más feldolgozások ritkán folyamatosak, leginkább a VGT-k ciklusaihoz igazodnak.

Megoldást jelentene – bizonyos esetekben – megfelelő, egymásra épülő modellrendszer kidolgozása egy-egy adott vízgazdálkodási problémára, problémacsokorra regionális és nagy regionális szinten, folyamatos fejlesztéssel.

Jelentősebb termelésekkel érintett térségekben a vízügyi igazgatóságok által végzett átlátható üzemirányítás lenne kívánatos, amelyhez szükséges a monitoringrendszer fejlesztése a modellezés és az üzemirányítás szempontjai és igényei alapján.

A VGT-k keretében készülő további jellemzéseknek törekedniük kell arra, hogy az érintett víztestcsoportokra vonatkozó koncepcionális modellek és megértések egyre jobban segítsék a numerikus modellek igényeit. Az információszegény területe részekén a kiegészítés lehetőségét kell felmérni, amelyek lehetnek rendszeres, illetve expedíciós mérések eredményei.



## 6.2. A termálvízkezelőket érintő szénhidrogénipari vízlikvidálások

E fejezet részben a szénhidrogén-bányászaton alkalmazott visszasajtolások közül kerestünk tapasztalatokat arra, ahol a 219/2004.(VII.21.) Korm. rendeletben előírtak szerint végeznek vízlikvidálásokat. Választ kerestünk arra, hogy milyen jellegű monitoringgal ellenőrzik a metanol- és glikoltartalmú vizek visszasajtolásának hatását a befogadóban.

A szénhidrogénipari vízlikvidálás részben hasonló az energetikai célú hévízhasznosításoknál alkalmazott visszatáplálásokhoz annyiban, hogy a besajtoló vizek hőmérsékletét és oldottanyag-transzportját közvetlenül nem lehet nyomon követni. A bevezetett alkotók terjedését célirányos modellezés (lásd, szolnoki mintaterületen történt modell) segítségével lehet becsülni. A vízlikvidálásoknál a besajtolásra kerülő fluidum a szénhidrogén-bányászathoz kapcsolódó víztermelésekből származik, melyhez hozzáadódnak a jogszabályban engedélyezett adalék- és egyéb technológiai anyagok. Továbbá, a visszasajtolandó fluidum több minőségileg és adalékanyagokban eltérő mezőről származik, melyeket összegyűjtés és ideiglenes tárolást követően sajtolnak vissza időszakonként a célrezervoárba. Monitoringtevékenység által a besajtoló víz mennyiségét, illetve összetételét és a benne lévő szennyező anyagok koncentrációit lehet mérni, amelyeket ellenőrizhető módon kell dokumentálni. A mért adatokat a kitermelési Műszaki Üzemi Tervben évente jelentik, melyek az adott térség, bányászati területileg illetékes vízügyi hatósága is megkap.

A vízlikvidáló kutak üzemeltetését is a területileg illetékes megyei Katasztrófavédelmi Igazgatóság keretében működő vízügyi hatóság engedélyezi. A likvidálás megkezdését megelőzően a vízügyi hatóság előírásai szerint meg kell adni a likvidáló kút műszaki adatait, és a hatóság előírhatja, hogy mely mezők, mely szintjeiből származó termelvényekből leválasztott vizeket, valamint kútmunkálati folyadékokat lehet az adott objektumba likvidálni. Ahol ez lehetséges, ott előírják, hogy a besajtolás ne termálvíztermelésre alkalmas rétegekbe történjen, és a likvidálás során várható hatásokat áramlási és transzportmodellezés segítségével kell megadni.

A besajtolásra kerülő víz metanol- és glikoltartalmára vonatkozóan mennyiségi korlátok vannak, melyet éves átlagban vagy  $\text{tf}\%$ -ban vagy  $\text{g/l}$  mértékegységben adnak meg. Előírják az üzemeltetés során végzendő méréseket, többek között a besajtolásra kerülő vízben mérendő kémiai összetevők listáját, a mérés gyakoriságát. A bekeverésre kerülő kútmunkálati folyadékok összetételét is kell mérni, és arról időszakonként jelentést kell készíteni a hatóság részére. A vízügyi hatóság számára jelentést kell készíteni minden évben a mért paramétereiről, adatokról és azok értékeléséről. A kutakban a besajtoló nyomást és a likvidálandó kísérővíz és kútmunkálati folyadék mennyiségét folyamatosan monitorozzák, míg a termelő kutakban évente kell nyomásmérést végezni.

A mért adatokat a 18/2007. (v.10.) KvVM rendelet szerinti „Éves jelentés a felszíni víz és a földtani közeg veszélyeztetéséről, terheléséről” megnevezésű adatlapot kitöltve, minden év március 31-ig a vízügyi hatóság részére meg kell küldeni”.

Összefoglalva, a szénhidrogénipari vízlikvidálási tevékenység jól ellenőrzött tevékenység, azonban a hatóságokhoz beküldött dokumentumok sorsa, feldolgozási menete, értékelése nem

szabályozott. Az esetek túlnyomó részében az előzetes modellezések szerint (lásd hajdúnánási mintaterület) a betáplált anyagok néhányszor tíz esetleg néhány száz méteres térben maradnak, amit bizonyos esetekben a térségben lévő érintett érdekelteknek (pl. önkormányzatok, civil szervezetek részére) a hatásvizsgálati eljárásnak megfelelően dokumentálva be kell mutatni.

### 6.3. Néhány jó gyakorlat a hévízhasznosításoknál

A szabályozási jó gyakorlatok közé lehet sorolni a bányászatról szóló 1993. évi XLVIII. törvénynek a geotermikus energia kutatásával és kitermelésével kapcsolatos bekezdéseit, különösen a 2500 méter alatti térrészben előírt **geotermikus védőidom** kijelölésére vonatkozó részt. Szükségesnek tartjuk, hogy ennek mintájára a 2500 méter feletti részekre is hasonló eljárás készüljön. Ahol a 2500 feletti és alatti rendszerek egy hidraulikai és hidrodinamikai rendszert alkotnak, ott egységes víz- és geotermikusenergia-gazdálkodási rendszert kellene működtetni.

Szintén jó gyakorlatnak minősül az ásványi nyersanyag és a geotermikus energia természetes előfordulási területének komplex **érzékenységi és terhelhetőségi vizsgálatáról** szóló 103/2011. (VI. 29.) Korm. rendelet alapján készített vizsgálati tanulmányok. A vizsgálati tanulmányok megalapozzák többek között a geotermikus és szénhidrogénes koncessziós kiírásokat. A jogszabály 2. mellékletében rögzíti a komplex érzékenységi és terhelhetőségi vizsgálati tanulmány tartalmát. Ebből a tartalomjegyzékből idézünk néhány, a geotermikusenergia-hasznosítás szempontjából fontos címsort:

*" 1.3. Talajtani, földtani, vízföldtani, tektonikai jellemzés, megkutatottság (geológiai, geofizikai).*

*1.4. A vízgyűjtő-gazdálkodás egyes szabályairól szóló kormányrendeletben előírt vízgyűjtő-gazdálkodási terv alapján a védett területek, a területet érintő felszíni és felszín alatti víztestek és állapotuk, a monitoring hálózat, és a felszín alatti vízkivételi tevékenység bemutatása (kitermelt víz mennyisége, minősége és hőmérséklete, cél szerinti eloszlása), vízbázis védőterületek és védőidomok megadása.*

*1.5. A terület termásvíz-készletének geotermikus energia célú hasznosítása, az ásványi nyersanyagokra vonatkozó érvényes kutatási és bányászati jogosultságok, ismert egyéb nyersanyagok."*

*Továbbá:*

*" 2.1. A koncesszió tárgyát képező ásványi nyersanyag teleptani vagy geotermikus energia földtani jellemzőire, kinyerhetőségére és várható mennyiségére vonatkozó adatok."*

*" 3. A hatások, következmények vizsgálata és előrejelzése.*

*3.1. A terület, térrész azon környezeti jellemzőinek meghatározása, melyet a tevékenység jelentősen befolyásolhat.*

*3.2. A bányászati tevékenység értékelése a felszíni és felszín alatti víztestekre, ivóvízbázisokra vonatkozóan a várható állapotváltozások megadása, a várható regionális vagy országhatáron átnyúló hatások bemutatása.*

*3.3. A területen és térrészen a környezeti hatások miatti korlátozás vagy tiltás alá eső bányászati technológiák felsorolása.*

*3.4. A bányászati tevékenység értékelése a védett természeti és NATURA 2000 területekre vonatkozóan a várható állapotváltozások megadása, a várható regionális vagy országhatáron átnyúló hatások bemutatása."*

Már önmagában az is jó gyakorlat, hogy a vizsgálat lefolytatását, és annak alapján a jelentés elkészítését a Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat (MBFSZ) az Országos Vízügyi Főigazgatóság (OVF) és a Herman Ottó Intézet Nonprofit Korlátolt Felelősségű Társaság bevonásával, továbbá számos közigazgatási és egyéb szerv közreműködésével együttesen végzi.

Az eddig elkészült mintegy 80 vizsgálat (szénhidrogén és geotermikus) gyakorlatilag a hazai energetikai célú hévízhasznosításra alkalmas térrészt is magába foglalja, és úgy adja meg a legfrissebb információkat, hogy annak alapján mind tervezési, mind hatósági és gazdálkodási munkák is megfelelően elvégezhetők. A tanulmányok ismertetik a kizárt helyeket, helyzeteket, melyek a geotermikus, illetve szénhidrogén-hasznosításra nem, vagy csak szigorú feltételek mellett alkalmasak.

Jó gyakorlatnak tekinthetőek azok a **határ menti nemzetközi pályázati** munkák, melyekben az érintett országok földtani szolgálatai közös, harmonizált adatbázisokkal és geoinformatikai rendszerekkel, értékelésekkel, valamint hidrogeológiai és geotermikus modellezésekkel segítik a határral osztott termálvíztestek egységes, regionális szintű geotermikus és vízgazdálkodását. Ezen projektek eredményei rendelkezésre állnak szlovák, osztrák, szlovén, horvát, szerb és román határ menti területekre. Továbbá, felhívjuk a figyelmet arra, hogy a szlovén-magyar T-JAM projekt keretében történt modellek alapján mennyiségi igénybevételei korlátok kialakítására is sor került.

A határ menti régióban észlelhető potenciálszintek további süllyedésének megakadályozására összekapcsolt modellmonitoring-eljárás került kidolgozásra, egyúttal a két ország szakértői javaslatot tettek a határ menti régióban kialakítandó monitoringkút létesítésére is. Ez a munka egyúttal jó példaként használható azon hazai régiók hévízgazdálkodási gyakorlatánál, ahol a porózus termálvíztestek területén jelentős depressziós hatások jelentkeztek vagy várhatóan jelentkezni fognak, amennyiben nem végzik el a szükséges intézkedéseket, melynek része a takarékos kaszkádos hasznosítás vagy visszasajtolás. Ezekben a térségekben a VKI szerinti célkitűzés a már meglévő hasznosítások fenntartható használatára vonatkozik.

A magyar-szlovák-osztrák-szlovén TRANSENERGY projekt keretében készített honlapra, mint jó példa került fel a Hévízi-tó körzetében kialakított vízgazdálkodási rend, bemutatva a termálforrással rendelkező, **konvekciós** típusú termális karsztrendszereknél alkalmazandó összekapcsolt monitoringrendszer használhatóságát. A forrásokkal rendelkező

termálkarsztrendszeinkre kidolgozott modellek és monitoringrendszerek segíthetik a vízgazdálkodást, a források védelme mellett esetleges új, energetikai célú termelő – visszasajtoló kútpárok, kútcsoportok működtetését. Azonban, új kutak kútpárok létesítésénél figyelemmel kell lenni a források, illetve korábbi hasznosítások rendszerére, mert ezen rendszerek terhelhetősége alapos mennyiségi, minőségi és ökoszisztémás állapotfelmérések után, megfelelő áramlási, esetenként hőtranszport- és hidro-geokémiai modellezésekkel kiegészítve határozható meg.

A Hévízi-tó esetében kidolgozott vízgazdálkodási rendet a területileg illetékes vízügyi igazgatóság, a vízügyi hatóság és a földtani intézet közösen dolgozta ki, ami jó példaként szolgál a többi forrással rendelkező termálkarsztrendszer (Budapest, Miskolc, Eger, Esztergom, Harkány) gazdálkodásához.

A hazai termálkarsztok másik fő csoportját a **termálforrásokhoz nem kapcsolható, zárt** vagy gyengén utánpótlódó rendszerek jelentik. Ezeknél a rendszereknél a közvetlen balneológiai vagy ásványvíz-hasznosítás csak abban az esetben fenntartható, ha a csekély utánpótlódást a termelések nem haladják meg. Minden esetben törekedni kell a takarékosagra, a termelt hő minél nagyobb mértékű hasznosítására kaszkádos rendszerben. A rendszer terhelhetőségét, mennyiségi igénybevételi lehetőségeit itt is a megfelelően összekapcsolt monitoring – modellezés jelenti, melyekre vonatkozó jó gyakorlat a Recsk-Bükkszéki, a Büki, és a Sárospataki termálkarsztok esetén tapasztalható. Energetikai célú hévízhasznosítások a zárt, vagy gyenge utánpótlású tárolók esetében korlátozott a korábban már engedélyezett ásvány-, gyógyvíz, vagy esetleg szénhidrogén-termelés körzetében, részben a visszasajtoló víz hatása miatt. Minden esetben környezeti hatásvizsgálatot kell végezni, engedélyezés esetén pedig próbaüzemi méréseket végeztetni, melyek alapján készített modellezés biztosítja azt, hogy a különböző hasznosítások egymást mind mennyiségileg, mind minőségileg károsan ne befolyásolják.

Azon **porózus** termálvíz-hasznosítások esetén, ahol a kutak számos szűrőzött szakaszból termelnek, a megfelelő monitoringrendszer kialakításához támpontot nyújt az időszakos vizsgálat összehangolt, kampányjellegű elvégzése a térség hévízkútjaiban. Erre jó példa a szentesi hévízmező kútjain végzett vizsgálat, mely differenciáltabb vízkészlet-gazdálkodáshoz járult hozzá, és segíti a térségi üzemirányítás kialakítását.

Végül a jövőbeli fenntartható mélységi póruster-hasznosítás vízióját kell megemlíteni, ahol az állam, mint a mélységi póruster-vagyon gazdája és kezelője, az arra alkalmas helyeken, azokat a hasznosítási formákat támogatja, amelyek a póruster hosszabb távú komplex hasznosítását teszik lehetővé. A szénhidrogénipari vízlikvidálások, a letermelt rezervoárok hasznosítása szénhidrogének vagy CO<sub>2</sub> tárolására már jó példái lehetnek a komplex póruster-hasznosításoknak. Várható, hogy bizonyos sósvizes formációk értékes oldottanyag-tartalmának (pl. lítium-, vagy jódtartalmának) hasznosításánál egyúttal geotermikus hasznosítás is történik, akár egy bővebb utánpótlódású vízadóból származó víz besajtolásával.

## 7. Összefoglalás

Ahhoz, hogy a monitoring- és vízgazdálkodási rendszer betölthesse szerepét, a vízügyi területi szerveknél, valamennyi üzemeltető által beküldött adatot és értékeléseket folyamatosan kell feldolgozni, és ki kell alakítani a megfelelő térségi üzemirányítási rendszert. Ehhez a rendszeres mérések egy részét távjelzős monitoringrendszer kiépítése adhatja („online–realtime”), amelynek feldolgozott adatait a megfelelő regionális modellbe építve közvetlenül támogatást nyújt a hatóság és vízgazdálkodók számára. Az „online–realtime” adatszolgáltatási rendszer jelentősen egyszerűsítene mind a szolgáltató, mind a hatóság, mind a felügyelőség munkaterhét. A naprakész, térinformatikai rendszerbe szervezett adatbázis elősegíti az adatfeldolgozást, értelmezést, modellek kialakítását, amely alapján mind a vagyongazdálkodói, mind a hatósági munka egyszerűbb és pontosabb lenne mind víztest, mind regionális, mind országos kiértékelési szinten. Fontos a reprezentativitás és a modellalkotás, mint a monitoring egyik visszacsatoló mechanizmusa. A rendszer lehetővé tenné, egy előzetes modell alapján kialakított határértékekhez (Mi) való viszonyítással a „vészjelző” funkciók beépítését.

A jelenleg a termálvíztestekre vonatkozó minőségi monitoring által megkívánt paraméterek köre megegyezik a sekélyebb rétegekére vonatkozókkal, amely főleg az alapkémiát tartalmazza. Ezek a komponensek az oxigén, pH, fajlagos elektromos vezetőképesség, nitrát, ammónium, nátrium, kálium, kalcium, magnézium, klorid, szulfát, KOI lúgosság, továbbá hidrokarbonát, karbonát, illetve nitrit, ortofoszfát. E komponensek köre főleg a felszíni szennyeződés indikáló paraméterei alapján került meghatározásra. A termálrendszerek esetében a likvidálásból származó szennyeződések, a hasznosítási célok miatt, a teljes összetétel, a gyógykomponensek vagy az áramlási pályát és annak megváltozását indikáló paraméterek körének megfigyelése lenne a cél. A további vízminőségi monitoring-előírásokat az üzemelési, működési engedélyekhez hasonlóan az egyes hasznosításokra specifikusan javasolt meghatározni. Javasolt a vízminőségi monitoring kialakítása során azon szerves és szervetlen, makro- és mikroparaméterek monitorozása is, amelyeket a termelés illetve üzemeltetés során az esetlegesen használt adalékanyagok tartalmaznak. Vizsgálataink alátámasztották a stabil környezeti izotópok mérésének fontosságát is.

Javasoljuk az engedélyezési eljárások, az üzemeltetés és a monitoring kialakítása során a „Benchmark” módszertan szerinti kiértékelést, amely alapján egy adott víztermelő–visszasajtoló rendszer vagy régió hasznosítása és monitoringtevékenysége összehasonlíthatóvá, értékelhetővé, fejleszhetővé válik. A módszer rávilágít egy adott üzemeltetés pozitívumaira és hiányosságaira, és régió szintű értékeléseket is lehetővé tesz.

A közösen hasznosított, országhatárral osztott felszín alatti termálvízkezelők megfelelő monitoringrendszerének kialakítása a szomszédos országokkal összehangoltan, egy kijelölt határzónában kell, hogy történjen. A harmonizált vagyongazdálkodás követelménye a megegyező adattartalom, a rendszeres adatcsere és tájékoztatás, amelynek szintén alappillére az „online–realtime” adatrendszer.

A jelentésben áttekintettük ismereteinket a termálvíz visszatáplálásáról, a felszín alatti teret érintő szénhidrogénipari és geotermikus hasznosításokhoz kapcsolódó vízvisszasajtolási tevékenységgel kapcsolatos szabályozásokat, azok gyakorlati megvalósulását,

monitoringrendszerét. Megvizsgáltuk a termelés és monitoring kapcsán keletkező adatok, információk sorsát, rendszerbe történő visszaépülését.

Az energetikai célú termálkútak létesítési engedélyezésével kapcsolatos tapasztalatok rámutattak, hogy a nyilvános országos kútkataszter és hévízkútkataszter folyamatos fejlesztése, bővítése, aktualizálása nélkülözhetetlen része a megbízható, szakmailag védhető magas szintű vízgazdálkodásnak. Az üzemeltetési engedéllyel rendelkező rendszerektől elvárt időszakos vizsgálatok sok esetben nem történnek meg, vagy megvalósult vizsgálatok eredményei a hatósághoz és/vagy a vagyongazdálkodóhoz nem jut el.

A szénhidrogénipari vízlikvidálási tevékenység jól ellenőrzött, a termálvízkészleteket érintő üzemeltetés során előírás szerint mért adatok a kitermelési Műszaki Üzemi Tervben évente jelentik a bányáüzem területileg illetékes vízügyi hatósága felé.

A termálvízkészletek rendszeres mennyiségi és minőségi értékeléséhez szükséges anyagi, személyi feltételeket biztosítani kell, ideértve az értékeléshez szükséges informatikai és modellezési kapacitásokat.

## Hivatkozások

- BARRETT, M. 2015: Historic Oilfield Arsenic Sources: Implications for a Pit Groundwater Model, Lake St. John Field, LA, An Update. 22nd International Petroleum Environmental Conference. November 17-19, Denver, CO
- BIRKLE, P., BUNDSCHUH, J., SRACEK, O., 2010: Mechanism of arsenic enrichment in geothermal and petroleum reservoirs fluids in Mexico. *Water Res.* 44, 5605e5617.
- CAPPETTI, G., PARISI, L., RIDOLFI, A., STEFANI, G. 1995: Fifteen years of reinjection in the Larderello-Valle Secolo area: analysis of the production data.
- CSALAGOVITS I., 1999: Arsenic-bearing artesian waters of Hungary. – MÁFI Évi Jelentés (Annual report of the Geological Institute of Hungary). 1992–1993, pp. 85–92.
- CSANÁDY, M., BOZSAI, G., DEÁK, ZS., 1985: Arsenic in the artesian waters in the Great Hungarian Plain. – *Egészségtudomány*, 29, pp. 240–249 (in Hungarian).
- CSEPREGI A., ÁGOTAI GY., IZÁPY G. 2006: A Büki Gyógyfürdő kútjai védőidomainak meghatározása, Budapest.
- DAVIS, W.E. 1968: National Inventory of Sources of Emissions. Arsenic, Beryllium, Manganese, Mercury and Vanadium, Arsenic. Section I, 51p. Leawood, Kansas.
- DEPARTMENT OF ENERGY (USA) 2009: A summary of additives used in fracking, including examples of common usage.
- DIAZ, A. R. KAYA, E. SADIQ ZARROUK J. 2016: Reinjection in geothermal fields: A worldwide review update, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53 pp. 105–162.
- ERICKSON, M.L., BARNES, R.J., 2005: Glacial sediment causing regional-scale elevated arsenic in drinking water. *Ground Water* 43, no. 6: 796–805.

- FEKETE J. 2013: Aromás vegyületek vizsgálata hévizekben és keletkezésük kísérleti modellezése, Doktori értekezés, Környezettudományi Doktori Iskola, Szegedi Tudományegyetem, Szeged.
- GUO, Q. 2019: Arsenic in the hot springs in the YunnanSichuan-Tibet Geothermal Province, China E3S Web of Conferences 98, 07010 <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199807010> WRI-16
- HANZ, G. GARNIER M. 2017: Sustainability assessment of a special water management practice in a Hungarian riverbase, Journal of International Scientific Publications, Ecology and Safety, ISSN 1314-7234, Volume 11.
- HÁRS T. 2006: A termálvizek környezetterhelési és gazdasági hatásai, Doktori értekezés, Biológiai Tudományi Doktori Iskola, Szent István Egyetem, Budapest.
- HEALY, D. 2012: Hydraulic Fracturing or 'Fracking': A Short Summary of Current Knowledge and Potential Environmental Impacts, University of Aberdeen, pp. 26
- HÉVÍZKÚTKATASZTER 2021: MBFSZ
- HITCHON, B., FILBY, R.H., SHAH, K.R. 1975: Geochemistry of trace elements in crude oils, Alberta, Canada. In: Yen, T.F (ed.), The Role of Trace Metals in Petroleum, pp. 111-121. Ann Arbor Science, Ann Arbor, Michigan.
- HOBBS M.Y., FRAPE, S.K., SHOUAKAR-STASH, O. KENNELL, L.R. 2011: Regional Hydrogeochemistry – Southern Ontario, NWMO-DGR (Nuclear Waste Repository Organisation – Deep Geologic Repository) NWMO DGR-TR-2011-12, p. 128.
- HORVÁTH, I., SZŐCS, T., TÓTH, GY., MURÁTI, J. AND ROTÁR-SZALKAI, Á. 2004: Hydrogeochemistry and water ages at the Bábaapáti (Üveghuta) Site („A vízgeokémia és a vízkörök alakulása a Bábaapáti (Üveghutai)-telephelyen”). Annual Report of the Geological Institute of Hungary, 2003, (Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése, 2003). Budapest. pp. 427–447.
- KOVÁCS, ZS. (Szerk.) 2018: Szénhidrogének Magyarországon, Magyar Energetikai és Közmű Szabályozási Hivatal, p. 317.
- KUN É., SZÉKVÖLGYI K, GONDÁRNÉ SÓREGI K., GONDÁR K., 2014: Sűrűségfüggő geotermikus modellezés tapasztalatai magyarországi esettanulmányok függvényében. XXI. Konferencia a felszín alatti vizekről. Siófok
- KUN É., SZŐCS T., TÓTH GY., KIRÁLY E. 2020a: Eddigi hatások és lehetséges hatások értékelése, összefoglaló jelentés (jogszabályi háttér, szakirodalom, esettanulmányok) (Visszatáplálásokkal, visszasajtolásokkal kapcsolatosan ismert, vagy várható hatások a visszatáplálások, visszasajtolások céljai) "Termálvizek speciális monitoringfejlesztési feladatainak ellátása a visszasajtolás folyamatának nyomon követésére az érintett rétegek meghatározására" című, K13 projektrészhez.
- KUN É., TÓTH GY., GÁL N., SZÜCS A., SZŐCS T., TIHANYINÉ SZÉP E 2020b: Összefoglaló jelentés a mintázott objektumkörzetek állapotértékeléséről, áramlási, oldottanyag- és hőtranszport-modellezéséről; víz-közet kölcsönhatás és nagy regionális modellezésről "Termálvizek speciális monitoring-fejlesztési feladatainak ellátása a visszasajtolás



- folyamatának nyomon követésére az érintett rétegek meghatározására" című, K13 projektrészhez, KEHOP K13.
- KUN É., TÓTH GY., KERÉKGYÁRTÓ T., 2020: Felszín alatti víztestek állapotának mennyiségi értékelése A vízmérleg teszt ismertetése a medence területekre. A VIZITERV Environ Kft. és a Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat között létrejött KEHOP-1.1.0-15-2016-00008 azonosítószámú, "A Víz Keretirányelv előírásai szerinti állapotértékelések, elemzések, vizsgálatok, valamint a vízgyűjtő-gazdálkodási tervek második felülvizsgálata és korszerűsítése" című projekt keretében.
- M. A. GRANT; P. F. BIXLEY; I. G. DONALDSON 1983: Internal Flows in Geothermal Wells: Their Identification and Effect on the Wellbore Temperature and Pressure Profiles; Society of Petroleum Engineers Journal 23 (01): pp. 168–176, SPE-10317-PA, DOI: <https://doi.org/10.2118/10317-PA>
- M. HANANO, T. OHMIYA, K. SATO 1991: Reinjection experiment at the Matsukawa vapor-dominated geothermal field: Increase in steam production and secondary heat recovery from the reservoir, Geothermics Volume 20, Issues 5–6, pp. 279–289.
- MÁTRAHALMI T. 2011: Szentes környezetének numerikus modellezéssel alátámasztott hidrogeológiai és hévízföldtani értékelése – diplomamunka, Budapest.
- NÁDOR A. (ed.) 2015: A rétegrepesztés környezeti hatásainak vizsgálata, MFGI, Budapest. <https://docplayer.hu/2992616-A-retegrepesztes-kornyezeti-hatasainak-vizsgalata.html>, p.101.
- NÁDOR A., FARKASNÉ BALLA J., HORVÁTH I., JÁMBOR Á., JUHÁSZ GY., TÓTH GY., LIEBE P. 2000: Stratégiai terv szénhidrogén bányászattal kapcsolatos besajtolások mélységi, elsősorban termálvizekre gyakorolt hatásának felmérése céljából lefolytatandó vizsgálatokra, MÁFI, Budapest.
- NÁDOR, A. (ED.) 2019: Cascades and Calories: Geothermal Energy in the Pannonian Basin for the 21st Century and Beyond. — Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, DARLINGE project, p. 132,
- NAGYGÁL J. 2017: A konvekciós geotermikus energiatermelés fenntarthatósága és a felhasználás hatékonysága, Doktori értekezés, Szent István Egyetem, Gödöllő.
- NORDSTROM, D.K. MCCLESKEY, R.B., BALL, J.W., 2019: E3S Web of Conferences 98, 07020 <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199807020> WRI-16
- PRESTOR, J., NÁDOR A., ROTÁRNÉ-SZALKAI Á., SZŐCS T., TÓTH GY., RMAN, N., LAPANJE A. 2011: Határon átnyúló vízkészlet-gazdálkodás ajánlások a Geotermikus hasznosítások számbavétele, a hévízadók értékelése és a közös hévízgazdálkodási terv előkészítése a Mura-Zala Medencében, Management report, T-JAM projekt, p. 48.
- PURI, B. K., IRGOLIC, K. J. 1989: Determination of arsenic in crude petroleum and liquid hydrocarbons. Environmental Geochemistry and Health, 11(3-4), 95–99. doi:10.1007/bf01758658
- RICHTER, A. 2009: Waste water reinjection at The Geysers with positive environmental impact, 2009 <https://www.thinkgeoenergy.com/waste-water-reinjection-at-the-geysers-with-positive-environmental-impact/>

- ROTÁR-SZALKAI, Á., TÓTH, GY., GOETZL, G., ŠVASTA, J., ČERNAK, R., LAPANJE, A., MOZETIČ, S. 2013: Detailed cross-border monitoring and reporting assessment of pilot areas, TRANSENERGY project, p. 39.
- SANJUAN, B., NEGREL, G., LE LOUS, M., POULMARCH, E., GAL, F., DAMY, P. C. 2019: Main geochemical characteristics of the deep geothermal brine at Vendenheim (Alsace, France) with constraints on temperature and fluid circulation. World Geothermal Congress 2020, Apr. 2020, Reykjavik, Iceland. hal-02335810
- SMEDLEY, P.L. , KINNIBURGH, D.G. 2002: A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters. *Appl. Geochem.* 17 (5), pp. 517–568 .
- STEFÁNSSON V. 1997: Geothermal reinjection experience. *Geothermics*, 26: pp. 99–139.
- SZANYI J., KURUNCZI M., KÓBOR B., DR. MEDGYES T. 2013: Korszerű technológiák a termásvíz visszasajtolásban, kutatási eredmények és gyakorlati tapasztalatok.
- SZANYI, J., KOVÁCS, B., SCHAREK, P. 2009: Geothermal Energy in Hungary: potentials and barriers, *European Geologist* 27, pp. 15–19.
- SZONGOTH G. 2013: Hőmérsékletmérés hévízkutakban, FAVA XX. Konferencia a felszín alatti vizekről, Siófok.
- SZŐCS T., HORVÁTH I., BARTHA A., BERTALAN É., BALLÓK M. AND HORVÁTH É., 2008: Speciation studies in understanding high As content in ground water. *Mineralogical Magazine*, February 2008, Vol. 72(1), pp. 507–511.
- SZŐCS T., KERÉKGYÁRTÓ T., GÁL N., BABINSZKI E., TIHANYINÉ SZ. E., PÁLFI É., JERABEK CS., LAJTOS S., BEKE ZS., BERTALAN É., BESNYI A., BITTER ZS., KÓNYA P., UDVARDI B. 2017: Új termásvíz és gázelemzések végzése és adatok komplex értékelése, 2017.04.30., Budapest.
- SZŐCS, T., RMAN, N. SÜVEGES, M., PALCSU, L., TÓTH, G., LAPANJE, A. 2013: The application of isotope and chemical analyses in managing transboundary groundwater resources. *Applied Geochemistry* 32, pp. 95–107. doi:10.1016/j.apgeochem.2012.10.006.
- SZÜCS A., GÁL N., TIHANYINÉ SZÉP E., PÁLFI É., DEMÉNY K., KIRÁLY E. 2020c: Mintavételi dokumentáció "Termásvizek speciális monitoringfejlesztési feladatainak ellátása a visszasajtolás folyamatának nyomon követésére az érintett rétegek meghatározására "VKI monitoring KEHOP-1.1.0-15-2016-00002 számú projekt keretében kutatási - módszerfejlesztő - adatgyűjtő program K13 projektrész.
- SZÜCS A., GÁL N., TIHANYINÉ SZÉP E., PÁLFI É., DEMÉNY K., KIRÁLY E. 2020d: Mintavételi dokumentáció "Termásvizek speciális monitoringfejlesztési feladatainak ellátása a visszasajtolás folyamatának nyomon követésére az érintett rétegek meghatározására "VKI monitoring KEHOP-1.1.0-15-2016-00002 számú projekt keretében kutatási - módszerfejlesztő - adatgyűjtő program K13 projektrész.
- SZÜCS, A., GÁL, N., TIHANYINÉ SZÉP, E., PÁLFI, É., DEMÉNY, K. 2020a: Termásvizek speciális monitoringfejlesztési feladatainak ellátása a visszasajtolás folyamatának nyomon követésére az érintett rétegek meghatározására, VKI monitoring KEHOP-1.1.0-15-2016-00002 számú projekt keretében kutatási - módszerfejlesztő - adatgyűjtő program, K13 projekt, 2. negyedévi Részjelentés, MBFSZ.

- SZÜCS, A., GÁL, N., TIHANYINÉ SZÉP, E., PÁLFI, É., DEMÉNY, K. 2020b: Termálvizek speciális monitoringfejlesztési feladatainak ellátása a visszasajtolás folyamatának nyomon követésére az érintett rétegek meghatározására, VKI monitoring KEHOP-1.1.0-15-2016-00002 számú projekt keretében kutatási - módszerfejlesztő - adatgyűjtő program, K13 projekt, 3. negyedévi Részjelentés, MBFSZ.
- THOMAS, M.A., DIEHL, S.F., PLETSCH, B.A., SCHUMANN, T.L., PAVEY, R.R., SWINFORD, E.M. 2008: Relation between solidphase and dissolved arsenic in the ground-water system underlying Northern Preble County, Ohio. U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2008–5205. Reston, Virginia: USGS.
- TONKÓ CS. M., PÁTZAY GY. 2012: A geotermális fluidumok energetikai hasznosítása során felmerülő problémák, Magyar Ipari Ökológiai Társaság, Ipari Ökológia 1./1. pp. 5–20.
- TÓTH GY., 2011: A geotermikus energiahasznosításhoz kapcsolódó vízvisszatáplálásokra alkalmas földtani formációk és közettípusok. MFGI jelentés.
- TÓTH GY., KUN É., SZŐCS T. 2020a: Jelentés az előzmények áttekintéséről, a vizsgálatok részleteinek kidolgozásáról és az új koncepció megalkotásáról "Termálvizek speciális monitoringfejlesztési feladatainak ellátása a visszasajtolás folyamatának nyomon követésére az érintett rétegek meghatározására", K13 projektrész VKI monitoring KEHOP-1.1.0-15-2016-00002 számú projekt keretében kutatási - módszerfejlesztő - adatgyűjtő program.
- TÓTH GY., KUN É., SZŐCS T. 2020b: Eddigi és lehetséges hatások értékelése, részjelentés "Termálvizek speciális monitoringfejlesztési feladatainak ellátása a visszasajtolás folyamatának nyomon követésére az érintett rétegek meghatározására" című, K13 projektrészhez VKI monitoring KEHOP-1.1.0-15-2016-00002 számú projekt keretében kutatási - módszerfejlesztő - adatgyűjtő program.
- US NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES. 1977: Arsenic, Chapter 3, pp.16–26. Washington, DC.
- VALKOVIC, V. 1978: Trace Elements in Petroleum. The Petroleum Publishing Co., Tulsa, Oklahoma.
- VARSÁNYI I., Ó.KOVÁCS L., KÁRPÁTI Z., MATRAY JM. 2002: Carbon forms in formation waters from the Pannonian Basin, Hungary. *Chemical Geology* 189, 3–4, pp 165–182.
- VARSÁNYI, I., FODRÉ, ZS. & BARTHA, A., 1991: Arsenic in drinking water and mortality in the Southern Great Plain, Hungary. – *Environmental Geochemistry and Health*, 13, pp. 14–23.
- VARSÁNYI, I., Ó.KOVÁCS, L., 2006: Arsenic, iron and organic matter in sediments and groundwater in the Pannonian Basin., – *Applied Geochemistry*, 21, pp. 949–963.
- XUA, Y., SCHOONEN, M.A.A., NORDSTROM, D.K., CUNNINGHAM, K.M., BALL. J.W. 2020: Sulfur geochemistry of hydrothermal waters in Yellowstone National Park, Wyoming, USA. II. Formation and decomposition of thiosulfate and polythionate in Cinder Pool. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 97 pp. 407–423.

## PROJEKTEK HONLAPJAI

<http://www.interreg-danube.eu/approved-projects/darlinge>

<http://transenergy-eu.geologie.ac.at/>

<https://keep.eu/projects/2604/Screening-of-the-geothermal--EN/>

[www.vizeink.hu](http://www.vizeink.hu) 2020: Magyarország Vízyűjtő-Gazdálkodási Terve – 2021 I. Vitaanyag

[https://www.petroskills.com/blog/entry/00\\_totm/nov20-fac-Thermodynamic-Hydrate-Inhibitors#.YAoM9HL9mUk](https://www.petroskills.com/blog/entry/00_totm/nov20-fac-Thermodynamic-Hydrate-Inhibitors#.YAoM9HL9mUk)

## JOGSZABÁLYI HÁTTER

72/1996. (V. 22.) Korm. rendelet a vízgazdálkodási hatósági jogkör gyakorlásáról

[A Kormány 1155/2016. \(III. 31.\) Korm. határozata Magyarország felülvizsgált, 2015. évi vízyűjtő-gazdálkodási tervéről](#)

219/2004. (VII. 21.) Korm. rendelet a felszín alatti vizek védelméről

30/2004. (XII. 30.) KvVM rendelet a felszín alatti vizek vizsgálatának egyes szabályairól

314/2005. (XII. 25.) Korm. rendelet A környezeti hatásvizsgálati és az egységes környezethasználati engedélyezési eljárásról

221/2004. (VII. 21.) Korm. rendelet vízyűjtő-gazdálkodás egyes szabályairól

30/2008. (XII. 31.) KvVM rendelet a vizek hasznosítását, védelmét és kártételeinek elhárítását szolgáló tevékenységekre és létesítményekre vonatkozó műszaki szabályokról

147/2010. (IV. 29.) Korm. rendelet a vizek hasznosítását, védelmét és kártételeinek elhárítását szolgáló tevékenységekre és létesítményekre vonatkozó általános szabályokról

101/2007. (XII. 23.) KvVM rendelet a felszín alatti vízkészletekbe történő beavatkozás és a vízkútúrás szakmai követelményeiről

1993. évi XLVIII. törvény a bányászatról

2015. évi LVII. törvény az energiahatékonyságról

122/2015. (V. 26.) Korm. rendelet az energiahatékonyságról szóló törvény végrehajtásáról

6/2009. (IV.14.) KvVM-EüM-FVM rendelet a felszín alatti víz és a földtani közeg minőségi védelméhez szükséges határértékekről

12/1996 (VII.4.) KTM rendelet a környezetvédelmi felülvizsgálatról

103/2011. (VI. 29.) Korm. rendelet (az ásványi nyersanyag és a geotermikus energia természetes előfordulási területének komplex érzékenységi és terhelhetőségi vizsgálatáról)

203/1998. (XII. 19.) Korm. rendelet a bányászatról szóló törvény végrehajtásáról