

A zalakarosi hévíz-termelés védőidomainak aktualizálása – Második kötet

A Gránit gyógyfürdő alaphegységi gyógyvíz-termelő kútjainak a védőidoma

Üzemeltető, engedélyes: **GRÁNIT Gyógyfürdő Zrt.**

Cím: **Zalakaros Thermál út 1.**

Képviselik: *Cziráki József és Varjaskéri József*

E-levél: *info@hellozalakaros.hu*

Tervező: **Lorberer Árpád Ferenc**

geológus, a Budapesti Mérnöki Kamara Tagja

Vízügyi, Geotechnikai és Geotermikus Tervező

Földtudományi Tervező és Fejlesztő Kft.

Cím : 1068 Budapest, Szondi u. 79 fszt.12

Mobil: 30-449-7702

E-levél: loare@t-online.hu & loare@freemail.hu

Skype: Lorberterv

2019 február 26

Tartalomjegyzék

Tervezői nyilatkozat.....	5
I. Feladat és előzmények bemutatása.....	6
II. Alaphegységi hévíz-termelő kutak bemutatása.....	10
Az alaphegységi hévízkutak működésének bemutatása.....	14
III. Vízkémiai és izotóp-mérési eredmények értékelése.....	21
Vízkeimiai adatok.....	21
Izotópos vízkor-meghatározások eredményei.....	27
IV. A hévíz-tároló földtani alapú védőidoma.....	28
V. Mélységi vízáramlás, nyomásadatok és víztermelések.....	36
VI. Védőidom-kijelölés felülvizsgálata.....	40
Korábbi hidrogeológiai szimulációk értékelése.....	40
Védőidom kiterjedésének analitikus ellenőrzése.....	44
Védőidom modellvizsgálatának felépítése és eredményei.....	45
VII. Védőidom-kijelölési javaslat.....	48
VIII. Biztonságban tartási és monitoring terv.....	53
IX. Összefoglalás.....	55

Mellékletek:

- I) D6/K5 és D7/K-8 kutak hidrodinamikai méréseinek táblázatos összesítése
- II) 2018 évi részletes vízkémiai mérési eredmények
- III) 2018 évi izotóp-mérési eredmények
- IV) Az alaphegységi védőidom által érintett telkek felsorolása

<i>Ábrák</i>	<i>oldalszám</i>
1. <i>ábra</i> : Víztest kiterjedése az érvényes zalakarosi alaphegységi védőidom jelölésével	6
2. <i>ábra</i> : Alaphegységi védőterület kiterjedése topográfiai térképen, a CH-bányászati területek jelölésével	7
3. <i>ábra</i> : Mélyfúrások elhelyezkedésének a térképe 1980-ból	11
4. <i>ábra</i> : Átnézetes térkép a CH-mezők, kutak, vízügyi és szerkezeti határok jelölésével Magyarország nyersanyag-térképe alapján	12
5/a-b <i>ábrák</i> : A mély karsztkutak kutak jellemző termelése három különböző évben, havi bontásban	15
6/a-c <i>ábrák</i> : A D6/K-5 gyógyvíz-kút automata rögzítésű adatsorának részlete	16
7/a-d <i>ábrák</i> : Gyógyfürdő alaphegységi kútjainak nyomás-hozam görbéi	16
8 <i>ábra</i> : A gyógyvízkutak nyomás-mérési adatainak idősora	18
9 <i>ábra</i> : Érintett termálvíztest kiterjedése	27
10 <i>ábra</i> : Víztest legfontosabb hévíz-termeléseinek elhelyezkedése	27
11./a-b <i>ábrák</i> : Mélyföldtani - tektonikai térképek a 2006-os zalakarosi védőidom feltüntetésével	28
12/a-b <i>ábrák</i> : A MOL kutatási ill. művelési időszakában szerkesztett lokális földtani szelvények	29
13. <i>ábra</i> : Az alaphegység tetőszint-térképe (2018)	31
14. <i>ábra</i> : A karbonátos alaphegység tektonikai térképe, a kimutatott és feltételezett vetők lefutásának a jelzésével	32
15. <i>ábra</i> : Földtani alapon kijelölhető új védőidom-terület kiterjedése - alapverzió	34
16. <i>ábra</i> : Földtani alapon kijelölhető új védőidom-terület kiterjedése - kiterjesztett verzió	35
17. <i>ábra</i> : A mélységi karsztos tároló szivárgási és tározási tényezőinek eloszlása	39
18. <i>ábra</i> : Modellterületek kiterjedései	42
19. <i>ábra</i> : VITUKI depressziós számításának az eredmény-térképe	43
20. <i>ábra</i> : Valós és a korábbi modellekben előrejelzett depressziók összevetése	44
21. <i>ábra</i> : A CH-telepek és a gyógyvízkutak analitikusan becsült átfedő védőterületei	45
22. <i>ábra</i> : 2018 évi előzetes hidrogeológiai modellek szélesebb, és beszűkülő vízáadó feltételezésével	48
23. <i>ábra</i> : Sűrített cellaosztású modell térképi és szélső oldalnézeti képe	48
24. <i>ábra</i> : Védőidom-terület település-nevekkkel	51
25. <i>ábra</i> : A védőidom-terület telekkönyvi térképe	52

Táblázatok

	<i>oldalszám</i>
1. táblázat: A Zalakárosi Gránit gyógyfürdő tulajdonában levő alaphegységi hévíz-termelő kutak alapadatai	9
2. táblázat: A két mély kút 2018 évben újra bemért koordinátái és kiemelt műszaki adatai	10
3. táblázat: A víztermelések relatív összehasonlítása	16
4. táblázat: Gyógyvízkutak -2200 méterre vonatkozó mélységi nyomásainak alakulása (Gyenesé I. szerint, kiegészítve)	17
5. táblázat: A kútfejeknél és a gáztalanító után a fürdőbe haladó termelvénynél mért gáztartalmak összevetése	19
6. táblázat: Általános vízkémiai jellemzők, és helyspecifikus ásványi összetevők a D6 / K-5 kút reprezentatív mintáiban	20
7. táblázat: Anionok a D6 / K-5 gyógyvízkút reprezentatív mintáiban	21
8. táblázat: Kationok a D6 / K-5 gyógyvízkút reprezentatív mintáiban	22
9. táblázat: Általános vízkémiai jellemzők és gyógyvíz-jellemzők a D7 / K-8 kútban	23
10. táblázat: Anionok a D7 / K-8 gyógyvízkút reprezentatív mintáiban	24
11. táblázat: Kationok a D7 / K-8 gyógyvízkút reprezentatív mintáiban	24
12. táblázat: Mélységi gáztartalom-mérések értékelése	25
13. táblázat: A mért izotópos korértékek táblázatos összefoglalása:	26
14. táblázat: A zalakáros-sávolyi terület rétegtani egységei	29
15. táblázat: Zalakáros - Sávoly területen a sűrűn ellenőrzött kutakban regisztrált nyomásváltozások alakulása	39
16. táblázat: Szénhidrogén-kitermelések összesítése	40
17. táblázat: A két korábbi és a 2019-es modell-szimulációk összevetése	41
18. táblázat: A védőidom kiemelt határoló koordináta-pontjai	50

Tervezői nyilatkozat

A vízjogi engedélyezésre vonatkozó 18/1996. (VI.13.) számú és a védőidom-kijelölések metodikáját megadó 123/1997. (VII.18.) Korm. rendeletek alapján alulírott kijelentem, hogy a

Zalakarosi hévíz-termelés hidrogeológiai védőidomainak aktualizálása

az általános érvényű és az eseti hatósági előírások, rendeletek, szabályzatok, országos /MSZ/ és ágazati /szakmai/ szabványok, valamint a műszaki előírások figyelembevételével készült, azoknak megfelel. Összhangban van az élet, az egészség, a biztonság, a környezet, a kulturális örökség és a tulajdon védelmének követelményeivel, valamint a vízügyi és környezetvédelmi normákkal és a Magyar Mérnöki Kamara Etikai szabályzatával.

A terv célja a korábbi, Kiskomáromi csatorna 165. vízikönyvi számon és 701-10/1/2006 iktatószámom kiadott határozat előírásainak aktualizálása és pontosítása. A jelenleg érvényes jogszabályi és szakhatósági előírások az adott hévíz-kitermelésre érvényesíthetők, és a továbbiakban is kialakítható a gyógyvíztermelés hosszú távú védelmét biztosító védőidom. A védőidomra vonatkozó javaslatunk a helyi adottságoknak, Zalakaros rendezési tervének, a területhasználatoknak, valamint a környezetvédelmi szempontoknak is megfelelnek, azok hatékonyságát erősítik.

A terv elkészítéséhez tervezői jogosultsággal rendelkezem.

2019. február 26.

Lorberer Árpád Ferenc Geológus

Kamarai szám: **01-10689**

Tervezői kamarai kódok: **VZ-VKG, VZ-TEL, VZ-TER,**

Műszaki ellenőri kamarai kód: **MV-B, ME-VZ, MV-VZ**

Cím: 1068 Bp., Szondi u. 79 fszt. 12. *Skype:* Lorberterv *Mobil:* 30-449-7702



I. Feladat és előzmények bemutatása

Zala megye, és a közép-dunántúli alaphegységi szerkezeti zóna legjelentősebb hévíz-hasznosítását a zalakarosi GRÁNIT gyógyfürdő képviseli. A gyógyfürdő jelmondata szerint „*Titkunk a vízünk*” - ez jól kifejezi, hogy Zalakaros várossá fejlődése és megélhetése alapvetően a nagy mélységű karsztos rétegekből feltárt magas sótartalmú, forrásponthoz közeli felszíni hőmérsékletű, gázos termálvíznek köszönhető.

A zalakarosi **GRÁNIT Zrt.** két nagy mélységű alaphegységi kutat üzemeltet. *A vízkivétel célja:* fürdési célú gyógyvíz kitermelése
A gyógyvíz-kivétel megóvása érdekében 2006-ban a *Nyugat-Dunántúli Környezetvédelmi, Természetvédelmi és Vízügyi Felügyelőség Kiskomáromi csatorna 165. vízikönyvi számú, 1.351/2/2003 iktatószámú* határozatban több községre kiterjedő védőidomot jelölt ki.
A kiadott határozat szerint *„Az alaphegységi védőidom vetületével érintett telkeken nem létesíthető 1400 méternél mélyebb kút. A védőidom vertikálisan 1240 és 5000 mBf szintek közötti, tereptől mérve pedig az 1400-4200 mélységközre terjed ki.*

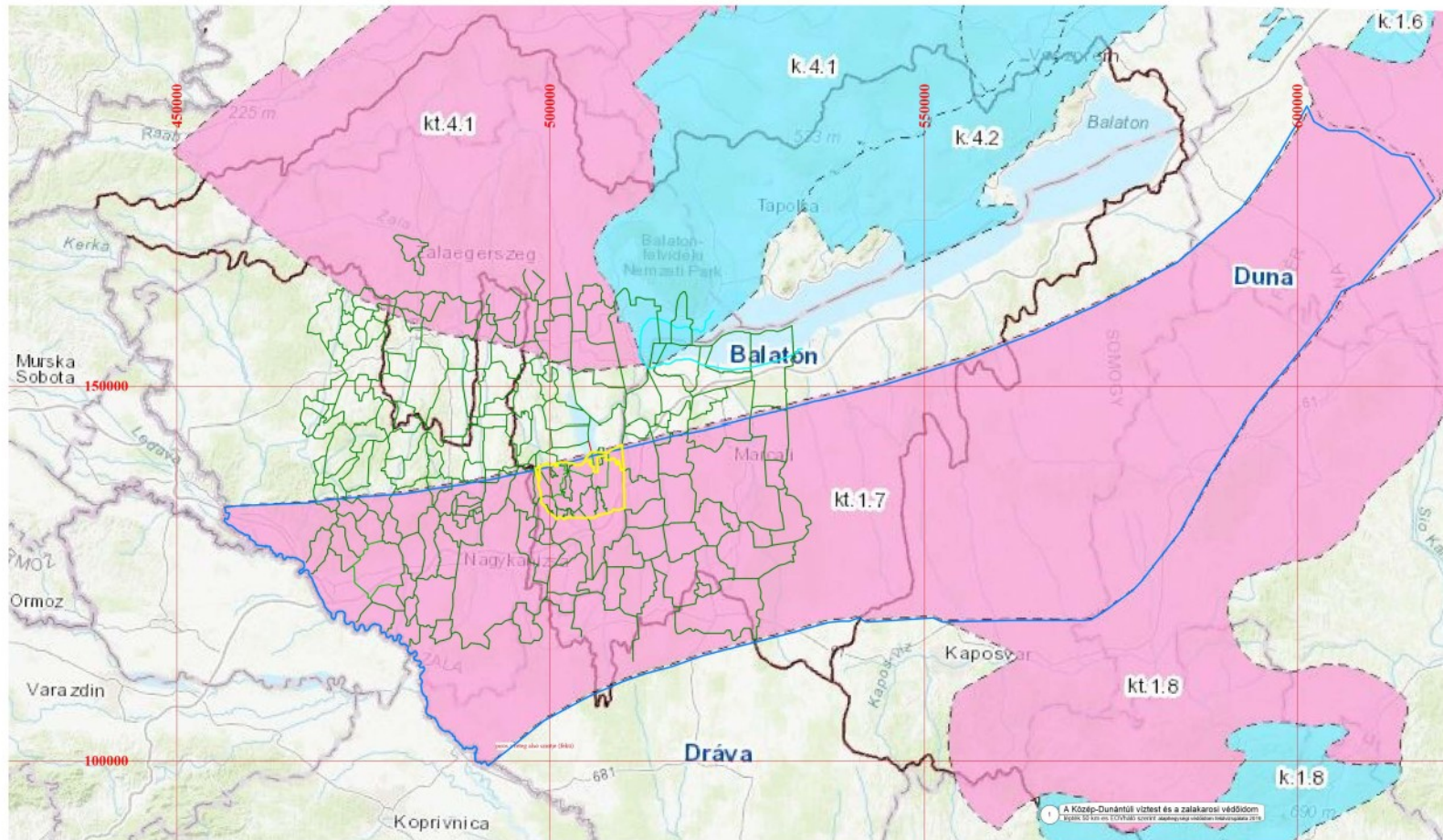
A MOL egyetértésével gyógyfürdő kijelölt „Hidrogeológiai B” védőidom magában foglalja a Sávolyi szénhidrogén-termelő mezők jelentős részét is. A Zalakarosi fürdő kútjainak és a sávolyi kőolaj- és földgáz-mezők története a kezdetektől összefonódott. A gyógyvíz feltárása egy sorozat meddő olajkutató fúrásnak köszönhető, a sávolyi olajmező kutatásának elindítása viszont részben termálvíz-kutatásnak egy VITUKI által kitűzött hévízkutató fúrásnak köszönhető. A két helyi felszín alatti erőforrás kiaknázása és hasznosítása több ütemben párhuzamosan valósult meg az 1960-as évektől egészen 2005-ig terjedően.

A jelenlegi védőidom-kijelölés a MOL és a Gyógyfürdő közös megbízása alapján a *VITUKI és a Miskolci Egyetem Környezetgazdálkodási Intézetének* közös munkájaként készült 1994-2003 között. A MOL és a fürdő közötti munkakapcsolat és adatmegosztás 2004 után megromlott, 2006 és 2018 között pedig lényegében megszűnt - ezzel egy időben mindkét üzem felügyelő hatósági és jogszabályi kerete is többször megváltozott. A védőidom-felülvizsgálat kapcsán 2018 végétől kezdődően a zalakarosi GRÁNIT Gyógyfürdő és a MOL Dél-Dunántúli Termelési Osztálya közötti együttműködés is újraindult.

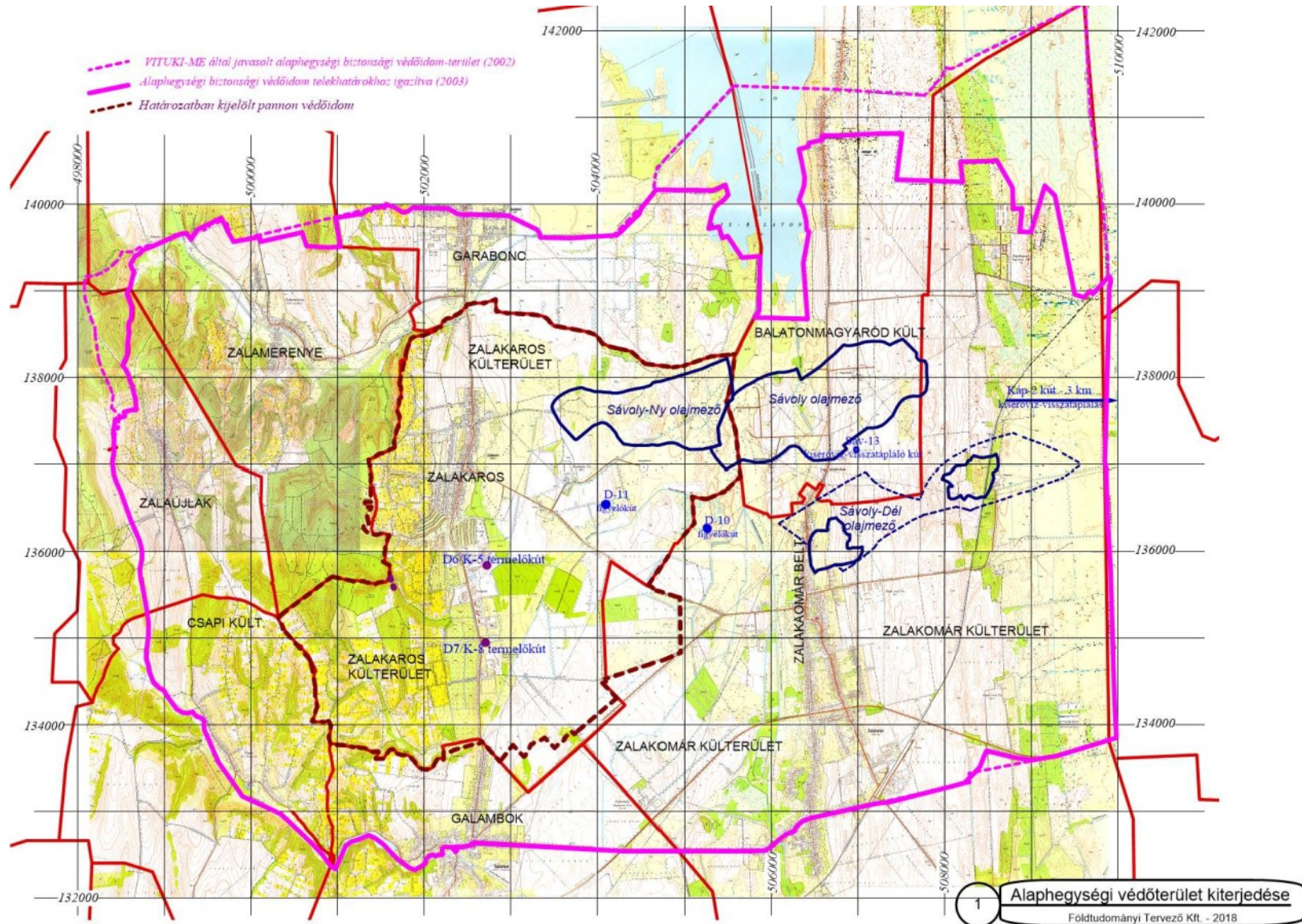
Jelen dokumentum elsődleges célja a korábbi védőidom-számítás újraértékelése, elsősorban annak a vizsgálata hogy a kijelölt védőidom a következő 10 éves időszakban is képes-e a gyógyvíz-termelés biztonságát szavatolni.

A következő oldal *1. ábráján* az érvényes, 2006-ban kiadott védőterület kiterjedését a karsztos víztestek térképén, majd a *2. ábrán* a topográfiai alaptérképen mutatjuk be.

1. ábra: Víztest kiterjedése az érvényes zalakarosi alaphegységi védőidom jelölésével



2. ábra:



A 2006 évi hatósági védőidom-kijelölés megalapozásához több igen részletes dokumentáció készült 1996 és 2003 között. A legfontosabbak:

- Székelly Ferenc (1976) *A zalakarosi fürdő földtani és kitermelhető hévízkészletének meghatározása* VITUKI jelentés az üzemeltető Dél-zalai Vízfűtő és Fürdő Vállalat r., témaszám III.4.3.39.
- Lorberer Á. et al.(1996): *Zalakaros D-6., D-7., D-10. és D-11. jelű termál-karsztvízes hévíz- kutak hidrogeológiai védőidomának meghatározása* VITUKI Rt. Hidrológiai Intézet jelentése, témaszám:721/1/3424 p.41+mellékletek
- Juhász J. –Kovács L. – Balla L. - Buócz Z. (2000a): *Szakvélemény a Zalakarosi triász gyógyvíztermelés és a Sávoly környéki kőolajtermelés jelenlegi és távlati kölcsönhatásainak vizsgálatára, a gyógyvíz-bázis védőidomának méretezésére* Miskolci Egyetem Műszaki Földtudományi Kar Környezetgazdálkodási Intézet jelentése, kézirat p.121+mellékletek
- Juhász J. – Böhm J. et al.(2000b): *Zalakarosi gyógyvíztermelés és a sávolyi szénhidrogén-termelés kölcsönhatásainak modellvizsgálata – Összefoglaló* Miskolci Egyetem Műszaki Földtudományi Kar Környezetgazdálkodási Intézet jelentése, kézirat p.53
- Lorberer Á.F et al.(2003): *A zalakarosi gyógyfürdő védőidomainak térképi kijelölése, érintett telkek felsorolása* BABÉR²⁰⁰¹ Bt jelentése, kézirat p.8+mellékletek

Az értékelések részletesen jellemezték a zalakarosi GRÁNIT Gyógyfürdő két alaphegységi kútjának, és a közeli földgáz-és kőolaj-termelés földtani környezetét, működését, az érintett karsztos vízáradó geometriáját és műszaki paramétereit is. A mélységi karsztos vízáradó hidrogeológiai környezete jóval bonyolultabb a pannon porózus rétegeknél, ezt azonban a jóval alaposabb számszerű mérések és értékelések ellensúlyozták.

Az alaphegységi védőidom újraértékelése a fenti munkák folytatása. Anyagunkban:

- összefoglaljuk a két termelőkút jellemzőit és egyedi jellegű üzemeltetésüket
- Röviden jellemezzük a földtani és hidrogeológiai környezetet
- Bemutatjuk a korábbi védőidom-számítások eredményeit, és a korábbi előrejelzések fényében értékeljük a vízáradó állapotának a változását.
- Új ellenőrző szimulációkkal aktualizáljuk a modellvizsgálatokat
- javaslatot teszünk a védőidom-határok módosítására,
- reális üzemeltetési monitoring javaslatot adunk meg, a rendszeres értékelések ütemezési javaslatával együtt



Az egyidejű szénhidrogén-kitermelés hatásainak részletesebb elemzéséről, és vízáradó további közös használatának optimalizálásáról külön tanulmánykötetet készítünk. Ezt a bányászat és a vízgazdálkodás eltérő szabályozásától független földrajzi/földtani keretek is indokolják. A gyógyfürdő két mély termelőkútjával szemben a környező szénhidrogén-termelő kutak száma több mint 40 darab. A gyógyvíz-termelés a mélymedence területé lefűrt két egymáshoz közeli kútból történik, míg a kőolaj-termelés jóval nagyobb területre terjed ki, és sekélyebb kutakkal működik, mivel a gázsapkák és olajtelepek a kiemelt szerkezeti zónák (fiatalabb üledékekkel betemetett hegyek) területére korlátozódnak. A MOL munkatársaitól a védőidom-kijelölési munkához is nagyszámú hasznos adat szolgáltatott 2018 novemberében, e adatoknak jelen anyagunkban csak kivonatos értékelését közöljük (pl. a termelések összegzését).

II. Alaphegységi hévíz-termelő kutak bemutatása

1. Táblázat: A Zalakarosi Gránit gyógyfürdő tulajdonában levő alaphegységi hévíz-termelő kutak alapadatai:

Gyógyfürdő jelölés	D6	D7
Vízügyi kataszteri szám	K-5	K-8
Olajipari / földtani megnevezés	Újudvar-Dallospuszta-6	Újudvar-Dallospuszta-7
Hévízkút-kataszteri szám	19-18	19-153
Vízügyi objektum-azonostó	ACK343	ACK344
VIFIR kód	K191910005	K191910008
Kúttelep, hrsz	Északi telep, 264/16 hrsz.	Déli telep, 286 hrsz
Létesítés éve	1962	1970
Mélység és termelt szakasz	2307,5 m. - 2220 alatt nyitott	2752,5 m. - 2629 alatt nyitott
Koordináta 2018-as mérés sz.	EOV Y= 502724.10 & EOV X= 135842.45	EOV Y= 502704.73 & EOV X= 134918.81
Termelt vízáadó	Alaphegységi karszt	Alaphegységi karszt
Minősítés	gyógyvíz	gyógyvíz
Jelenlegi termelési mód	vízbekeveréses	vízbekeveréses
Engedélyezett víztermelés - nyáron - télen	Együtt megadva: 374,3 m ³ /nap (csúcs: 560 m ³ /nap) 226 m ³ /nap (csúcs: 269 m ³ /nap)	
Jellemző termelés	Átlag 130 m ³ /nap - télen 0, nyáron 220	240 m ³ /nap ált. egész évben
Hőfok a kútfejnél - önállóan - kevert termelés esetén:	94-99 °C ~ 75 °C	87-96 °C ~ 77 °C
Kapcsolt hidegvizes kút	ZK-3 (K-6) & ZK-7 (K-9)	ZK-10 (K-15) & ZK-11 (K-17)

2. Táblázat: A két mély kút 2018 évben újra bemért koordinátái és kiemelt műszaki adatai

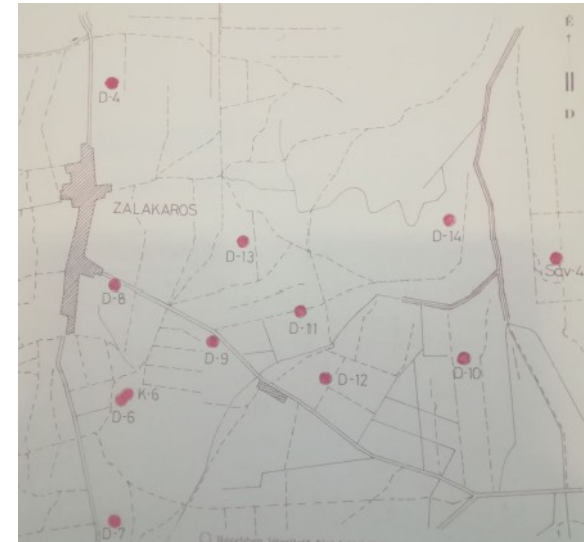
D6 / K-5	Kút jele	D7 / K-8	
	<p>Északi műszaki terület</p> <p>502724,1</p> <p>135842,45</p> <p>128,52</p> <p>129,14</p> <p>130,68</p> <p>130,28</p> <p>133,96</p> <p>419 m-ig</p> <p>420 -452 m között</p> <p>-2219 m.</p> <p>-2307,5 m.</p> <p>2219-2225 – 25% 2003 m alól-75%</p>	<p>Elhelyezkedés</p> <p>EOV Y</p> <p>EOV X</p> <p>betonalap szintje mBf</p> <p>alsó karima szintje mBf</p> <p>felső karima, nyomásmérő ill. mintázócsap szintje</p> <p>Gáztalanító tartály padlószint</p> <p>Gáztalanító tartály tetőszintje</p> <p>Beépített injektáló cső</p> <p>Buborékpont mélysége</p> <p>Csővezetett kút alja</p> <p>Fúrás alja (nyitott szakasz)</p> <p>Kútbeli beáramlás 2005 ill. 2006 évi műszeres áramlásmérés szerint</p>	
<p>Mészköbreccsa – Kréta v. Mioc. Mészkö - Triász</p>	<p>2216-2245 2245-2307</p> <p>Termelt rétegek kőzetanyaga és kora</p>	<p>2348-2484 2484-2530</p> <p>2530,5-2752</p>	<p>Mészkö - ? Triász andezitporfirit, mészkő, tufit, agyagmárga, breccsa, törmel. - Mi. Mészköbreccsa és dolomit -Triász ? Újudvari márga formáció v. Kréta</p>

3. ábra: Mélyfúrások elhelyezkedésének a térképe 1980-ból.

A kutak elkülönített, kerítéssel körbezárt területen létesült, ahova csak a műszaki személyzet juthat be. A belső védőidomra és a magas gáztartalmú vízkutak termelésére vonatkozó biztonsági előírásoknak mindkét termelőkút környezetének kialakítása megfelel.

A D6/K-5 és D7/K-8 termelőkutak távolsága egymástól 895 méter, közel egy vonalba esnek, az északabbi D6/K-5 kút mindössze 18 méterrel esik keletebbre. Ennek az az oka, hogy a D4 és D8 kutakkal együtt közös földtani kutatás keretében létesültek közel É-D irányú kutatási szelvény szerint. (3. ábra)

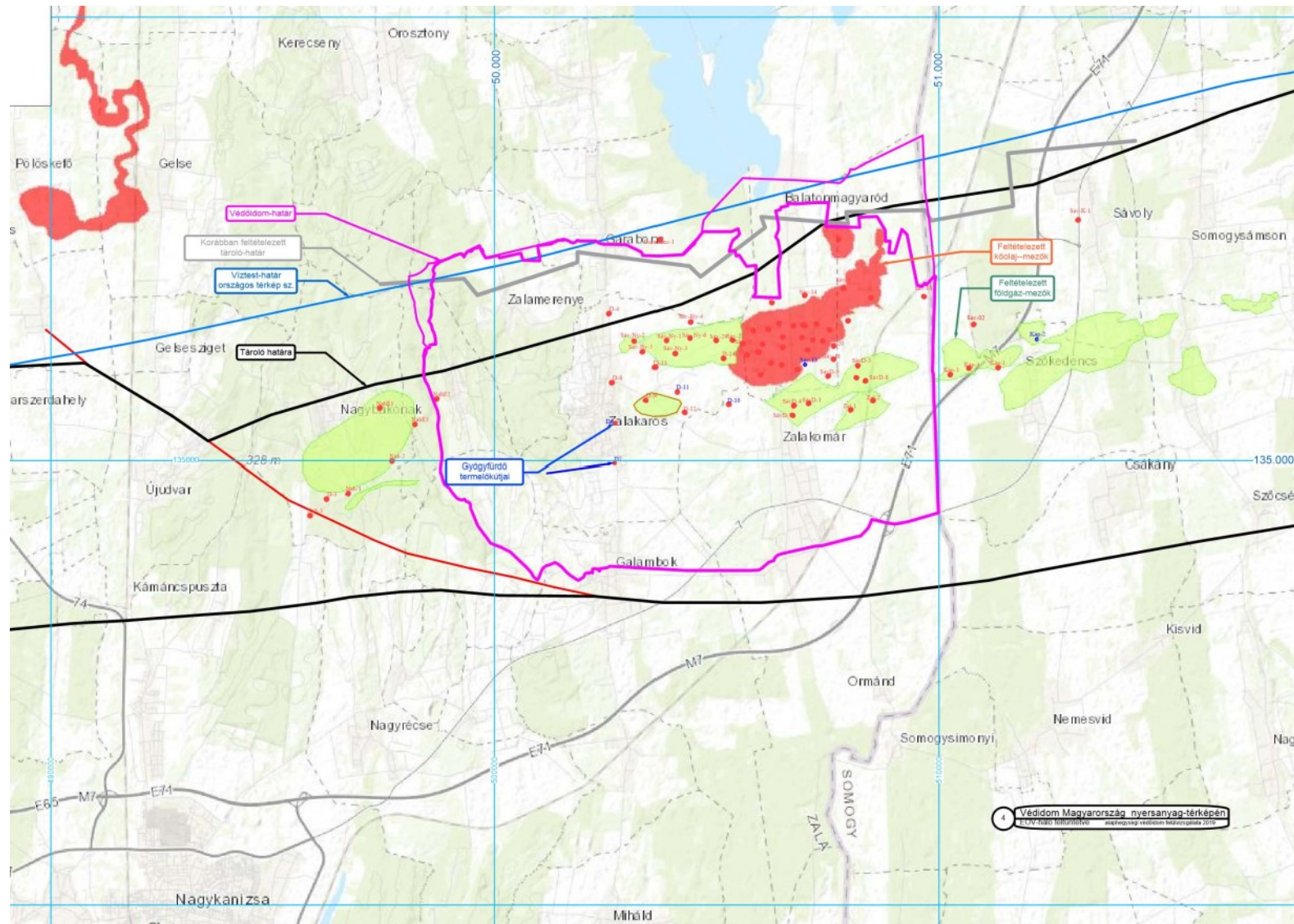
A fürdő tartalék kútjának eredetileg az 1978-ban lefúrt D-9 jelű kút szánták, amely földgáztelepet tárt fel hévíz helyett, majd 1979-ben fúrt D-14-es kút egy kis olajtelepet tárt fel. Ezt a Zalakarosi fürdőtől csak kb. 600-1000 méterre keletre eső telepet csak 1980-1984 illetve 1987-1990 között termelték. A későbbiekben a Sávoly-4 fúrás sokkal kedvezőbb eredményei után a távolabbi, jóval kiterjedtebb sávolyi olajmező feltárása és művelése kezdődött meg, amely 1994-ben kiegészült a Sávoly-Nyugat, majd 1997-től a sávoly-Dél telepekkel. A Sáv-4 jelű fúrás térségében (főleg tőle keletre) több mint 30 olajkút létesült.



A Zalakarostól ÉK-re eső Sávoly-Ny mező feltárásával egyidőben a közös védőidom kialakítása során a fürdő és a szénhidrogén-termelés közötti biztonságos védőtávolság fenntartása érdekében a D-11 és a D-10 jelű meddő CH-kutató fúrásokat a gyógyfürdő kapta meg monitoring célra, bár az ellenőrző méréseket továbbra is a MOL végezte ezeken a kutakon is. Ez azt is jelentette, hogy a fürdőhöz legközelebbi kisméretű zalakarosi gázmező műveléséről lemondott a bányatelek tulajdonosa, hogy a fürdő veszélyeztetését csökkentse, a vízadó nyomásviszonyait és vízminőséget 2 km-en belül ne befolyásolja.

A zalakarosi, sávolyi, és feltételezett nagybakónaki földgázmezők kiterjedésére vonatkozóan a MÁFI adott becslés az országos ásványi nyersanyagtelepek térképén (2000 előtti feltártság szerint). Ezt használtuk fel a következő oldalon szereplő 4. ábra alaptérképeként. A térképen a földgázmezőket zöld, az olajmezőket piros szín jelöli. A térképet kiegészítettük a kijelölt védőidom határok mellett a mélységi tároló feltételezett földtani határainak a jelölésével – különböző szerzők és regionális földtani vagy hidrogeológiai értékelések ilyen szempontból is eltérőek.

4. ábra: Átnézetes térkép a CH-mezők, kutak, vízügyi és szerkezeti határok jelölésével Magyarország nyersanyag-térképe alapján



Az alaphegységi hévízkutak működésének bemutatása

Mindkét termálkút a fúróluk alsó nyitott szakasza révén érintkezik a triász karbonátos vízádóval. A két fúrás eltérő mélysége, és a feltárt mélységi kőzetek vegyes, részben eltérő vonala ellenére mérések igazolják, hogy ugyanazt a hidraulikailag összefüggő tárolót csapolják meg. A fúrólukak műszerrel is járható nyitott szakaszának a hossza meghaladja a 80 métert. A rétegből sós, gázos és forró karsztvíz áramlik a fúrólukakba, majd a feláramlik a kutak 2000 méternél hosszabb csövezett szakaszán.

A D6K-5 és D7/K-8 kutak inverz vízszintű termálkútak azaz az üzemi vízszintjük magasabb a nyugalminak vehető szintnél.

Üzemeltetés közben a kútfejnél mérhető nyomásérték 2018 év októberi terepi ellenőrzésünk szerint +5,5 bár illetve +4,1 bár értékű, (+0,4 ill +0,5 MPa) azaz a kút ilyenkor artézi jellegű. Ez az üzemi nyomásszint - szoba-hőmérsékletű desztillált vízre vonatkoztatva - elvileg +50 illetve +40 méternyi vízoszlop-magasságnak felelne meg .

Hosszabb termelés-mentes időszak után a geotermikus állapotra lehűlt, nyugalmi jellegű nyomásszint szintén a terepszint feletti, de jóval alacsonyabb szinten. A kútfej-nyomás a hidrodinamikai mérések szerint lehűlt zárt állapotban 0,1-2 megaPascal közé esik, azaz a terepszintnél csak 2-10 méterrel lenne magasabb. (A kútfej nyomásmérője is terep feletti kiemelt helyzetben van, magasságát bemértük.)

Termelés során magas hőmérsékletű fluidum tölti ki a kútcsövet – a beáramló forró sós gázos fluidum a kút kis nyomású zónáját elérve kiterjed (expandál) magas vízoszlopot hoz létre. A kevert nyomás alatti fluidumban megnő a gázbuborékok száma is – az oldott gáz kicsapódása pedig a hőmérsékleti hatásnál is nagyobb térfogat-növekedést eredményez, és ez a hatás is nagyságrenddel erősebb a felmelegedett üzemi állapotban.

Valódi nyugalmi vízszintről ilyen kutak esetében nem is beszélhetünk – a kutak béléscsővében levő több mint 2000 méteres vízoszlop egy korlátozott és mesterséges közegben képez valamilyen fokozatosan változó dinamikus egyensúlyt a felette levő légoszloppal, miközben hasonló dinamikus egyensúly alakul ki a vízoszlop fajsúlyának és a közethőmérsékletnek megfelelő sótartalom-eloszlás változásában. A mélységi karsztvíz magas gáztartalom a vízoszlop felső részén, az ún. buborékpointi nyomásérték feletti zónában kiválik, és ez valószínűleg azt eredményezi, hogy a kútból nyugalmi állapotban is a légkörbe távozik némi gáztartalom. (Ez a folyamat sok éve álló hasonló kutaknál megfigyelhető, a konkrét kutak esetében a mélységi mintákban mért magas gáztartalom-értékek igazolják ezt a lehetőséget.)

A fentiekből következik, hogy a gyógyvízkutak nyomásállapota a terepszinthez képesti vízszintértékekkel nem jellemezhető. A vízádó nyomásviszonyait csak a mélységi nyomásmérések adatai alapján lehet becsülni. A fellelhető hidrodinamikai mérési adatokat Excel formátumban összesítettük, alapvetően Gyenese István szakértő gyógyfürdő számára 2008 évben készített anyagának az aktualizálása alapján. A teljes adatsor anyagunk *I. melléklete*.

A zalakarosi fürdő gyógyvíz-termelő kútjai egyedi, ún. vízbekeveréses termelési mód szerint üzemelnek.

A kutak béléscsővének a felső részébe két kisebb átmérőjű acélcső van beépítve 400 méteres mélységig. Az egyik cső maga a tulajdonképpeni termelőcső, amelyen keresztül a felszínre érkezik a termelt fluidum (víz- és gáz-keverék). A beépített másik csőrendszer pedig folyamatos vízbeinjektálásra szolgál – a hévízkutak mélységből feláramló termálvizéhez ugyanis az üzemeltetés során szomszédos két sekély rétegvízkút hideg rétegvizét injektálják be.

A hévízkutak hosszabb leállás utáni termelését kompresszorozással indítják be, majd ugyanezen a rendszeren keresztül a továbbiakban hideg vizet nyomnak le a kútba. A kompresszorozás hatására megindul a kútcsőön belüli vízmozgás a felszín felé (a legkisebb nyomás irányába). A vízoszlop kiterjed és felmelegszik. A kúttesztek szerint a kúttalp és a -400 méterig beépített termelőrendszer közötti 1800-2200 méter hosszú szakasz kútbeli lehűlése minimális. Az ebben a mélységben folyamatosan beinjektált hideg víz segít fenntartani a kútban történő vízmozgást – e mechanizmus legfontosabb hatóereje valószínűleg a gáztartalom kiválása, amely a intenzív feláramlást okoz (ún. hőlift-hatás).

Az alaphegységi kutak gáztartalma kimagaslóan magas! Mindkét kútban a Gáz/Víz viszonyszám értéke 18 és 20 közé esik, azaz egységnyi térfogatú termálvíz kitermelése mellett kb. hússzor annyi térfogatú gáz szabadul fel a termelés során. (A gáz kis sűrűsége miatt a tömegeltérés jóval kisebb.) **A kutak gáztartalmának nagy része nitrogén és szén-dioxid, a metán-tartalom aránya a teljes gáztartalmon belül itt jóval kisebb, mint a sekélyebb pannon termáلكutaknál. A kitermelt a gázkeverék emiatt kevésbé robbanásveszély, még ha mennyisége nagyságrenddel magasabb is a sekélyebb rétegben észlelhetőnél.**

A kútfejek a kutak magas gáztartalom miatt zártak, a nyugalmi és az üzemi vízszint rögzítésére így csak a kútvizsgálatok alkalmával kerül sor pár évente hidrodinamika mérés sor keretében. A rétegek nyomásállapotát és a kút működését e kutak esetében csak a mélységi nyomásmérések jellemzik megfelelően. Mélyre hatoló méréshez jelenleg szükséges a termelőcsövek kiépítése is, enélkül ugyan a geofizikai szondák csak 400 méterig tudnak lehatolni elakadás-veszély nélkül. Csőrendszer-kiépítés nélküli -400 méterig történő mérés készült a kutaknál 2011-ben.

A hidrodinamikai mérések szerint a fluidum buborékpontja is már -400 métertől jelentkezhet. A -400 méterig feláramló rétegeredetű fluidum hőfoka még meghaladja a 100 Celsius fokot, ez a betáplálás hatására hirtelen lecsökken. A kútmérések szerint az injektorcsövek környékén rendszeresen sókiválás is történik, a gyors mesterséges nyomás- hőfok- és sűrűség-változás kedvezőtlen hatására. A kútszakasz eltömődése ellen a fürdő rendszeres savazással védekezik.

Mivel kútból feláramló termelt víz egy része a betáplált hideg vízből származik, azaz az üzemi ellenőrző minták nem reprezentatívak, és a felszíni hőmérséklet is a bekeverés arányától függ. A kitermelt hévíz mennyisége önállóan nem is mérhető, helyi tapasztalati képlet írja le, ez a beadott hidegvíz mennyisége mellett a hőmérsékleteket is figyelembe veszi, a fajsúlyt megváltoztató keveredés becslése érdekében.

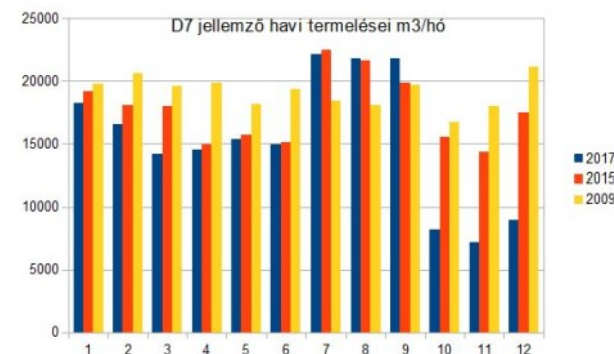
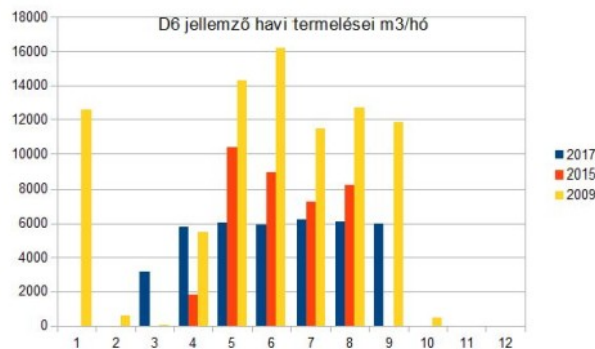
Az alaphegységi kutakból kikerülő kevert vizes fluidum termelvénye egy-egy nagyméretű perdületes gáztalanítóra kerül. A gáztalanítók kiemelt telepítésűek anyag mennyiségű forró vízgőz eltávozása miatt jól láthatóan gőzölgnek. 2018-ban a tartálytetők szintje is beszintezésre került. A szivattyúk által a gáztalanító tetejéhez felemelt fluidum a perdületes (mechanikus) gáztalanítón belül közel centrifugális körpályán haladó vízesésként kénytelen továbbáramlani, miközben a gáz nagy felületen kibuborékol és a közepén kialakított kéménykürtőben eltávozik. A gáztalanítók az ellenőrző mérések szerint megfelelően funkcionálnak. Az eltávozó gázkeverék magasabban keveredik hozzá az atmoszférához, humán környezetbe nem kerül.

A gáztalanított meleg víz ezután biztonsági okból elsőként egy-egy nagyméretű olajfogó tartályba kerül, amely további kigőzölést is lehetővé tesz, egyben az oldott sótartalom kicsapódásának a csökkentésére is szolgál – ezt a köztes műtárgyat a fürdő humán egészségügyi megfontolásokból alakította ki, alapvetően nem változtat a a vízkémián, mivelhogy a gyógyfürdő kútjainak az olajtartalma elenyésző.

Az elsődleges, kútbeli hidegvíz-betáplálás mellett a gépészeti rendszerben másodlagos vízbekeverés is történik, ennek a volumene szintén rögzítésre kerül a gépházak üzemi naplójában. A gázmentes, vízbekeveréssel kb. 70 fokra lehűtött vizet a gépházakban elhelyezett fix külső szivattyúk továbbítják a fürdő gépészeti rendszerébe. A a fürdő területén a víz előbb egy központi hévíz-tárolóhoz jut, alapvetően ennek a műszerrel folyamatosan rögzített szintje szerint történik a termelő-rendszer vezérlése. A tároló felől kerül a víz az különböző hőfokú medencékbe. Eltekintve a legmelegebb sós gyógyvizes medencéktől és gyógyászati kádfürdőktől, a legtöbb medence vize harmadlagosan is kevert vizű. A tisztiorvosi hivatal medencevíz-ellenőrzéseinek a kémiai adatai emiatt még a kútfejnél vett mintáknál is kevésbé jellemzik az eredeti karsztvíz minőségét.

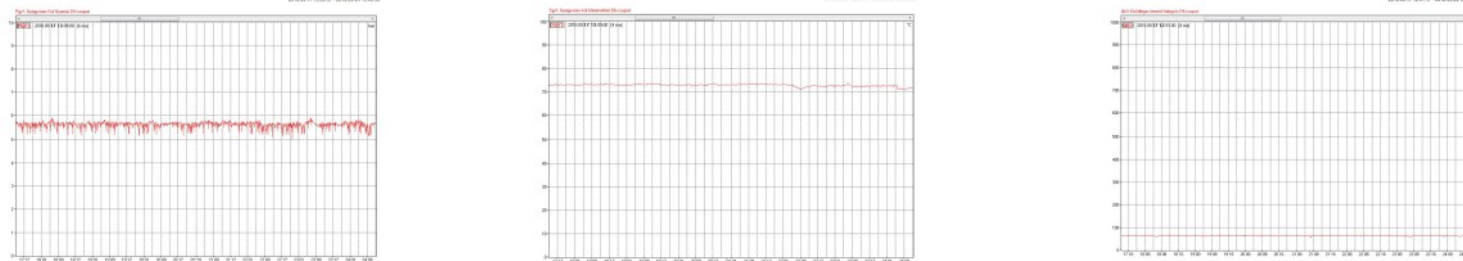
A két gyógyvíz-kút közül egy egész évben termel, a másik a téli időszakban leáll, az utóbbi években többnyire a D6 kút állt le (1990 előtt ez volt a fontosabb termelőkút). A 2017 évi teljes termelés a D6/K-5 kútnál 39162 m^3 , a D7/K-8 75.141 m^3 volt. (5. ábra és 3. táblázat)

5/a-b ábrák: A mély karsztkutak kutak jellemző termelése három különböző évben, havi bontásban ($\text{m}^3/\text{hó}$, OSAP adatok)



A zalakarosi fürdő gépészeti adatközpontja automatikusan rögzíti a kútfej-nyomást, a kútfej kevert vizének a hőmérsékletét és a kútba leküldött hideg víz mennyiségét és hőfokát. (6. ábra)

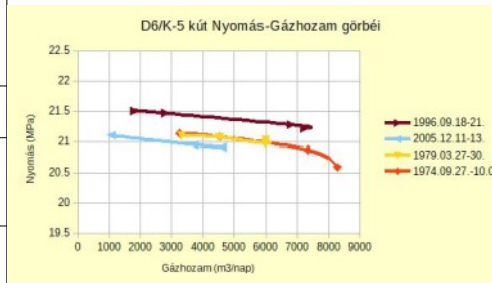
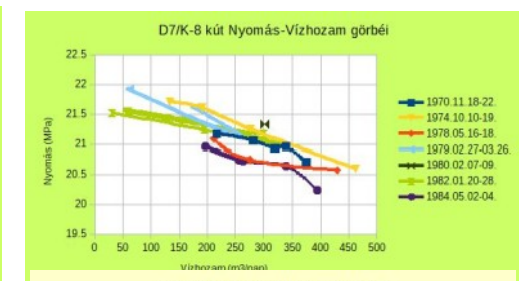
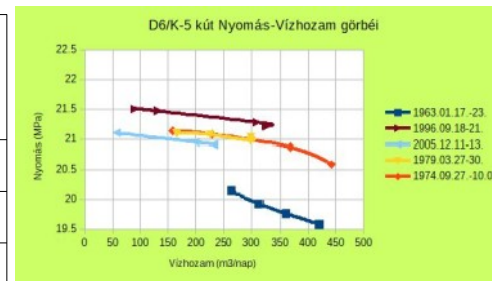
6/a-c ábrák: A D6/K-5 gyógyvíz-kút automata rögzítésű adatsorának részlete 2018 szept. 17-24 (bár, Celsius fok, illetve l/p)



7/a-d ábrák: Gyógyfürdő alaphegységi kútjainak nyomás-hozam görbéi (tesztelt hozamok és kapcsolt nyomásértékek)

3. Táblázat: A víztermelések relatív összehasonlítása

Engedélyezett termelés összesen:	226 m ³ /nap téli hozam 374 m ³ /nap nyári hozam, 560 m ³ /nap csúcshozam	
Kút jele	D6 / K-5	D7 / K-8
Maximális tesztelt hozam	-420 m ³ /nap	-472 m ³ /nap
max becsült termelés	~ -650 m ³ /nap	~ -500 m ³ /nap
Vízhozam a 1970-es és 80-as években	Össz. ~ -720 m ³ /nap	
Vízhozam a 90-es években	-275 m ³ /nap	-56 m ³ /nap
Jellemző vízhozam 2005 óta	-220 m ³ /nap	-240 m ³ /nap
+ Kútbeli Hidegvíz-injektálás 2005 óta	+ ~90 m ³ /nap	+ ~107 m ³ /nap
Üzemmenet 2005 óta	Nyári idényben	Egész évben



A kúttesztelések alkalmával a vízbekeveréses tesztelő általában kiépítésre kerül a külön szivattyúval tesztelik a vízhozamot, több ütemben 80-400 m³/nap között változó vízhozammal. Ezeket a tesztelt hozam-értékeket jelenítettük meg a felső grafikonokon, ill. a táblázat felső sorában.

A jelenlegi vízbekeveréses üzem melletti sekély tesztelés során (2011-ben) a D6 kút dokumentáltan képes volt a 400 m³/nap kevert víz kitermelésére, amely a felszínen 97 fokos volt. (A -400 méterig felérkező mélységi fluidum ugyanekkor 109 Celsius fok volt.)

Az adatok alapján látható, hogy a csúcshozam biztonságos kielégítéséhez mindkét kút egyidejű működtetésére van szükség, a nyári hozam elvileg egy kútból is beszerezhető, de két kútra elosztva biztosabb a vízbeszerzés. A kutak vízhozama és gázhozama ugyanis szintén egyenes arányban áll egymással. Egyetlen kút nagyobb hozamú termelése esetén ekkor egyetlen gáztalanító kell arányosan nagyobb gázmennyiséget kigőzöltessen. Ez ugyan az ellenőrző mérések szerint műszakilag nem okoz problémát, de a rendszer mindenképp biztonságosabb a termelések kettéosztásával, és a rétegbeli nyomáscsökkenés is kevésbé koncentrált.

4. táblázat: Gyógyvízkutak -2200 méterre vonatkozó mélységi nyomásainak alakulása (Gyenese I. szerint, kiegészítve)

Év	1962	1963	1974	1979	1980	1982	1983	1996	1999	2005	
D6/K-5 mélységi nyomás (MPa)	21,39	21,26	20,95	21,09	20,72	20,96	20,89	20,76	20,59	20,43	
<i>Nyomáscsökkenés</i>		-0,133	-0,441	-0,304	-0,669	-0,424	-0,498	-0,63	-0,805	-0,962	
Év		1970	1972	1974	1978	1979	1980	1982	1984	2006	2011
D7/K-8 mélységi nyomás (MPa)		21,084	21,067	21,0	20,375	20,997	20,902	20,815	20,613	20,353	20,18
<i>Nyomáscsökkenés</i>			-0,017	-0,084	-0,709	-0,087	-0,182	-0,269	-0,471	-0,731	-0,901

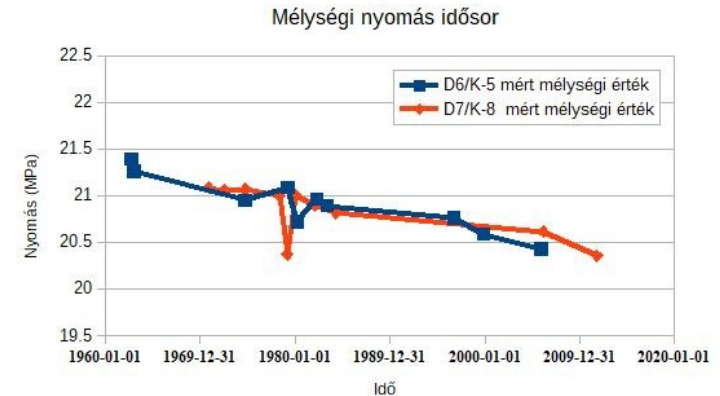
8 ábra: A gyógyvízkutak nyomás-mérési adatainak időszora

A gyógyvíz-kutakban mért mélységi nyomásadatok -2200 méterre átszámított hozott adatsorát mutatjuk be az fenti táblázatban, illetve a 8 ábrán.

Míg a felszínen a kútfejnél mérhető nyomásértékek egy érték körül ingadoznak érzékelhető tendencia nélkül, a mélységi mérések lassú, fokozatos csökkenést mutatnak. Több mérésre van azonban szükség ahhoz, hogy a változás trend-jellege, várható egyensúlyi szintje megadható legyen.

A D6/K-5 kút alján, 1900-2300 méter között mért hőmérsékleti értékek 119-124 °C fok között változtak, a leggyakoribb, jellemző érték 123 °C fok.

A D7/K-8 kútban 2625 méterben 134-140 °C fok értéket mértek.



A geotermikus gradiens tehát lefutása tehát a két kútban némileg eltérő, de **termelés közben mindkét kútban erős pozitív anomália alakul ki, amelynek révén a 100 Celsius fokos hőfokú fluidom áramlik fel minimum 400 méterig, de a 2011 évi teszt szerint akár -150 méterig is.**

A D7/K-8 kút esetében a kútfejnél mért felszíni, míg a D6/K-5 kútban mért mélységi hőfokok adatsora utal arra, hogy a kutakból fakadó hévíz hőmérséklete a létesítés óta 1-3 fokkal emelkedett – ez azonban csak igen bizonytalan feltételezés amelyre egy igen inhomogén adatsor utal. Amennyiben egy reális, vízádóhoz kapcsolódó változásról van szó, akkor ez arra utal hogy a karsztos tároló tranziens, nem nyugalmi állapotú, és hosszas termelés során illetve a kőolaj-és gázsapkák letermelésével párhuzamosan a mélyebbre süllyedt tárolórészek némileg melegebb vize is bekapcsolódott a víztermelésbe.

Biztonságtani és környezetvédelmi szempontból is kiemelkedően fontos az alaphegységi kutak gáztartalmának rendszeres (minimum kétfévente történő) mérése. A fürdő passzív kigőzölgést biztosító perdületes gáztalanítói a mérések szerint e kutak kiemelten magas gáztartalom mellett is teljesen jól működnek, az emberi környezetbe kerülő termelt víz kicsapódó gáztartalma minimális.

5. Táblázat: A kútfejeknél és a gáztalanító után a fürdőbe haladó termelvényénél mért gáztartalmak összevetése (2018 végi mérések)

2018.10.15	Mintavételi körülmények, Szeparálás vízhozama és hőfoka		Gáz/Víz Viszony GVV (l/m ³)	Metán/Víz Viszony MVV (l/m ³)	Szeparált gáz összetétele V%	Oldott gáz összetétele V%
D6 / K-5 kútfej mellékágánál mérve	Mellékáramkörű mintavétel, szeparált fázis mérésére nem alkalmas		Szeparált: min 212 Oldott: 138 <u>Összes: < 350</u>	Szeparált: 2,6 Oldott: 0,2 <u>Összes: 2,8</u>	O ₂ : 14,4 N ₂ : 52,8 NH₄ : 1,2 CO ₂ : 31,6	O ₂ : 0,3 N ₂ : 2,6 NH₄ : 0,16 CO ₂ : 96,3
D6 / K-5 gáztalanító után	3, 3 l/p, 52 °C	Nincs szeparált gáz	Szeparált: - Oldott: 115 <u>Összes: 115</u>	Szeparált: - Oldott: 34 <u>Összes: 34</u>	nincs	O ₂ : 0,4 N ₂ : 5,7 NH₄ : 0,3 CO ₂ : 94
D7 / K-8 kútfejnél mérve	Gázkiválás már a kútban elindult, szeparáló előtt is van szabad gázfázis, a minta szabad gáztartalma felülreprezentált lehet		Szeparált: 10089 Oldott: 283 <u>Összes: < 10372</u>	Szeparált: 306 Oldott: 0,4 <u>Összes: 307</u>	O ₂ : 5,6 N ₂ : 20,2 NH₄ : 3,0 CO ₂ : 71,1	O ₂ : 0,1 N ₂ : 0,7 NH₄ : 0,15 CO ₂ : 99
D7 / K-8 gáztalanító után	<u>2, 7 l/p, 50 °C</u>	0.008 l/p	Szeparált: 2,45 Oldott: 147 <u>Összes: 150</u>	Szeparált: 0,02 Oldott: 0,55 <u>Összes: 0,58</u>	O ₂ : 12,9 N ₂ : 60,9 NH₄ : 1,0 CO ₂ : 25,2	O ₂ : 0 N ₂ : 3,8 NH₄ : 0,38 CO ₂ : 95,8

III. Vízkémiai és izotóp-mérési eredmények értékelése

Vízkémiai adatok

A rendelkezésre álló kútvizsgálatkor vett minták adatait 3-3 táblázatban mutatjuk be, a mélységi mintavételek adataira fókuszálva, a kutak létesítéséig visszamenően. **Kékkel** a kevert víztermelés mellett vett mintákat jelöltük - ilyen mérésből a közölteknél több van. Az ^M-el jelölt mélységi mintáknál a mintavétel mélységét és hőfokát is megadtuk. *Dőlt betűvel ill. barna színnel* emeltük ki azokat az értékeket ahol az egyidejű mélységi és felszíni minta szignifikánsan különbözik.

6. táblázat: Általános vízkémiai jellemzők, és helyspecifikus ásványi összetevők (kerekítve) a D6 / K-5 gyógyvízkút reprezentatív mintáiban

Mintavétel dátuma	Mintavétel helye, vízhőfok	Összes old. anyag tartalom (mg/l)	pH	m-Lúgosság (ml n HCl)	HBO ₂	H ₂ SiO ₃	Össz. Keménység nKf
1963	tesztelési	11869	7,3	41,5	275	109	
1966. XI.	Felszíni	13463	7,8	38,1			97
1971 V.		11705	7,0		210	86	
1976 XII.		11698	8,0		250	94	
1982 VI.	Felszíni	9497	7,2	33,72	308	109	157
1999 XI. ^{M 2280} _{m.}	<u>Mélységi 123 °C</u>	-	6,2	43	480	95	307
2002 XII. ^{M 400 m.}	Felszíni 83 °C <u>Mélységi 108 °C</u>	12200 12200	7,6 7,2	38,5 40	96 97	108 100	83 207
2003 XII.	Kifolyó 84 °C	1200	7,2	38,5			128
2005. XII. ^{M 2300 m.}	Felszíni 83 °C <u>Mélységi</u>	12700 12700	7,6 6,8	40 43	89 89	99 99	107 202
2011. XI	Felszíni, 77 °C	9240	7,1	30	80	90	117
2018. X.	Felszíni, 71 °C	8690	6,7	31,5	58	98	236

7. táblázat: Anionok (kerekített értékek, mg/l) a D6 / K-5 gyógyvízkút reprezentatív mintáiban

Mintavétel dátuma	Cl ⁻	Br ⁻	HCO ₃ ²⁻	SO ₄ ²⁻	S ²⁻	szabad szénssav	Anion egyenérték
1963	5080	21	2532	7	3		
1966. XI.	6219		2324	20			
1971 V.	5143	24	2260	60	2		
1976 XII.	5010	26	2310	69	5		
1982 VI.	4035	1	2039	29			
1999 XI. ^{M 2280 m.}	5100	31	2623	50	-		189
2002 XII. ^{M 400 m.}	5200 5040	32 30	2349 2440	<10 <10	4 -	247 -	186 182
2003 XII.	5240	33	2350	29	5		188
2005.XII. ^{M 2300 m.}	5570 5290	29 28	2450 2650	<10 <10	0,6 -		195 193
2011.XI.	4030	27	1850	<10	3,5		145
2018.X.	3570	20	1920	12	6,6	578	133
Trend				? csökkenés			

A felszínközeli hideg hidrogénkarbonátos vízzel szemben a mély alaphegységi termálkarszt elsősorban nátrium-kloridos jellegű.

A kevert és mélységi vizek legegyszerűbben az oldottanyag-tartalom alapján különíthetők el. Ugyanez a különbség a kationok többségénél, a pH a lúgosság, valamint az egyensúlyi állapotot kifejező Thán Károly féle egyenérték% értékében is észlelhető. A kationok- és anionok- egyenérték-aránya végig hasonló, de a kevert vízben a kation% a magasabb a hozzáadott kalciumnak köszönhetően.

A mélységi minták 7 alatti pH-ja a felszint elérve már minden esetben pozitívba fordul, miközben a NaCl aránya nő, a CaHCO₃-é pedig csökken.

8. táblázat: Kationok (kerekített értékek, mg/l) a D6 / K-5 gyógyvízkút reprezentatív mintáiban

Mintavétel dátuma	Na ⁺	K ⁺	NH ₄ ²⁺	Ca ⁺	Mg ⁺	As (µg/l)	Ba (µg/l)	Kation mg egyenérték
1963	4098		16,5	50	48			
1966. XI.	3259		17	25	26			
1971 V.	4079		10,5	86	27			
1976 XII.	4000	88,5	11	136	28			
1982 VI.	3258		15		29			
1999 XI. ^M	4100	100	15	150	42			194
2002 XII. ^{M 400 m.}	3990 3800	69 67	17 17	25 112	21 22	34	1720	180 176
2003 XII.	4130	72	12,5	53	23			187
2005.XII. ^{M 2300 m.}	4310 4090	77 73	14 14	41 107	21 22			197 195
2011.XI.	3100	55	11	44	24			141
2018.X.	2720	52	10,2	130	23,5	23,7	1720	129
Trend		?csökkenő		*				az anion-érték alá csökkent

*: A kalcium, magnézium és a pH (áttételesen a keménység) mélységi és felszíni koncentrációjának a különbsége, és a mért értékek ingadozása a kútsőben való ásványkiválás eredménye, ezt időnkénti savazással próbálják kezelni. Az eredeti mélységi karsztvíz kalcium-tartalma magasabb a felszíni vízminta Ca-értékénél, a kútbeli aragonit-kiválás tehát csak részben eredhet a betáplált hideg vízből. A kémiai adatok arra is utalnak, hogy a triász főkarszt vagy a fedő miocén némi barit-kristályt is tartalmazhat.

Mindkét mély kút adatai alapján lehetséges, hogy kissé csökken kissé a víz kálium-tartalma, bár a tendencia igazából csak hosszabb méréssorral igazolható. Elképzelhető, hogy egyidejűleg a nátrium relatív aránya nő a káliummal szemben. Ez az egyetlen komponens, amelynél kémiai változás érzékelhető, bár az is.

9. táblázat: Általános vízkémiai jellemzők és gyógyvíz-jellemzők (kerekített értékek) a D7 / K-8 kútban

Mintavétel dátuma	Mintavétel, vízhőfok	Összes old. anyag tartalom (mg/l)	pH	m-Lúgosság (ml n HCl)	HBO ₂	H ₂ SiO ₃	Össz. Keménység nKf
1972 III.		12118	7,45				
1976 XII.		11763,5	7,65				
1983 VIII.		11399	7,22				
1984 XI.		11325	7,78	35			44
2002 X.	Felszíni 92 °C	12600	7,6	39	80	126	53
2006 III.	Felszíni 83 °C	12800	7,1	39	131	132	92
2011 XII.	Kevert, sok hidegvízzel 48 °C	2340	6,9	13,5	11	44	236
2018.X.	Kevert, kevés hidegvízzel 75 °C	8290	6,9	30,8	55	105	203

A zalakarosi mélységi karsztvíz magas oldottanyag-tartalmú elsősorban Na-kloridos, jóval kisebb arányban hidrogén-karbonátos jellegű víz, amelynek a jód, bróm valamint a fluorid- kén-, szilikátsav- és szénsav-tartalma is elég jelentős, gyógyhatás és humán érzet tekintetében e másodlagos komponensek különösen lényegesek és értékesek. Az erősen sós vízben levő ammóniumion-tartalom is természetes eredetű. A fürdő mindkét kútjánál a termelt réteg nemcsak triász karbonátokból áll, de felül rövid szakaszon kiterjed a tömör miocén rétegekre is. A hasonló mélységű környező, de csak triász rétegeket termelő kutak vízének jódtartalma kisebb, keménysége nagyobb, összetétele egyveretűbb.

A kútvíz bakteriális szennyeződések se tartalmazott, a komplex termelőrendszer zártsága végig biztosított. A gáz- és olajtelepek közelségét és a gázkromatográfiás mérések mikronos pontosságát ismerve érthető, hogy a részletes ásványvízviz-vizsgálatok alkalmával a vízben szénhidrogének is kimutathatóak. A fürdő üzemeltetői korábban attól tartottak hogy e olajszármazékok arányának a MOL-termelés miatti csökkenése kedvezőtlen lehet a víz gyógyhatására nézve – ez nem igazolódott be, és indokolatlannak is látszik. A szerves mellék-komponensek sokkal egyedibb elemei a vízkémianak mint a mikrogammnyi vegyes szénhidrogének..

A kutak kémiai jellege a mélységi minták tekintetében kiemelkedően stabil, az alkalmazott vízkeveréses fürdési használat pedig lehetővé teszi medencénként eltérő vízkémiák beállítását.

10. táblázat: Anionok (kerekített értékek, mg/l) a D7 / K-8 gyógyvízkút reprezentatív mintáiban

Mintavétel dátuma	Cl ⁻	Br ⁻	HCO ₃ ²⁻	SO ₄ ²⁻	S ²⁻	szabad szénsav	Anion egyenérték
1972 III.	5230	27	2452	58	4		
1976 XII.	4990	26	2440	87	6,5		
1983 VIII.	4806	15	-	30	2		
1984 XI.	4974	4	2110	28	-		
2002 X.	5370	41	2360	96	1		193
2006 III.	5590	29	2380	<10	5	247	198
2011 XII.	710	4	824	<10	1	127	34
2018. X.	109	19	1880	11	3,6	578	128

11. táblázat: Kationok (kerekített értékek, mg/l) a D7 / K-8 gyógyvízkút reprezentatív mintáiban

Mintavétel dátuma	Na ⁺	K ⁺	NH ₄ ²⁺	Ca ⁺	Mg ⁺	As µg/l	Ba µg/l	Kation mg egyenérték
1972 III.	4193		8	102	22			
1976 XII.	4000	89	13	83	14			
1983 VIII.	3700	130	17	112	17			
1984 XI.	4031		14	10	13			
2002 X.	4060	76	13	16	13	9	2	182
2006 III.	4420	74	13	40	16			199
2011 XII.	530	11	13	104	39			32
2018. X.	2630	55	10,1	109	22,2	20,3	1530	124

12. táblázat: Mélységi gáztartalom-mérések értékelése

D6 / K-5	Gáz/Víz Viszony GVV(l/m ³)	Metán/Víz Viszony MVV (l/m ³)	Szeperált gáz összetétele V%	Oldott gáz összetétele V%
1999. XI. mélységi gázminta 2290 m-ből	Szeperált: 18767 Oldott: - <u>Összes: >18767</u>	Szeperált: 1281 Oldott: - <u>Összes: >128</u>	O ₂ : 0,7 N ₂ : 2,3 NH₄: 0,7 CO ₂ : 96	
2002 XII. mélységi gázminta 400 m-ből	Szeperált: 5951 Oldott: 9,5 <u>Összes: 5960</u>	Szeperált: 159 Oldott: 0,08 <u>Összes: 159</u>	O ₂ : 1,3 N ₂ : 5,7 NH₄: 2,6 CO ₂ : 90	O ₂ : 4,7 N ₂ : 54,7 NH₄: 0,8 CO ₂ : 40
2003 XII. mélységi gázminta 400 m-ből	Szeperált: 6444 Oldott: 114 <u>Összes: 6558</u>	Szeperált: 199 Oldott: 0,06 <u>Összes: 199</u>	O ₂ : 0,7 N ₂ : 2,8 NH₄: 3,1 CO ₂ : 93	O ₂ : 0,5 N ₂ : 5,2 NH₄: 0,1 CO ₂ : 94
2005 XII. mélységi gázminta 2300 m-ből			O ₂ : 0,5 N ₂ : 2,4 NH₄: 6,9 CO ₂ : 90	
2005 XII. Felszíni gázminta	Szeperált: 16099 Oldott: 133 <u>Összes: 16232</u>	Szeperált: 675 Oldott: 0,01 <u>Összes: 675</u>	O ₂ : 0,4 N ₂ : 2,1 NH₄: 4,1 CO ₂ : 93	O ₂ : 2,41 N ₂ : 6,0 NH₄: 0,05 CO ₂ : 92
2018 XI. kevert termeléses felszíni gázminta	Szeperált: ≤ 212 Oldott: 138 <u>Összes: < 350</u>	Szeperált: 2,6 Oldott: 0,2 <u>Összes: 2,8</u>	O ₂ : 14,4 N ₂ : 52,8 NH₄: 1,2 CO ₂ : 31,6	O ₂ : 0,3 N ₂ : 2,6 NH₄: 0,16 CO ₂ : 96,3

Mindkét kút esetében állandónak tűnik a gáztartalom összetétele.

A kutakból feljövő 90-98%-a szén-dioxid, kb. 1% oxigén, a maradék metán és nitrogén.

A hidrodinamikai mérések alapján a termelvény térfogatát tekintve nagyrészt gáz, súlyszázalékot tekintve azonban ez csak kb. 2 kg-nyi minden m³ kitermelt fluidomon belül.

A gázminta-mérések a mintavételi és termelési körülményektől való függősége miatt a szeperált gáz mérési értékében nagyságrendi eltérések lehetnek – de a hidrodinami mérések során mért gáz-arány állandó, R=18-20 közötti. (lásd I. melléklet), azaz mennyiségi változás a gáztartalom tekintetében sem valószínű.

A helyszíni gázleválasztás jól működik. A kúton belüli gázkiválás a D7 kútban intenzívebb, mivel az injektorcső ott csak -300 méterig került beépítésre, míg a buborékpont mindkét kútnál kb. -400 méter környékén áll be.

Izotópos vízkor-meghatározások eredményei

A védőidom-kijelölési munka keretében a Földtudományi Tervező Kft. alvállalkozó bevonásával megvizsgálta a hévizes és a gyógyvizes kutak vizének C14 izotópos korát. Az ásványvíz-vizsgálat keretében 2018 végén trícium-mérés is készült. (Mérési jegyzőkönyvek mellékelve.)

A magas sótartalom és a gyógyvízkútban is időnként megjelenő kőolaj-tartalom a vízkor-meghatározás bizonytalanságát jelentősen növeli, így az alábbi eredmények csak közelítésnek tekintendők!

13. Táblázat: A mért izotópos korértékek táblázatos összefoglalása:

Mintázott kút	Mélység, kútvíz hőfoka	Minta jellege	Trícium-tartalom	2018 (Radióko lab)		Becsült valós vízkor
				C ¹⁴ kor	Kalibrált C ¹⁴ kor	
GRÁNIT Gyógyfürdő D6/K-5	2307 m. 100-140 °C	Túlfolyó termelésnél vett minta	>0,006 Bq/l	32.405 év	~34.300 év	40-70.000 év.
GRÁNIT Gyógyfürdő D7K-8	2752 m. 95-135 °C	Kevert vizes termelés közben vett minta	>0,006 Bq/l	20.140 év	~22.250 év	

A kutak trícium-mentessége is igazolja hogy a fúrások kora, és kutak összetett, vízbekeveréses termelése ellenére is zárt víztermelő rendszerről van szó, amely felszíni eredetű vízzel nem keveredik.

A nagy mélységű kutak vize egyértelműen a történelem előtti időszakban beszivárgott vízből származik.

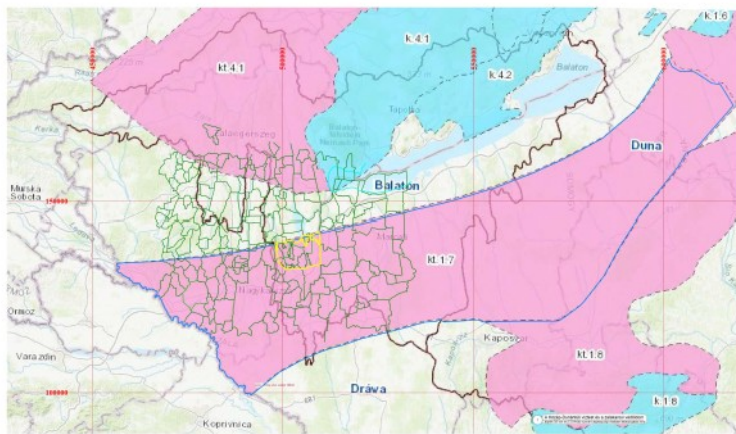
Az izotóp-méréseket mélységi vízminta-vétel alkalmával érdemes megismételni és több komponensre kiterjeszteni, a táblázatban bemutatott értékeknél reprezentatívabb eredmény érdekében.

IV. A hévíz-tároló földtani alapú védőidoma

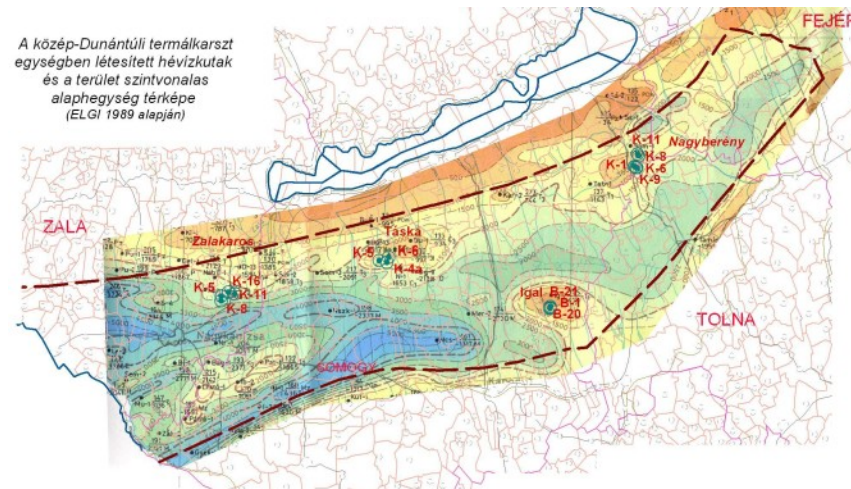
Zalakaros felszíni vizeinek a leszivárgása észak felé történik, a terület a Balaton-Sió-megcsapolási övezete, de ez a mélységi termálkarszt-tároló a felszíni áramlásoktól teljesen független zárt tárolóegységhez tartozik. A zalakarosi kutak a NyDny-KÉK irányítottaságú, Közép-dunántúli termálkarszt víztest egyik jelentős megcsapolását képviselik. megnevezésű egységéből termelnek.

- A víztest minőségi és mennyiségi állapota is: JÓ
- Jellemzői: nyomás alatti, feláramlásos jellegű, erősen tagolt termálvizes tároló, vastagsága ismeretlen, minimum 600 méter.

9 ábra: Érintett termálvíztest kiterjedése (VGT állomány alapján, érvényes védőidom-körvonal jelezésével)



10 ábra: Víztest legfontosabb hévíz-termeléseinek elhelyezkedése (ELGI alaphegység-térképen, a főbb magaslatok és termelések jelzésével)



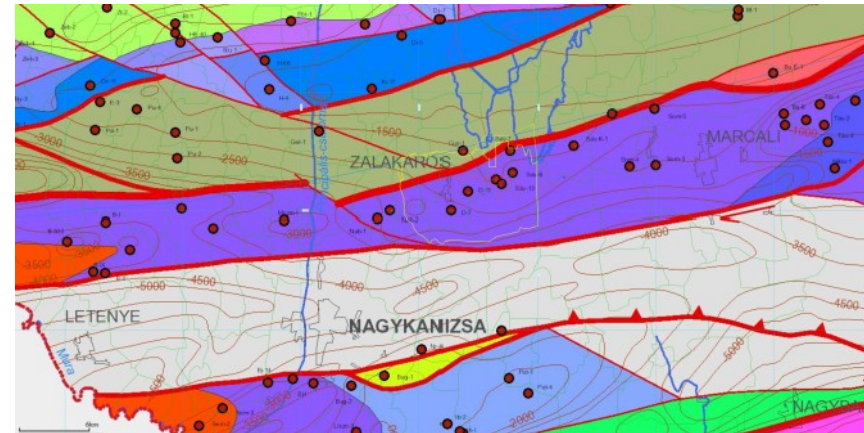
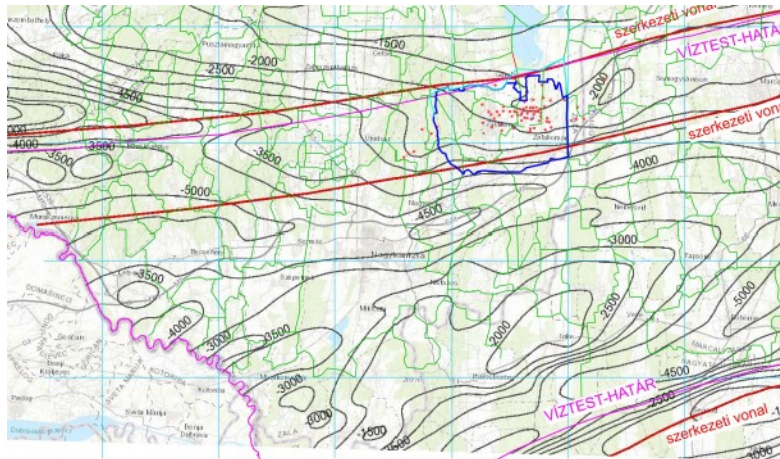
Amint ez jól látható a jobb felső térképen, a víztesten létesült kutak többsége ott létesült, ahol a terepszinthez közelebb, kiemelt blokkban jelenik meg karsztos mészkőből álló alaphegység, pl. Tura, Igal, Nagyberény térségében. A zalakarosi fürdő kútjai jelentik a kivételt – a 2300-2600 méterig lemélyített kutak ugyanis még a kutatás korai szakaszában létesültek, a főbb szerkezeti jellemzők megismerése előtt. A további kutatások után feltárt sávolyi olajmező kútjainak többsége már szintén célzottan a kiemelt tektonikus elemekre lettek telepítve.

Az alaphegység erősen tektonizált pikkelyes szerkezetű, nagyszerkezeti zónák mentén többszörösen kiékelődő szerkezetekkel. A víztest a határaival közel párhuzamosan haladó elnyúlt sávokból áll, amelyeknek csak egy része vízáadó jellegű. A víztest folytatása DNy-on Horvátországban található,

felszíni kibúvással ahol némi beszivárgás is lehetséges. A vízáadó zónák ugyan hosszanti sávokba rendeződnek, de keresztirányban is tagoltak, egyes esetekben teljesen kiékelődnek. Zalakaros az északi határsávba, földtani szempontból a Beleznai és a Budafai antiklinálisok közé esik.

A víztestet tagolt, és a nagy mélység miatt aránylag kevésbé ismert voltát szemléltetik az alábbi térképek. Mindkét térkép jelzi az alaphegység tetőszintjét, és a legfontosabb töréseket, ezek eltérése szembeötlő. A víztest-kijelölés határa ideális esetben egybeesik a nagyszerkezeti törésvonalak lefutásával – de ezek helye is csak km pontossággal ismert, és az eltérő értékelések és újabb adatok alapján is változik.

11./a-b ábrák: Mélyföldtani - tektonikai térképek a 2006-os zalakarosi védőidom feltüntetésével
MFGI mélyföldtani adatbázis ill. Haas-Fodor et al szerint



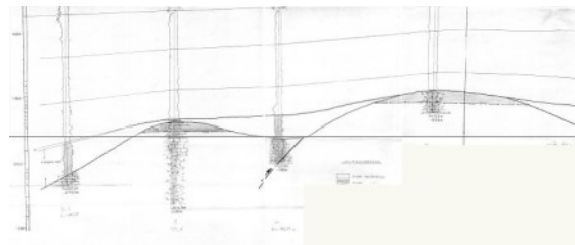
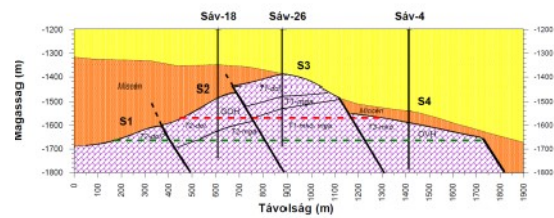
A nagyobb területre kiterjedő értékelések alapján egyértelműen kijelenthető tények:

- 1: A zalakarosi karsztos vízáadó NyDNY-KÉK irányú keskeny pászma, amelynek északi határa egy regionális tektonikai határvonal. A Zalakaros és Garabonc közötti Garabonc-1 fúrás már egyértelműen a Balaton-vonal túlsó, északi oldalára esik.
2. A vízáadót dél-DK felől is vetővonal határolja, amelynek a déli oldalán fúrással alig feltárt, nagy mélységbe süllyedt vízzáró rétegek húzódnak. A víztest maga ugyan kiterjed Letenye és Nagykanizsa térségére is, de a Nagykanizsától délre eső Miháld térségi termálvízáadó közelsége ellenére Zalakaros térségétől egyértelműen elkülönül.
- 3: A 2006-ban kijelölt védőidom a fenti bemutatott nagyszerkezeti értékelések előtt készült, de igen alapos földtani értékelés alapján lett kijelölve, így mind az északi mind a déli határa jól egyezik az országos térképen közölt tektonikai vonalak lefutásával - ez különösen igaz, ha tekintetbe vesszük, hogy a bemutatott két Földtani Intézet által közzétett (interneten is elérhető) térkép közötti eltérés is szemmel látható.

14. táblázat: A zalakaros-sávolyi terület rétegtani egységei (MOL dokumentum alapján, módosítva)

Kronostratigráfia	lítőstratigráfiai egységek	Képződmények
kvartár		homok, kavics, agyag váltakozása
felső-miocén, pliocén	Zalai Formáció	homok, kavics, agyag váltakozása
felső-miocén, pliocén	Ujfalvi Formáció	homok, vékony gyeget csillkokkal
felső-miocén	Algyői Formáció	agyagmárga, vékony homokkő csillkok
felső-miocén	Szolnoki Formáció	agyagmárga, algyői homokkő váltakozása
felső-miocén	Endrédi Formáció	márga, mészmárga
középső-miocén (első-bádeni)	Pécsszabolcsi Formáció	lithothamniumos mészkő, meszes homokkő
oligocén		kvartandezit
felső-eocén		agyag, agyagkő, gyeget
felső-triász (ladin-első-karri)	Igali Formáció	mészkő, dolomitos mészkő
középső-felső-triász (ladin-első-karri)	Somi Mészkő tagozat	mészkő
középső-triász (anjsus)	Táskai Formáció	dolomit

Sematikus földtani szelvény a Sáv-18, -26, - 4. sz. kutak között



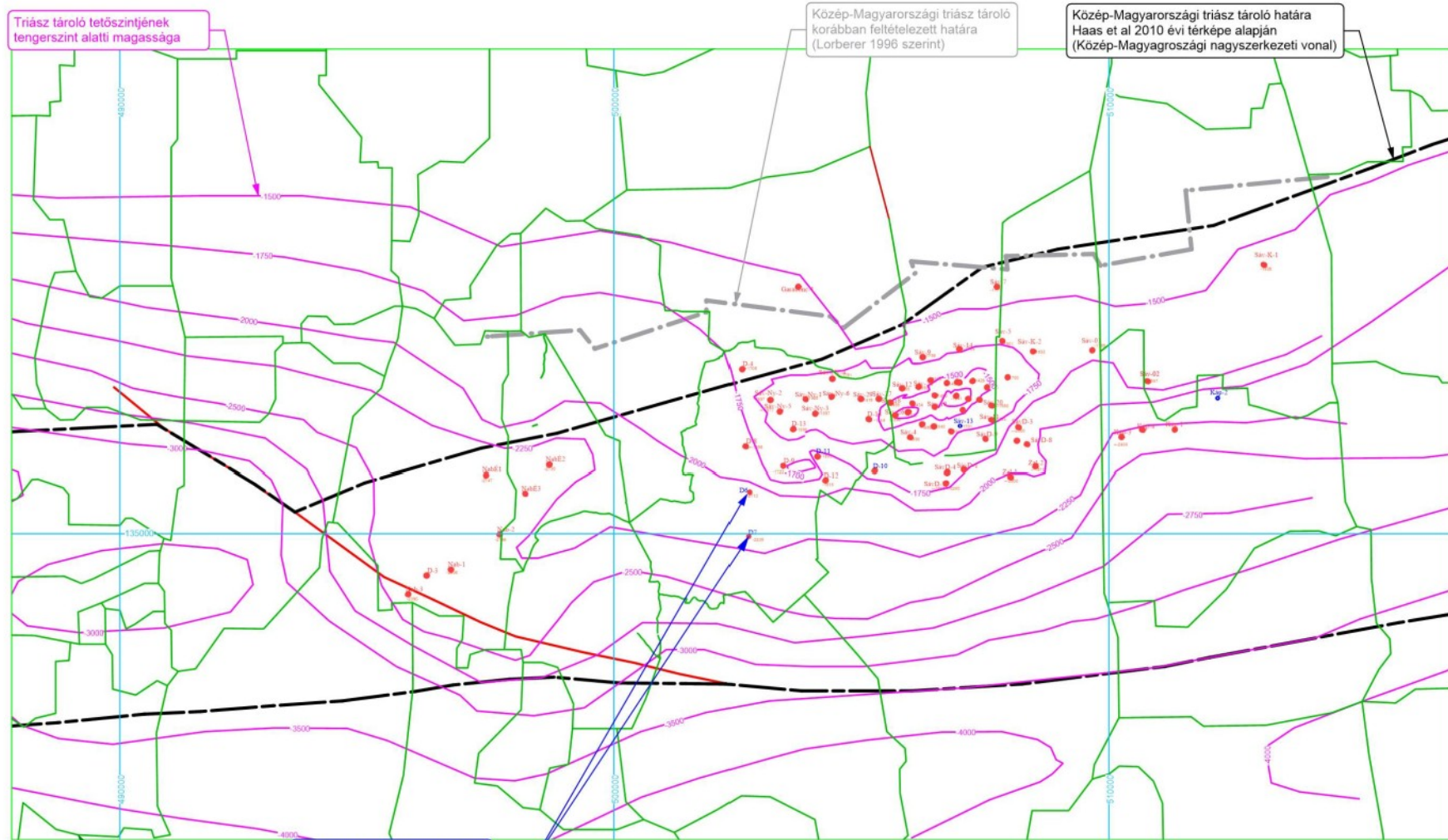
12/a-b ábrák: A MOL kutatási ill. művelési időszakában szerkesztett lokális földtani szelvények a kiemelt rögöknél csapdázódó olaj- és gázfázis elterjedésének jelölésével

A tágabb térségben a Közép-dunántúli területen a mélyfúrások szilur metamorf, karbon karbonátos, és perm tengeri és vulkáni kőzeteket is feltártak. Alsó-triász agyagmárga és dolomit-összlet, és mélységi vulkanitok a Sáv-K-1 fúrásban jelentek meg. A legtöbb feltárás azonban nem érte el ezeket az idősebb képződményeket, leálltak a vastag felső-triász korú, túlnyomórészt mészkő-padokból álló kőzetrétegekben.

A triász karbonátok erősen töredeztettek, a fúrásokban is jól érzékelhetően 40-50 fokban ferdén dőlve települnek, és sok esetben több szintben egymásra-torlódva jelennek meg. A lerakódott üledékek tektonizmusa már a jura korban megkezdődhetett, és a kréta hegységképződési fázisban már intenzív volt. A kréta korban már párhuzamosan történhetett a medencében tengeri és szárazföldi üledéklerakódás – A D7/K-8 fúrásban a triász rétegek felett települő konglomerátum származhat ebből a korból, (vagy legalábbis a kavicszemcsék alapanyaga lehet kréta korú). A harmadidőszak nagy része során (az Alpok keletkezése idején) az igen intenzív szerkezeti átalakulás mellett a triász rétegek jelentős lepusztulást is szenvedtek, észak felé növekvő mértékben.

Az eocén korban kiszóródott Zalai Andezit formációt a Sávoly-5 és -8 fúrásokban észlelték, az ekkor keletkezett üledékek azonban nem itt, hanem Táskai térségében alkotnak jelentős vízáadó réteget. A blokkosodott medence mély részein lerakódó Tardi és Kiscelli Agyag Zalakaros környékén is megjelenik, de a terület nagy része ekkor kiemelt blokkként még mindig inkább lepusztulási terület lehetett.

A miocén korszak közepétől indul újra az üledékképződés a területen, A Budafai mészkő a középső riolittufa és a Bádeni agyag rétegei már nagyobb területen megjelennek, bár a terület egyes részei szigettengerként továbbra is erodálódtak. A mellékelt táblázatban Pécsszabolcsi formációnak nevezett felső-miocén üledéksor alkot az alaphegység felett egy többé-kevésbé egységes fedőréteget - ez jelenik meg a vizsgált gyógyvízkutakban is, és az északabbi D6 fúrásban pedig már több mint 300 méter vastagságú. A bádeni-szarmata üledékek és vulkanitok lerakódása után Zalakaros-Sávoly nagy része kis időre ismét felszínre került, azaz a miocén rétegek felső része is eróziót szenvedett.

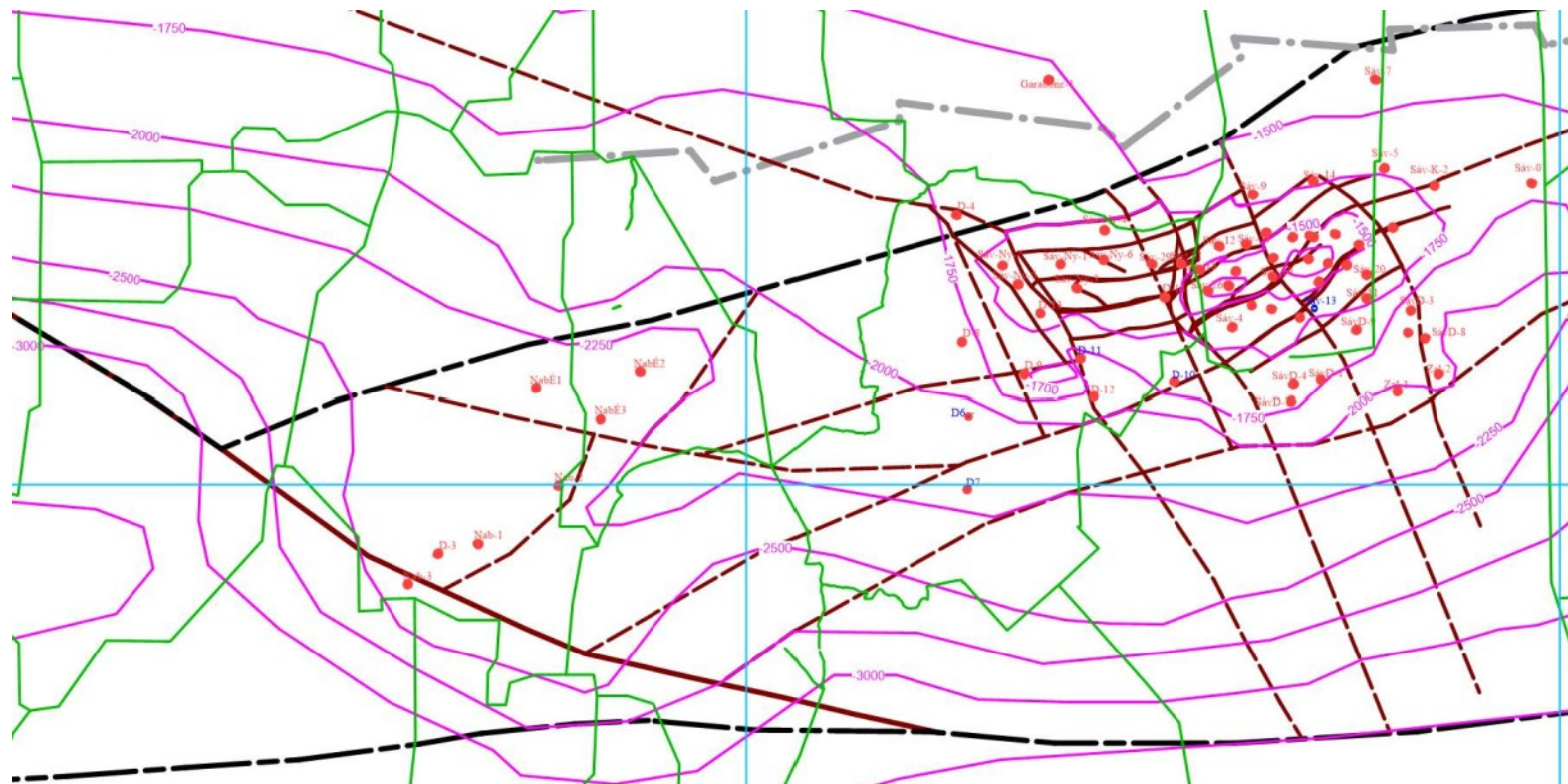


7

Az alaphegység tetőszintjei (mBf)
EOV-háló jelezve
Zalakarosi alaphegységi védőidom aktualizálása
- 2019

A tömör kőzetekből álló, a tektonika és a lepusztulási felületek miatt helyről helyre eltérő vastagságú és miocén és alaphegységi kőzetek felett jellegében is teljesen eltérő, horizontálisan folytonos, közel vízszintes településű alsó-pannon és felső-pannon üledéksor rakódott le. Az agyagos alsó-pannon rétegek és a homokleplekkel sűrűbben rétegzett felső-pannon rétegek a karottázs-szelvény alapján is elkülöníthetőek. A pannon üledéklerakódás kifejezetten gyors ütemű volt, a miocén rétegekben ezért sok helyen fosszilis víz is megőrződhetett.

14. ábra: A karbonátos alaphegység tektonikai térképe, a kimutatott és feltételezett vetők lefutásának a jelzésével



A terület földtani felépítését a korábbi védőidom-kijelölési anyag a VITUKI (Dr. Lorberer Árpád) interpretációjában mutatta be, mélyföldtani szelvények és feküszint-térképek segítségével. Jelen munka készítésénél elsősorban a MOL által részletesen feltárt olajtelepekre vonatkozó tektonikai térképeket használtuk fel – a szeizmikusan kimutatott vetők lefutása kifejezetten jól egyezett a VITUKI korábbi feltételezéseivel. Az olajtelepek környezetében tehát elég nagy számú kimutatott vetőkről beszélhetünk, míg a modellterület déli és nyugati felén csak jóval kevesebb feltételezett vetőt ábrázoltunk (bár a valóságban persze ez a terület is lehet ugyanilyen nagy mértékben tektonizált, blokkosodott).

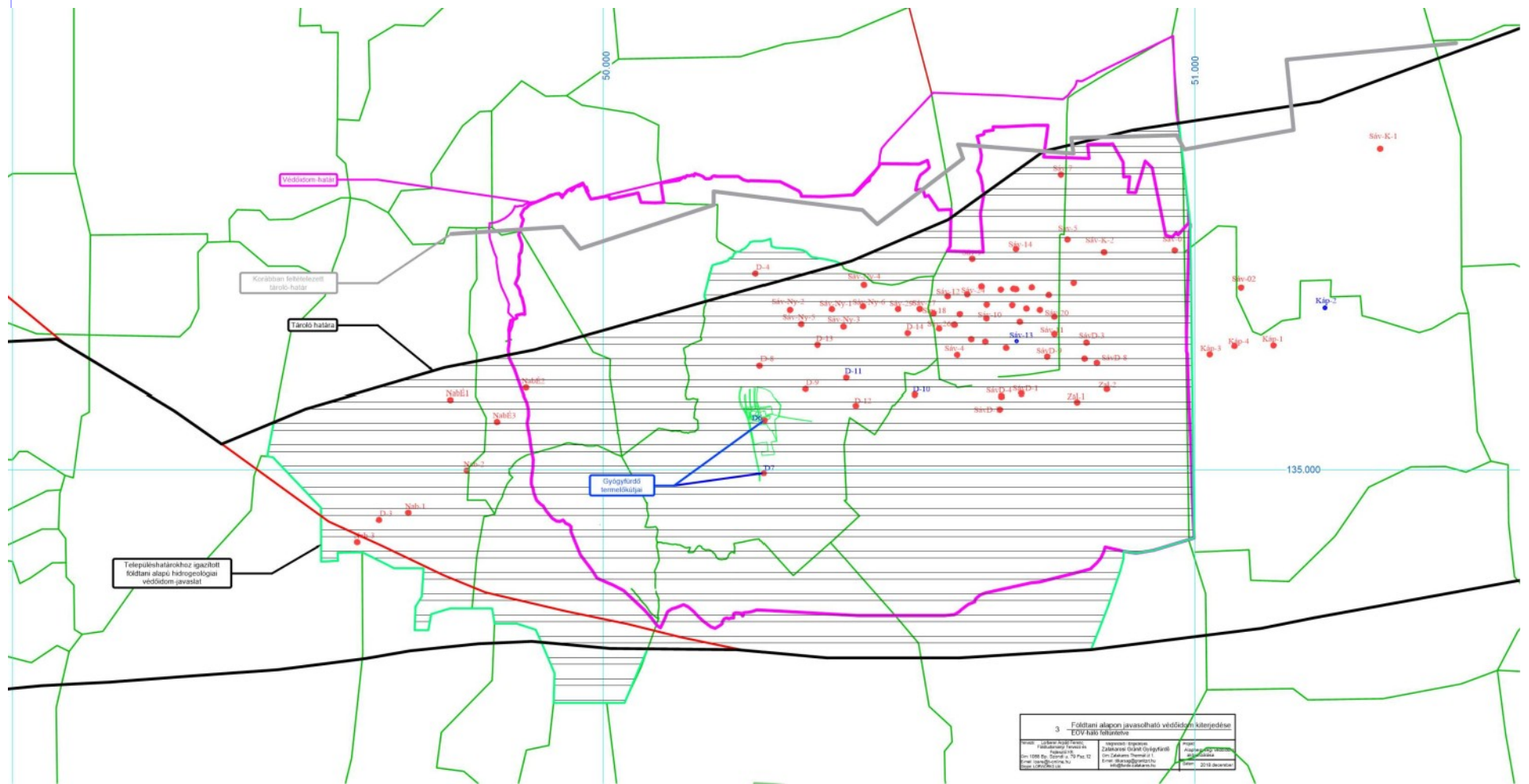
A Zalakaroson keresztül mért szeizmikus mérési szelvények igen régiek, új földtani információkat nem adnak, a modernebb szelvények a sávolyi olajmező területére fókuszálnak. A teljes vizsgálati területre kiterjedő, Zalakaros, Nagybakónak-Gerse térségét is magában foglaló korszerű, 3D-s szeizmikus kutatási projektjét már elindította a MOL, de a megfelelő földtani modell felállítása csak pár év múlva várható, addig tehát csak a meglévő fúrési és térképi adatokra lehet csak támaszkodni.

A karsztosodó kőzetek elterjedése két nagy tektonikus törés közötti elnyúlt szűk sávra korlátozódik – a védőidom értelemszerűen ugyanezen tektonikus törésvonalakig kell kiterjedjen. A földtani értékelésnek tehát a feladat szempontjából ezért elsődleges célja a földtani határoló törésvonalak elhelyezkedésének a megadása.

A 4. ábra átnézetes térképén együtt ábrázoltuk a *víztest* határát - amely a Földtani Intézet 2005 előtti tektonikai térképe alapján került meghúzásra - *Haas-Budai-Csontos-Fodor-Konrád* 2010 évi alaphegység-térképén bemutatott értékeléssel. A kettő egymás mellett is látható **a oldalon**. A két térkép Zalakarostól nyugatra eső részen különbözik szignifikánsan, ahol a 2010 évi értékelés a vízáadó beszűkülését jelzi, a fővetőnek egy szignifikáns harántvetővel való elvetése miatt. (Hasonló, egyszerűbb harántvetőt jelez Rálischné Feligenhauer Erzsébet is 2002 évi cikkében) A térképen jelzett nagyméretű íves lefutású harántvetőt vettük fel a munka keretében készített hidrogeológiai modellünknek határának is.

2010 évi alaphegységi térkép elfogadása esetén tehát kijelölhető egy földtani alapú hidrogeológiai modellhatár, amely ebben az esetben a települések közigazgatási határaival is jól megegyeztethető. A két határoló szerkezeti vonal, és az őket összekötő íves vető ez esetben a zalakárosi gyógyvíz-termelés természetes hidrogeológiai hataraként felvehető nyugat-észak és dél felé is. Keleti irányban a települési határnak is megfelelő főcsatorna vonala továbbra is logikus határ marad – amennyiben cél az hogy ne csak a sávolyi, de a keletebbi kisebb CH-termelés és visszasajtolás is egy egységes C védőidom része maradjon, kelet felé is ki kell terjeszteni a védőidomot, plusz két települést hozzáadva. Ezt a földtani alapú hidrogeológiai védőidom-kijelölési lehetőséget mutatjuk be a következő oldal ... számú ábráján.

15. ábra: Földtani alapon kijelölhető új védőidom-terület kiterjedése - alapverzió



V. Mélységi vízáramlás, nyomásadatok és víztermelések

Az agyagos alsó-pannon rétegek a vízzáró jellege miatt a felszínközeli gravitáció-vezérelte vízáramlása és az alaphegységi karsztos rétegekben történő szivárgási rendszer egyértelműen elkülönül. A kettő közötti miocén kőzetek nyomásszintje, víz- és olaj-tartalma tartalma, valamint vízkémiaja alapján is az alaphegységi áramrendszer legfelső, átmeneti része, ill. ebben a rétegben a miocén tenger egykori fosszilis víztartalmának egy része is megmaradhatott. A vastag, vízszintes rétegzésű fedőrétegekben a geotermikus hőmérséklet is fokozatosan csökken, így a felszínen geotermikus anomália sem mutatható ki.

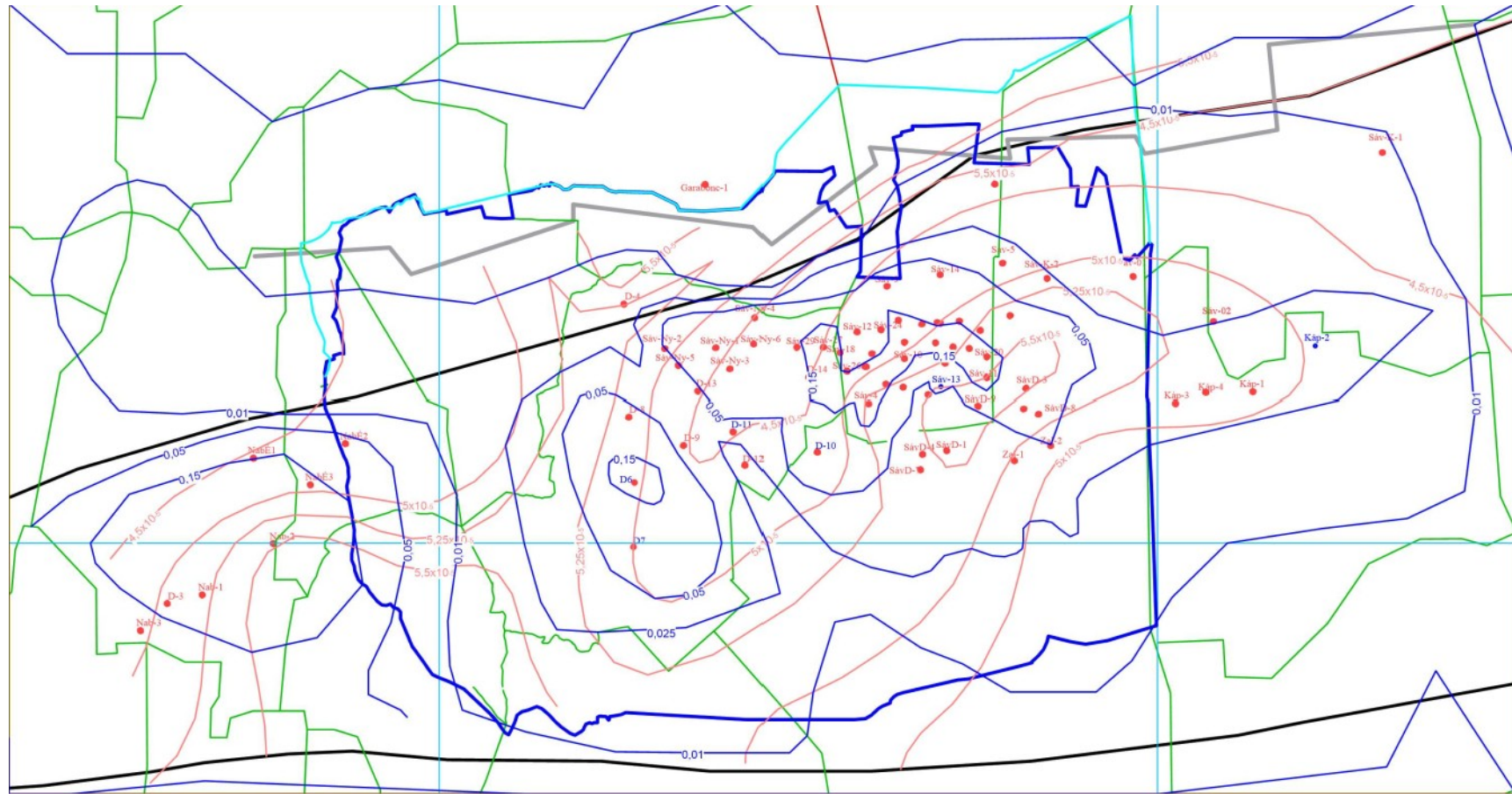
A GRÁNIT Gyógyfürdő két alaphegységi kútjában feltárt rétegsor felépítése egymástól jelentősen eltér – az 1994-2004 között több alkalommal végzett hidraulikai mérések alapján azonban kimutattott egyértelműen kimutatta a két kút összefüggését.- Az ellentmondás feloldható a két kút között feltételezett többszörösen felújult feltolódásos szerkezettel (Dr. Lorberer Á értelmezése, amely azonban ellentmond a MÁFI rétegtani újraértékelésének eredményeivel)

A mérések szerint D6/K-5 és D7/K-8 kút ugyanazon tárolót csapolja meg, és ez igaz a keletebbi Sávoly-4 és D-10 olajkutató fúrásokra is. Az összehatás-mérések alapján megadhatóak voltak a karsztos tároló tranziens hidraulikai paraméterei. A tároló helyről helyre változó tározási tényezőjét és k-tényezőjét a korábbi védőidom-kijelölés részletezi, a becsült paraméter-eloszlás ma is elfogadható. A hidraulikai paraméterek számos mérés összesítése alapján szerkesztett térképét Dr. Lorberer Árpád nyomán a következő oldal ... ábráján mutatjuk be.

A karsztvíz-tárolóban történő természetes regionális szivárgása a tároló csapásirányával egyező, azaz NyDny felől KÉK felé irányul. A kiemeltebb alaphegységi részeken, csapdázódott műrevaló mennyiségű kőolaj, mivel ezen eltemetett hegyek csúcsainál az oldalirányú áramlási rendszeren belül holttér alakul ki. Amennyiben elfogadjuk a 2018 évi izotópos vízkor-mérési adatot, és a legközelebbi 80-150 km távolságba eső horvátországi mészkő hegységeket vesszük fel beszivárgási területnek, a karsztvíz szivárgási sebessége 0,5-2 m/év vagy 1-5 mm/nap (ez kifejezetten gyors, túlbecsült értéknek tűnik).

A Sávoly-13 MOL-os visszatápláló fúrás mért nyomás-távolthatása 1100 m (más forrás szerint 11.0000 méter, de ez nem tűnik reálisnak). A vízáramlási sebességek alapján végzett analitikus becslés szerint a D6/K-5 és D7/K-8 kutak elsődleges befogási területe a jelenlegi korlátozott termelés mellett minimum 1 km, maximum 4 km, átlagosan 2,5 km (térképen ábrázolva lásd a 21. ábrán).

17. ábra: A mélységi karsztos tároló szivárgási és tározási tényezőinek eloszlása
(VITUKI alapján kék = k-tényezők, nararcs = tározási-tényező)



A kiindulási rétegyomások értéke a területen nem ismert. A különböző kutakban mélység és hely szerint 142-211 bár között szóró kiindulási nyomás-értékek azt jelzik, hogy a mély fedett tároló eredetileg, és jelenleg is túlnyomásos artézi jellegű. (A közölt nyomás-szintek a 125-140 mBf közötti, (dombhátaknál néhol 150 mBf-ig nyúló) terepszinteknél magasabbak.) A fürdő kutak nyomás-mélység diagramjainak többsége ugyanakkor

arra utal hogy a mélység felé történő nyomásváltozás nem jelentős, nyugalmi állapotban közel áll a hidrosztatikus nyomáshoz. A Miskolci Egyetem értékelése ennek alapján a felszálló, terepnél magasabb nyomásszinteket alapvetően a forrás karsztvízben elnyelt gáz expanziójából származtatja, ennek alapján a plusz nyomás csökkenését jelzi előre.

A különböző mélységű fúrásokban a nyomásmérések is eltérő mélységekben történtek, és ez a tény igen nagymértékben befolyásolja az egyes mérések eredményeit. Az alábbi táblázatban szereplő mélységi értékek elsősorban a mérési szinttel arányosak. A mesterséges termelésre vagy visszasajtolásra adott válasz, azaz az azonos idő alatt bekövetkező nyomásváltozás azonban már azonos összehasonlítható dimenziójú, így a korábbi MOL-értékelés koncepciójával egyezően mi is elsősorban ezek bemutatására törekszünk.

15. Táblázat: Zalakáros - Sávolly területen a sűrűn ellenőrzött kutakban regisztrált nyomásváltozások alakulása

Kút jele	Nyomásmérés mélysége	Kiindulási nyomásérték (MPa)	Legutóbbi nyomásérték (MPa)	Nyomásváltozás 1985-ig (MPa)	Nyomásváltozás 1985-2000 között (MPa)	További Nyomásváltozás 2000 óta (MPa)
Zalakáros D6/K-5	2200 m.	21,4 (1962)	20,4 (2005)	-0,5	-0,4	-0,1
Zalakáros D7/K-8	2200 m.	21,1 (1970)	20,4 (2006)	-0,5	~ -0,3	?
Zalakáros D-10	2075 m.	~ 17 (1979)	16,4 (2009)	+0,6	-2,9	+1,7
Zalakomár D-11	2014 m.	~ 17 (1979)	16,3 (2009)	-0,9	-2,1	-0,4
Sávolly-13	1665 m.	16,9 (1987)	16,4 (2016)	-	+ 9	-5 (?)
Sávolly-23	1665 m.	16,6 (1986)	16,3 (2018)	-	- 2	-1,6
Sávolly-32	1665 m.	16,7 (1990)	16,1 (2018)	-	-2,4	-4,4
Sávolly-DK-3	1850 m.	18,8 (1997)	18,1 (2009)	-	-0,6	-0,1
Sávolly-D-1	-	~ 188 mBf (1997)	~ 182,4 mBf (2015)			~ -0,6

A környező szénhidrogén-termelés alakulásáról a MOL Dél-Dunántúli Termelési Igazgatóságától kaptunk adatokat. A termelési adatok mezőnként egyben, évi bontásban kaptuk meg, a termelőkutak koordinátaival együtt, ennek alapján becsültük meg az egyes kutakra jellemzőnek vehető átlagos és maximális termeléseket. A MOL által termelt víz és olaj mennyiségét az egyszerűség kedvéért együttesen, fluidum néven tüntetjük fel. A

párhuzamosan történő földgáz-kitermelést külön oszlopban adjuk meg – az elégethető földgáz és a kísérőgáz-termelés is csökkenti a mélységi nyomásokat, bár sokkal nehezebben számszerűsíthető módon. A MOL a kitermelt fluidumok melletti kísérő-vizet két csak erre a célra használt kútba táplálja vissza, e kutak esetében tehát a víztermelés pozitív előjelű. A visszatáplálás nagy része a Sávolyi mezőn belülrre eső Sáv-13 kútban történik, újabban kisebb visszasajtolás történik még a Kápolna-2 jelű kútba, amely azonban a védőidom-területől is jóval keletebbre esik.

16. táblázat: Szénhidrogén-kitermelések összesítése (MOL NyRt 2018 évi adatai alapján)

Mező megnevezése	Termelőkutak megadása	Átlagos fluidum-termelés 2000-2017 között, 365 napra elosztva	Max. fluidum termelés / besajtolás létesítéstől 150 napra elosztva	Átlagos földgáz-termelés 2000-2017 között, 365 napra elosztva	2019-es modellben felvett termelés ill. besajtolás kutanként
Sávoly-Nyugat	6 db. Sávoly-Ny-1-6	-28,9 m ³ /nap	-156 m ³ /nap	-963 m ³ /nap	-35 m ³ /nap / kút
Sávoly	33 db. termelő 1 visszatápláló, Sáv-13	-90 m ³ /nap +47 m ³ /nap	-560 m ³ /nap +205 m ³ /nap	-7723 m ³ /nap -	-25 m ³ /nap / kút +150 m ³ /nap
Sávoly-Dél	6 db. Sávoly-D-1-6	-18,7 m ³ /nap	-165 m ³ /nap	-380 m ³ /nap	-20 m ³ /nap / kút
Kápolnapuszta	3 db. Káp-1, -3, -4 1 visszatápláló, Káp-2	-16,6 m ³ /nap +32 m ³ /nap	-28 m ³ /nap +140 m ³ /nap	-354 m ³ /nap -	-25 m ³ /nap / kút +100 m ³ /nap
Zalakomár	2 db. Zal-1 és Zal-2	-14,1 m ³ /nap	-82 m ³ /nap	-416 m ³ /nap	-30 m ³ /nap / kút
Sávoly-Kelet	2 db. Sáv-K-1 és -2	-115 m ³ /nap	-688 m ³ /nap	-4361 m ³ /nap	-100 m ³ /nap / kút

A Miskolci Egyetem értékelése szerint 1999-ig a GRÁNIT gyógyfürdő három és félszer több vizet vett ki, mint a MOL kutak együtt. A jelenlegi valós helyzetben a MOL valamivel több fluidumot termel ki. A gyógyfürdő védőidom-számításában a reálisan is működő legrosszabb eset feltételezésére törekedtünk, emiatt a számos kútból történő MOL-termelés többszörösen meghaladja a fürdő együttes vízhozamát.

VI. Védőidom-kijelölés felülvizsgálata

Korábbi hidrogeológiai szimulációk értékelése

17. táblázat: A két korábbi és a 2019-es modell-szimulációk összevetése

név	Miskolci Egyetem modellezése	VITUKI-modell	2019 évi ellenőrző modell
Modellterület mérete (K-Ny x É-D)	8,5 x 4 km	15 x 8 km.	21 x 12 km.
Leírása	Többfázisú, gáz-, olaj-, víz-termeléses inhomogén 4-8 vertikális réteggel, több változatban futtatva	Egyszerűsített fél-analitikus depresszió-számítás 13 adott koordináta-pontban, 2 réteggel, homogén paraméterezéssel	Tranziens, inhomogén, háromrétegű, változó sűrűségű fluidum-áramlási modell
Modell fókusza	CH-termelés nyomáscsökkentő hatása	Gyógyfürdő megemelt termelésének depressziós hatása	Teljes karsztos vízadóra kiterjedő szimuláció,
Készítés éve	2000 és 2003	1996	2019
Felbontás	250 x 250 m	-	50 x 50 m.
Főbb termelések	Valós olaj+gáz+víz-termelés modellezése számszerű adat nélkül és -350 m ³ /nap gyógyvíz-termelés a D6 kútból	D6/K-5 = 600 m ³ /nap D7/K-8 = 400 m ³ /nap +Zk kút = 1000 m ³ /nap - nincs CH-termelés	Olajkutanként eltérő a 16 sz. táblázat szerint D6/K-5 = 250 m ³ /nap D7/K-8 = 400 m ³ /nap
Valós termeléshez képest	Alapváltozatban reális értékek	kb. kétszeres túlbecslés	kb. kétszeres túlbecslés
Előrejelzés ideje	2020-ig	1995, 2005, 2025, 2050	2018 évi állapot
A fürdő-kutaknál számított / kalibrált nyomáscsökkenés 2000-ig	~195,5 mBf-ről ~192,4 mBf szintre -3,16 bar	0 szintről kb. -103 méterre ~ -9 bar	-
Modellezett teljes nyomáscsökkenés	2020-ig -4,6 bar (~191 mBf)	-149 méter 2025-ig -15 bar	~166 mBf-ről 115 ill. 140 mBf-re jelenleg kb. -0,7 - -1,4 bar

18. ábra: Modellterületek kiterjedései

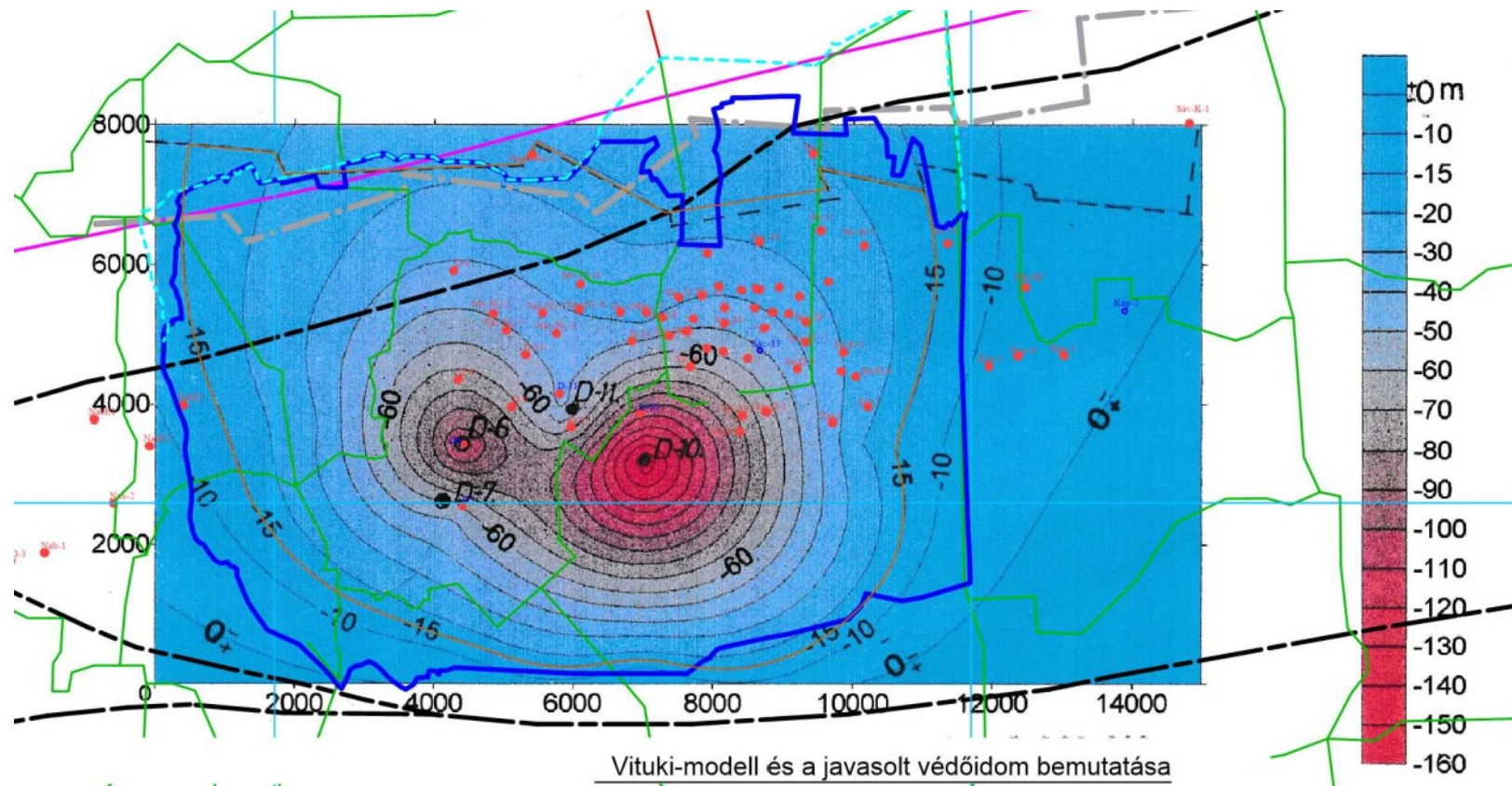


A fekete négyzet a ME, a középső kék a VITUKI, és a legnagyobb barna négyzet a 2019-es modellvizsgálat területét jelzi. Az ábrán a fúrásponatok mellett megjelenítettük a különböző rendelkezésre álló archiv földtani szelvények nyomvonalait is. Halvány barna színnel a következő ábrán

bemutatott VITUKI-modell szerint felvett 15%-os depressziós terület kiterjedését jeleztük - a lila színnel jelölt védőidom meghatározása jelentős mértékben ennek alapján készült.

A Miskoci Egyetem kisméretű modellterületének a gyógyfürdő kútjai egészen a szélére esnek, a központi részt a CH-termelő kutak foglalják el, és a modell sehol nem terjedt ki a vetőmenti vízáadó-határokig. Ez a szimuláció tehát alapvetően a szénhidrogén-termelés a fürdő kapcsolatának a szimulációjára alkalmas, a két gyógyvíz-termelő kút védőidomának a meghatározására nem. E célra a VITUKI közelítő számítása, és annak 2D surfer-interpretációja szolgált, amely ugyan jóval pontatlanabban írja le a nyomásállapotokat, de nagyobb területet fed le.

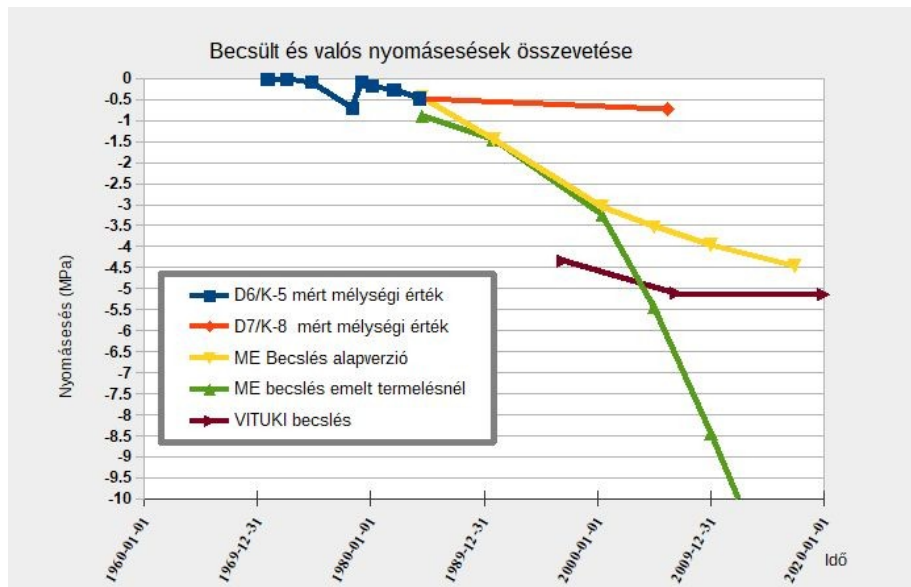
19. ábra: VITUKI depressziós számításának az eredmény-térképe



Mind a két korábbi modell egyedi saját fejlesztésű szoftverrel készült, feltehetőleg nem Windows-alapú környezetben, több mint 12 éve, így újrafuttatásukkal nem próbálkoztunk. Mindkét azonban mindkét modell igen jól dokumentált, tételesen megadják a kiindulási adatok nagy részét, jól rekonstruálhatóak mai szoftver-környezetbe betáplálva ugyanazon adatokat. A ME modell az egyetlen, amely külön fázisú gáztermelést, és a gáz-expanszió (hőlift) hatását is szimulálja egy feltételezett tapasztalati képlet szerint. A másik két modellben ehelyett minden esetben nagyobb, túlbecsült víztermeléseket vesznek fel, ezzel áttételesen közelítik a vízádból kivett gázok plusz nyomáscsökkentő hatását. A 2019 évi háromréteges modellünkben a legfelső, változó vastagságú réteg felel meg a gáztárolónak, ebben a rétegben a fluidum sűrűségét a gáztartalom miatt jelentősen csökkentettük. Mindkét korábbi modell relatíve túlbecsüli a gyógyfürdő depresszióját – a VITUKI csak ezzel számol, az ME pedig az olaj- és gáztermelést számos kubusra osztja szét, míg a fürdő teljes termelését csak egy kútból veszi fel.

A korábbi védőidom-kijelölés két eltérő modellvizsgálat, illetve a földtani interpretáció eredményeinek az összefésülésén alapult.

A korábbi értékelések során végig napirenden volt egy harmadik, nagyobb hozamú új gyógyvízkút létesítése, azaz a felvett +1000 m³/nap hévíz-termelés szerepe nemcsak biztonsági feltételezés volt. Időközben a fürdő gyógyvíz-termelés expansziós terve és a sávolyi termálszálló terve is aktualitását veszítette, míg a CH-termelés fokozatosan nagyobb területre terjedt ki, bár a termelések volumene a régebb óta művelt telepek lemerülése miatt nem emelkedhetett meg jelentősen így se.



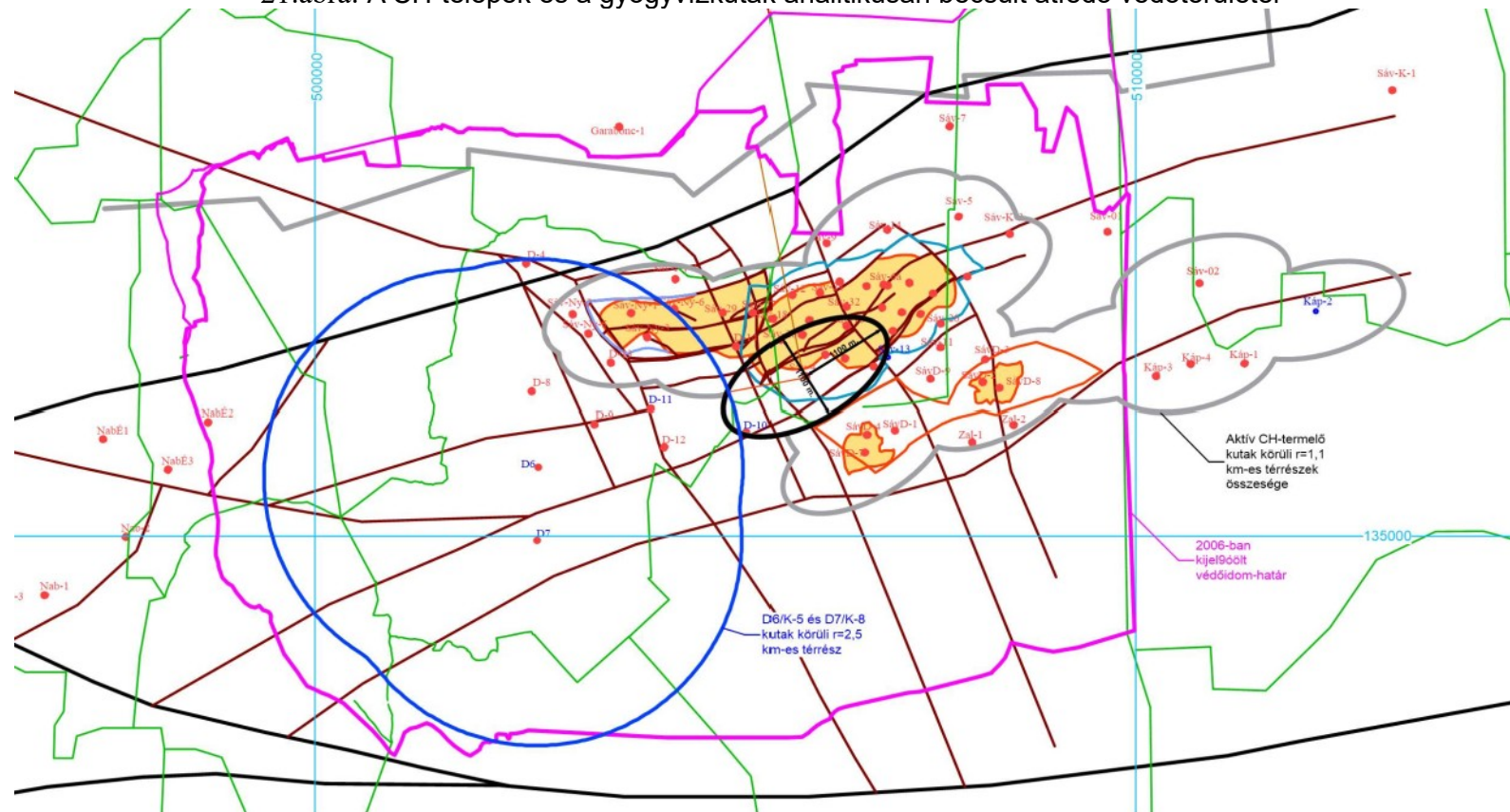
A mért nyomáscsökkenések a korábbi szimulációk alapján előrejelezett nyomás-csökkenéseket nem igazolták. (lásd 4. és 15. táblázatok) Annak ellenére, hogy az előrejelzett idő sem telt még le azaz új mérések után elvileg lehetséges jobb adat-egyezés, de az adatok alapján látható, hogy a korábbi modellek előrejelzései túl pesszimisták voltak.

Az ME modellezése szerint a GRÁNIT gyógyfürdő víztermelésének 1050 m³/nap értékre való megnövelése 14 bár depressziót okozna, és megszüntetné a túlnyomásos gáz-expansziós termelés lehetőségét. Számításaik szerint a fürdő már 2000-ig történő termelése során felhasználta a gáz-expanszió és alsó utánpótlódás 75%-át, emiatt 2020 után mindössze 220-280 m³/nap hozam esetén is várható a nyomásesés, és a túlfolyás megszűnése. A mérések szerint a D6 és D7 kutak gáztartalma azonban nem csökkent – eszerint valószínűbb, hogy a mélységi tároló víz- és gáz- utánpótlódása is nagyobb a feltételezettnél.

Védőidom kiterjedésének analitikus ellenőrzése

Az olajkutak körül 1,1 km-es, a gyógyvízkutak körül 2,5 km-es, a tektonikai orientáltságnak megfelelően deformált analitikusan becsült befogási zónák levételével kialakuló védőterületet ábrázoljuk az alábbi ... ábrán. A Sávoly-4 olajkút körül 1100 méteres távolságot mért ki egy részletes hidraulikai teszt, ez az érték extrapolálható a többi aktív olajkútra is. A kapott analitikus védőterület-ellenőrzés láthatólag elég jól megfelel a korábban javasolt védőterületnek. A ME és a VITUKI külön-külön csak részleges hatékonyságú szimulációja – kiegészítve a szerkezetföldtani értékeléssel - együttesen a védendő területet tekintve láthatólag ma is reálisnak tekinthető védőidom-kijelölést eredményezett.

21.ábra: A CH-telepek és a gyógyvízkutak analitikusan becsült átfedő védőterületei



Védőidom modellvizsgálatának felépítése és eredményei

A 2019 évi modell határ-koordinátái: $494.000 < \text{EOV } Y < 515.000$ és $131.500 < \text{EOV } X < 142.500$. **Az általunk felépített modell határai a (jelenleg legvalószínűbb) természetes földtani határok szerint kerültek kijelölésre**, azaz nyugat felé kiterjed a keresztező harántvető vonaláig, és keleten túlnyúlik az ebbe az egységbe tartozó legkeletebbi két MOL-fúrás helyén is. A tároló-határon kívül eső vízzáró aljzatú zónákat inaktívvá állítva kivettük a modellből. Az előzetes modellben 500x500 méteres felbontást használtunk, ez 120 oszlopból és 90 sorból állt össze, majd a fejlesztett modellváltozatban a terület nagy részén a rácsosztás 50x50 méteres értékre sűrítettünk.

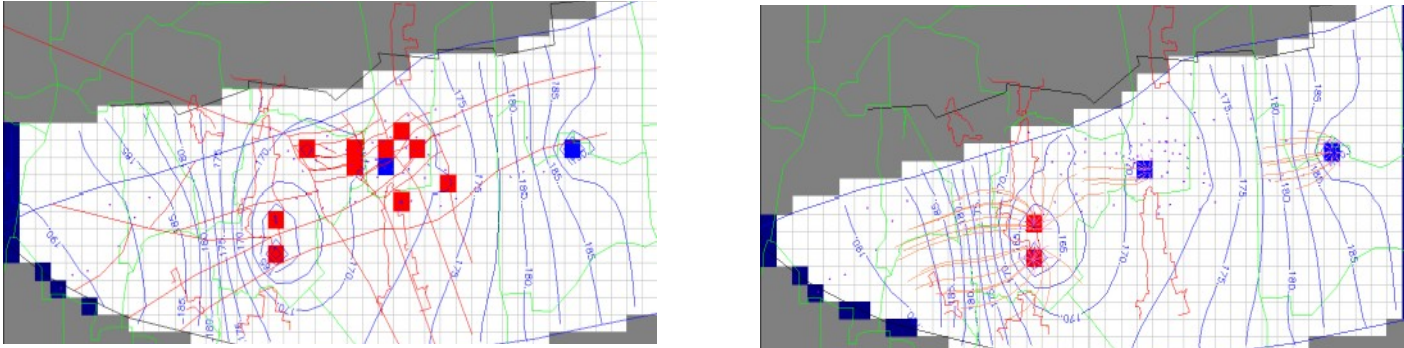
A modellterület méretén kívül korábbi modellekhez képest a kiindulási vízszintekben is eltérő – ez esetben feltételeztünk egy természetes NyDny felől KÉK felé történő szivárgást. Számos modell-kalibráció után a vízáadó DNy-i végén 192 mBf, az ÉK-i végén pedig 173 mBf értékű fix kiindulási vízszinteket vettünk fel, ami a modell két vége között. (A korábbi modellek statikus kiindulási szinthez képesti depressziót vizsgáltak, a természetes háttérirányból történő utánpótlás elhanyagolták, helyette egy elég jelentős állandó alsó utánpótlást tételeztek fel.)

A modellnek elkészítettük egy két időlépcsővel operáló egyszerűbb verzióját, amely lényegében a lehető legrosszabb állapotot szimulálja. Ezen kívül készült egy 1965-től induló, az időben és térben is változó kitermeléseket számos időlépcsőben szimuláló verzió is. A védőidom-méretezés keretében ebben a dokumentumban az egyszerűbb modellt mutatjuk be, ennek a célja az volt, hogy a következő 5-10 évben várható lehető legrosszabb hidrogeológiai hatások feltételezése alapján ellenőrizze a meglévő védőterület megfelelőségét, esetleg elősegítse annak megváltoztatását, kiterjesztését.

A védőidom céljára készített modellben a gyógyfürdőnél a csúcsüzemnek megfelelő termelést szimuláltunk (össz. $-650 \text{ m}^3/\text{nap}$).

- A fürdő északi D6/K-5 kút a felső rétegből 80, az alsóból pedig $170 \text{ m}^3/\text{nap}$ hozamot vesz ki,
- A délebbi D7/K-8 kút a felső rétegből 50, az alsóból $350 \text{ m}^3/\text{nap}$ hozamot termel
- Minden egyes MOL kút esetében is állandó közel maximális hozamú termelést vettünk fel, a MOL-tól kapott termelési adatok alapján, a 16 számú táblázat szélső oszlopában megadott értékkel.
- CH-termelő kútnak vettünk minden potenciálisan üzembe helyezhető kutat beleértve a mai olajmező szélére, vagy azon kívülre eső fúrásokat. A miocén rétegekből termelő gázkutakat is alaphegységi vízkitermelésként szimuláltuk.
- A CH-kutak a modellben mindig a legfelső, legkisebb sűrűségű fluidumot tartalmazó rétegből termelnek, míg a két kútban kialakított visszatáplálás fele ugyanebbe, fele pedig a második, termálvizes rétegbe jut.
- A 2019 évi ellenőrző alapmodellünkben felvett teljes fluidum-termelés $-2360 \text{ m}^3/\text{nap}$, amelyből az CH-termelés részesedése $1710 \text{ m}^3/\text{nap}$ (olaj, víz és gáz együtt, számos kútból), az ezzel egyidejűleg két ponton visszasajtolt víz mennyisége pedig $+250 \text{ m}^3/\text{nap}$.

22. ábra: 2018 évi előzetes hidrogeológiai modellek szélesebb, és beszűkülő vízadó feltételezésével (cellasűrítés előtti modellverziók)

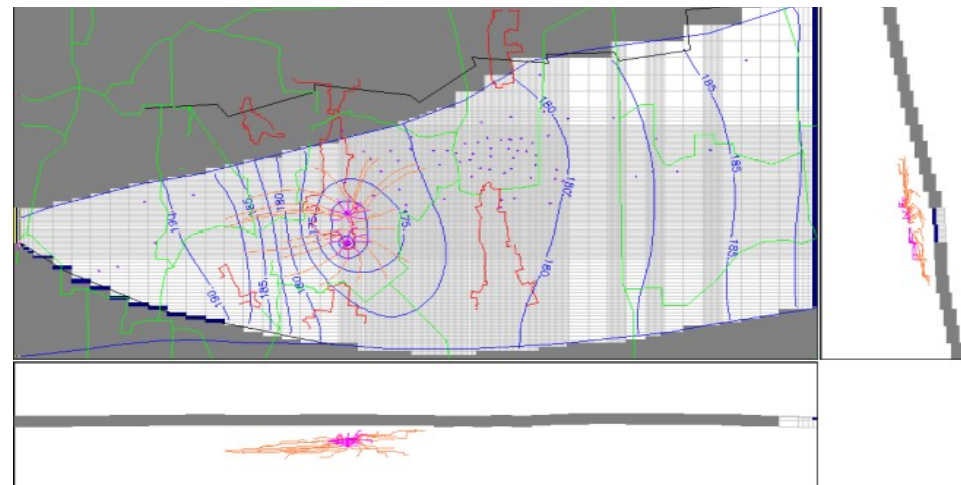


A modellábrákon szürke szín az inaktív zónákat jelzi - a jobb oldali az újjabb Haas-féle térkép szerinti keskenyebb vízadót modellezi, a bal oldali, valamivel szélesebb modell északi határa a víztest hivatalos határával és az 1996-os feltételezéssel esik egybe. Piros cella a kitermeléseket, kék a besajtolásokat illetve peremi fix vízszinteket jelzi. A bal felső ábra az első, CH-es réteg, a jobb oldali pedig a második modellréteg (fő termálvizes réteg) becsült nyomásszintjeit mutatja, az olajkutak értelemszerűen csak az első esetben jelennek meg. Keskenyebb vízadó esetén a peremfeltétel relatíve közelebb kerül a gyógyvízkutakhoz, és elvileg a kisebb terület miatt nagyobb depresszió várható, de az eredmények szerint a kapott nyomásértékek nem különböznek jelentősen, Nagybakónak előtt mindkét esetben lecseng a gyógyvízkutak depressziója. A jobb oldali keskenyebb modellnél és a részletesebb alsó modellnél az 50 éves befogási pályák lefutását is megjelenítettük.

23. ábra: Sűrített cellaosztású modell térképi és szélső oldalnézeti képe

Az oldalsó ábrán bemutatott elméleti nyomáseloszlás esetén csak a gyógyvízkutak folyamatos működését vettük fel, CH-termelés nélkül.

A felső réteget feltáró nagyszámú CH-termelő kút helyét piros pöttyök jelzik. A pontosított modell felbontása már csak 50x50 méteres, a 40-90 méter között változó vastagságú felső, földgázos rétegben tárolódó fluidum sűrűsége a termálvíznél kisebb, csak $\sim 0,7 \text{ kg/m}^3$.



Az előzetes modell nyugati peremén 190, keleti végén 182 mBf szintet tételeztünk fel. A Miskolci Egyetem hasonló kialakítású modellje a teljes területre 190 mBf értéket vett fel. A modell sűrítése és többszöri futtatása után a fix vízszinteket a második rétegre korlátoztuk, és mért értékekhez jobban illeszkedő, kissé alacsonyabb peremi vízszinteket tételeztünk fel.

A védőidom-kijelöléshez legmegfelelőbbnek látszó 2019 januári ellenőrző modelleredményeket az alábbiakban ismertetjük: modellezés eredményei szerint a vízádóban a horizontális áramlási sebesség 0,1-0,3 méter/év, a mesterséges víztermelések környezetében ez 100-szor nagyobb, akár 0,1 m/nap értékig is nőhet. A modellezett közelítő nyugalmi vízszintet a gyógyvízkutak környezetében kb. 165-170 mBf értéknek adódott, ez a folyamatos termelés hatására lecsökkenhet 115-140 mBf közötti nyomásértékre. A sávolyi olajmezőnél nagyobb területen jelentkezik némileg kisebb depresszió, a 165-155 mBf közötti nyugalmi szintről 142-144 mBf közötti szintre süllyedő üzemi vízszintekkel.

A depressziós tér kiterjed a vízádó teljes keresztmetszetére, bár a centrum az északi részre esik (mivel ebben a modellben minden CH-kutat folyamatosan működő termelőkútként vettünk fel, és ezek többsége a Sávolyi mezőben létesült).

A konkrét nyomásértékeknél ez esetben kifejezőbb a relatív változások értékelése - a modell szerint a termelőkutak környékén tehát több km²-nyi területen 4-14 bár, azaz 0,4-1,4 MPa nyomáscsökkenés alakul ki. A modellezett értékek a 2 és 6-os táblázatban megadott mért értékkel jól egyeznek. Az olajtelepet és a fürdő-kutakat körüli, kb 145 mBf értékű depressziós vonalak már elkülönülnek, eszerint nagyjából ez az izovonal feleltethető meg a „Hidrogeológiai A” védőidomnak. A 140-175 mBf értékű izovonalak már a két mesterséges depresszió közös regionális nyomáscsökkenését jelzik – ezen a területen alakul ki a víz és szénhidrogén-kitermelés hatására kb 0,1 és 0,4 MPa a mesterséges eredetű nyomáscsökkenés.

Az olajkitermelés teljes leállítása esetén a terület visszatöltődése lassú, a modell szerint 8-13 év után áll csak be új nyugalmi állapot.

A modellterület keleti végén a Káp-2 kútban való visszatáplálás és pár hasonló keleti, egymástól is elég nagy távolságra eső CH-kutató fúrások depressziós tere nem függ össze a belső termelési területek hatásterületével. A modell eredménye alapján tehát a 2006-ban kijelölt védőidom övcsatorna mentén kijelölt keleti határa fenntartható, a pár keletebbi új termelő és nyelőkút hatása lényegében elhanyagolható.

Noha a vizsgált víztest esetében még a peremi kiindulási vízszintek is csak becslésen alapulnak, a becsült vízáramlások, illetve áramképek időbeli alakulását is megvizsgáltuk a tároló feltárásától kezdődően a 2030-ra előrejelzett állapotig, erre a célra egy külön tranziens állapotú, időben változó termelésű hidrogeológiai modellt felállítva. Az eredményeket külön szakvéleményben közölt ábrason mutatjuk be.

VII. Védőidom-kijelölési javaslat

Az alaphegységi víztermelés hosszú távú védelmére több településre kiterjedő felszín alatti „Hidrogeológiai B” védőidom került kijelölésre 2006-ban (NyuDuKöTeViFe, Kiskomáromi csatorna 165. vizikönyvi számú határozata). A termálkutak és a közeli sávolyi olajmezők feltárása is közösen, egymással párhuzamosan történt, és a jelenleg érvényes védőidomuk is közösen került kijelölésre. Az alaphegységi védőidom a MOL és a fürdő által közösen finanszírozott, 1996-2003 között több ütemben készült részletes tanulmányok alapján került megadásra.

A jelenlegi védőidom-felülvizsgálati értékelésünk legfontosabb megállapításai:

- A továbbiakban is indokolt a fürdő két termelőkútjának és a nagyszámú környékbeli CH-termelő kút együttes vizsgálata. A víztermelés és szénhidrogén-termelések továbbra is közös depressziós hatásterületet alkotnak, ez várhatóan a következő 5-10 évben se módosul jelentősen (a kimerülő mezők fokozatosan csökkenő CH-termelése ellenére).
- A vízadóban bekövetkezett valós nyomáscsökkenés mértéke az előrejelzésekhez képest jóval kisebbnek bizonyult. A nyomáscsökkenés korábban becsült területe illetőleg a jelenlegi mérési és modelladatok szerinti hatásterület kiterjedése hasonló, az utóbbi valamivel kisebb. (Annak ellenére, hogy minden kútnál a jelenlegi engedélyezett hozammal működő folyamatos fluidum-termelést tételeztünk fel, azaz a valós termeléseket felülről közelítettük.)
- A fürdő és a MOL-kutak együttes depressziós hatása Zalakaros térségében a *közép-dunántúli termálkarszt* víztest legészakibb vízadó sávjának teljes szélességére kiterjedhet.
- A víztestnek ezt a részegységét több oldalról is regionális jellegű tektonikus törések határolják. Értékelésünk során a földtani szerkezetek mentén is jelöltük ki a hidrogeológiai modell határát. Mivel elnyúlt, elég keskeny vízadó pászmán belüli termelésről van szó, érdemes tudatosítani, hogy a határoló tektonikai szerkezetekig kiterjedő „Hidrogeológiai C” védőidom határ is kijelölhető, vagy biztonsági megfontolásból a „Hidrogeológiai B” zóna is kiterjeszthető a vetőszerkezetekig. A lehetséges mélyföldtani értékeléseket és az ezek alapján kijelölhető védőidom-határokat anyagunkban bemutatjuk. A határoló szerkezeti vonalak nyomvonala azonban csak közelítőleg ismert, a jelenlegi hatóságilag kijelölt víztest-határ és a tektonikus határoló szerkezetek újabban feltételezett lefutása sem egyezik meg. A határoló vetők pontos helye pár éven belül (a terület nagyrészt már elkészült 3D szeizmikus mérésének kiértékelése és publikálása után) pontosabban ismert lesz, így ekkor érdemes a védőidom és a konkrét víztest valós természetes határait is felülvizsgálni.

Jelen anyagunkban a jelenleg érvényes felszín alatti „Hidrogeológiai B” védőidom-terület megőrzését javasoljuk. A tektonikai/földtani határok szerinti kijelölése a védőidom növelését jelentené, míg a hidrogeológiai eredmények arra utalnak, hogy kismértékben akár már most csökkenthető lehet a felszín alatti védőidom. A fürdő kútjainál előrejelzettnél jóval kisebb nyomáscsökkenési, illetőleg indítás óta gyakorlatilag

állandó gáztartalma alapján a fürdő termelése fenntartható, és lehetséges műszaki fejlesztés, és helyi komplex hőhasznosítás is, amely szintén a védőidom újraszámolásával, kiterjesztésével járhat.

A védőidom keleti irányú kiterjedése csak a MOL termeléstől függ, azaz szénhidrogén-kitermelés befejezése után a védőidom mérete mindenképpen csökkenni fog. Az előrejelzett csökkenő CH-termelés mellett 2028-ban már a gyógyfürdő és a sávolyi mezőknek kijelölhető elkülönülő „Hidrogeológiai A” és/vagy „Hidrogeológiai B” védőidoma is - amennyiben a területen új mezőfejlesztésre, vagy geotermikus beruházásra nem kerül sor. Különálló „Hidrogeológiai A” védőidomok kijelölése a mélységi tároló esetében véleményünk szerint plusz hidrogeológiai védelmet nem igazán biztosít, csak nagyobb jogi elkülönülést, ezért jelenleg nem látjuk indokoltnak.

Hangsúlyozni szeretnénk, hogy **amint a fő törésrendszerek térbeli helye már pontosan ismert, a földtani alapú védőidom-kijelölés látszik a legmegfelelőbb megoldásnak**, ezért foglalkoztunk részletesen már most ezzel a lehetőséggel.

Szakmailag mindenképpen jobban alátámasztható és stabilabb, mint az ismeretlen vastagságú, inhomogén, gázos tároló mélységi vízáramlásának a közelítése a begyűjthető elszórt és csak esetenként mért nyomásadatok alapján. A földtani adatok alapján történő védőterület-kijelöléshez azonban egyelőre még nem áll rendelkezésre meg a kellő egzakt mérési (szeizmikus) adatsor. Az is szerencsés volna, ha a víztestek felülvizsgálata során a védőidom-határ a VGT és víztest adatokkal együtt, konzisztensen változna meg.

A nagy mélység miatt alig kutatható védőidom meghatározása során azért is érdemes a most előkészített 3D szeizmikus mérés alapján készíthető földtani modell felállítására törekedni, mert az eredmények lehetővé teszik a vízadón belüli főbb törések figyelembe-vételét, így a valósághoz közelebb álló karsztos vízáramlási modell felállítását is. A terület legjobban feltárt részén, a sávolyi olajmező kiemelkedésénél számos kisebb töréssel osztott blokkos szerkezet volt kimutatható, és a fürdő D6/K-5 és D7/K-8 kútjai között is legalább egy tektonikus törés van, körülveve több más szerkezettel.

Fokozatosan pontosított modellek felállításával a tároló közös termelése is egyre inkább optimalizálható. A szénhidrogén- és a gyógyvíz-termelés elkülönítése pl. aktív hidrogeológiai gát kialakításával, megfelelően elhelyezett visszasajtoló kutak létesítésével is megoldható lehet.

Az alaphegységi „Hidrogeológiai B” védőidom felső síkja földtudományi értelemben az alsópannon korú üledékrétegek feküszintje (alsó réteghatára). A miocén korú rétegeket is az alaphegységi védőidom részeként kell kezelni, függetlenül üledékes vagy vulkáni kifejlődésüktől. Ez a rétegszint a területen -1200 mBF és -3500 mBF szint között található, a tereptől mérve 1100 és 3600 méter között.

A védőidom alsó síkjának -4000 mBF szint vehető fel (tereptől mérve -4200 m.).

A „Hidrogeológiai B” védőidom-területre javasolt korlátozások:

1. A kijelölt védőidom területén 1500 méternél mélyebb fúrás vagy kút létesítése csak megfelelő hatástanulmány elfogadásával, a védőidom figyelembevételével engedélyezhető.

2. Mind új kutak lemélyítése mind a kimerült CH-kutak leállítása alkalmával nemcsak a kút állapotát, de az alaphegységi vízáadó helyi hidrogeológiai paramétereit is dokumentálni kell.
3. A védőidom-területen 2019 és 2026 között indított vízügyi és bányászati engedélyezési eljárásokba érintett félként kerüljön bevonásra mind a zalakarosi GRÁNIT Gyógyfürdő, mind pedig az érintett bányatelkek gazdái (a MOL hazai kitermelési osztálya).

Az üzemeltető gyógyfürdő a mélységi tároló kútjaihoz tartozó külön külső és belső védőidom kijelölését nem kéri. Különálló belső védőidom-telek kijelölésére azért sincs szükség, mert az összes vízellátó kút telke ugyanarra a két körbekerített üzemi területre esik. Ugyanezen telek már kijelölésre került belső védőidomként a hidegvizes kutaknál, és a pannon termálkutaknál is. Az eltérő mélységű kutak közös belső védőidom a felszíntől -4000 m-ig terjed. A belső védőidom esetében tehát változásra nincs szükség.

18. táblázat: A védőidom kiemelt határoló koordináta-pontjai

Szám	EOV Y	EOV X	Szám	EOV Y	EOV X
1	509960	133840	19	499790	139570
2	509000	133590	20	501030	139520
3	508480	133710	21	500980	139850
4	508230	133330	22	502290	139960
5	506370	132890	23	503340	139620
6	505940	132540	24	504220	139640
7	502540	132620	25	504680	140170
8	501890	132320	26	505460	140220
9	500940	132370	27	505810	138700
10	499890	133180	28	506410	138670
11	498870	134510	29	506320	140630
12	498730	135980	30	506590	140800
13	498420	136890	31	507510	140815
14	498430	137520	32	507440	140280
15	498670	137620	33	508200	140270
16	498510	138150	34	508600	140510
17	498610	139300	35	509900	139150
18	499660	139850	36	509860	137000

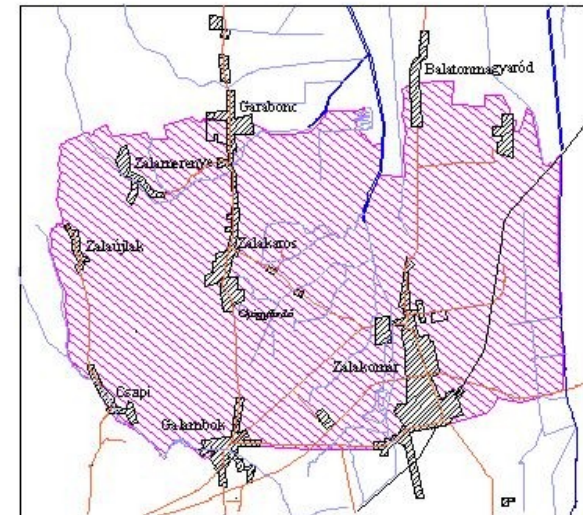
A védőidom határainak lefutása, és a védendő réteg szintje a határok mentén:

- *Keleten* a védőidom határát jelentős hosszban a Somogy-Zalai Határ-árok képviseli Zalakomár külterülete mentén a Kis-Balatonról a 7. Számú közlekedési útig.
- *Délkeleten* Zalakomár külterületét először a 7-es út, majd az ebből leágazó, a vasútállomás mellett Galambokra menő út mentén halad a védőidom-határ.
- *Délen* a védőidom a galamboki Szabadság utat keresztezve halad a Galamboki vízfolyásig, és a szabályozott patakmeder mentén halad.
- *Délnyugaton* a védőidom végig a Galamboki vízfolyás mentén halad, így metszi Csapi község belterületét is.
- *Nyugaton* a védőidom a Galamboki vízfolyás forrásáig a patak mentén halad, majd Zalaújlak külterületét észak-déli irányban a Farkas-hegy mentén metsző út mentén.
- *Északnyugaton* Zalamerenye külterületét a csatlakozó út mentén metszi a végleges védőidom, majd a zártkert és külterület határán halad.
- *Északon* a Hathold nevű terület mentén halad a védőidom-határ Garabonc területéig, ott pedig a Garabonci-vízfolyás mentén metszi a település belterületét. Tovább haladva a Váttó nevű szántótól délre a Kis-Balaton I-es Tározóig halad a védőidom.
- *Északnyugaton* a Kis-Balaton I-es Tározó mentén halad a véglegesíthető védőidom, Balatonmagyaród belterületének a közeléig nyúlva. A településen kelet-nyugati irányban átvezető út mentén, majd a Kis-Balaton határa mentén húzódik délkeleti irányban a védőidom-határ egészen a Somogy-Zalai Határ-árok vasúti hídjáig, ahonnan az árok mentén folytatódik délre.

Az alaphegységi védőidom a következő nyolc települést érinti:

- 1) Zalakaros
- 2) Garabonc
- 3) Csapi
- 4) Zalamerenye
- 5) Zalaújlak
- 6) Galambok
- 7) Zalakomár
- 8) Balatonmagyaród

24. ábra: Védőidom-terület település-nevekkel



25. ábra: A védőidom-
terület telekkönyvi térképe
(Babér²⁰⁰¹ Bt adatfeldolgozása
szerint)



VIII. Biztonságban tartási és monitoring terv

Az alep hegységi vízáradó védett, a tárolót csak szénhidrogén-kutatási célú fúrásokkal tárták fel. A vízáramlás háttérirányában, nyugat felé a mélymedence területén egyáltalán nincsenek feltárások, a gyógyfürdőtől keletre eső kutakat a MOL kezeli. Tudomásunk szerint minden környező kiépített kútnak ismert a tulajdonosa, rendezett mind a műszaki, mind telekkönyvi állapota.

A fürdő kútja által megcsapolt mélységi tárolóréteg jellemző adatai csak az időről időre elvégzett teljes körű kútvizsgálati mérésorozat és mélységi mintavétel során ismerhető meg. A mélységi geofizikai mérés alapfeltétele a -400 méterig beépített termelőcső-rakat kiépítése. Erre 1979 és 2000 között párévente sor került az intenzív sókiválások letisztítása érdekében. Kb. 2000 óta sikerült az injektoros víztermelő-rendszert úgy kialakítani, hogy a teljes körű javításokra már alig legyen szükség. A jelenlegi adatok alapján a kút kiépítési munkákra kb. 7-10 évente van szükség.

A fürdő a továbbiakban is vállalja, hogy a teljes körű kút kiépítési munkák alkalmával minden esetben végeznek mélységi geofizikai méréseket. (A kútgeofizikai mérés és megvett mélységi minták analitikai vizsgálatainak az ára 2018 évi árajánlatkérésünk alapján kutanként 2,5-4 Millió Ft, a kútfej leszerelésének, a termelőcsövek ki- és beépítésének költsége viszont alkalmanként 8-16 Millió Ft. A kútvizsgálatok, és a szükséges kútszerkezet-kiépítési munkák szempontjából várhatóan nem jelent különbséget az se, ha fürdő időközben a jelenlegi hidegvíz-injektoros termelés helyett áttér nagymélységű termálvíz-szivattyúk használatára, a várhatóan -200-500 méter közötti mélységbe beépített szivattyúk kiemelése is várhatóan hasonló költséget jelent.)

A termelőcső megbontása nélkül is van lehetőség -400 méterig lehatoló részleges kútgeofizikai ellenőrző vizsgálatok elvégzésére, ilyen mérés készült 2011-ben a D6/K-5 kúton. Amennyiben a teljes, mélységi kútszerkezet-ellenőrzés előtt egy ilyen olcsóbb 400 méteres mérés is elvégezhető, számítható a teljes körű mélységi nyomásadatok és a sekélyebb nyomásmérések korrelációja. Jó egyezés esetén elegendő lehet rendszeres sekély mérési sorral ellenőrizhetőek a kútbeni nyomásviszonyok, és ezek a mérések ellenőrizhetőbb, tervezhetőbb is végrehajthatóak. (A nyitott kúttalpak ellenőrzése érdekében a talpig hatoló mérésekre is szükség lesz ezután is időnként, de nem lesz zavaró ezek ritkasága.) A következő kútvizsgálat alkalmával ezért tehát két geofizikai mérés elvégzését, és a kapott nyomásmérések matematikai összevetését javasoljuk.

A kutak hosszabb távú megőrzése érdekében szükséges üzemeltetői feladatok:

- Üzemi napló, víztermelési adatok és OSAP adatlapok, ellenőrző kémiai és bakteriológiai mérések előírási vezetése, adatrögzítése
- Gázminta-vétel mind a kútfejnél, mind pedig a gáztalanító után mindkét kútból legalább két évente
- Általános vízkémiai elemzés a kútfejnél mintázható kevert vízből legalább két évente

- A fúrás talpáig lehatoló karrotázs-vizsgálat, mélységi nyomásgradiens-mérés, termelés közbeni nyomásmérés és sűrűség-gradiens méréssel együtt minden alkalommal, amikor a kútfelújítás igényli a termelőcsövek átépítését. Ugyanekkor szükséges mélységi vízminta és gázminta vétele, és a minták részletes vízkémiai elemzés
- Amennyiben a kútszerkezet kiépítésére nem kerül sor, akkor -400 méterig lehatoló részleges kútgeofizikai ellenőrzés elvégzése minimum négyévente
- Termásvíz-minta C¹⁴ izotópos vízkor-meghatározása lehetőleg hatévente és lehetőleg mélységi mintavétel alapján. A vízkor újvizsgálatára mindenképpen sor kell kerüljön legalább minden védőidom-felülvizsgálat alkalmával (~10 évente)
- A kútfejek és szerelvények, illetve a belső védőidom műszaki és környezeti állapotának dokumentálása minden védőidom-felülvizsgálat alkalmával (~10 évente)

A következő 10 évben a sávolyi CH-termeléssel közös védőidom fenntartása indokolt (táblázat). Nagyszámú kimerülő CH-kút tömedékelési, másodhasznosítási, utómonitoring tervének a kidolgozása csak a következő védőidom-felülvizsgálat után várható. A gyógyfürdőnek azonban addig is az az érdeke, hogy mind a CH-termelő kutak leállásakor, és az esetleges mezőfejlesztések alkalmával is érdekelt félként értesüljön a változásokról.

Táblázat: A MOL által 2018 októberben átadott előrejelzés szerint sávolyi CH-termelés ek várható alakulása

Mező megnevezése	Méret, D6/K-5 kúthoz képesti hely	Várható üzemelés
Sávoly mező	~32 kút, ÉK-re 2800-5800 m között	2028 utánig, a termelés 50%-os visszaesése 2022-től
Sávoly-Ny mező	6-8 kút, ÉÉK-re 1700-3300 m. között	2028 utánig, a termelés 50%-os visszaesése 2026-tól
Sávoly-D mező	3 kút, K-re 3700-4600 m	Kb. 2022-ig
Sávoly-DK triász mező	2 kút, KÉK-re 5400-6050 m.	~2028-ig, a termelés 50%-os visszaesése 2023-tól

A MOL által kezelt alaphegységi kutak egy részénél, mezőnként jellemzően egy alacsony termelékenységű kútnál állnak rendelkezésre hidrogeológiai monitoring adatok (nyomásmérés-idősorok). A jelenleginél informatívabb hidrogeológiai monitoring rendszer kialakítására, és a mért adatok kölcsönös megosztására a MOL részére készülő külön szakvéleményben teszünk javaslatot.

IX. Összefoglalás

Zalakaros település legfontosabb, a város kialakulását és fejlődését megalapozó műszaki létesítmények a helyi fürdő gyógyvíz-termelését biztosító hévízkutak. A D6/K-5 és a D7/K-8 jelű CH-kutató fúrásból 1962 ill. 1970 években kialakított kutak 2220-2350 ill. 2650-2752 mélységből csapolják meg az alaphegységi tárolókőzeteket. A kutak vízminősége és műszaki állapota is jelenleg is kitűnő, termelésre hosszú távon is alkalmasak, védelmük mindenképp indokolt.

A kutakból 40.000 évnél idősebb, a felszínen is 100 Celsius fokhoz közeli hőmérsékletű, magas sótartalmú és kiemelten magas gáztartalmú fluidum nyerhető ki. A kutak egyedi, vízbekeveréses túlfolyó termeléssel üzemelnek. A termelt mélységi vízáadó reprezentatív adatait az egyedi üzemmód miatt csak a pár évente esedékes téli üzemszünetek idején lehet időről időre ellenőrizni, a termelőcsövek kiépítése utáni részletes mélységi kútgeofizikai mérések segítségével. A termeléshez kapcsolódó létesítmények, gázleválasztó, előkeverő rendszerek előírászerűen, folyamatos ellenőrzés mellett működnek.

Az alaphegységi víztermelés hosszú távú védelmére több településre kiterjedő felszín alatti „Hidrogeológiai B” védőidom került kijelölésre 2006-ban (*NyuDuKöTeViFe, Kiskomáromi csatorna 165. vizikönyvi számú határozata*). A termálkutak és a közeli sávolyi olajmezők feltárása is közösen, egymással párhuzamosan történt, és a jelenleg érvényes védőidomuk is közösen került kijelölésre. Az alaphegységi védőidom a MOL és a fürdő által közösen finanszírozott, 1996-2003 között több ütemben készült részletes tanulmányok alapján került megadásra. Jelen dokumentációnk értékeli és rögzíti a kutak jelenlegi állapotát, az a korábbinál korszerűbb földtani és vízkészlet-gazdálkodási keretbe helyezi a vízáadó alaposan feltárt jellemzőit, ezek alapján aktualizálja a korábbi védőidom-kijelölést.

A tanulmány legfontosabb megállapításai:

- A gyógyvízkutak további használata és a termelt vízáadó hidrogeológiai védeltsége biztosított.
- A továbbiakban is indokolt a fürdő két termelőkútjának és a nagyszámú környékbeli CH-termelő kút együttes vizsgálata. A víztermelés és szénhidrogén-termelések továbbra is közös depressziós hatásterületet alkotnak, ez várhatóan a következő 5-10 évben se módosul jelentősen. a kimerülő mező fokozatosan csökkenő CH-termelése ellenére.
- A mért adatok alapján a vízáadóban bekövetkezett nyomáscsökkenés mértéke a korábbi előrejelzésekhez képest jóval kisebbnek bizonyult.
- A nyomáscsökkenés területe jól egyezik a jelenlegi védőidom területével. A gyógyfürdő kútjainak az 50 éves modellezett befogási területe a jelenleg kijelölt védőidom-területnél valamivel kisebb mind modellszámítás, mint analitikus becslés szerint.

- A vízkivétel a mind mennyiségi, mind pedig a minőségi szempontból jónak minősített „*közép-dunántúli termálkarszt*” víztestből történik. A zalakarosi kutak hatása a több elnyúlt vízadó sávból álló vízgazdálkodási egységnek csak az északi sávjára terjed ki. A gyógyvízkutak használata tehát a víztest többi, távolabbi termelését, határ menti kutakat, valamint az esetleges „nagykanizsa-nyugat geotermikus koncessziós terület” víztermelését nem befolyásolhatja.
- A víztestnek ezt a részegységét több oldalról is regionális jellegű tektonikus törések határolják. A határoló szerkezeti vonalak nyomvonalában azonban csak közelítőleg ismert, a hatóságilag kijelölt víztest-határ és a feltételezett tektonikai határoló szerkezetek lefutása sem egyezik meg. A lehetséges mélyföldtani értékeléseket és az ezek alapján kijelölhető védőidom-határokat anyagunkban bemutatjuk. A határoló vetők pontos helye pár éven belül (a terület nagyrészt már elkészült 3D szeizmikus mérésének kiértékelése és publikálása után) pontosabban ismert lesz. A víztest valós természetes határait tehát érdemes pár éven belül felülvizsgálni, ez szerencsés esetben összeköthető lehet az országos vízgazdálkodási rendszer (VGT) felülvizsgálatával.

A jelenleg érvényes felszín alatti „Hidrogeológiai B” védőidom-terület megőrzését javasoljuk.

Az eredmények alapján a kijelölt védőidom-terület a kutak védelmét a továbbiakban is képes biztosítani, növelése nem indokolt.